

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université A. MIRA-BEJAIA**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des 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 des fromages frais à valeur  
ajoutée**

Présenté par :

**BELHABIB Kahina**

**DJERRADA Nabila**

Soutenu le : 24 Juin 2023

**Devant le jury composé de :**

M<sup>me</sup> OUCHEMOUKH N.

M<sup>elle</sup> ACHAT S.

M<sup>me</sup> BERKATI S.

M<sup>elle</sup> DJENAD F.

Pr., Univ. Béjaïa

MCA, Univ. Béjaïa

MAA, Univ. Béjaïa

Doc., Univ. Béjaïa

Président

Encadreur

Examineur

Co-Encadreur

**Année universitaire : 2022/2023**



# Remerciements

*Nous remercions Dieu Tout Puissant de nous avoir donné le savoir, la force, la patience et la faculté de Pouvoir poursuivre nos études et de réaliser ce travail.*

*Nous tenons à remercier :*

*Notre enseignante et encadreur, Dr. Achat S., qui nous a aidé, orienté, soutenu, conseiller et qui nous a permis de mener à terme ce travail.*

*Notre co-promotrice DJENAD F. pour sa présence, sa générosité, sa patience, ses conseils et son aide durant toutes les étapes de réalisation de notre mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont aussi au personnel du plateau technique CRAPC , Dr. MEKHOUKHE A. et M<sup>me</sup> BELHOUCINE T. pour leur aide précieuse.*

*Nous adressons nos vifs et sincères remerciements au Pr. OUCHEMOUKH N. et M<sup>me</sup> BERKATI S. d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*Un grand merci à tous les membres du laboratoire de 3BS et tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.*

*Nabila & Kahina*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A mes quatre anges Houda, Salas, Kenza et Yasmine*

*A toute ma famille Djerrada et ma famille L3BS*

*A ma belle-famille Kabache*

*A mes collègues et amies*

*Et à tous ceux qui me sont chers*

*Nabila*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents pour leur amour et soutien.*

*A mes deux anges ADAM et Maria*

*A mon mari MMA*

*A mon frère et à ma sœur et leurs conjoints et leurs enfants*

*A mes collègues et amies Nabila et Sonia*

*A tous les membres du laboratoire 3BS, doctorants et enseignants*

*Et à tous ceux qui me sont chers*

***Kahina***

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

## Table de matière

Introduction.....1

### I. Synthèse bibliographique

I.1. Petits pois (*Pisum sativum*).....3

I.1.1. Description botaniques .....3

I.1.2. Cosses des petits pois.....3

I.1.3. Composition chimique .....4

I.1.4. Intérêt nutritionnel et thérapeutique.....5

I.2. Fève (*Vicia faba*) .....5

I.2.1. Description botaniques .....5

I.2.2. Gousses de la fève .....6

I.2.3. Composition chimique .....6

I.2.4. Intérêt nutritionnel et thérapeutique.....6

I.3. Aubergine (*Solanum melongena*).....7

I.3.1. Description botaniques .....7

I.3.2. Pelures d'aubergine.....7

I.3.3. Intérêt nutritionnel et thérapeutique.....8

I.4. Valorisation des sous-produits.....8

I.5. Fromage..... 9

I.5.1. Historique.....9

I.5.2. Définition et réglementation.....9

I.5.3. Composition et valeur nutritive du Fromage Frais..... 10

I.5.4. Différents enrichissement de Fromages.....10

I.5.5. Processus de fabrication du fromage Frais.....13

### II. Matériel et Méthodes

II.1. Matériel végétal et sa préparation.....	14
II.2. Analyses physico-chimiques des poudres des matrices végétales.....	15
II.3. Analyse de la cytotoxicité .....	15
II.4. Etude préliminaire.....	16
II.5. Elaboration des fromages enrichis.....	16
II.6. Analyses physico-chimiques des fromages élaborés.....	19
II.6.1. Test d'humidité.....	19
II.6.2. Détermination du taux d'extrait sec total (EST).....	20
II.6.3. Détermination du taux de cendres.....	20
II.6.4. pH.....	20
II.6.5. Acidité titrable.....	20
II.6.6. Brix.....	21
II.6.7. Dosage des sucres totaux.....	21
II.6.8. Détermination de la teneur en matière grasse .....	21
II.6.9. Dosage de la chlorophylle.....	21
II.6.10. Rendement.....	22
II.7. Analyses phytochimiques des fromages élaborés.....	22
II.7.1. Dosage des substances bioactives.....	22
II.7.1.1. Polyphénols totaux.....	22
II.7.1.2. Flavonoïdes.....	23
II.7.2. Evaluation des activités antioxydantes.....	23
II.7.2.1. Activité scavenger du DPPH*.....	23
II.7.2.2. Test ABTS*.....	23
II.7.2.3. Test de FRAP.....	24
II.7.2.4. Test au molybdate d'ammonium.....	24
II.8. Caractérisation par infrarouge des fromages élaborés.....	24
II.9. Analyse microbiologique des fromages.....	24
II.10. Evaluation sensorielle.....	25
II.11. Etude statistique.....	25

### **III. Résultats et Discussion**

III.1. Analyses des poudres .....	27
III.1.1. Analyses physicochimiques .....	27
III.1.2. Analyse de la cytotoxicité des poudres.....	27
III.2. Analyses des fromages enrichis par les différents sous-produits.....	28
III.2.1. Analyses physicochimiques .....	28
III.2.2. Rendement.....	34
III.2.3. Analyses phytochimiques des fromages enrichis.....	34
III.2.4. Caractérisation par infrarouge des fromages élaborés.....	41
III.2.5. Analyses microbiologiques des fromages élaborés.....	43
III.2.6. Analyse sensorielle.....	45
III.2.6.1. Caractérisation du produit.....	45
III.2.6.2. Cartographie externe de préférence (PREFMAP).....	53
III.2.6.3. Cartographie de préférence PREFMAP.....	56
Conclusion et perspectives.....	58

Références Bibliographiques

Annexes

## Liste des abréviations

**ABTS** : Acide 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)

**ABTS<sup>•+</sup>** : Radical libre ABTS (Acide 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique))

**ACP** : Analyse en Composantes Principales

**AGS** : Acides gras saturés

**AOAC** : Association of Official Analytical Chemists (Association Officielle des Chimistes Analytiques)

**ATR** : Réflectance totale atténuée

**CAH** : Classification Ascendante Hiérarchique

**Cd%** : Teneur en cendre

**CE** : Equivalent Catéchine

**CPP X<sub>1</sub>%** : Fromage frais enrichi en cosses des petits pois a une concentration X<sub>1</sub>

**CPP X<sub>2</sub>%** : Fromage frais enrichi en cosses des petits pois a une concentration X<sub>2</sub>

**CPP X<sub>3</sub>%** : Fromage frais enrichi en cosses des petits pois a une concentration X<sub>3</sub>

**CPP X<sub>4</sub>%** : Fromage frais enrichi en cosses des petits pois a une concentration X<sub>4</sub>

**CPP**: Cosses des petits pois

**DPPH** : 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

**DPPH<sup>•</sup>** : Radical libre DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

**EST** : Extrait sec total

**FF** : Fromage frais

**FRAP** : Ferric Reducing Antioxydant Power (Pouvoir Antioxydant Réducteur Ferrique)

**FT** : Flavonoïdes totaux

**FT-IR** : Infrarouge à transformée de Fourier

**GAE** : Equivalent d'acide gallique

**GF X<sub>1</sub>%** : Fromage frais enrichi en gousses de fève a une concentration X<sub>1</sub>

**GF X<sub>2</sub>%** : Fromage frais enrichi en gousses de fève a une concentration X<sub>2</sub>

**GF X<sub>3</sub>%** : Fromage frais enrichi en gousses de fève a une concentration X<sub>3</sub>

**GF X<sub>4</sub>%** : Fromage frais enrichi en gousses de fève a une concentration X<sub>4</sub>

**GF:** Gousses de fève

**IR :** Infrarouge

**ISO:** International Standardization Organization

**JORA :** Journal Officiel République Algérienne

**Kcal :** Kilo calories

**MG :** Matière Grasse

**MS :** Matière sèche

**NPP :** Nombre le plus probable

**ONU :** Organisation des Nations Unies

**p value :** Valeur de probabilité

**PA X<sub>1</sub>% :** Fromage frais enrichi en pelures d'aubergine a une concentration X<sub>1</sub>

**PA X<sub>2</sub>% :** Fromage frais enrichi en pelures d'aubergine a une concentration X<sub>2</sub>

**PA X<sub>3</sub>% :** Fromage frais enrichi en pelures d'aubergine a une concentration X<sub>3</sub>

**PA X<sub>4</sub>% :** Fromage frais enrichi en pelures d'aubergine a une concentration X<sub>4</sub>

**PA :** pelures d'aubergine

**PREFMAP :** préférence Mapping

**PS:** Poids sec

**QE :** Equivalent quercetine

**Spp :** Plusieurs espèces

## Liste des figures

N°	Titre	Page
1	A- Petits pois ; B- Cosses de petits pois	4
2	A- Fèves ; B- Gousses des fèves	6
3	A- Aubergine ; B- Pelures d'aubergine	8
4	Schéma de base de fabrication des fromages frais	13
5	Représentation schématique de l'étape de préparation des poudres de cosses de petits pois, gousses de fèves et épluchure d'aubergine.	17
6	Représentation schématique de l'étape de préparation des fromages frais à enrichir.	17
7	Représentation schématique des étapes de l'enrichissement et du post-enrichissement.	18
8	<b>A</b> : Enrichissement du fromage frais par les cosses de petits pois ; <b>B</b> : Enrichissement du fromage frais par les gousses de fève ; <b>C</b> : Enrichissement du fromage frais par les pelures d'aubergine.	19
9	Teneurs en polyphénols totaux des fromages enrichis en poudre de <i>Pisum sativum</i> , <i>Vicia faba</i> et <i>Solanum melongena</i> .	36
10	Teneurs en flavonoïdes des échantillons de fromages enrichis en cosses de petit pois, de gousses de fève, et de pelures d'aubergine.	37
11	Inhibition du radical DPPH* des fromages enrichis en CPP, GF et PA.	38
12	Capacité antioxydante ABTS* des fromages enrichis en CPP, GF et PA.	39
13	Pouvoir réducteur (FRAP) des fromages enrichis en cosses de petit pois, de gousses de fève, et de pelures d'aubergine.	40
14	Test au molybdate d'ammonium des extraits de fromage enrichi avec les CPP, GF et PA.	41
15	Spectres de transmission FT-IR des fromages élaborés enrichis en poudre de coproduits.	42
16	Pouvoir discriminant par descripteur : (A) Fromages à base de CPP ; (B) Fromages à base de GF et (C) Fromages à base de PA	46
17	Coefficients des modèles des fromages enrichis en CPP.	47

18	Coefficients des modèles des fromages enrichis en GF.	49
19	Coefficients des modèles des fromages enrichis en PA.	50
20	Corrélation entre les variables et les facteurs des fromages aux CPP	54
21	Corrélation entre les variables et les facteurs des fromages aux GF	54
22	Corrélation entre les variables et les facteurs des fromages aux PA	54
23	Profil des classes créées des fromages (a) CPP, (b) GF et (c) PA	55
24	Carte de préférence PREFMAP pour les fromages enrichis en CPP.	56
25	Carte de préférence PREFMAP pour les fromages enrichis en GF	57
26	Carte de préférence PREFMAP pour les fromages enrichis en PA	57

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
I	Composition chimique des cosses de <i>Pisum sativum</i>	4
II	Composition chimique des gousses des fèves	6
III	Valeur nutritionnelle moyenne des fromages frais	10
IV	Effet de l'incorporation des fruits et légumes sur les caractéristiques de quelques fromages	12
V	Résultats de la composition en matières grasses et en fibres des poudres de CPP, GF et PA	27
VI	Pourcentage de la cytotoxicité des poudres à X <sub>4</sub> % de CPP, GF et PA	28
VII	Résultats d'analyses physicochimiques des fromages enrichis en poudre de <i>Pisum sativum</i> , <i>Vicia faba</i> et <i>Solanum melongena</i>	29
VIII	Les rendements fromagers	34
IX	Rendements d'extraction des extraits des fromages enrichis en poudre de <i>Pisum sativum</i> , <i>Vicia faba</i> et <i>Solanum melongena</i>	35
X	Résultat des analyses microbiologiques des fromages élaborés.	44
XI	Moyennes ajustées par produits (fromage enrichis en CPP)	51
XII	Moyennes ajustées par produits (fromage enrichis en GF)	52
XIII	Moyennes ajustées par produits (fromage enrichis en PA)	53

# *Introduction*

Le secteur agroalimentaire génère une grande quantité de sous-produits et de déchets, en raison de la transformation des plantes et des aliments. Ces matières résiduelles sont principalement composées de tissus végétaux rejetés, y compris les pelures, les graines, les enveloppes...etc., et peuvent causer des problèmes environnementaux s'ils ne sont pas gérés correctement. Ce qui a poussé l'industrie agroalimentaire à adopter des stratégies afin d'améliorer la rentabilité et de répondre à la demande des clients. La valorisation des déchets alimentaires est l'une des options à plus forte valeur ajoutée, elle est basée sur la reconnaissance du fait que la biomasse est une source abondante et peu coûteuse, riche en composés phytochimiques bioactifs (**Philippi et al., 2016**).

Les pelures de légumes contiennent divers principes bioactifs. Certains de ces substances ont été caractérisés en termes de structures chimiques et de propriétés biologiques. Les composés phytochimiques des légumes sont de puissants antioxydants et réduisent le risque de maladies chroniques. Les légumes sous toutes leurs formes garantissent un apport adéquat de la plupart des vitamines, des nutriments, ce qui peut rétablir un équilibre indispensable dans les régimes alimentaires, contribuer à résoudre bon nombre de ces problèmes nutritionnels et avoir ainsi des effets santé (**Gouda, 2015**).

Le fromage frais est un produit laitier dont l'importance économique dans l'industrie alimentaire ne cesse de croître. Il se caractérise par une saveur douce de crème et de beurre, un léger goût de lait aigre, une absence totale d'amertume, une texture crémeuse, une consistance qui varie de friable à tartinable et un aspect brillant. Sa versatilité permet de nombreuses applications dans le secteur alimentaire. Le fromage fournit une matrice adéquate pour ajouter des arômes, des fibres, des herbes, des condiments, de l'ail ou, par exemple, pour compléter avec des pré et probiotiques (**Pombo, 2021**).

C'est dans ce contexte que l'objectif de notre travail s'inscrit, notamment la formulation des fromages frais à valeurs ajoutées enrichis en cosse des petits pois, en gousses de fèves et pelures d'aubergine, afin d'améliorer leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles.

Pour se faire, une revue de la littérature est présentée sur les résidus de légumes utilisés et les différentes suppléments réalisées pour les fromages.

Le deuxième volet est axé sur l'élaboration de treize types de fromage frais à base de quantités différentes de cosse de petits pois, des gousses de fèves et de pelures d'aubergine.

En vu d'évaluer l'effet de l'incorporation de ces déchets, plusieurs analyses ont été réalisées : physicochimiques, phytochimiques et microbiologiques et pour terminer une évaluation sensorielle des fromages étudiés.

A la lumière des résultats obtenus, proposer différentes investigations et perspectives de recherches.

*Synthèse*  
*Bibliographique*

## I.1. Petits pois (*Pisum sativum*)

Le pois vert (*Pisum sativum*) est l'une des légumineuses les plus consommées au monde (**Barzegar et al., 2015**). Selon les statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (ONU), la production mondiale de pois verts en 2017 était d'environ 20,7 millions de tonnes, dont, dans l'ordre, la Chine, l'Inde, les États-Unis, la France, l'Allemagne, l'Italie et le Royaume-Uni, Égypte, Pakistan, Pérou et Algérie, comme principaux producteurs (**Faostat, 2017**). Les pois sont commercialisés à l'issue d'un processus de production simple au cours duquel les gousses sont séparées de leurs graines pour être transformées en graines congelées, mises en conserve, séchées ou fraîches (**Hadjout-Krimat et al., 2023 ; Zohary et Hopf, 2000**).

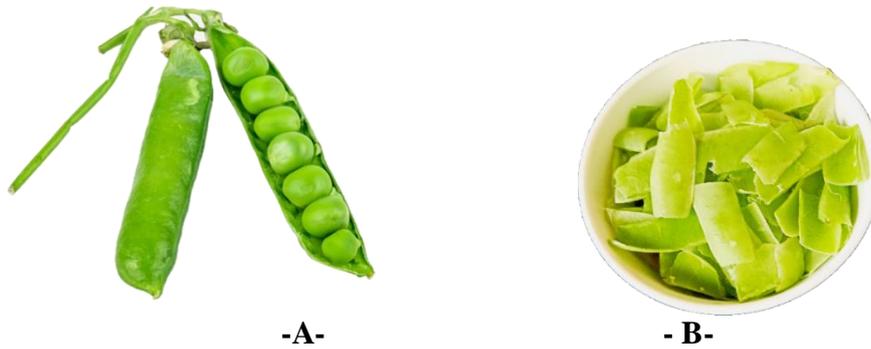
Les origines primaires du pois se situent vraisemblablement dans le Sud-Ouest d'Asie, Abyssinie en Afghanistan et les régions avoisinantes (**Zohary et Hopf, 2000**). À partir de ces centres, le pois se serait dispersé dans le reste de l'Europe, le reste de l'Asie et la méditerranée (**Kay, 1979**). *Pisum sativum* se trouve également dans tous les pays tempérés et dans la plupart des hautes terres tropicales (**Brink et Belay, 2006**).

### I.1.1. Description botaniques

*Pisum sativum* appartient à la famille des Fabaceae. C'est une culture annuelle, autogame et herbacée. La plante est dotée d'un système racinaire à pivot, relativement peu déployer et à racines secondaires, tertiaires et même quaternaires pouvant atteindre une profondeur d'un mètre dans des conditions où le sol est favorable. Ses feuilles sont alternes et se composées d'une à quatre paires de folioles sessiles. Les fleurs sont blanches, d'une longueur de 3 à 4 cm (**Marcel et al., 2002**). Les gousses produites sont allongées et renflées, remplies de graines rondes (**Couplan, 1998**).

### I.1.2. Cosses des petits pois

Les cosses des petits pois (CPP) sont des sous-produits issus de l'industrie de transformation des petits pois (**Figure 1**). Ces cosses représentent une riche source de diverses substances de grande valeur. Ces molécules, si elles sont issues d'une ressource à faible coût, comme les cosses de pois vert, ont un grand potentiel et peuvent trouver une application dans l'alimentation humaine, alimentation animale, cosmétiques et l'industrie pharmaceutique (**Mateos-Aparicio et al., 2010**).



**Figure 1.** A- Petits pois ; B- Cosses de petits pois.

### I.1.3. Composition chimique

Les cosses des petits pois sont très riches en fibres alimentaires, en protéines, en potassium, en fer et en composés phénoliques (Mateos-Aparicio et al., 2010). La composition des cosses de pois vert est résumée dans le tableau suivant :

**Tableau I :** Composition chimique des cosses de *Pisum sativum* (Mejri et al., 2019).

Composant	Teneur
Fibres	51 ± 4 (% PS)
Hydrates de carbone	28,2 ± 1 (% PS)
Protéines brutes	14,2 ± 0,2 (% PS)
Acide gras :	2,1 ± 0,2 (% PS)
Myristique (C14:0)	0,68 ± 0,22 (% PS)
Palmitique (C16:0)	21 ± 3 (% PS)
Margarique (C17:0)	0,76 ± 0,06 (% PS)
Stéarique (C18:0)	5 ± 0,3 (% PS)
Oléique (C18:1)	3,6 ± 0,6 (% PS)
Linoléique (C18:2)	35 ± 3 (% PS)
α-Linolénique (C18:3)	29 ± 2 (% PS)
Arachidique (C20:0)	2,4 ± 0,1 (% PS)
Benthique (C22:0)	1,6 ± 0,3 (% PS)
Lignocérique (C24:0)	0,79 ± 0,08 (% PS)
Cendres	4,5 ± 0,1 (% PS)
Potassium (K)	1200 ± 100 mg/100 (mg/100 g du PS)
Magnésium (Mg)	240 ± 20 (mg/100 g du PS)
Calcium (Ca)	130 ± 10 (mg/100 g du PS)
Sodium (Na)	84 ± 5 (mg/100 g du PS)
Fer (Fe)	10 ± 1 (mg/100 g du PS)
Zinc (Zn)	1,6 ± 0,1 (mg/100 g du PS)
Cuivre (Cu)	0,74 ± 0,04 (mg/100 g du PS)
Composés phénoliques totaux	32 ± 1 (mg GAE/g d'extrait)
Flavonoïde	22 ± 1 (mg QE/g d'extrait)
Tanins	48 ± 1 (µg CE/g d'extrait)
Valeur énergétique	210 ± 10 (Kcal/100 g)

#### **I.1.4. Intérêt nutritionnel et thérapeutique**

Selon **Mejri et al. (2019)**, Les cosses de pois ont le potentiel d'être utilisées comme aliments fonctionnels en raison de leurs quantités élevées de fibres, de minéraux essentiels, d'acides gras essentiels et de leur qualité lipidique élevée. Outre sa propriété de dénaturation des protéines qui reflète un effet anti-inflammatoire possible et son activité Anti Acétylcholinestérase, ce sous-produit a une forte activité antidiabétique et des effets protecteurs contre les dommages hépatiques, rénaux et reproductifs.

#### **I.2. Fève (*Vicia faba*)**

La fève est une culture d'hiver importante dans les régions méditerranéennes. Elle est considérée comme l'un des aliments végétaux les plus importants pour les habitants du Nil et est un aliment populaire largement consommé au Moyen-Orient, en Afrique du Nord et en Amérique du Sud. Autrefois, Dans le passé, la peau tendre des gousses de fèves était également utilisée dans certains plats spécifiques, diversifiant ainsi le régime alimentaire (**Kalili et al., 2021 ; Chaux et Foury, 1994**).

La fève (*Vicia faba* L.) est l'une des plus anciennes plantes du monde. Cette espèce est originaire des régions méditerranéennes du Moyen Orient. Des restes de cette culture ont été trouvés à Jerico « Palestine » et qui remontent à 6000 ans. De ce fait, elle est considère comme l'une des plus vieilles espèces légumières cultivées (**Bengouga, 2018**).

##### **I.2.1. Description botaniques**

L'espèce *Vicia* appartient à la famille des légumineuses, à la sous-famille des papilionacées, et à la tribu des viciées (**Boyeldieu, 1991**). C'est une plante dicotylédone, herbacée annuelle ayant une tige simple, dressée, creuse et de section quadrangulaire, sans ramification d'une hauteur dépassant un mètre (**Peron, 2006**).

Les feuilles, alternes de couleur vert glauque ou grisâtre, composées-pennées, sont constituées par 2 à 4 paires de folioles amples et ovales (**Chaux et Foury, 1994**).

Cette plante possède des inflorescences en grappe de 4 à 5 fleurs en moyenne, situées à l'aisselle des feuilles (**Maoui et al., 1990**). Les fleurs sont de couleur blanche ou faiblement violacée (**Chaux et Foury, 1994**). Les fruits sont des gousses noircissant une fois mature (**Laumonier, 1979**). Les graines sont charnues, vertes et tendres à l'état immature, à complète maturité, elle développe un tégument épais et coriace de couleur brun-rouge, à blanc verdâtre (**Chaux et Foury, 1994**).

### I.2.2. Gousses de la fève

Les gousses de fève (GF) sont les principaux sous-produits de la transformation domestique et industrielle des fèves (Figure 2). Elles constituent une source intéressante d'ingrédients précieux (notamment de fibres alimentaires) qui pourraient présenter de nombreux avantages pour la consommation humaine et améliorer la rentabilité de ce sous-produit (Fazio *et al.*, 2020).



Figure 2. A- Fèves ; B- Gousses des fèves.

### I.2.3. Composition chimique

Selon Kalili *et al.* (2021), GF sont riches en macro et micronutriments et en substances bioactives, ce qui démontre leur contribution potentielle à l'alimentation humaine et à la sécurité nutritionnelle. La composition des gousses de fève est résumée dans le tableau suivant :

Tableau II : Composition chimique des gousses des fèves (Kalili *et al.*, 2021).

Composant	Teneur
Eau	87,31 ± 0,25 %
Protéines	29,11 ± 3,20 g/100 du PS
Cendres :	4,67 ± 1,03 g/100 du PS
Potassium	1946,8 ± 4,61 mg/100 g du PS
Phosphore	483,8 ± 3,14 mg/100 g du PS
Calcium	(399.6 ± 2.25) mg/100 g du PS
Composés phénoliques totaux	49,5 à 594,4 mg GAE/ g d'extrait
Flavonoïdes	0,7 mg à 3,4 mg QE/g d'extrait
Tanins	4,9 mg à 73,91 mg TAE/g d'extrait

### I.2.4. Intérêt nutritionnel et thérapeutique

Plusieurs données indiquent que les GF sont une source intéressante de sucres solubles, d'acides gras, de minéraux, de protéines et, également, de fibres alimentaires (Fazio *et al.*, 2020) et de principes actifs importants comme, par exemple, les flavonoïdes et les polyphénols. Ces

derniers possèdent des propriétés de promotion de la santé et de prévention de différentes maladies chroniques-dégénératives, y compris le cancer. Il a également été rapporté que plusieurs flavonoïdes isolés de ses gousses réduisaient la viabilité des cellules cancéreuses du sein, induisant une apoptose dépendante des mitochondries (**Ceramella et al., 2022**). Les GF peuvent être une bonne source pour l'extraction de nutraceutiques, tels que les glucanes et les pectines (**Fazio et al., 2020**).

### **I.3. Aubergine (*Solanum melongena*)**

L'aubergine (*Solanum melongena*) est un légume répandu dans le monde entier et est considérée comme l'un des dix premiers légumes présentant une capacité élevée d'absorption des radicaux d'oxygène (**Philippi et al., 2016**).

L'aubergine est cultivée depuis des siècles en Asie, Afrique, Europe et proche-orient (**FAOSTAT, 2017**). Cette espèce est communément appelée brinjal en Inde, son lieu d'origine, et est également appelée aubergine aux États-Unis et en Europe. Bien qu'elle soit originaire de l'Inde, elle est actuellement cultivée au Japon, en Indonésie, en Chine, en Bulgarie, en Italie, en France, aux États-Unis et dans de nombreux pays africains (**Gouda, 2015**).

#### **I.3.1. Description botanique**

Les aubergines appartiennent à la famille des Solanacées. C'est des plantes primitives, hautes avec de grandes feuilles épineuses. Les fruits sont petits, verts, amers, à peau épaisse et à chair dure. La couleur des légumes varie du violet clair au violet foncé, presque noir, vert ou blanc. La longueur de ce légume est comprise entre 4 et 45 cm et son épaisseur entre 2 et 35 cm. Les légumes sont isolés ou groupés en grappes, avec jusqu'à 5 légumes. Physiologiquement, les légumes mûrs deviennent bruns, rouges ou jaunes (**Swarup, 1995**).

#### **I.3.2. Pelures d'aubergine**

Les pelures d'aubergine (PA) sont le principal sous-produit de ce légume (Figure 3). Ils sont essentiellement générés par les secteurs de la transformation alimentaire tels que les usines de mise en conserve de légumes (lors de la production de divers produits d'aubergine en conserve tels que la farine d'aubergine, l'aubergine marinée, l'aubergine farcie, etc.) et éliminés dans les décharges comme un déchet (**Kazemi et al., 2019**).



**Figure 3.** A- Aubergine ; B- pelures d'aubergine.

### I.3.3. Intérêt nutritionnel et thérapeutique

Les pelures d'aubergine sont riches en protéines, en fibres brutes, en cendres, en vitamines, en minéraux et en composés phytochimiques (**Gouda, 2015**). L'utilisation de ces composants dans les formulations alimentaires a des effets bénéfiques sur la santé humaine, tels que des activités antioxydantes, anticancéreuses, anti-athérosclérose, anti-inflammatoires, antigrippales et prébiotiques. (**Kazemi et al., 2019**). Selon **Philippi et al. (2016)** Les polyphénols de l'aubergine principalement de la peau, présentent aussi des avantages pour la santé et plusieurs propriétés pharmacologiques en plus de l'activité antioxydante, telles que l'hépatoprotection, l'anti-inflammation, l'hypolipidémie, l'antiallergique et anticancéreuses.

### I.4. Valorisation des sous-produits

Selon plusieurs auteurs, la valorisation des déchets revêt une grande importance de point de vue économique et écologique.

Selon **Moletta (2013)**, la valorisation des déchets permet de diminuer le volume des déchets ultimes, réduire le potentiel polluant du déchet dans des conditions contrôlées, résoudre le problème de pollution, améliorer les propriétés agronomiques des matières organiques et diminuer leurs impacts environnementaux et sanitaires.

La valorisation a également une grande importance du point de vue économique. Selon **Addou (2009)**, la valorisation permet de donner de la valeur financière à un matériau usagé, une économie de matières premières et même de réaliser un nouveau matériau ou produit de qualité égale ou supérieure.

## **I.5. Fromage**

### **I.5.1. Historique**

Le fromage est l'une des formes les plus anciennes d'aliments manufacturés. On pense que la fabrication de ce produit laitier remonterait à 10 000 ans avant J.-C., lorsque les brebis et les chèvres ont été domestiquées au Moyen-Orient et leur lait aurait été consommé (**Fox et al., 1996**). Il est probable que les tribus nomades, du Moyen-Orient à l'Europe occidentale, en passant par l'Asie du Sud et l'Asie centrale, aient trouvé des sacs en peau d'animal un moyen utile de transporter le lait sur les animaux. La fermentation des sucres du lait faisait cailler le lait et le mouvement de balancement brisait le caillé et fournissait un caillé solide et un lactosérum buvable. Le caillé était retiré, égoutté et légèrement salé pour donner un aliment savoureux et nourrissant à haute teneur en protéines. Les Romains ont ensuite élevé cette méthode de fabrication du fromage brut à un semblant de technologie et l'ont répandue dans diverses régions d'Europe (**Vedamuthu et Washam, 1983**).

A l'heure actuelle, le fromage a des formes et des goûts très différents selon l'origine du lait (vache, brebis, chèvre, etc.) et la technologie appliquée. Ainsi, plus de 1000 variétés de fromages ont été identifiées (**Lapointe-Vignola, 2002**). Bien que le lait soit pratiquement le même dans le monde entier, la diversité des textures, des goûts et des arômes des fromages est presque infinie, et pratiquement tous les fromages peuvent être fabriqués n'importe où dans le monde. Les nuances de texture et de goût sont toutefois déterminées par la matière première : le type et la race de l'animal, le sol, le pâturage, le climat, le microclimat, et l'habileté du fromager (**Harbutt, 1999**).

### **I.5.2. Définition et réglementation**

La dénomination « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur minimale en matière sèche du produit ainsi défini doit être de 23g/100g de fromage (**JOFR, 2007**).

Les fromages frais sont des produits laitiers qui résultent d'une coagulation lente du lait par action de l'acidification combinée ou non à une faible quantité de présure, ils sont fabriqués à partir de laits additionnés ou non de crème propres à la consommation humaine. Les fromages

frais présentent une grande diversité selon le degré d'égouttage du coagulum et la teneur en matière grasse du lait mis en œuvre. Les différents fromages à pâte fraîche sont caractérisés par un caillé non pressé ayant une teneur élevée en eau, une courte durée de conservation et des produits à consommer sans période de maturation (Eck et Gillis, 2006 ; Corrieu et Luquet, 2005 ; Luquet, 1990).

### I.5.3. Composition et valeur nutritive du fromage frais

Ils sont très riches en eau et en protéines de qualité. La teneur en glucide est généralement minime tandis que le contenu en matières grasses (surtout composés d'acide gras saturés) et en calories connaît de grandes fluctuations. La valeur nutritive du fromage frais varie selon la teneur en matières grasses du lait utilisé et le procédé de fabrication. En raison de cette composition, le fromage frais présente une valeur biologique et nutritionnelle élevée, en proposant un bon apport en protéines, en calcium et en vitamines A et D. Ainsi ce produit laitier convient parfaitement aux enfants, aux adolescents, aux femmes en période de grossesse et aux personnes âgées. En outre, leur faible apport en glucides est idéal pour les personnes diabétiques. La valeur nutritionnelle moyenne de fromage frais est représentée dans le tableau N°III

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

Composition	Valeur nutritionnelle
Eau	79 g
Energie	118 kcal/100g
Glucides	4 g/100g
Lipides	17 g/100g
Acides gras saturés (AGS)	12 g/100g
Protéines	9 g/100g
Sodium	520 mg/100g
Calcium	95 mg/100g
Phosphore	140 mg/100g

### I.5.4. Différents enrichissement de Fromages

Face à l'exigence du consommateur qui demande de plus en plus des produits sains, notamment des fromages, plusieurs recherches se sont orientées vers la formulation du fromage à base d'additifs naturels (Salehi, 2021).

Le tableau ci-dessous contient une pléthore d'applications de produits à base de fruits et légumes dans les fromages. Certains chercheurs ont étudié l'enrichissement de Certains fromages par différents nutriments et diverses sources de fibres alimentaires.

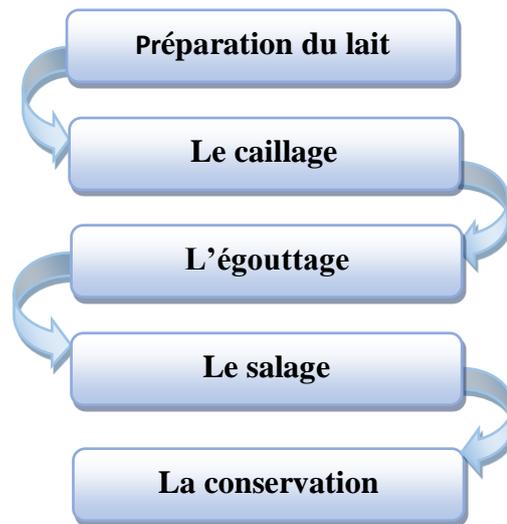
**Tableau IV** : Effet de l'incorporation des fruits et légumes sur les caractéristiques de quelques fromages

Type de fromage	Fruit ou légume	Concentrations incorporées	Pourcentage suggéré	Résultats	Références
Fromage frais	Poudre de romarin et extrait de romarin	Poudre : 0,25 %, 0,5 %, 0,75%, Extrait : 0,25 %, 0,75 %	0,75% de poudre de romarin	Cette supplémentation a permis l'obtention d'un produit final présentant des caractéristiques phénoliques et une capacité antioxydante améliorées par rapport au contrôle	<b>Himed-Idir et al., 2021</b>
Fromage (à pâte molle)	Poudre d'épinard	0,5 %, 1 %, 1,5 % et 2 %	0,5 % et 1 %	L'acidité et Les teneurs totales en solides et en protéines des échantillons de fromage ont été considérablement augmentées avec l'utilisation de la poudre d'épinard.	<b>El-Sayed, (2020)</b>
Fromage	Sésame	1 %, 3 % et 5 %	3 %	Les caractéristiques sensorielles du fromage se sont avérées les meilleures caractéristiques sensorielles à la dose de 3 % de graines de sésame par rapport aux doses de 1 % et 5 %.	<b>Slozhenkina et al. (2019)</b>
Fromage (fromage blanc )	Extraits de tomate	0,5 %, 1 %, 1,5 % et 2 %	2 %	Les scores d'évaluation sensorielle pour la jaunisse, le goût de tomate et la dureté du fromage étaient considérablement plus élevés. goût de tomate et la dureté du fromage étaient considérablement plus élevés après enrichissement avec des extraits de tomate (microcapsules en poudre). microcapsules).	<b>Jeong et al. (2017)</b>
Fromage frais	Extraits de raisin	%, 0,1 %, 0,2 % et 0,3 %	/	La synérèse des gels de lait diminue avec l'augmentation des concentrations d'extraits de raisin. d'extraits de raisin, ce qui a permis d'obtenir un fromage à fromage à forte teneur en eau.	<b>Da Silva et al. (2016)</b>
Fromage (à pâte demi-dure)	Marc de raisin	0,8 % et 1,6 %	1,6 %	Avec l'ajout de poudres de marc de raisin dans les fromages, l'activité antioxydante et la teneur en composés phénoliques dans tous les échantillons enrichis ont augmenté.	<b>Marchiani et al., (2016)</b>
Fromage fondu à tartiner	Pâte de carotte	5%, 10%, et 15%	15%	L'utilisation de pâte de carotte dans le fromage améliore sa qualité, son activité antioxydante, sa teneur en vitamine A et son rapport Na/K par rapport à l'échantillon de contrôle.	<b>Mohamed et al., (2016)</b>
fromage en poudre	Brocoli	3 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 % et 50 %	20 %	Tous les échantillons (mélange de poudre de brocoli et de fromage) contenaient plus de polyphénols totaux que les échantillons de fromage conventionnel.	<b>Sharma et al. (2011)</b>
chhana (Fromage frais indien)	Pâte de carotte	0%, 10%, 20%, 30%, 40%, et 50%	30%	L'ajout de carottes dans le chhana réduit le taux de formation d'acides, diminue la formation d'acides gras libres et la capacité d'absorption du Rasgulla (boule de fromage sucrée et sirupeuse) et confère une stabilité à la couleur.	<b>Bandyopadhyay et al. (2008)</b>

### I.5.5. Processus de fabrication du fromage Frais

Les fromages frais sont fabriqués à partir d'un lait chauffé et refroidi dans lequel est ajouté un ferment lactique et/ou de la présure ; enzyme issue de la caillette de veau ; qui va provoquer la coagulation. Le petit-lait en excès est ensuite égoutté, le caillé obtenu est salé et moulé (**Jeantet et al., 2007**).

La figure ci-dessous représente le diagramme de base de fabrication des fromages frais.



**Figure 4.** Schéma de base de fabrication des fromages frais.

*Matériel*  
*et Méthodes*

Etant donné que les cosSES de petits pois, les gousses de fèves et les pelures d'aubergines sont générées en quantités énormes par les industries agro-alimentaires et qu'elles sont riches en protéines, en fibres, en antioxydants et en minéraux (Kalili et al., 2021 ; Fazio et al., 2020 ; Kazemi et al., 2019 ; Mejri et al., 2019 ; Mateos-Aparicio et al., 2010), elles peuvent éventuellement constituer des matrices intéressantes pour enrichir un produit laitier fermenté, en vue, d'une amélioration de sa qualité à la fois nutritionnelle et organoleptique. De ce fait, augmenter ces atouts pour la santé humaine et surmonter les impacts environnementaux engendrés par ces déchets.

Mais quelles sont les conditions qu'il faut fournir pour élaborer un produit à valeur ajoutée ?

La réponse à cette question fera donc l'objet du développement du sujet de cette étude expérimentale : Le présent travail se penche sur la formulation des fromages frais, enrichis par les poudres des légumes citées à différentes concentrations ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  et  $X_4$  %). La qualité de ces fromages est évaluée par des analyses physico-chimiques, phytochimiques, microbiologiques, mesure du pouvoir antioxydant et pour terminer une évaluation sensorielle des fromages (enrichis et non enrichis) est réalisée. Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire de Biochimie, Biophysique, Biomathématiques et Scientométrie de l'université A/Mira Bejaia.

## II.1. Matériel végétal et sa préparation

Les échantillons de petits pois, de fèves et d'aubergines proviennent du marché local de Bejaia. Ces matrices ont été lavés, égouttés, épluchés ou écosés, puis leurs sous-produits ont été découpés et séchés à différentes températures dans une étuve ventilée (Mammert, Allemagne) :

- Les cosSES de petits pois et les épluchures d'aubergine à 40 °C pendant 18 heures;
- Les gousses de fèves à 60 °C pendant 08 heures.

Les sous-produits séchés ont été réduits en poudre à l'aide d'un broyeur (Siyo Lux, Chine), ensuite tamisés à l'aide d'un tamis (Retsch, Allemagne) pour garder que la poudre fine ( $\varnothing < 250\mu\text{m}$ ), puis stockés dans des flacons hermétiquement fermés à -16°C jusqu'à leur utilisation ultérieure.

## II.2. Analyses physico-chimiques des poudres des matrices végétales

### - Taux de matière grasse

Le taux de matières grasses a été déterminé selon la méthode de **Herch et al. (2014)** où 2 g d'échantillons étudiés ont été dilués dans 10 mL d'eau distillée puis additionnés de 20 mL d'hexane suivi d'une agitation pendant 30 min. Les différentes phases du mélange ont été séparées par décantation. Les phases hexaniques obtenues ont été séchées. Les masses résiduelles sont considérées comme étant les taux de matière grasse.

Le taux des MG est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{MG\%} = (\text{poids du résidu} / \text{poids de l'échantillon}) * 100$$

### -Taux de fibres

Une quantité d'échantillon (0,1g) a été digérée pendant 30 min avec 10 mL d'acide chlorhydrique (5%) puis le mélange a été filtré et lavé avec de l'eau chaude. Le résidu a été digéré avec 10 mL d'hydroxyde de sodium (5%) sous reflux pendant 30 min, le mélange a été filtré et lavé à l'eau. Le résidu a ensuite été lavé avec 1 mL d'alcool éthylique et 1 mL d'éther éthylique, puis il a été séché à 100°C pendant 2 h et la masse résiduelle a été considérée comme des fibres (**Mekhoukhe et al., 2018**).

Le taux de fibre est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Fibre \%} = (\text{poids du résidu} / \text{poids de l'échantillon}) * 100$$

L'humidité, le pH, le taux de cendres, le taux de protéines et le taux de sucre totaux des poudres de CPP, GF et PA ont été analysés ultérieurement.

## II.3. Analyse de la cytotoxicité

Le protocole suivi pour déterminer le niveau de toxicité des poudres utilisées dans notre étude est celui de **Pagano et Faggio (2015)**.

Les poudres de CCP, GF et PA ont été suspendues dans une solution d'eau physiologique (0.9%) dont on diminue progressivement la concentration et en mesurant la fraction de cellules qui subissent une lyse osmotique. Les échantillons de sang libèrent l'hémoglobine contenue dans les globules rouges. La concentration de cette protéine dans les

surnageant a été déterminée par photométrie à 540 nm. L'absorption du surnageant d'érythrocytes lysés dans l'eau distillée a été définie comme étant une hémolyse à 100 %.

Le pourcentage d'hémolyse a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Hémolyse \%} = (\text{Abs échantillon} / \text{Abs érythrocytes dans l'eau}) * 100$$

Le degré de cytotoxicité *in vitro* de l'activité hémolytique est évalué à l'aide du taux d'hémolyse observé : 0% à 9% = non toxique ; 10% à 49% = légèrement toxique ; 50% à 89% = toxique et 90% à 100% = hautement toxique.

#### II.4. Etude préliminaire

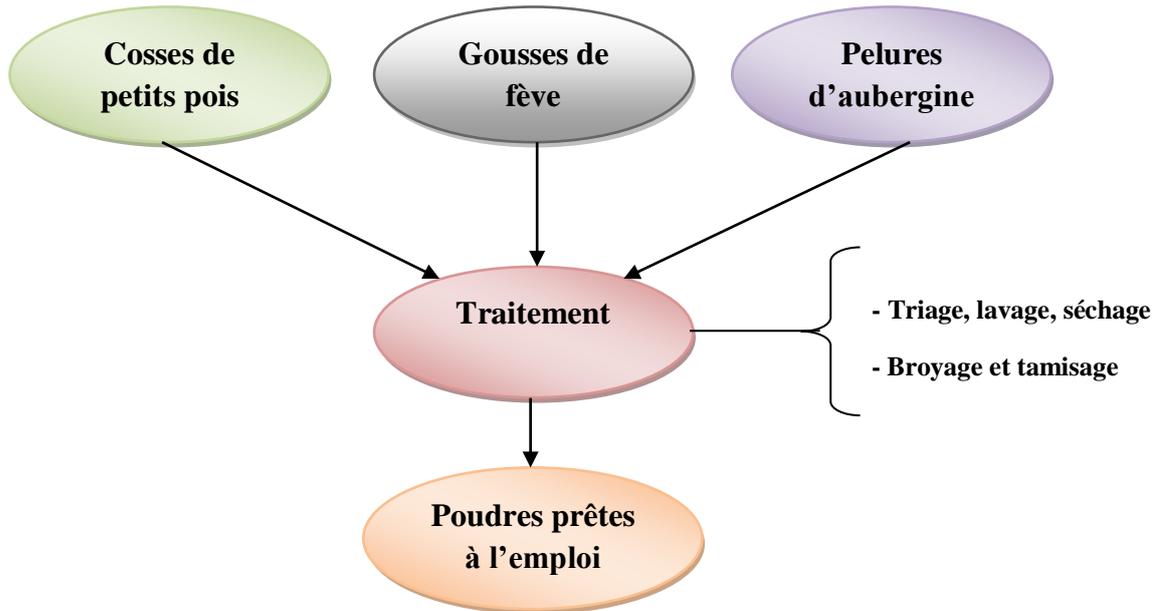
Notre étude préliminaire est basée sur les travaux ultérieurs de plusieurs chercheurs associés ou non à l'université de Bejaia notamment **Himed-Idir et al. (2021)**, **Jeong et al. (2017)**, **Da Silva et al. (2016)**...etc.

Afin d'adopter une recette de fromage frais à préparer et les différents pourcentages de poudres de plantes à additionner, des tests de formulation ont été menés en variant plusieurs paramètres notamment la quantité de poudre de sous-produits ajouté, le moment de l'enrichissement (avant ou après emprésurage)...etc. Tout en fixant les autres paramètres à savoir le type de lait, la qualité du coagulant fermentaire, le temps d'incubation et d'égouttage.

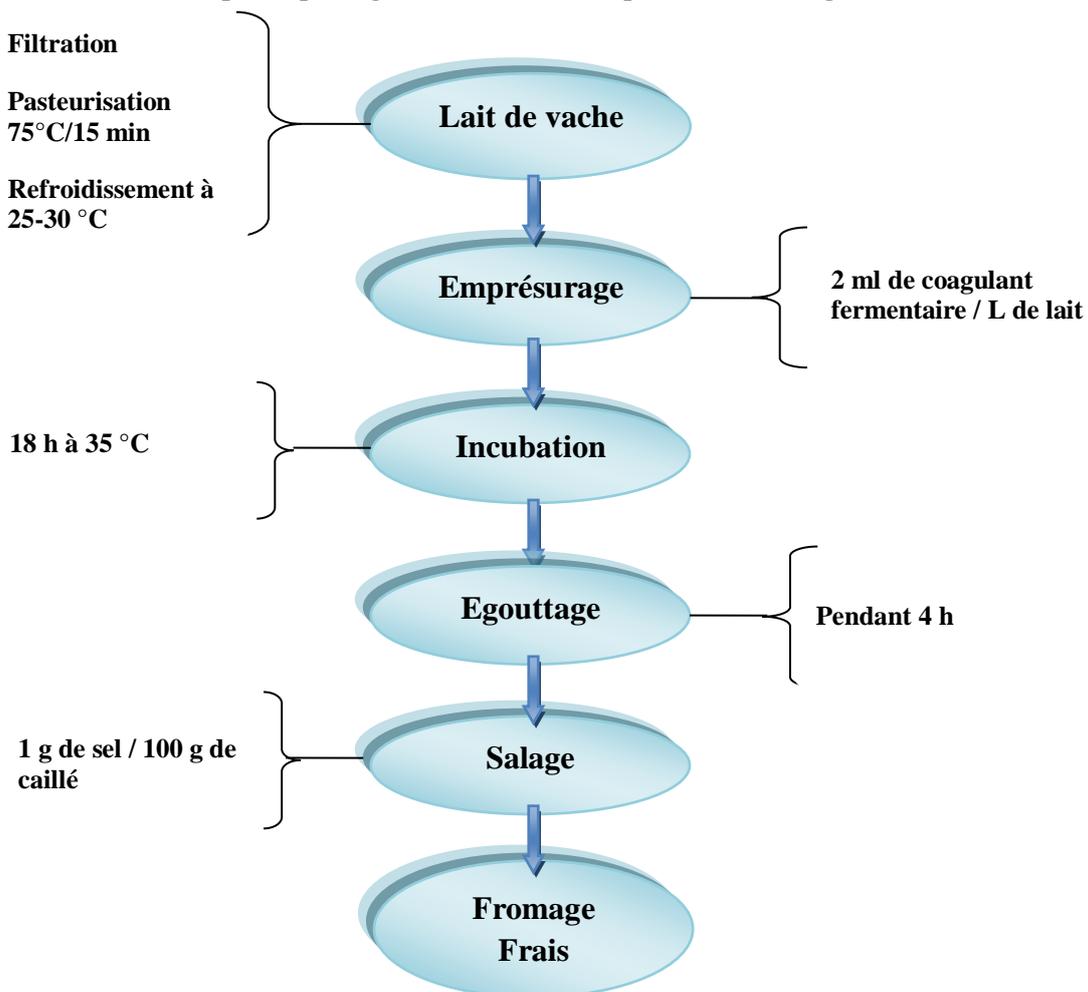
#### II.5. Elaboration des fromages enrichis

Les fromages frais utilisés dans cette étude ont été fabriqués au niveau du laboratoire de Biochimie, Biophysique, Biomathématiques et de Scientometrie de l'université A/Mira de Bejaia : 01 fromage témoin, 04 fromages enrichis en cosse de petits pois à différente concentration ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  et  $X_4$  %), 04 fromages enrichis en gousses de fève à différente concentration ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  et  $X_4$  %) et 04 fromages enrichis en pelures d'aubergine à différente concentration ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  et  $X_4$  %).

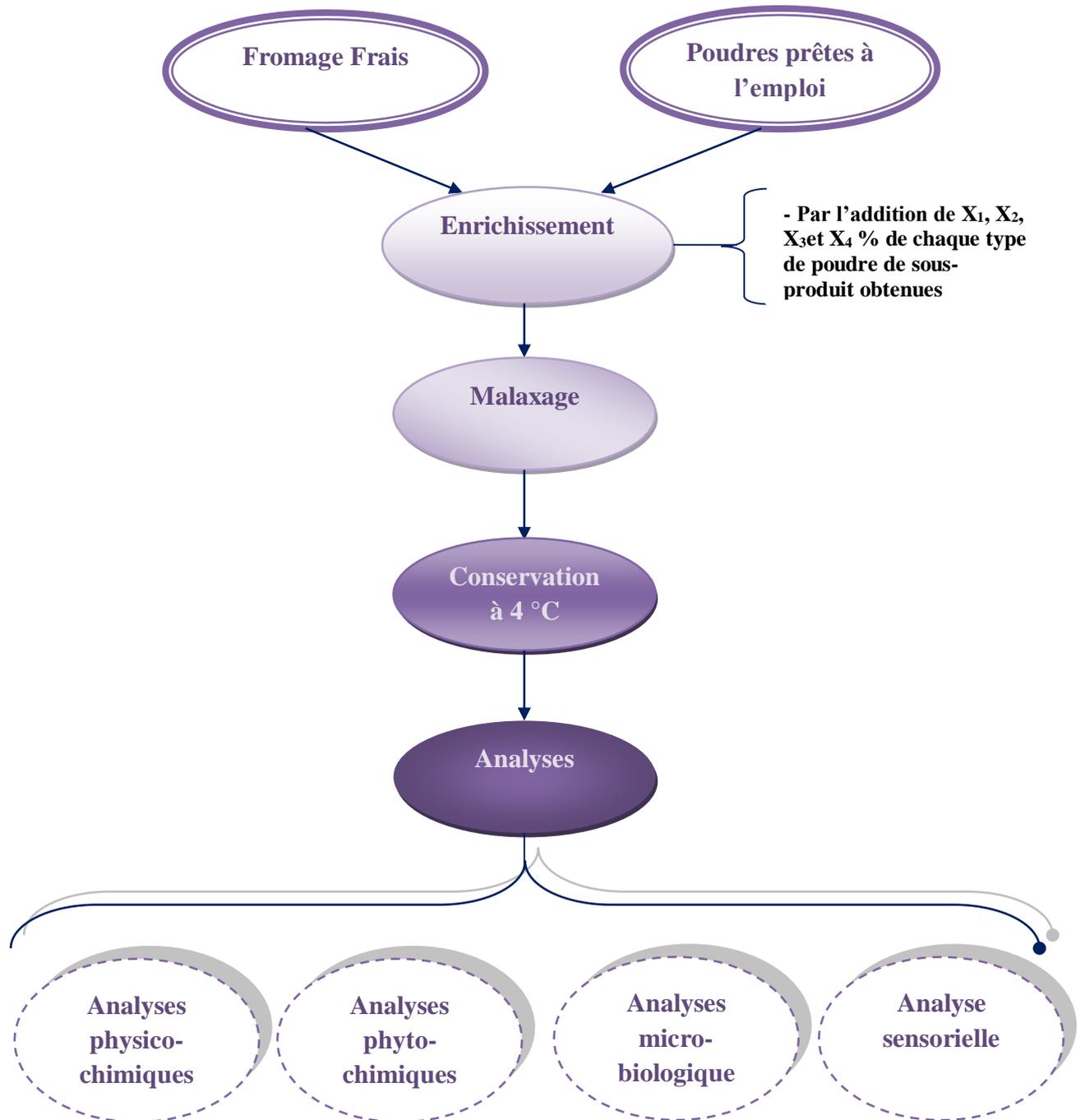
Les échantillons de fromage ont été conservés dans des boîtes à 4°C. Notre démarche expérimentale est résumée à travers les diagrammes illustrés dans les figures 5,6 et 7.



**Figure 5.** Représentation schématique de l'étape de préparation des poudres de cosses de petits pois, gousses de fèves et pelures d'aubergine.

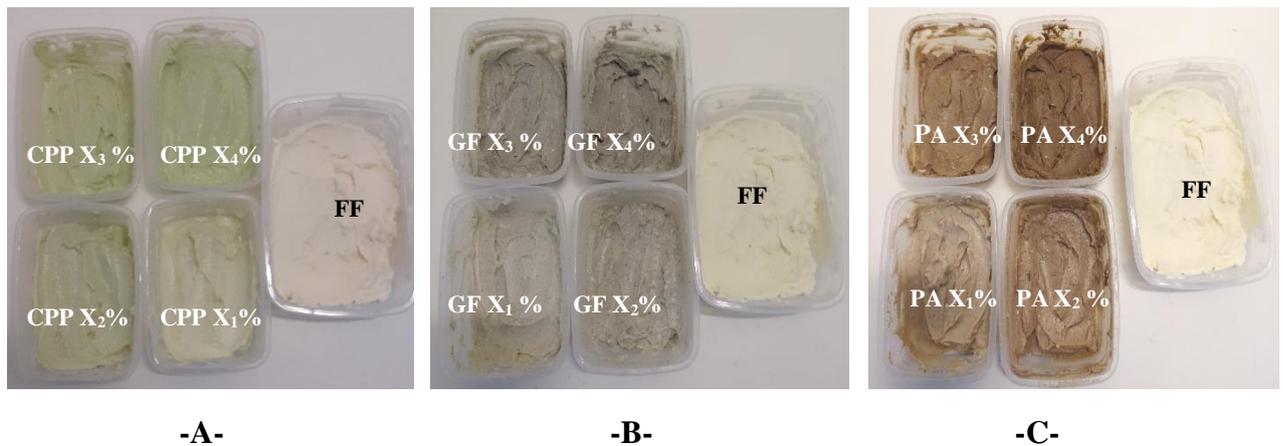


**Figure 6.** Représentation schématique de l'étape de préparation des fromages frais.



**Figure 7.** Représentation schématique des étapes de l'enrichissement et du post-enrichissement.

Les différents enrichissements réalisés sont illustrés dans les figures 8 :



**Figure 8. A :** Enrichissement du fromage frais par les cosses de petits pois ;

**B :** Enrichissement du fromage frais par les gousses de fève ; **C :** Enrichissement du fromage frais par les pelures d'aubergine.

Où : FF : Fromage frais ;

CPP X<sub>1</sub>% ; CPP X<sub>2</sub>% ; CPP X<sub>3</sub>% et CPP X<sub>4</sub>% : Fromages frais enrichis en cosses des petits pois a une concentration X<sub>1</sub> ; X<sub>2</sub> ; X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>.

GF X<sub>1</sub>% ; GF X<sub>2</sub>% ; GF X<sub>3</sub>% et GF X<sub>4</sub>% : Fromages frais enrichis en gousses de fève a une concentration X<sub>1</sub> ; X<sub>2</sub> ; X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>.

PA X<sub>1</sub>% ; PA X<sub>2</sub>% ; PA X<sub>3</sub>% et PA X<sub>4</sub>% : Fromages frais enrichis en pelures d'aubergine a une concentration X<sub>1</sub> ; X<sub>2</sub> ; X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>.

## II.6. Analyses physico-chimiques des fromages élaborés

### II.6.1. Test d'humidité

L'humidité d'un échantillon est la quantité d'eau libre qu'il contient, déterminée selon la méthode **AOAC (1990)**.

- 3 boîtes de Pétris contenant (2g) de chaque échantillon des fromages élaborés ont été placées dans une étuve ventilée à 105°C jusqu'à un poids constant.

Les résultats de la teneur en humidité ont été exprimés en pourcentage à l'aide de la formule suivante :

$$H\% = (P_0 - P_1 / P) * 100$$

Où :

H : Humidité.

P<sub>0</sub> : Masse de la boîte de Petri + échantillon avant chauffage (g).

P<sub>1</sub> : Masse de la boîte de Petri + de l'échantillon après chauffage (g).

P : Masse de l'échantillon testé (g).

### II.6.2. Détermination du taux d'extrait sec total (EST)

Selon AOAC (1990), EST est la quantité de matière sèche totale contenue dans un volume de produit, elle est déduite à partir de l'humidité, elle est exprimée en pourcentage et est égale à

$$\text{Extrait sec total} + \text{l'humidité} = 100$$

$$\text{Extrait sec total} = 100 - \text{l'humidité}$$

### II.6.3. Détermination du taux de cendres

La détermination du taux de cendres d'un échantillon donné consiste à le faire calciner dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une cendre blanche à grise (NF V05113, 1972). Trois creusets en porcelaine contenant 1 g d'échantillon de chaque sous-produit ont été placés dans un four (Nabertherm, Allemagne) réglé à 900 °C pendant 1h30 min.

La teneur en cendre est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{CD\%} = ((M1-M2) / P) \times 100$$

Sachant que :

**Cd%** : Teneur en cendre.

**M1** : Masse du creuset + cendre en (g)

**M2** : Masse du creuset vide (g)

**P** : Masse de la prise d'essai (g)

### II.6.4. pH

Le pH des fromages élaborés a été mesuré par immersion directe de la sonde pH dans les échantillons à analyser.

### II.6.5. Acidité titrable

L'acidité titrable a été réalisée selon le protocole décrit par Shori et Baba (2013). Une quantité de chaque fromage (1g) a été additionnée à 10mL d'eau distillée, la solution obtenue a été homogénéisée. Pour déterminer l'acidité de chaque échantillon, quelques gouttes de phénolphaléine ont été ajoutées à la solution préparée puis le titrage est effectué avec une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1N) jusqu'au virage de couleur.

$$\text{Acidité titrable (\% de l'acide lactique)} = \text{Facteur de dilution} * V_{\text{NaOH}} * N * 0,009 * 100$$

Où :

**Facteur de dilution** :  $10^{-1}$  dans le cas du fromage

$V_{\text{NaOH}}$  : chute de burette (mL)

**N** : normalité de NaOH (0,1N)

**0,009** : Coefficient correspondant à l'acide lactique.

#### II.6.6. Brix

Le degré Brix est déterminé à l'aide d'un réfractomètre (Atago, Tokyo, Japon). Il représente la matière sèche soluble présente dans l'échantillon et est corrélé à la teneur en sucres (**Roussos et al., 2011**).

#### II.6.7. Dosage des sucres totaux

Le dosage des sucres totaux solubles a été réalisé par la méthode de **Dubois et al. (1956)**.

Avant de procéder au dosage des sucres totaux, une étape préalable d'extraction à l'éthanol à 80% a été réalisée : 10mL d'éthanol à 80% ont été additionnés à 0,25g de chaque type de fromage obtenu. Les mélanges ont été agités pendant 2h à température ambiante puis filtré et conservé à 4°C. 1mL d'extrait a été additionné à 500  $\mu\text{L}$  de phénol (5%) et à 2,5mL de solution d'acide sulfurique concentrée ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Le mélange a été chauffé au bain marie à 30 °C pendant 20 min. Après refroidissement dans la glace fondante, la densité optique a été mesurée à 490 nm contre un blanc. Les quantités sont exprimées en mg/g de poids sec, par rapport à une gamme d'étalonnage de glucose.

#### II.6.8. Détermination de la teneur en matière grasse par la méthode de GERBER

Dans des godets, 3 g de fromage de chaque échantillon ont été pesés. Les godets ont été placés dans le butyromètre et l'acide sulfurique (70 %) a été ajouté, le tout a été incubé dans un bain marie à 70°C pendant 60 minutes. Après incubation, 01 mL d'alcool iso-amylque a été additionné et le mélange a été centrifugé pendant 10 minutes à 5000 tr/min.

La lecture se fait directement sur l'échelle du butyromètre en g/L.

#### II.6.9. Dosage de la chlorophylle

0,5 g de fromage a été ajouté à 10 mL d'acétone à 80 %. Le mélange a été centrifugé pendant 5 min à 2500 RPM. La lecture des absorbances a été faite à 662, 645 et 470 nm. Ce protocole utilisé est celui décrit par **Smith (2006)**.

Les résultats ont été calculés à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Chlorophylle A (CA) } (\mu\text{g/mL}) = 11,24 * \text{Abs}_{662} - 2,04 * \text{Abs}_{645}$$

$$\text{Chlorophylle B (CB) } (\mu\text{g/mL}) = 20,13 * \text{Abs}_{645} - 4,19 * \text{Abs}_{662}$$

$$\text{Chlorophylle totale (mg/g)} = \text{chlorophylle A} + \text{chlorophylle B}$$

### II.6.10. Rendement

Le rendement est la quantité de fromage produite à partir d'une quantité de lait.

Le calcul du rendement a été réalisé par la méthode de **Parafati et al. (2021)** et se fait selon la formule suivante :

$$\text{Le rendement} = (\text{poids du fromage} / \text{poids du lait}) * 100$$

## II.7. Analyses phytochimiques des fromages élaborés

### II.7.1. Dosage des substances bioactives

La quantification des principes actifs est précédée par une étape d'extraction selon **Costa et al. (2018)**.

1g de fromage est additionné à 20 mL de méthanol acidifié (95% de méthanol et 1 % d'acide chlorhydrique). Le mélange a été mis sous agitation (50 °C, 200 RPM, 30 min) suivi d'une centrifugation et une filtration. Les extraits ont été conservés à 4°C.

#### II.7.1.1. Polyphénols totaux

Le protocole utilisé est celui décrit par **Singleton et al. (1999)**. 100 µL de chaque extrait est additionné à 6mL d'eau distillée, 500µL de réactif Folin-Ciocalteu et 1,5mL d'une solution de carbonate de sodium à 20% et le volume total est ajusté à 10 mL avec l'eau distillée. Les tubes ont été agités et conservés pendant 2 heure à l'obscurité et à température ambiante et l'absorbance a été lue à **760 nm**.

Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations. La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique de matière sèche d'échantillon (mg EAG/g fromage).

### II.7.1.2. Flavonoïdes

La méthode utilisée est celle décrite par **Bahorun et al. (1996)**. 0,5mL d'extrait est additionné à la même quantité d'une solution de chlorure d'aluminium à 2%, suivi d'une agitation, puis d'une incubation pendant 15 min, à l'obscurité et à température ambiante. Les lectures des absorbances ont été faites à 430 nm. La teneur en flavonoïdes a été exprimée en mg équivalent quercétine par g de matière sèche d'échantillon (mg EQ/g de fromage) par référence à une courbe d'étalonnage.

### II.7.2. Evaluation des activités antioxydantes

#### II.7.2.1. Activité scavenger du DPPH\*

Le protocole suivi est celui décrit par **Brahmi et al. (2015)**. 1mL d'extrait a été additionnée par 1mL d'éthanol, suivie par un volume de 0,15mL de solution de DPPH. Un contrôle sans l'extrait a été préparé dans les mêmes conditions. Le tout a été incubé pendant une heure, à température ambiante et à l'obscurité. Les absorbances ont été mesurées à 517 nm contre un blanc. Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH\*, qui est proportionnel au pouvoir anti-radicalaire de l'échantillon, est calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition (I \%)} = ((\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs contrôle}) \times 100$$

#### II.7.2.2. Test ABTS\*

L'activité antioxydante par le test ABTS est réalisée selon le protocole de **Ramful et al. (2010)**. Une solution mère d'ABTS a été préparée à 7 mmol/L avec du persulfate de potassium ( $K_2S_2O_8$ ) à 2,45 mmol/L dissout dans de l'eau distillée. Le mélange obtenu a été conservé à l'obscurité, sous agitation et à température ambiante pendant 16 h avant usage. Il a été par la suite dilué avec de l'éthanol pur afin d'obtenir une absorbance de l'ordre de 0,7 à 734 nm. L'activité antioxydante a été mesurée en additionnant 0,1mL d'une solution éthanolique de l'extrait testé à 1mL de la solution d'ABTS\*. Le mélange a été laissé pendant 6 min à l'obscurité et à température ambiante avant de faire la lecture. Une courbe d'étalonnage du Trolox a été réalisée afin de quantifier l'activité des extraits en équivalents Trolox. Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{mol}$  d'équivalent Trolox/g de fromage.

### II.7.2.3. Test de FRAP

Le pouvoir réducteur des extraits a été évalué selon la méthode décrite par **Debbabi et al. (2016)**. L'extrait, le ferrocyanure de potassium (1%, *p/v*) et le tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) ont été mélangés à des volumes égaux (500  $\mu$ L chacun). Le mélange a été incubé à 50°C pendant 20 min. Ensuite, 500  $\mu$ L d'acide trichloracétique (TCA : 10% *p/v*) ont été ajoutés au mélange réactionnel. Après centrifugation (1000 $\times$  g/10 min), 1 mL de surnageant a été prélevé et additionné d'eau distillée (1mL) et de 0,2 mL de chlorure ferrique (0,1%, *p/v*). Après 30 min, l'absorbance a été mesurée à 700 nm. Le potentiel antioxydant des extraits a été estimé en équivalent Trolox après avoir établi une courbe d'étalonnage par l'utilisation de l'équation de régression linéaire obtenue à partir de cette dernière.

### II.7.2.4. Test au molybdate d'ammonium

La détermination de l'activité antioxydante en utilisant le molybdate d'ammonium est réalisée selon la méthode décrite par **Prieto et al. (1999)**. Elle consiste à mélanger 200  $\mu$ L de l'extrait avec 2mL d'une solution de phosphomolybdate d'ammonium (0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de sodium phosphate monobasique et 4 mM de molybdate d'ammonium). Après agitation, le mélange a été incubé à 95°C pendant 90min. Les absorbances des échantillons ont été lues à 695 nm. Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide ascorbique/g de fromage.

## II.8. Caractérisation par infrarouge des fromages élaborés

Un spectrophotomètre Thermo Scientific Nicolet iS50 FT-IR a été utilisé. Les échantillons ont été directement étalés sur la plaque équipé d'un cristal ATR en diamant et pressées doucement par une pince à échantillon pré-montée. Les spectres en mode de transmission ont été mesurés directement. Ces spectres FT-IR ATR ont été collectés à l'aide d'un accessoire ATR (**Di Donato et al., 2022**).

## II.9. Analyse microbiologique des fromages

Dans le but de garantir des produits microbiologiquement sains, nous avons recherché les différentes flores pathogènes dans les fromages enrichis et non enrichi.

La détermination du nombre de coliformes totaux a été réalisée en suivant les étapes de la recherche et du dénombrement des coliformes par la technique du nombre le plus

probable(NPP) (**JORA N°58/2017**). Pour les coliformes fécaux, la méthode de dénombrement des coliformes thermotolérants par comptage des colonies obtenues à 44°C conformément aux dispositions décrites dans le journal officiel **N°75/2017** a été appliquée. Les *Salmonella spp.* ont été recherchées par la méthode **ISO 21528-1, 2017**.

Quant au dénombrement de *Staphylococcus aureus* la méthode de comptage des colonies obtenues en milieu solide après incubation en aérobiose à 35°C ou 37° C (**JORA N°14/2015 ; JORA N° 74/2017**). Le dénombrement des levures et moisissures a été effectué par comptage des colonies.

Le dénombrement des bactéries sulfite-réductrices se développant en condition d'anaérobiose a été réalisé en se référant à la méthode horizontale décrite dans le journal officiel **N° 51/2013**.

## **II.10. Evaluation sensorielle**

L'analyse sensorielle a été réalisée sur 15 échantillons de fromages frais (3 témoins, 4 fromages enrichis en cosses de petits pois, 4 enrichis en gousses de fève et 4 enrichis en pelures d'aubergines), le panel de dégustation est composé de 10 membres experts.

Trois questionnaires pour les trois types de poudre additionnée ont été remis au jury de dégustation pour évaluer les caractéristiques organoleptiques : couleur, odeur, texture, Arôme, saveur acide, saveur attribuée, arrière-goût, astringence, tartinabilité et préférence globale des échantillons des différents fromages formulés (Annexe N°3, 4 et 5)

## **II.11. Etude statistique**

L'analyse de variance des résultats physico-chimiques et phytochimiques dans cette étude est effectuée par le test ANOVA, ainsi des méthodes statistiques unies variées sont employées dans tous les tests. Les résultats sont ensuite suivis par le test Tukey's HSD avec un niveau de signification de 5% ( $p = 0.05$ ). Le logiciel utilisé est JMP 10. Les données sont représentées par leur moyenne  $\pm$  erreur standard par rapport à la moyenne. Pour toutes les méthodes, trois répétitions sont effectuées (triplicata).

On ce qui concerne l'évaluation sensorielle, les données recueillies ont été traitées en se référant au logiciel XLSTAT version 16.5.3.2014. Les principales fonctionnalités de ce logiciel utilisées pour interpréter les résultats sont comme suit : caractérisation de produits,

Analyse en Composantes Principales (ACP), Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) et préférence Mapping (PREFMAP).

*Résultats  
et Discussion*

### III.1. Analyses des poudres

#### III.1.1. Analyses physicochimiques

Le tableau V présente les taux de matières grasses et les taux des fibres des différentes poudres de sous-produits étudiés.

**Tableau V** : Résultats de la composition en matières grasses et en fibres des poudres de CPP, GF et PA.

Teneur	<i>Pisum sativum</i>	<i>Vicia faba</i>	<i>Solanum melongena</i>
<b>Matières grasses (%)</b>	0,27 ±0,008 <sup>A</sup>	0,25 ±0,007 <sup>B</sup>	0,25 ±0,012 <sup>B</sup>
<b>Fibres (%)</b>	31,60 ±0,92 <sup>C</sup>	40,55±0,75 <sup>A</sup>	34,02±0,12 <sup>B</sup>

Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

- **Taux de matières grasses**

Statistiquement, la différence de teneurs en lipides entre les GF et les PA n'est pas significative ( $P \geq 0,05$ ). En revanche, le taux de matières grasses des cosques de petits est plus élevé que celui des gousses de fèves et des pelures d'aubergines.

**Mejri et al. (2019)** et **Gouda (2015)** ont trouvé des valeurs de matières grasses plus élevées qui sont de l'ordre de  $2,1 \pm 0,2$  et de  $3,83$  respectivement pour les sous-produits de *Pisum sativum* et *Solanum melongena*.

- **Taux de fibres**

L'analyse statistique des poudres de cosques de petit pois, de gousses de fèves et de pelures d'aubergine a révélé que les GF ont une teneur plus élevée en fibres ( $40,55 \pm 0,75$ ) suivi des PA ( $34,02 \pm 0,12$ ) et des CPP ( $31,60 \pm 0,92$ ).

Les taux de fibres des CPP et GF étudiées sont moins élevés que celui obtenu par **Mejri et al. (2019)** ( $51 \pm 4$ ). Quant aux teneurs en fibres obtenues pour les poudres de pelures de *Solanum melongena*, elles sont nettement supérieures à celles obtenues par **Gouda (2015)** qui est de l'ordre de  $1,58$ .

#### III.1.2. Analyse de la cytotoxicité des poudres

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant :

**Tableau VI :** Pourcentage de la cytotoxicité des poudres à X<sub>4</sub>% de CPP, GF et PA.

Teneur	<i>Contrôle</i>	<i>Pisum sativum</i>	<i>Vicia faba</i>	<i>Solanum melongena</i>
	<i>néгатif</i>			
<b>Cytotoxicité(%)</b>	6	7,24	6,98	7,76

Selon le tableau ci-dessous, les trois poudres de coproduits présentent des degrés de cytotoxicité de l'activité hémolytique inférieur à 9 %, de ce fait, les échantillons analysés sont non toxique et peuvent ; par conséquent ; être additionnés à une denrée alimentaire.

### **III.2. Analyses des fromages enrichis par les différents sous-produits**

#### **III.2.1. Analyses physicochimiques**

Le tableau (VII) présente la composition physicochimique des 13 fromages élaborés.

**Tableau VII :** Résultats d'analyses physicochimiques des fromages enrichis en poudre de *Pisum sativum*, *Vicia faba* et *Solanum melongena*.

Teneur	FF	CPP X <sub>1</sub> %	CPP X <sub>2</sub> %	CPP X <sub>3</sub> %	CPP X <sub>4</sub> %
<b>Humidité (%)</b>	55,25±0,07 <sup>AB</sup>	55,48±0,04 <sup>A/a</sup>	55,14±0,1 <sup>B/b</sup>	55,12±0,03 <sup>B/b</sup>	54,29±0,02 <sup>FG/c</sup>
<b>Extrait sec (%)</b>	44,75±0,07 <sup>HI</sup>	44,52±0,04 <sup>I/a</sup>	44,86±0,1 <sup>H/b</sup>	44,88±0,03 <sup>H/b</sup>	45,71±0,02 <sup>CD/c</sup>
<b>Cendres (%)</b>	1,38±0,09 <sup>C</sup>	1,41±0,03 <sup>C/c</sup>	1,56±0,07 <sup>ABC/bc</sup>	1,72±0,19 <sup>ABC/ab</sup>	1,93±0,06 <sup>A/a</sup>
<b>pH</b>	4,93±0,03 <sup>AB</sup>	4,83±0,01 <sup>BCD/b</sup>	4,89±0,02 <sup>BCD/ab</sup>	4,90±0,01 <sup>BC/a</sup>	4,94±0,04 <sup>AB/a</sup>
<b>Acidité titrable</b>	1,44±0,00 <sup>A</sup>	1,44±0,09 <sup>A/a</sup>	1,53±0,09 <sup>A/a</sup>	1,5±0,1 <sup>A/a</sup>	1,49±0,05 <sup>A/a</sup>
<b>Brix (°B)</b>	8,67±0,58 <sup>H</sup>	11,67±0,58 <sup>DEF/b</sup>	9,67±0,58 <sup>GH/c</sup>	12,00±0,00 <sup>CDEF/b</sup>	14,00±0,00 <sup>AB/a</sup>
<b>Sucres totaux (mg/g)</b>	1,09±0,04 <sup>H</sup>	6,68±0,29 <sup>B/b</sup>	6,85±0,1 <sup>B/b</sup>	7,4±0,05 <sup>A/a</sup>	7,58±0,01 <sup>A/a</sup>
<b>Matières grasses (g/L)</b>	18±0,25 <sup>B</sup>	20,07±0,16 <sup>A/a</sup>	13,25±0,66 <sup>D/b</sup>	5,84±0,81 <sup>G/c</sup>	3,25±0,25 <sup>H/d</sup>
<b>Chlorophyl(µg/g)</b>	--	1,93±0,09 <sup>EF/c</sup>	7,91±1,55 <sup>DEF/bc</sup>	14,54±1,23 <sup>BCD/b</sup>	19,43±1,97 <sup>ABC/a</sup>
<b>Fibres(%)</b>	--	--	--	--	--

Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

Teneur	GF X1%	GF X2 %	GF X3%	GF X4%
<b>Humidité (%)</b>	54,60±0,01DE/a	54,46±0,03EF/b	53,88±0,08I/d	54,03±0,02HI/c
<b>Extrait sec (%)</b>	45,40±0,01EF/a	45,54±0,03DE/b	46,12±0,08A/d	45,97±0,02AB/c
<b>Cendres (%)</b>	1,76±0,08ABC/a	1,48±0,04BC/a	1,52±0,28ABC/a	1,63±0,08ABC/a
<b>pH</b>	4,91±0,01ABC/a	4,86±0,01BCD/b	4,88±0,00BCD/b	4,92±0,01ABC/a
<b>Acidité titrable</b>	1,49±0,05A/ab	1,53±0,09A/ab	1,58±0,04A/a	1,44±0,00A/b
<b>Brix (°B)</b>	14,33±0,58A/a	13,33±0,58ABC/ab	12,67±0,58BCD/b	12,33±0,58CDE/b
<b>Sucres totaux (mg/g)</b>	2,63±0,23FG/c	2,88±0,04F/c	3,43±0,01E/b	7,42±0,11A/a
<b>Matières grasses (g/L)</b>	17,58±0,38B/a	16,25±0,25C/b	10,39±0,12E/c	7,33±0,31F/d
<b>Chlorophyl(µg/g)</b>	2,25±0,06EF/d	8.36±0,87DEF/c	15,37±2,65ABCD/b	20,62±0,42AB/a
<b>Fibres(%)</b>	--	--	--	--

Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

Teneur	PA X1%	PA X2 %	PA X3%	PA X4%
<b>Humidité (%)</b>	54,76±0,2 <sup>CD/a</sup>	54,86±0,11 <sup>C/a</sup>	54,37±0,07 <sup>EFG/b</sup>	54,15±0,03 <sup>GH/b</sup>
<b>Matière sèche (%)</b>	45,24±0,2 <sup>FG/a</sup>	45,14±0,11 <sup>G/a</sup>	45,63±0,07 <sup>CDE/b</sup>	45,85±0,03 <sup>BC/b</sup>
<b>Cendres (%)</b>	1,56±0,25 <sup>ABC/a</sup>	1,65±0,08 <sup>ABC/a</sup>	1,73±0,11 <sup>ABC/a</sup>	1,85±0,21 <sup>AB/a</sup>
<b>pH</b>	5,02±0,02 <sup>A/a</sup>	4,70±0,12 <sup>E/b</sup>	4,81±0,04 <sup>CDE/b</sup>	4,78±0,01 <sup>DE/b</sup>
<b>Acidité titrable</b>	1,53±0,00 <sup>A/a</sup>	1,53±0,00 <sup>A/a</sup>	1,58±0,04 <sup>A/a</sup>	1,58±0,04 <sup>A/a</sup>
<b>Brix (°B)</b>	12,00±1 <sup>CDEF/a</sup>	11±0,00 <sup>EFG/a</sup>	11,33±0,58 <sup>DEF/a</sup>	10,67±0,58 <sup>FG/a</sup>
<b>Sucres totaux (mg/g)</b>	1,17±0,00 <sup>H/d</sup>	2,36±0,03 <sup>G/c</sup>	3,9±0,09 <sup>D/d</sup>	6,01±0,08 <sup>C/a</sup>
<b>Matières grasses (g/L)</b>	18,26±0,35 <sup>B/a</sup>	17,41±0,51 <sup>BC/a</sup>	14,42±0,38 <sup>D/b</sup>	11,48±0,28 <sup>E/c</sup>
<b>Chlorophyl(µg/g)</b>	5,87±0,09 <sup>DE/b</sup>	11,90±1,23 <sup>CDE/b</sup>	25,20±1,05 <sup>A/a</sup>	26,87±1,78 <sup>A/a</sup>
<b>Fibres(%)</b>	--	--	--	--

Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

- **Le taux d'humidité**

Selon l'analyse statistique du pourcentage d'humidité, il a été observé que le fromage élaboré avec CPP X<sub>1</sub>% présente le taux maximal (55,48±0,04%) contre le fromage aux GF X<sub>3</sub>% qui détient statistiquement la valeur la plus faible (53,88±0,08%). Les résultats recelés sont différents des données rapportées dans la littérature ; **Lucera et al. (2018)**, **Costa et al. (2018)** et **El-Sayed (2020)** ont trouvé des pourcentages d'humidité plus élevés (57,7% - 61,4%), (58,19 - 65,82) (68,02% - 67,75%) respectivement, en revanche, **Jeong et al. (2017)** ont enregistré des taux d'humidité beaucoup plus faible (47,45% - 46,03%).

Il est à noter que l'humidité dépend du degré d'égouttage du caillé, du type de fromage élaboré et de l'enrichissement effectué (**Weber, 1987**).

- **Cendres**

D'après les résultats obtenus, les valeurs des cendres des différents fromages sont très proches, à l'exception du fromage CPP X<sub>4</sub>% qui présente la teneur la plus élevée (1,93±0,06 %). Le fromage témoin ainsi que le fromage CPP X<sub>1</sub>% ; ont recelé les valeurs les plus faibles (1,38±0,09 % et 1,41±0,03 %) respectivement. Ces valeurs sont proches de celles trouvées par **El Galiou et al. (2015)** lors de l'élaboration du fromage frais au lait de chèvre qui sont de l'ordre de 1,12 à 1,75%. En revanche, d'autres auteurs ont trouvé des teneur en cendres plus élevées pour les différentes fromages fabriqués (**Mohamed et al., 2016; Jeong et al., 2017 et El-Sayed, 2020**).

Ces différences peuvent être influencées par le type et la concentration de la matrice végétale ajoutée ainsi que la nature du lait (l'espèce laitière).

- **Matière sèche**

L'analyse ANOVA a montré une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) du taux de matières sèches des différentes formulations réalisées. Le fromage enrichi en GF à X<sub>3</sub>% a donné le taux le plus élevé (46,12±0,08%), tandis que le fromage supplémenté en CPP X<sub>1</sub>% a révélé la plus basse teneur (44,52±0,04%). **El-Sayed (2020)** a trouvé des valeurs plus basses allant de 31,16 % à 32,25% de matières sèches pour les différentes matrices

Selon **El-Aziz et al. (2012)**, l'ajout des sous-produits entraîne l'augmentation de la teneur totale en solides dans les fromages formulés.

- **Potentiel d'hydrogène (pH)**

Selon le tableau VII, le pH des treize fromages est significativement différent ( $p \leq 0,05$ ). Le potentiel d'hydrogène le plus élevé est celui du fromage aux pelures d'aubergine à X<sub>1</sub>% (5,02±0,02). Cependant, le produit aux PA à X<sub>2</sub>% (4,70±0,12) a donné un pH significativement plus acide. **El-Sayed (2020), Costa et al. (2018)** ont trouvé des valeurs de pH (6,20-6,36) (5,29-5,87) respectivement supérieurs à celles obtenues dans le présent travail. Lors de l'enrichissement des fromages à tartiner avec des brocolis, **Lucera et al. (2018)** ont enregistré des potentiels d'hydrogène de l'ordre de 4,70 et des valeurs moindres pour les autres fromages formulés.

- **Acidité titrable**

Dans l'ensemble, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'a été enregistrée entre les différents échantillons de fromage en ce qui concerne l'acidité titrable.

- **Brix**

L'analyse statistique a révélé une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) entre les fromages élaborés. La teneur la plus élevée a été constatée chez le produit à base de GF à X<sub>1</sub>% (14,33±0,58°B) contrairement au fromage de contrôle, qui a présenté la valeur la plus basse (8,67±0,58°B). **Aini et al. (2019)** ont trouvé des valeurs supérieures lors de la formulation des fromages analogues (19°B).

- **Sucres totaux**

Les teneurs en sucre exprimés en mg/g présentent une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) entre les échantillons testés. Les taux les plus élevés appartiennent aux fromages supplémentés en GF à X<sub>4</sub>% (7,42±0,11) et CPP à X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>% (7,4±0,05 ; 7,58±0,01) et les taux de sucres les plus faibles sont attribués au fromage frais (1,09±0,04) et au fromage PA X<sub>1</sub>% (1,17).

- **Matières grasses**

L'analyse ANOVA a montré une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) entre les taux de matières grasses des différents fromages élaborés. 20,07±0,16g/L est la plus haute valeur obtenue correspondant au fromage CPP X<sub>1</sub>%. Le fromage CPP X<sub>4</sub>% a statistiquement le plus petit taux en MG (3,25±0,25 g/L). Il est à noter; d'après les résultats obtenus; qu'il y'a une diminution du taux de matières grasses avec l'augmentation de la concentration de la poudre additionnée. **Jeong et al. (2017)** ont trouvé des valeurs supérieures allant de 20, 54 à 20,73g/L.

- **Chlorophylle**

D'après le tableau VII, il est à noter qu'il y'a une différence significative entre les taux de chlorophylle enregistrés. En effet, Les fromages à base de poudre de PA à X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub> % ont

présentés des taux élevés, tandis que, les fromages aux CPP et aux GF à X<sub>1</sub>% ont donné un taux de chlorophylle le plus faible. Ce qui est probablement lié à la teneur existante de ce pigment dans les différents sous-produits utilisés, en particulier les pelures de *Solanum melongena*.

- **Fibres**

Le dosage des fibres dans les différents fromages formulés par l'addition de poudre des différents sous-produits ; y compris le fromage témoin ; n'a pas révélé de fibres quantifiables, vu le la quantité infime de poudre additionnés dans les fromages élaborés. **El-Sayed (2020)** avait trouvé des valeurs entre 0,15 à 0,51% lors de l'enrichissement des fromages à pâte molle avec de la poudre d'épinards.

### III.2.2. Rendement

Le tableau (VIII) résume les résultats obtenu de l'analyse du rendement en fromage.

**Tableau VIII.** Les rendements fromagers.

Echantillon	Rendement (%)
Essai 1	14,75
Essai 2	15,13
Essai 3	13,34

D'après le tableau X, les pourcentages du rendement en fromage à partir de 100 g de lait oscille entre 13 et 15 %, ce rendement est proches des normes algériennes (16 à 18%) (**Guide méthodologique, 2014**).

Il est à noter que le rendement du fromage est influencé par de nombreux facteurs, notamment la composition du lait, la quantité et les variantes génétiques de la caséine, la qualité du lait, le nombre de cellules somatiques dans le lait, la pasteurisation du lait, le type de coagulant, la fermeté du caillé à la découpe et les paramètres de fabrication (**Abd El-Gawad et Ahmed, 2011**)

### III.2.3. Analyses phytochimiques des fromages enrichis

- **Rendement d'extraction**

Le rendement d'extraction des différents fromages élaborés est exprimé en pourcentage de masse d'extrait par rapport à la masse de la matière sèche (tableau IX).

**Tableau IX :** Rendements d'extraction des extraits des fromages enrichis en poudre de *Pisum sativum*, *Vicia faba* et *Solanum melongena*.

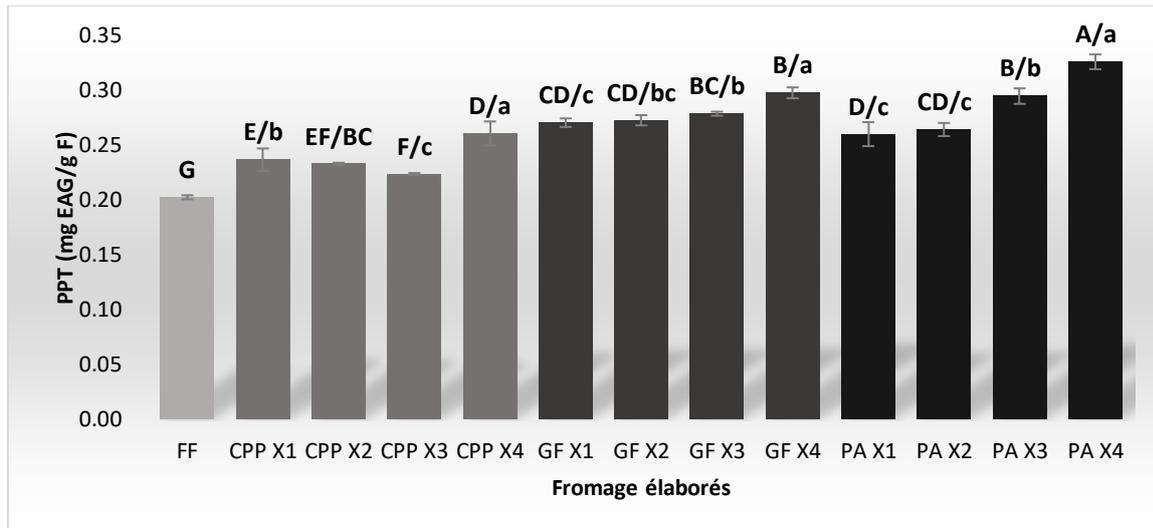
Type de fromage	Rendement (%)
Fromage frais	9,14
Fromage CPP X <sub>1</sub> %	11,26
Fromage CPP X <sub>2</sub> %	10,91
Fromage CPP X <sub>3</sub> %	11,86
Fromage CPP X <sub>4</sub> %	10,31
Fromage GF X <sub>1</sub> %	11,67
Fromage GF X <sub>2</sub> %	10,97
Fromage GF X <sub>3</sub> %	11,51
Fromage GF X <sub>4</sub> %	14,52
Fromage PA X <sub>1</sub> %	10,81
Fromage PA X <sub>2</sub> %	11,34
Fromage PA X <sub>3</sub> %	10,55
Fromage PA X <sub>4</sub> %	7,18

Nous constatons clairement que les rendements d'extraction des extraits méthanoliques des fromages GF à X<sub>4</sub>% présente le pourcentage le plus élevé (14,52%) contre le fromage PA à X<sub>4</sub>% qui détient la plus faible valeur (7,18 %). Tous les autres fromages ont des rendements d'extraction compris entre 9 et 12 %.

Un rendement d'extraction élevé peut être attribué à la polarité des composés bio actifs qui présentent une meilleure affinité avec le solvant utilisé (méthanol), d'où une solubilisation prononcée et par conséquent, extraction importante. Contrairement au fromage GF X<sub>4</sub>%, la faible récupération d'extrait pour le fromage PA X<sub>4</sub>% peut être expliquée par la composition chimique de ses métabolites secondaires qui présentent moins de solubilité dans le solvant d'extraction (Nawaz et al., 2020).

- **Teneur en polyphénols totaux (PPT)**

Les teneurs en polyphénols totaux des fromages enrichis en CPP, GF, PA et le fromage témoin sont rapportées dans la figure ci-dessous.



**Figure 9.** Teneurs en polyphénols totaux des fromages enrichis en poudre de *Pisum sativum*, *Vicia faba* et *Solanum melongena*.

PPT : polyphénols totaux, EAG : Equivalent acide gallique, g F : gramme de fromage.

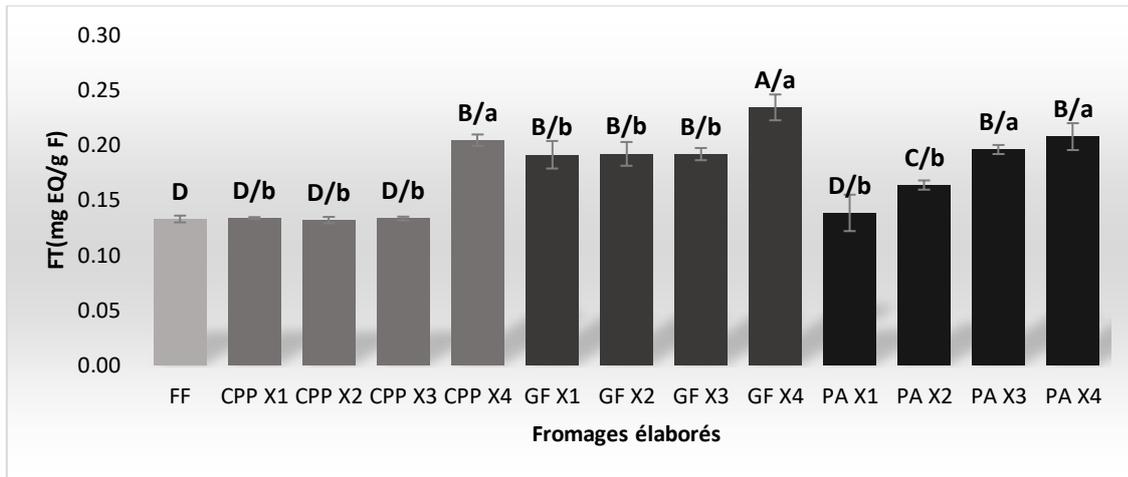
Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

La figure 9 montre que le PPT varie en fonction de la quantité de poudre additionnée, ce qui suggère que les polyphénols incorporés dans les fromages ont été par conséquent affectés. Statistiquement, le fromage enrichi en PA X<sub>4</sub>% est significativement plus riche en PPT ( $0,33 \pm 0,007 \text{ mg EAG/g F}$ ) que les autres fromages élaborés, en revanche le fromage frais (témoin) a la teneur la plus faible ( $0,2 \pm 0,002$ ).

Des résultats en PPT plus élevés ont été obtenus par certains chercheurs qui ont supplémenté des produits laitiers avec des poudres de plantes (Costa et al., 2018 ; Lucera et al. 2018; El-Sayed, 2020 ;Himed-Idir et al., 2021).

- **Teneurs en flavonoïdes (FT)**

Les teneurs en flavonoïdes du fromage témoin et des fromages enrichis en CPP, GF et PA sont élucidées dans la figure 10 ci-dessous.



**Figure 10.** Teneurs en flavonoïdes des échantillons de fromages enrichis en cosses de petit pois, de gousses de fève, et de pelures d’aubergine.

FT : Flavonoïdes totaux, EQ : Equivalent Quercétine, F : Fromage.

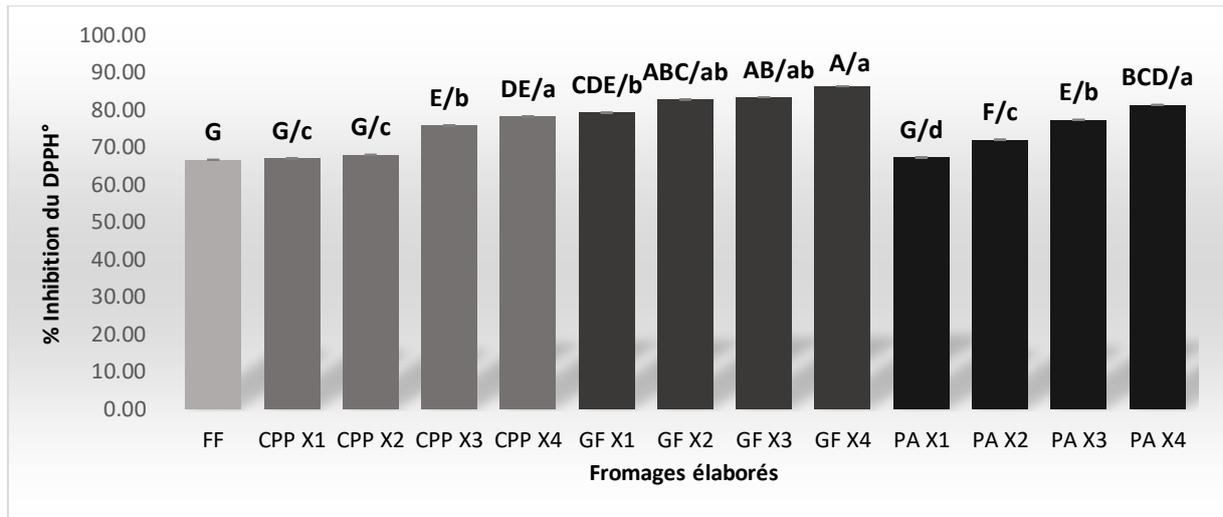
Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ )

D’après les histogrammes ci-dessus, la moyenne des teneurs en flavonoïdes des fromages enrichis en gousses de *Vicia faba* à X<sub>2</sub>% est significativement plus élevée que les autres teneurs des différentes fortifications réalisées, par ailleurs, le fromage témoin et les fromages enrichis avec les cosses de *Pisum sativum* (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> et X<sub>3</sub> %) et pelures de *Solanum melongena* à X<sub>1</sub>% présentent une faible quantité en flavonoïdes. **Lucera et al. (2018)** ont trouvé des valeurs en FT plus élevées pour les fromages enrichis en marc de raisin rouge, pelures de tomates, tiges et feuilles de brocolis et des valeurs plus basses dans le cas des fromages fortifiés avec les feuilles externes d’artichauts.

En comparant les résultats de chacun des fromages enrichis avec le même type de sous-produits, on trouve que les enrichissements à X<sub>4</sub> % détiennent toujours la meilleur teneur en flavonoïdes totaux comparativement aux autres pourcentages, cela est probablement dû aux teneurs en FT contenues dans les poudres des différents coproduits.

- **Test au DPPH**

Après l’addition des poudres des sous-produits cités précédemment aux fromages, leur activité à inhiber le radical libre DPPH• est mesurée et les résultats sont résumés dans la figure 11.



**Figure 11.** Inhibition du radical DPPH<sup>\*</sup> des fromages enrichis en CPP, GF et PA.

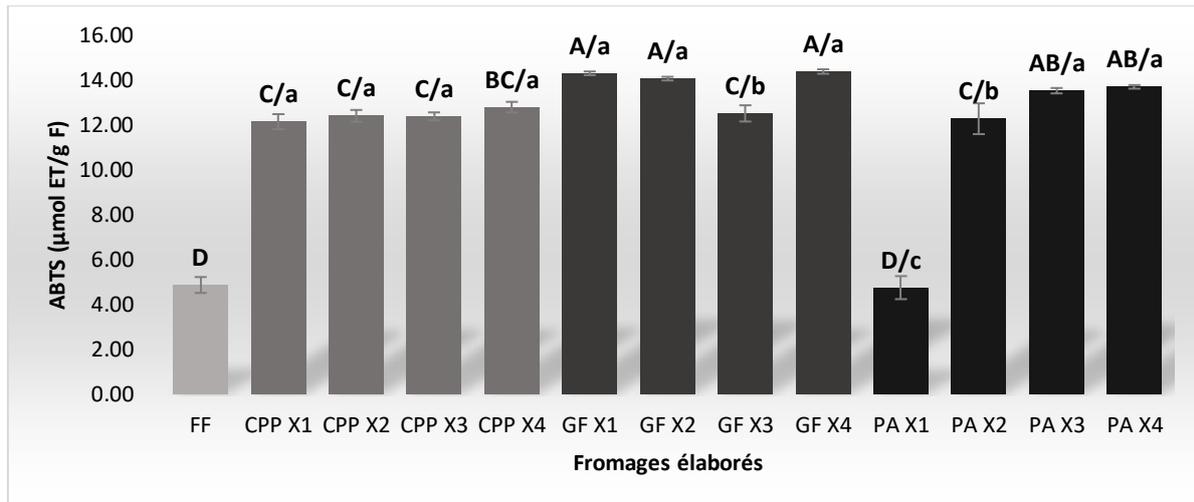
Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

Sur la base des résultats illustrés ci-dessus, il a été constaté que le pourcentage le plus élevé d'inhibition des radicaux DPPH est attribué au fromage à X<sub>4</sub>% de GF et de FF ainsi que les fromages avec les CCP X<sub>1</sub> et X<sub>2</sub> % et PA à X<sub>1</sub>% ont significativement donné des activités antiradicalaires plus faible. Des résultats inférieurs ont été obtenus par **El-Sayed (2020)** et **Himed-Idir et al. (2021)**.

En comparant les fromages enrichis avec un seul type de coproduit, le même constat est observé avec celui des résultats des FT obtenus, qui est que les pourcentages d'inhibition du DPPH sont plus élevés à X<sub>4</sub> % qu'à X<sub>3</sub>, X<sub>2</sub> et X<sub>1</sub> %.

- **Test à l'ABTS**

L'ensemble des résultats de la capacité antioxydante par le test ABTS des fromages enrichis sont illustrés dans la figure suivante :



**Figure 12.** Capacité antioxydante ABTS\* des fromages enrichis en CPP, GF et PA.

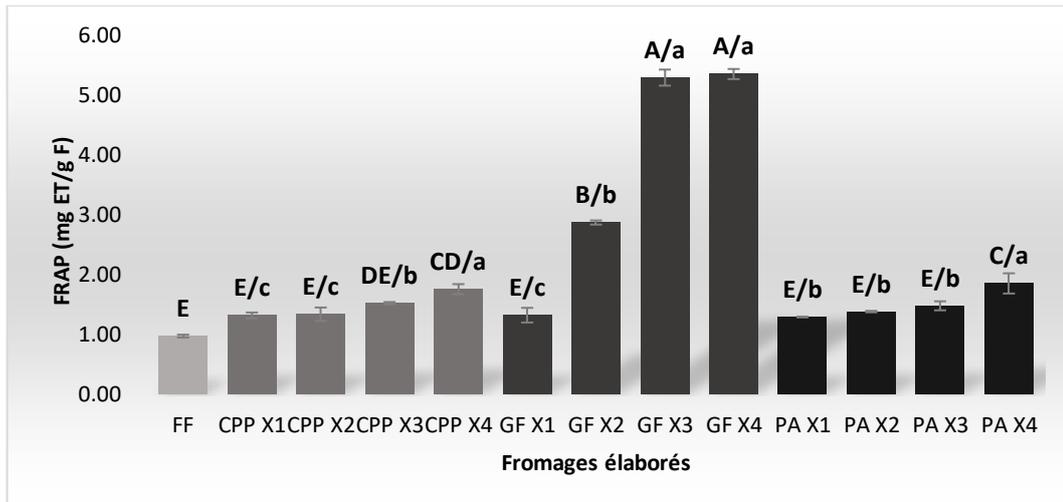
Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

Du point de vue de l'activité antioxydante, les meilleurs résultats ont été obtenus pour les fromages enrichis en gousses de *Vicia faba* à X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> et X<sub>4</sub> %. Le fromage témoin et fromages aux PA à X<sub>1</sub>% ; quant à eux ; ont les pouvoirs antioxydants les plus bas. Ce qui peut être expliqué par le fait que l'enrichissement des fromages a entraîné une augmentation significative dans le cas du test ABTS. Çelik et al. (2008) ; Perna et al. (2015) et Lucera et al. (2018), ont recelé des résultats plus importants lors de ce même test.

Une corrélation positive entre le taux d'enrichissement avec chaque type de sous-produits et l'augmentation de l'activité antioxydante est enregistrée pour les matrices végétales CCP, GF et PA, exception faite pour les fromages supplémentés avec les GF à X<sub>3</sub>%.

- **Pouvoir réducteur (FRAP)**

La capacité des extraits des différents fromages à réduire le fer ferrique en fer ferreux a été également analysée et les résultats sont illustrés dans la figure 13.



**Figure 13.** Pouvoir réducteur (FRAP) des fromages enrichis en cosses de petit pois, de gousses de fève, et de pelures d'aubergine.

ET : Equivalent trolox, FF : Fromage FRAIS.

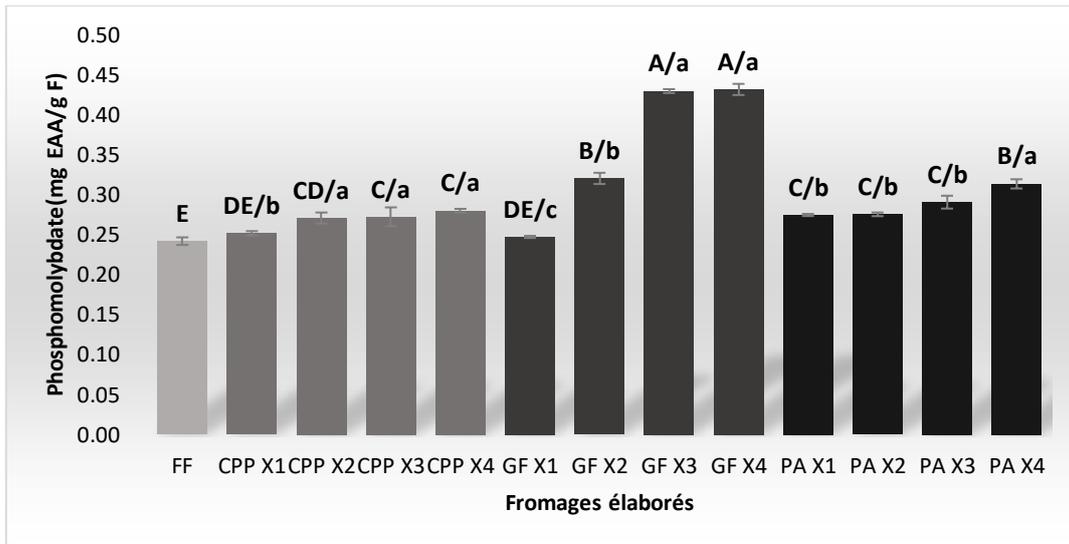
Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

Les fromages supplémenté en GF à X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>% réduisent les ions ferreux d'une manière significative ( $p \leq 0,05$ ) par rapport au fromage témoin. Tandis que, le pouvoir réducteur de ce dernier est statistiquement similaire aux fromages enrichis en CPP à X<sub>1</sub> et X<sub>2</sub> %, GF à X<sub>1</sub>% et à ceux aux PA à X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> et X<sub>3</sub>%. Les résultats obtenus dans ce travail sont similaires à ceux obtenus par Çelik et al. (2008) qui ont enrichis des fromages Van herby.

Il est a noté aussi, que pour chaque coproduit utilisé le pouvoir réducteur est toujours plus élevé à X<sub>4</sub>%, exception faite pour les fromages aux GF à X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>% qui sont statistiquement similaires.

- **Test au molybdate d'ammonium**

Les résultats du test au molybdate d'ammonium des extraits des fromages enrichis en poudre de CPP, GF, PA sont présentés dans la figure 14.



**Figure 14.** Test au molybdate d’ammonium des extraits de fromage enrichi avec les CPP, GF et PA.

EAA : Equivalent acide ascorbique, FF : Fromage frais.

Les moyennes qui portent les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ).

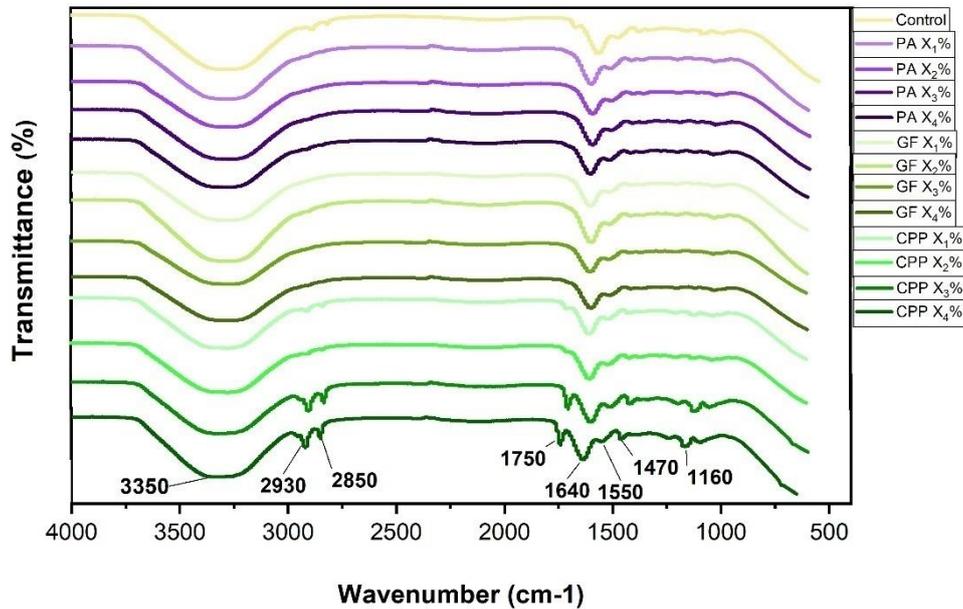
L’analyse statistique a révélé que le pouvoir réducteur au phosphomolybdate des fromages aux GF à X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub>% est significativement plus élevé que les autres fromages. Cependant, la plus faible capacité réductrice est enregistrée dans le fromage témoin, ce qui signifie que le pouvoir réducteur augmente avec l’enrichissement des fromages.

D’après les résultats obtenus, Il est à signaler que l’activité antioxydante est justifiée par la présence de molécules bioactives telles que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les flavonols et les tannins. Ainsi, la variation observée en potentiels antioxydants peut être attribuée directement à la polarité du solvant utilisé, phénomène de solubilisation des molécules bioactives, et la méthode d’extraction utilisée (Ebrahimzadeh et al., 2008).

Les méthodes de séchage influencent également les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des plantes utilisées sous forme de sous-produits. De plus, les différences entre les espèces, les variétés, les stades de maturation, le système de fertilisation et les conditions de culture en font partie (Shalaby et al., 2020).

#### III.2.4. Caractérisation par infrarouge des fromages élaborés

La Figure 15 montre les spectres FT-IR des fromages enrichis en poudre de *Pisum sativum*, *Vicia faba* et *Solanum melongena* ainsi que le fromage témoin, mesurés en mode transmission.



**Figure 15.** Spectres de transmission FT-IR des fromages élaborés enrichis en poudre de coproduits.

Le spectre FT-IR a été utilisé pour identifier les groupes fonctionnels des composants actifs présents dans les échantillons analysés sur la base des valeurs des pics dans la région du rayonnement IR. Lorsque le fromage a été transmis au FT-IR, les groupements fonctionnels des composants ont été séparés en fonction du rapport de pics. L'analyse des spectres FT-IR permet de mettre en évidence des bandes caractéristiques des structures des fromages.

La figure 15 représente les spectres obtenus sur les échantillons des fromages incorporés par les cosses de petit pois, gousses de fève et pelures d'aubergine. Des pics analogues apparaissent en dépit de la différence de coproduits incorporés et de la variation de concentration. Ces similarités peuvent être attribuées à des composants communs présents dans les fromages, tels que les protéines, les lipides et les glucides.

Le pic à  $3386\text{ cm}^{-1}$  provient principalement des vibrations du groupement O-H libre (liaison H) appartenant à des hydrocarbures et à l'eau et étirement N-H des protéines (**Di Donato et al., 2022**).

Dans les fromages, la gamme de  $3100\text{ à }2800\text{ cm}^{-1}$  est caractérisée par des pics avec des vibrations d'étirement symétriques et asymétriques des molécules de C-H associées aux groupements méthyle et méthylène qui caractérisent les acides gras. (**Liete et al., 2019**). Les

résultats montrent clairement que tous les pics enregistrés à 2930 et à 2850  $\text{cm}^{-1}$  sont similaires. Cependant, il est observé que l'intensité des bandes est plus élevée dans les fromages supplémentés avec les cosses petits pois à  $X_3\%$  et  $X_4\%$ . **Pax et al. (2019)** ont trouvé deux bandes intenses à 2922 et 2852  $\text{cm}^{-1}$ , de même pour **Liete et al. (2019)** à 2918 et 2850  $\text{cm}^{-1}$ .

Nous remarquons aussi l'apparition d'une bande à 1750  $\text{cm}^{-1}$  correspondant à l'étirement C-O des esters d'acide gras, cela comprend la première harmonique des liaisons C-H et les vibrations C-O provenant des structures  $R(\text{CO})\text{OH}$  et  $R(\text{CO})\text{OR}$  (**Di Donato et al. ; 2022**) dans les fromages (contrôle, CPP  $X_1\%$ , CPP  $X_2\%$ , CPP  $X_3\%$  et CPP  $X_4\%$ ), avec une intensité plus marquée pour les fromages enrichis avec  $X_3\%$  et  $X_4\%$  de poudre de *Pisum sativum*. En revanche, pour les autres types de fromages, les pics dans cette région sont nettement moins prononcés.

La gamme entre 1700 et 1500  $\text{cm}^{-1}$  est liée aux liaisons peptidiques (CO-NH), (les amides I et II) qui sont caractérisés par les vibrations des groupes  $-\text{C}=\text{O}$  et  $-\text{NH}$  résultant de différentes combinaisons et de la structure secondaire de la protéine caséine. un pic à 1640  $\text{cm}^{-1}$  ; se trouvant dans cette gamme ; est attribué à l'étirement du groupe carbonyle des protéines (appelé amide I) (**Andrade et al., 2018**). En revanche, les pics à 1540  $\text{cm}^{-1}$  et 1460  $\text{cm}^{-1}$  caractérisent la vibration de l'amide II correspondent à la flexion de la liaison N-H et à l'étirement de la liaison C-N (**Tarapoulouzi et al., 2020**)

La région spectrale entre 1200 et 900  $\text{cm}^{-1}$  ; connue sous le nom de région de l'empreinte digitale ; est principalement caractérisée par les modes d'étirement C-O et C-C des glucides, de l'étirement C-O des lipides, ainsi que les vibrations de la liaison ester C-O présentes dans l'eau et les triacylglycérols (**Ayvaz et al., 2021**). Dans les spectres obtenus, on observe la présence de deux pics distincts à 1160  $\text{cm}^{-1}$  et 1080  $\text{cm}^{-1}$ . L'intensité de ces pics est plus prononcée dans les fromages enrichis avec  $X_3\%$  et  $X_4\%$  de CPP par rapport aux autres fromages.

### III.2.5. Analyses microbiologiques des fromages élaborés

D'après les résultats obtenus (X), les douze échantillons de fromages enrichis avec les cosses de petit pois, de gousses de fève, et de pelures d'aubergine et non enrichi, sont conformes aux normes exigés par la réglementation Algérienne avec une qualité microbiologique et hygiénique très satisfaisante, ce qui indique l'adéquation des conditions de préparation des différents fromages élaborés.

**Tableau X :** Résultats des analyses microbiologiques des fromages élaborés.

Germes recherchés	Résultat													Référence
	FF	CPP X1%	CPP X2%	CPP X3%	CPP X4%	GF X1%	GF X2%	GF X3%	GF X4%	EA X1%	EA X2%	EA X3%	EA X4%	
Coliformes	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Arrêté du 19/03/17 (JO N° 58 du 15/10/17)
Coliformes fécaux	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Arrêté du 11/11/17 (JO N°75 du 27/12/17)
Levures	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Arrêté du 02/06/15 (JO N°48 du 09/09/15)
Moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Arrêté du 02/06/15 (JO N°48 du 09/09/15)
Entérobactéries	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	ISO 21528-1
<i>Staphylococcus aureus</i>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Arrêté du 31/07/14 (JO N°14 du 25/03/15)
Salmonella	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Arrêté du 05/02/17 (JO N°44 du 23 07 17)
Germes anaérobies sulfito- réducteurs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Arrêté du 29/07 12 (JO N°51 du 13/10/13)

### III.2.6. Analyse sensorielle

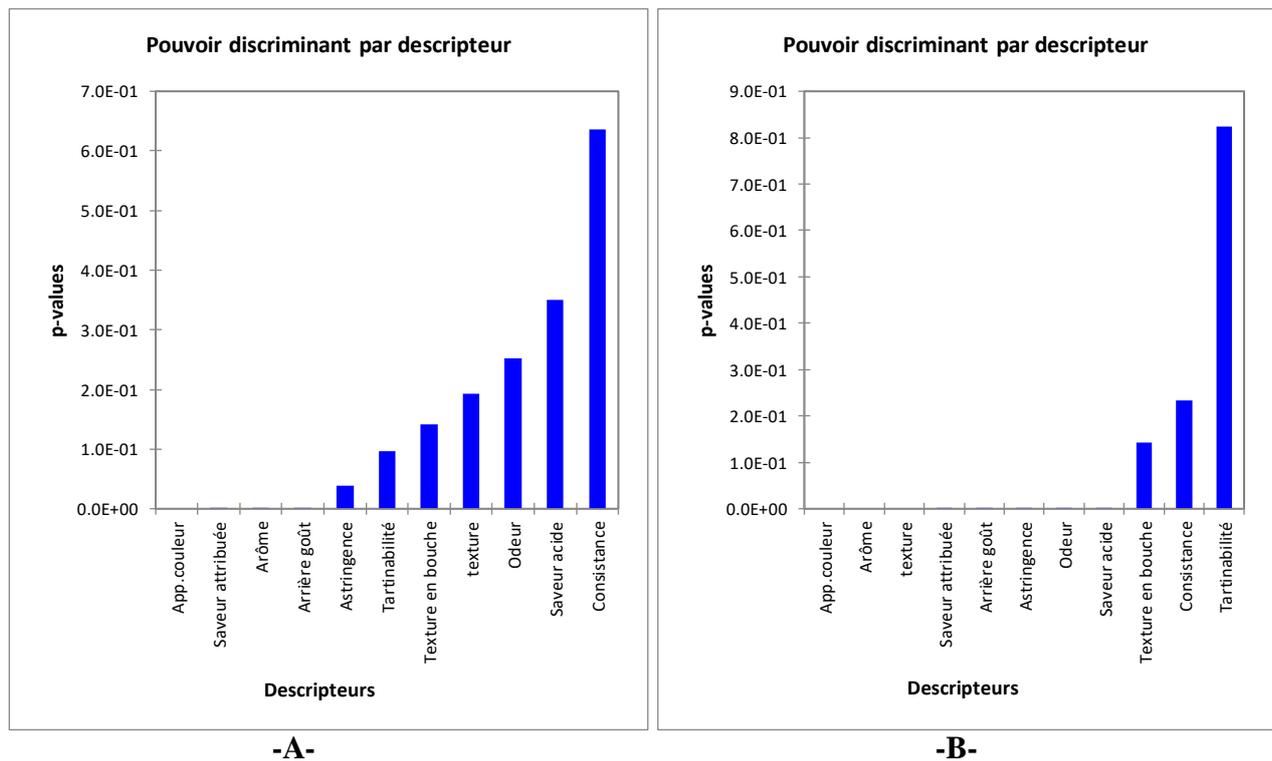
Un plan d'expérience a été réalisé avant d'effectuer les différents tests sur XLSTAT. Une fois les données des jurys experts sont rapportées sur le logiciel ; la procédure de génération d'un plan d'expérience est lancée.

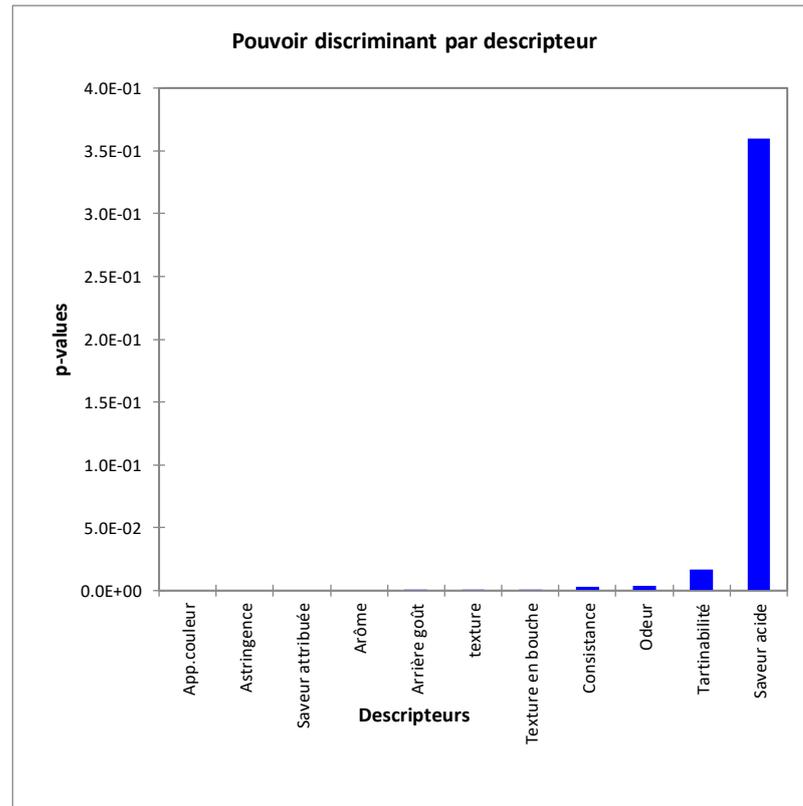
#### III.2.6.1. Caractérisation du produit

La caractérisation de produit permet de décrire les caractéristiques organoleptiques des produits en se basant sur les résultats du panel expert. Elle permet également d'identifier quels sont les descripteurs qui décrivent au mieux les produits et quelles sont les caractéristiques qui ne varient pas significativement entre les échantillons analysés (Husson et Pages, 2009).

- **Pouvoir discriminant par descripteur**

Les résultats du premier test sur les fromages enrichis avec les cosses de petit pois (analyse sensorielle 1 ; annexe 3), les gousses de fèves (analyse sensorielle 2 ; annexe 4) et les pelures d'aubergine (analyse sensorielle 3 ; annexe 5) sont illustrés dans la figure 16.





-C-

**Figure 16.** Pouvoir discriminant par descripteur : (A) Fromages à base de CPP ; (B) Fromages à base de GF et (C) Fromages à base de PA.

Les histogrammes ci-dessus ont permis de visualiser les descripteurs les plus discriminants pour les différentes formulations des fromages et qui sont :

La couleur, la saveur attribuée, l'arôme et l'arrière-goût dans le cas des Fromages aux cosses de *Pisum sativum* (A) ;

La couleur, l'arôme, la texture, la saveur attribuée, l'arrière-goût, l'astringence, l'odeur et la saveur acide pour les fromages aux gousses de *Vicia faba* (B) ;

La couleur, l'astringence, la saveur attribuée, l'arôme, l'arrière-goût, la texture, et la texture en bouche pour ceux à base de pelure de *Solanum melongena* (C).

Cela veut dire que ces caractéristiques différentes entre les fromages élaborés de chaque analyse sensorielle effectuée (03 analyses différentes). Les autres descripteurs non cités pour les trois études sont les moins discriminés ce qui signifie qu'il n'y a pas de différence entre ces facteurs dans les fromages fortifiés selon le panel expert.

• Coefficients des modèles

Les coefficients du modèle sélectionné sont affichés dans les figures 17,18et 19 pour chaque descripteur et pour chaque produit :

Les graphes ci-après indiquent ce qui définit les produits élaborés pour les 3 études sensorielles effectuées. Les caractéristiques dont le coefficient est significativement positif sont données en bleu, en rouge celles dont le coefficient est significativement négatif et en blanc les caractéristiques dont les coefficients ne sont pas significatifs.

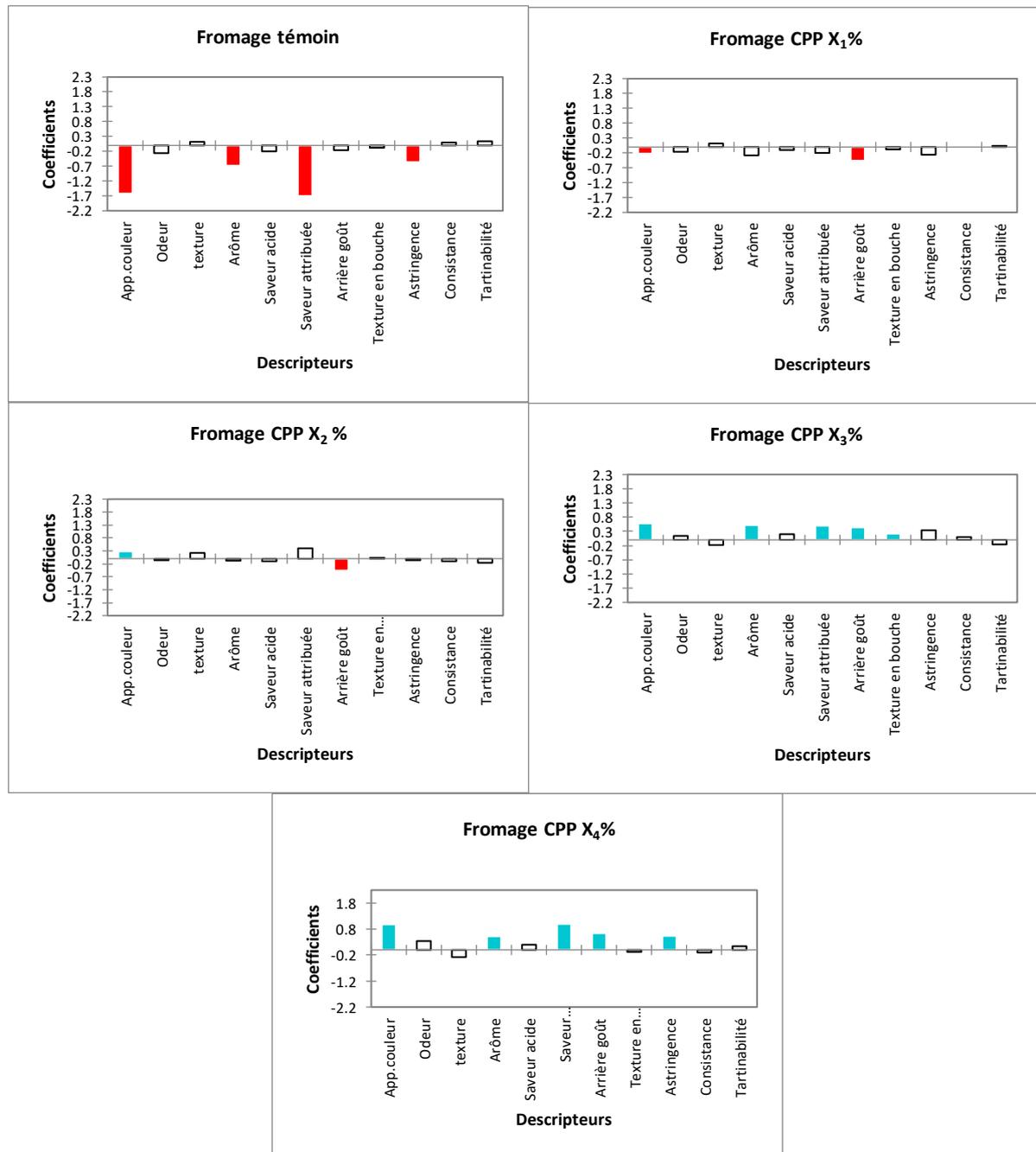


Figure 17 : Coefficients des modèles des fromages enrichis en CPP.

• **Fromage enrichis en CPP**

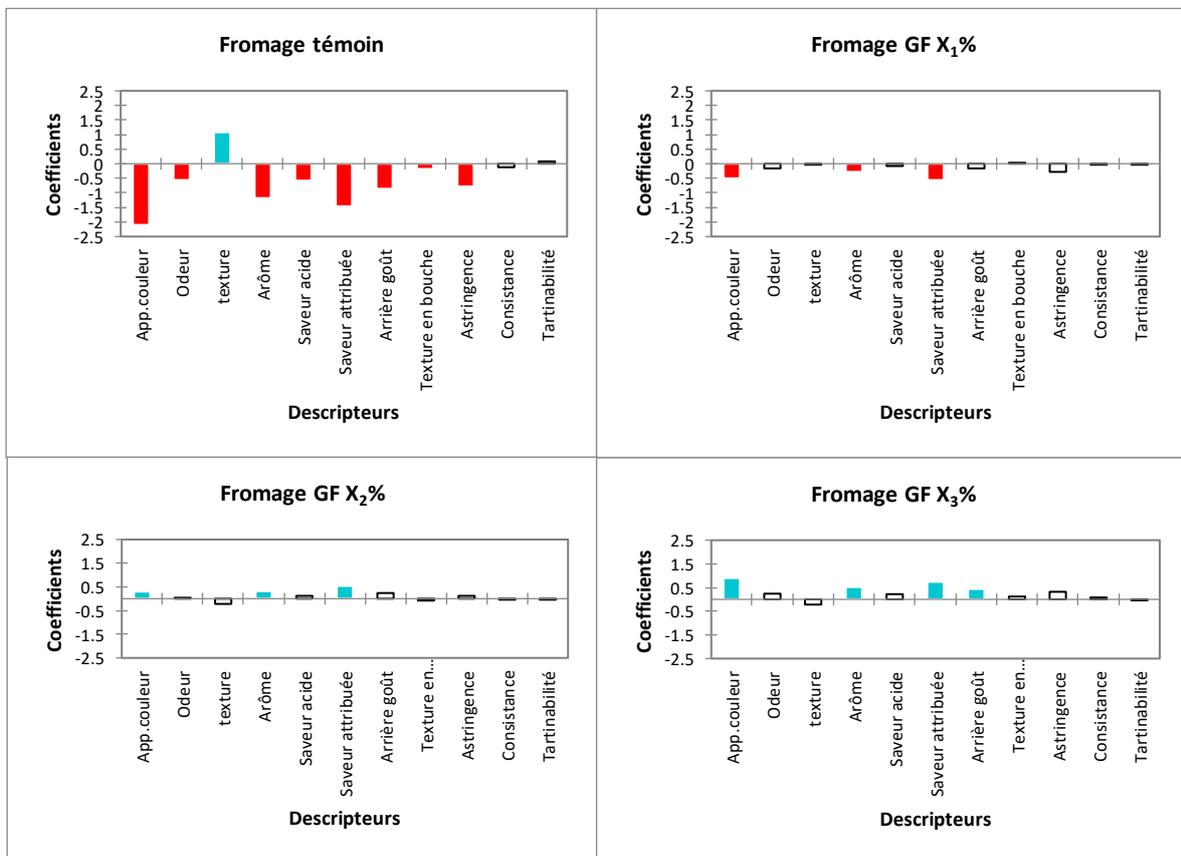
**Fromage témoin** : Est caractérisé par une couleur blanchâtre, un arôme, une saveur attribuée et une astringence. En revanche, l’odeur, la texture, la saveur acide, l’arrière-goût, la texture en bouche, la consistance et la tartinabilité sont des caractéristiques qui ne sont pas significatifs.

**CPP X<sub>1</sub>%**: A l’exception de la couleur et l’arrière-goût ; dont les coefficients sont négatifs ; toutes les autres caractéristiques ont des intensités moyennes selon les juges experts.

**CPP X<sub>2</sub>%**: La couleur ; en bleu ; est significativement positive. L’arrière-goût ; en rouge ; est négatif. Tous les autres paramètres sont jugés moyens selon le panel.

**CPP X<sub>3</sub>%**: Plusieurs paramètres sont significativement positifs à savoir : la couleur, l’arôme, l’arrière-goût, la texture en bouche et la saveur attribuée. Cette dernière veut dire les juges ont pu déceler le goût des petit pois dans les fromages élaborés. Toutes les autres caractéristiques sont proches de la moyenne.

**CPP X<sub>4</sub>%**: Est caractérisé par une couleur, un arôme, un arrière-goût et une astringence intenses. Comme pour les fromages enrichis en CPP X<sub>3</sub>% ; la saveur attribuée est celle des petits pois.



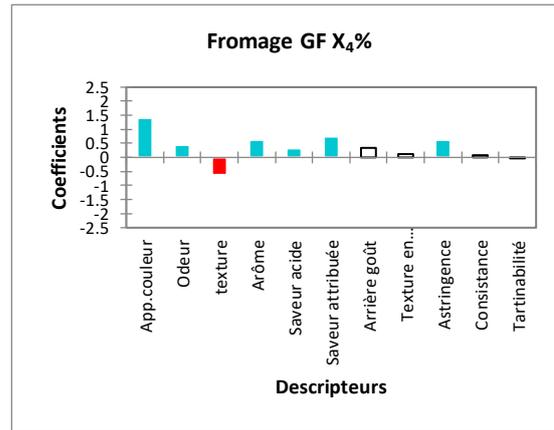


Figure 18. Coefficients des modèles des fromages enrichis en GF.

- **Fromage enrichis en GF**

**Fromage témoin :** La plupart des paramètres sont en rouge et donc ce fromage a une couleur, odeur, arôme, saveur acide, saveur attribuée, arrière-goût, texture en bouche et astringence faibles. En revanche, la texture est lisse. Quant à la consistance et la tartinabilité ; elles ont été considérées comme moyennes.

**GF X1%:** La couleur, l'arôme et la saveur attribuée ont des coefficients significativement négatifs, tous les autres paramètres sont en blanc et donc ils ne sont pas significatifs.

**GF X2%:** Ce produit est caractérisé par une couleur, un arôme et une saveur attribuée intenses.

**GF X3%:** les caractéristiques dont le coefficient est significativement positif sont : la couleur, l'arôme ; la saveur attribuée et l'arrière-goût. Tous les autres paramètres présentent un coefficient non significatif.

**GF X4%:** La texture est jugée granuleuse, après augmentation du pourcentage de poudre additionnée. La couleur, l'odeur, l'arôme, la saveur acide, la saveur attribuée et l'astringence sont caractérisé par leur intensité, tandis que l'arrière-goût, la texture en bouche, la consistance et la tartinabilité ont des coefficients non significatifs.

Les juges ont pu déceler le goût des fèves dans les fromages GF X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub> %.

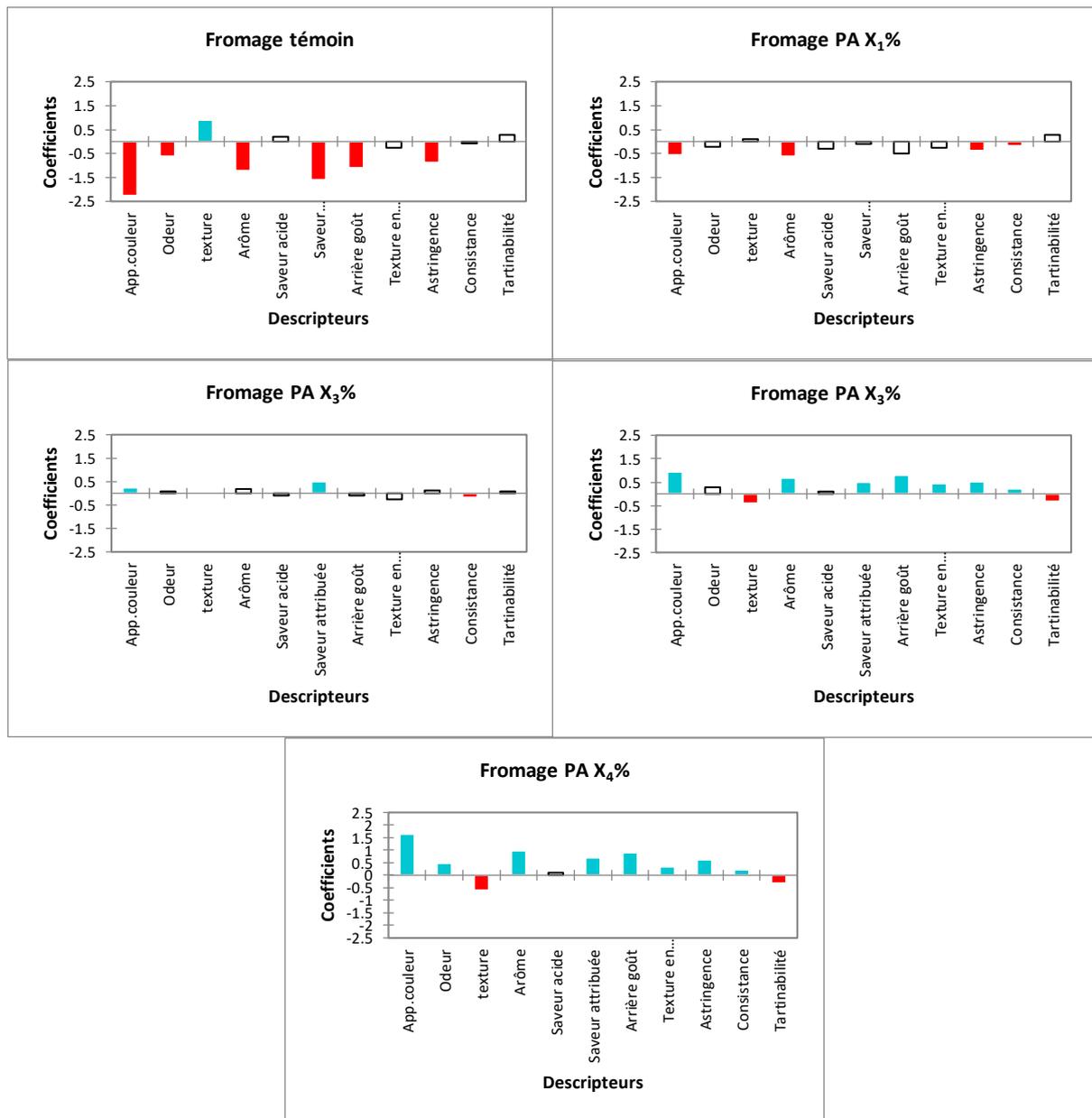


Figure 19. Coefficients des modèles des fromages enrichis en PA.

- **Fromage enrichis en PA**

**Fromage frais :** Ce produit est caractérisé par une texture très lisse et une couleur blanchâtre. L'odeur, l'arôme, la saveur attribuée, l'arrière-goût et l'astringence sont significativement négatifs. Toutes les autres caractéristiques ont des intensités moyennes selon les juges experts.

**PA X1%:** A l'exception de la couleur l'arôme et l'astringence ; dont les coefficients sont significativement négatifs ; toutes les autres caractéristiques ont des intensités moyennes selon le panel choisi.

**PA X<sub>2</sub>%:** Ce fromage a deux caractéristiques significativement positives et qui sont la couleur et la saveur attribuée. La consistance ; en revanche ; est négative. L'odeur, la texture, l'arôme, la saveur acide, l'arrière-goût, la texture en bouche et la tartinabilité ont des intensités moyennes.

**PA X<sub>3</sub>%:** La texture est jugée granuleuse et la tartinabilité plus difficile après augmentation du pourcentage de poudre de pelure de *Solanum melongena*. A l'exception de l'odeur ; qui a une intensité moyenne ; tous les autres paramètres sont significativement positifs.

**PA X<sub>4</sub>%:** Le même constat est fait avec le fromage aux PA X<sub>3</sub>% en ce qui concerne la texture et la tartinabilité du produit. La couleur, l'odeur, l'arôme, l'arrière-goût, la texture en bouche, l'astringence et la consistance sont intenses. Quant à la saveur acide elle moyenne.

Les juges ont pu déceler le goût d'aubergine dans les fromages aux pelures d'aubergine X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub> %.

- Moyennes ajustées par produit**

Ce test permet de faire ressortir les moyennes lorsque les différents produits et les caractéristiques sont croisés. En bleu sont illustrées les moyennes qui sont significativement plus grandes que la moyenne globale et en rouge celles qui sont significativement plus petites que la moyenne globale. En blanc, sont données les moyennes qui ne sont pas significativement plus grandes ou plus petites que la moyenne globale.

**Tableau XI :** Moyennes ajustées par produits (fromage enrichis en CPP)

	Astringence	Arôme	Saveur acide	Odeur	App.couleur	Saveur attribuée	Arrière-goût	Texture en bouche	Tartinabilité	Consistance	texture
CPP X <sub>4</sub> %	2,800	3,700	2,600	2,600	3,800	3,800	3,600	3,100	4,500	3,500	3,200
CPP X <sub>3</sub> %	2,600	3,700	2,600	2,400	3,400	3,300	3,400	3,400	4,200	3,700	3,300
CPP X <sub>2</sub> %	2,200	3,100	2,300	2,200	3,100	3,200	2,500	3,200	4,200	3,500	3,700
CPP X <sub>1</sub> %	2,000	2,900	2,300	2,100	2,600	2,600	2,500	3,100	4,400	3,600	3,600
FF	1,700	2,500	2,200	2,000	1,200	1,100	2,800	3,100	4,500	3,700	3,600

Les descripteurs : astringence, arôme, couleur et saveur attribuée ont un effet significativement négatif sur le fromage frais. Les autres caractéristiques sont proches de la moyenne des notes du jury expert.

D'après le tableau XI, on constate que les caractéristiques ayant un effet positif sur les fromages aux cosses de petits pois sont : l'astringence, l'arôme, la couleur, la saveur attribuée, l'arrière-goût pour les fromages CPP X<sub>4</sub>% ; La saveur acide, la couleur, la saveur attribuée, l'arrière-goût et la texture en bouche pour les produits aux CPP X<sub>3</sub>% et enfin, la couleur pour le fromage à X<sub>2</sub> %. On constate aussi que les caractéristiques ayant un effet négatif sont : l'arrière-goût pour les CPP X<sub>2</sub>% et la couleur ainsi que l'arrière-goût pour la concentration à X<sub>1</sub>%.

**Tableau XII : Moyennes ajustées par produits (fromage enrichis en GF)**

	Saveur acide	App.couleur	Arôme	Odeur	Arrière-goût	Astringence	Saveur attribuée	Consistance	Texture en bouche	Tartinabilité	texture
GF X <sub>4</sub> %	2,800	4,700	3,800	2,700	3,200	2,900	3,600	3,500	3,400	4,400	2,600
GF X <sub>3</sub> %	2,700	4,200	3,700	2,500	3,300	2,600	3,600	3,500	3,400	4,400	3,000
GF X <sub>2</sub> %	2,600	3,600	3,500	2,300	3,100	2,400	3,400	3,400	3,200	4,400	3,000
GF X <sub>1</sub> %	2,400	2,800	2,900	2,100	2,700	2,000	2,300	3,400	3,300	4,400	3,200
FF	1,900	1,200	2,000	1,700	2,000	1,500	1,400	3,300	3,100	4,500	4,300

**Fromage frais :** Les caractéristiques sont pour la plupart négatives. Exception faite pour la consistance, la tartinabilité et la texture. Cette dernière est ; en revanche ; positive, autrement dit, le fromage élaboré est lisse.

**GF X<sub>1</sub>% et GF X<sub>2</sub>%:** la couleur, l'arôme et la saveur attribuée sont des descripteurs négatifs pour le fromage enrichi en gousse de fève à X<sub>1</sub>% contrairement au fromage X<sub>2</sub>%. Tous les autres paramètres sont neutres.

**GF X<sub>3</sub>%:** Les caractéristiques qui ont un effet significativement positif sur le produit sont : la couleur, l'arôme, la saveur attribuée et l'arrière-goût.

**GF X<sub>4</sub>%:** Ce fromage est caractérisé par sa texture granuleuse. Les paramètres : couleur, saveur acide, arôme, odeur, astringence et saveur attribuée ont des valeurs significativement plus grandes que la moyenne.

**Tableau XIII : Moyennes ajustées par produits (fromage enrichis en PA)**

	Arrière-goût	Astringence	Arôme	Odeur	App. Couleur	Texture en bouche	Saveur attribuée	Consistance	Saveur acide	texture	Tartinabilité
PA X <sub>4</sub> %	4,400	3,100	4,500	3,000	5,000	3,600	3,600	3,800	2,400	2,400	3,800
PA X <sub>3</sub> %	4,300	3,000	4,200	2,800	4,300	3,700	3,400	3,800	2,400	2,600	3,800
PA X <sub>2</sub> %	3,400	2,600	3,700	2,600	3,600	3,000	3,400	3,400	2,200	3,000	4,200
PA X <sub>1</sub> %	3,000	2,100	2,900	2,300	2,800	3,000	2,800	3,400	2,000	3,100	4,400
FF	2,400	1,600	2,300	1,900	1,100	3,000	1,300	3,500	2,500	3,900	4,400

Les fromages enrichis en pelures d’aubergine à différentes concentrations ont tous des caractéristiques négatives soulignées lors de l’analyse statistique. Les paramètres texture et tartinabilité deviennent de moins en moins appréciés en augmentant le pourcentage de poudre d’aubergine additionnée.

### III.2.6.2. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)

Cette méthode permet de relier les préférences exprimées par les consommateurs aux caractéristiques organoleptiques des produits déterminées par le panel expert. Cette approche est essentielle car c’est 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 des produits par le consommateur.

Pour réaliser cette carte de préférence, il faut d’abord une ACP et une CAH.

#### A. Analyse en composantes principales (ACP)

L’ACP peut être considéré comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations, depuis l’espace à  $p$  dimensions des  $p$  variables vers un espace à  $k$  dimension. ( $k < p$ ) tel qu’un maximum d’information soit conservé (l’information est ici mesurée à travers la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Les observations peuvent être représentées sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l’interprétation (Jolliffe, 2002).

La figure 20, 21 et 22 permet de représenter les corrélations entre les variables et les facteurs par l’ACP.

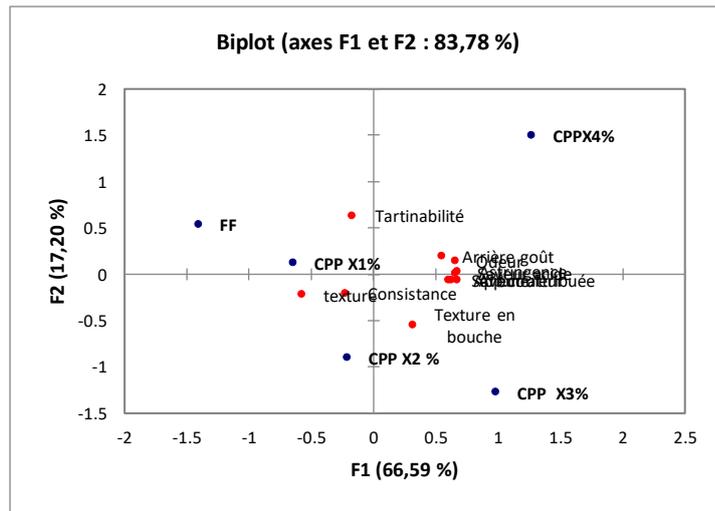


Figure 20. Corrélation entre les variables et les facteurs des fromages aux CPP.

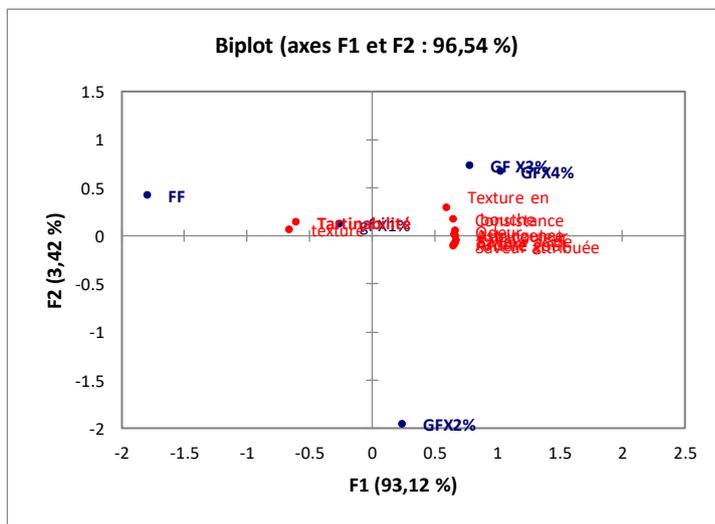


Figure 21. Corrélation entre les variables et les facteurs des fromages aux GF.

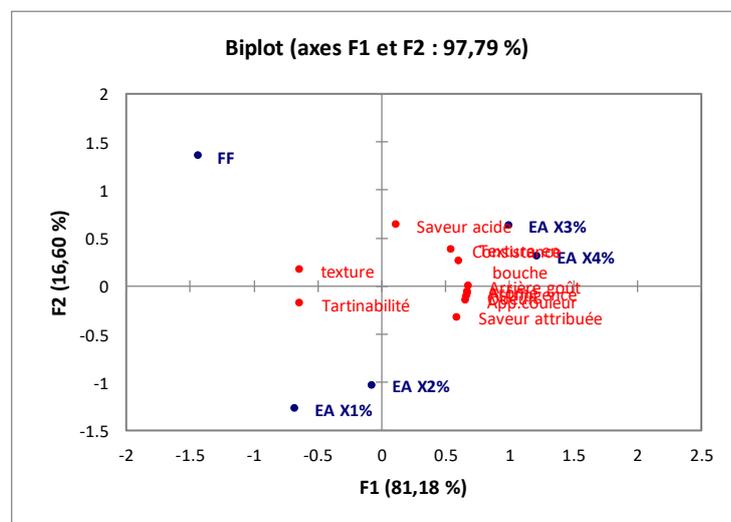
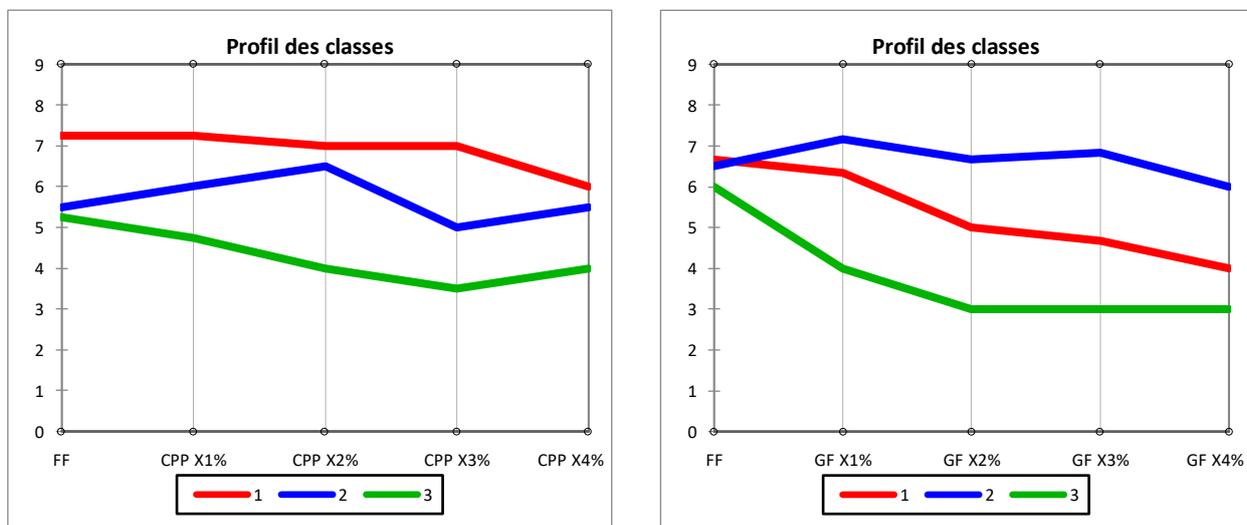


Figure 22. Corrélation entre les variables et les facteurs des fromages aux PA.

Il a été constaté ; d’après la figure (20, 21 et 22) ; que les produits ont été perçus par le jury expert comme assez différents vu que tous les descripteurs sont représentés dans le cercle et qu’un niveau de 83,78 % de la variabilité a été enregistré pour les fromages enrichis en cosse de petit pois, 96,54% pour ceux aux GF et 97.79% pour les produits à base de pelures d’aubergine.

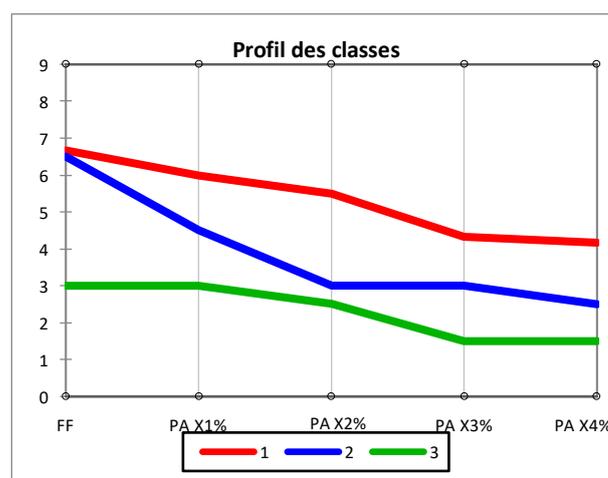
- **Classification ascendante hiérarchique (CAH)**

L’application de l’analyse des données CAH génère plusieurs tableaux et graphes. Le graphe du profil des classes (réalisé à partir des données de préférences) permet de comparer visuellement les moyennes des différentes classes créées (Figure 23).



-A-

-B-



-C-

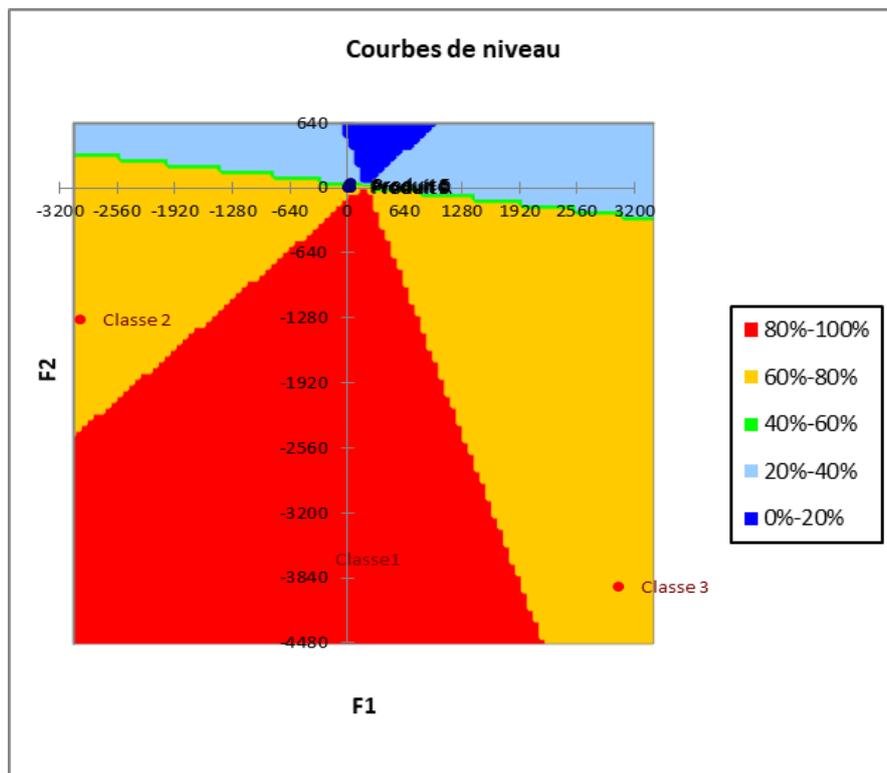
**Figure 23.** Profil des classes créées des fromages (A) CPP, (B) GF et (C) PA.

D'après la figure 23 (A, B et C) trois classes de consommateurs ont été créés pour chaque catégorie de fromage élaboré et ce à partir des notes de préférence attribuées par le panel expert.

### III.2.6.3. Cartographie de préférence PREFMAP

Ce test a été réalisé dans le but de connaître les préférences du consommateur vis-à-vis de nos produits et connaître les raisons pour lesquelles ils les ont choisis.

Les courbes de niveau et cartes de préférences pour les fromages CPP, GF et PA sont superposées et les figures 24, 25 et 26 sont obtenues.



**Figure 24** : Carte de préférence PREFMAP pour les fromages enrichis en CPP.

D'après la figure précédente, tous les fromages aux CPP sont appréciés à 40-60% sans réel distinction entre les 5 produits.

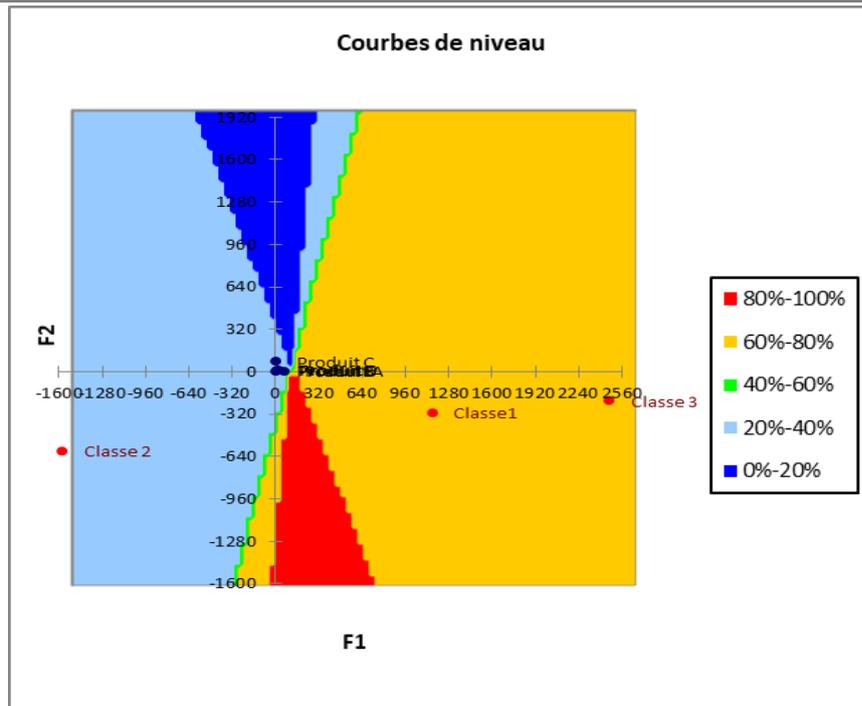


Figure 25 : Carte de préférence PREFMAP pour les fromages enrichis en GF.

D'après la figure précédente, la classe 2 a apprécié les 5 types de fromages aux gousses de fève (20%-40%).

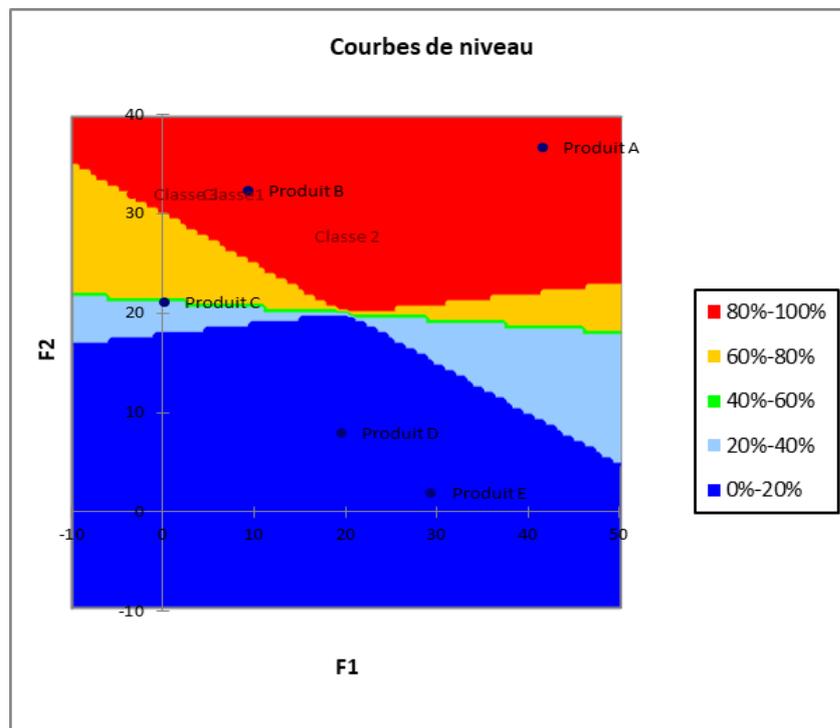


Figure 26 : Carte de préférence PREFMAP pour les fromages enrichis en PA.

D'après la figure précédente, les trois classes ont appréciées les produits A (fromage témoin) et B (fromage à PA à  $X_1\%$ ).

# *Conclusion*

L'objectif de ce travail est de contribuer à la valorisation des sous-produits agroalimentaire en les exploitants dans l'enrichissement du fromage frais. Dans ce sens, des analyses physicochimiques, phytochimiques, microbiologiques, sensorielles et une caractérisation par infrarouge ont été réalisées. A travers les résultats obtenus, nous pouvons conclure que :

L'étude physicochimique des poudres a montré que les cosses de *P. sativum* sont plus riches en matières grasses ( $0,27 \pm 0,008\%$ ) et que les gousses de *V.faba* ont la teneur la plus élevée en fibres ( $40,55 \pm 0,75\%$ ). L'analyse de la cytotoxicité des poudres a permis de mettre en évidence la non toxicité des sous-produits à additionner.

L'incorporation de poudre de cosses de petits pois, de gousses de fève ainsi que de pelures d'aubergine dans les fromages frais a contribué à l'amélioration des paramètres physico-chimiques notamment le taux de cendre avec un maximum de  $1,93 \pm 0,06\%$  pour le produit aux CPP X<sub>4</sub>%. Le fromage CPP X<sub>1</sub>% détient la plus forte teneur en humidité ( $55,48 \pm 0,04\%$ ). La plus grande valeur en ° brix est obtenu dans le fromage GF X<sub>1</sub>%. Cet enrichissement a aussi permis l'amélioration de la qualité nutritionnelle des fromages élaborés. Le taux de chlorophylle et les sucres totaux des fromages supplémentés en poudres de coproduits ont connus une augmentation par rapport aux fromages témoins. PA X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub> % ont des teneurs significativement plus élevées en chlorophylle que les autres produits fabriqués avec des taux de  $25,20 \pm 1,05 \mu\text{g/gF}$  et  $26,87 \pm 1,78 \mu\text{g/gF}$  respectivement. Les produits aux CPP X<sub>3</sub> et X<sub>4</sub> % et GF à X<sub>4</sub> % présentent les valeurs les plus importantes en sucres totaux ( $7,4 \pm 0,05 \text{ mg/g}$  ;  $7,58 \pm 0,01 \text{ mg/g}$  et  $7,42 \pm 0,11 \text{ mg/g}$ ).

L'analyse phytochimique a démontré le meilleur rendement d'extraction ( $14,52\%$ ) pour les fromages aux gousses de fèves X<sub>4</sub>%. La teneur la plus élevée en PPT ( $0,33 \pm 0,007 \text{ mg EAG/ g F}$ ) est obtenue avec l'enrichissement aux pelures d'aubergine à X<sub>4</sub>% et celle en Flavonoïdes ( $0,23 \text{ mg} \pm 0,012 \text{ EQ/g F}$ ) dans les fromages aux GF à X<sub>4</sub>%.

L'activité antioxydante la plus prononcée évaluée par le test DPPH a été notée pour le fromage GF X<sub>4</sub>%( $86,23 \pm 0,005\%$ ). Ce dernier a aussi enregistré le meilleur taux d'inhibition du radical ABTS\* ( $14,36 \mu\text{mol ET/ g F}$ ). La meilleure capacité à réduire le fer ferrique en fer ferreux est celle du GF X<sub>4</sub>% et GF X<sub>3</sub>% ( $5,34 \text{ mg ET/g F}$ ,  $5,28 \text{ mg ET/g F}$  respectivement). Ces deux fromages possèdent aussi le meilleur pouvoir réducteur du molybdate d'ammonium avec un taux de  $0,43 \text{ mg EAA/ g F}$ .

La caractérisation par infrarouge a permis de mettre en évidence des pics analogues dans les 13 fromages formulés. Ces similarités peuvent être attribuées à des composants communs présents dans les fromages, tels que les protéines, les lipides et les glucides.

Les résultats des analyses microbiologiques sont conformes aux normes, indiquant le respect des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication

L'Évaluation sensorielle des fromages a montré que le panel expert n'a pas pu choisir entre les fromages CPP et GF en revanche pour les fromages PA les plus appréciés sont le fromage témoin et le fromage PA X<sub>1</sub>%.

En perspective, il serait intéressant de :

- Établir un plan de mélange pour les différentes matrices utilisées ;
- Suivre l'évolution du profil physico-chimique et phytochimique durant le stockage des fromages;
- Déterminer d'autres types d'activités telles que anti-inflammatoires, antibactériennes etc.
- Reproduire les formulations de cette étude à l'échelle pilote dans une industrie agroalimentaire.

*Références*  
*Bibliographiques*

**-A-**

Abd El-Gawad, M. A., & Ahmed, N. S. (2011). Cheese yield as affected by some parameters review. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 10(2), 131-153.

Addou, A. (2009). *Traitement des déchets: valorisation, élimination*. Ellipses.

Aini, N., Prihananto, V., Sustriawan, B., Romadhon, D., & Ramadhan, R. N. (2019). The formulation of cheese analogue from sweet corn extract. *International Journal of Food Science*, 2019.

Andrade, J., Pereira, C. G., Ranquine, T., Azarias, C. A., Bell, M. J. V., & de Carvalho dos Anjos, V. (2018). Long-term ripening evaluation of ewes' cheeses by fourier-transformed infrared spectroscopy under real industrial conditions. *Journal of Spectroscopy*, 2018.

AOAC (1990).

Ayvaz, H., Mortas, M., Dogan, M. A., Atan, M., Yildiz Tiryaki, G., & Karagul Yuceer, Y. (2021). Near-and mid-infrared determination of some quality parameters of cheese manufactured from the mixture of different milk species. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3981-3992.

**-B-**

Bandyopadhyay, M., Chakraborty, R., & Raychaudhuri, U. (2008). Effect of carrot on quality improvement of sweet syrupy cheese ball (Rasgulla). *International journal of dairy technology*, 61(3), 290-299.

Barzegar, M., Zare, D., & Stroshine, R. L. (2015). An integrated energy and quality approach to optimization of green peas drying in a hot air infrared-assisted vibratory bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 166, 302-315.

Belay, G., Edje, O. T., Westphal, E., Oyen, L. P. A., & Siemonsma, J. S. (2006). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1 Céréales et légumes secs.

Bengouga, K. (2018). *Evaluation de la résistance naturelle de quelques cultivars de fève (Vicia faba L.) propres à la région de Biskra à l'égard des thrips (Thysanoptera: Thripidae)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Kheider-Biskra).

Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009). Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*)

muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food chemistry*, 114(4), 1198-1205.

Boyeldieu, J. (1991). *Produire des grains oléagineux et protéagineux* (pp. 115-152). Technique et documentation-Lavoisier.

### -C-

Çelik, S. E., Özyürek, M., Altun, M., Bektaşoğlu, B., Güçlü, K., Berker, K. I., ... & Apak', R. (2008). Antioxidant capacities of herbal plants used in the manufacture of van herby cheese: 'Otlu Peynir'. *International Journal of Food Properties*, 11(4), 747-761.

Ceramella, J., La Torre, C., De Luca, M., Iacopetta, D., Fazio, A., Catalano, A., ... & Rosano, C. (2022). Exploring the anticancer and antioxidant properties of *Vicia faba* L. pods extracts, a promising source of nutraceuticals. *PeerJ*, 10, e13683.

Chaux, C., & Foury, C. (1994). *Légumineuses potagères, légumes fruits*. Lavoisier.

Corrieu, G., & Luquet, F. M. (2005). Bactéries lactiques et probiotiques. *Appllication des bactéries lactiques dans les produits laitiers frais et effet probiotiques*, 1-100.

Costa, C., Lucera, A., Marinelli, V., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2018). Influence of different by-products addition on sensory and physicochemical aspects of Primosale cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 4174-4183.

Couplan, F. (1998). *Guide nutritionnel des plantes sauvages et cultivées*. Delachaux et Niestlé.

### -D-

Da Silva Dannenberg, G., Funck, G. D., Mattei, F. J., da Silva, W. P., & Fiorentini, Â. M. (2016). Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil from pink pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in vitro and in cheese experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 120-127.

Debbabi, M., Nury, T., Zarrouk, A., Mekahli, N., Bezine, M., Sghaier, R., ... & Lizard, G. (2016). Protective effects of  $\alpha$ -tocopherol,  $\gamma$ -tocopherol and oleic acid, three compounds of olive oils, and no effect of trolox, on 7-ketocholesterol-induced mitochondrial and peroxisomal dysfunction in microglial BV-2 cells. *International journal of molecular sciences*, 17(12), 1973.

Di Donato, F., Biancolillo, A., Foschi, M., & D'Archivio, A. A. (2022). Application of SPORT algorithm on ATR-FTIR data: A rapid and green tool for the characterization and discrimination

of three typical Italian Pecorino cheeses. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104784.

DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

### -E-

Ebrahimzadeh, M. A., Pourmorad, F., & Bekhradnia, A. R. (2008). Iron chelating activity, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *African Journal of Biotechnology*, 7(18).

Eck, A., & Gillis, J. C. (2006). Le fromage. 3eme edition: Tec et Doc. *Lavoisier. Paris. 891p.*

El Galiou, O., Zantar, S., Bakkali, M., Laglaoui, A., Centeno, J. A., & Carballo, J. (2015). Chemical and microbiological characteristics of traditional homemade fresh goat cheeses from Northern Morocco. *Small Ruminant Research*, 129, 108-113.

El-Aziz, M. A., Mohamed, S. H., & Seleet, F. L. (2012). Production and evaluation of soft cheese fortified with ginger extract as a functional dairy food. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 62(2).

El-Sayed, S. M. (2020). Use of spinach powder as functional ingredient in the manufacture of UF-Soft cheese. *Heliyon*, 6(1), e03278.

### -F-

FAO, F. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (FAOSTAT).

Fatiha, B., Didier, H., Naima, G., Khodir, M., Martin, K., Léocadie, K., ... & Pierre, D. (2015). Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian Mentha species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial crops and products*, 74, 722-730.

Fazio, A., La Torre, C., Dalena, F., & Plastina, P. (2020). Screening of glucan and pectin contents in broad bean (*Vicia faba* L.) pods during maturation. *European Food Research and Technology*, 246, 333-347.

Fox, P. F., O'connor, T. P., McSweeney, P. L. H., Guinee, T. P., & O'brien, N. M. (1996). Cheese: physical, biochemical, and nutritional aspects. *Advances in food and nutrition research*, 39, 163-328.

### -G-

Garthwaite, P. H., Jolliffe, I. T., Jolliffe, I. T., & Jones, B. (2002). *Statistical inference*. Oxford University Press on Demand.

Gouda, T. T. M. H. (2015). Survey of nutritional education for students of faculty education Nujran based on supplemented food products with some vegetables peels and study the chemical and storage properties of product. *Advances in Environmental Biology*, 9(27), 62-80.

### -H-

Hadjout-Krimat, L., Belbahi, A., Dahmoune, F., Hentabli, M., Boudria, A., Achat, S., ... & Madani, K. (2023). Study of microwave and convective drying kinetics of peapods (*Pisum sativum* L.): A new modeling approach using support vector regression methods optimized by dragonfly algorithm techniques. *Journal of Food Process Engineering*, 46(2), e14232.

Harbutt, J. (1999). *Le grand livre des fromages*. (No Title).

Herch, W., Kallel, H., & Boukhchina, S. (2014). Physicochemical properties and antioxidant activity of Tunisian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) oil as affected by different extraction methods. *Food Science and Technology*, 34, 464-470.

Himed-Idir, H., Mouhoubi, K., Siar, E. H., Boudries, H., Mansouri, H., Adjeroud, N., ... & Boulekbache-Makhlouf, L. (2021). Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) supplementation on fresh cheese: Physicochemical properties, antioxidant potential, and sensory attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e15057.

Husson, F., Lê, S., & Pagès, J. (2009). *SensoMineR*.

### -I-

ISO 21528-1, 2017.

### -J-

Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brule, G. (2007). *Sciences des Aliments 2-Technologie des Produits Alimentaires* (pp. 456-p). Tec & Doc Lavoisier.

Jeong, H. J., Lee, Y. K., Ganesan, P., Kwak, H. S., & Chang, Y. H. (2017). Physicochemical, microbial, and sensory properties of queso blanco cheese supplemented with powdered microcapsules of tomato extracts. *Korean journal for food science of animal resources*, 37(3), 342.

JORA N°14/2015

JORA N°51/2013

JORA N°58/2017

JORA N°74/2017

JORAN°75/2017

JORF (JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE), (2007). Décret n. 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères, 10 p.

### -K-

Kalili, A., Ouafi, R. E., Aboukhalaf, A., Naciri, K., Tbatou, M., Essaih, S., ... & Belahsen, R. (2021). Chemical composition and antioxidant activity of extracts from Moroccan fresh fava beans pods (*Vicia Faba L.*). *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 73(1), 79-86.

Kay, D. E. (1979). Food legumes. *Food legumes.*, (3).

Kazemi, M., Khodaiyan, F., Hosseini, S. S., & Najari, Z. (2019). An integrated valorization of industrial waste of eggplant: Simultaneous recovery of pectin, phenolics and sequential production of pullulan. *Waste Management*, 100, 101-111.

Kjeldahl, J. G. C. T. (1883). A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds. *Z. Anal. Chem*, 22(1), 366-382.

### -L-

Lapointe-Vignola, C. (2002). *Science et technologie du lait : transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.

Laumonier, R. (1979). Cultures légumières et maraîchères, Tome III. *Ed. JB BAILLIÈRE*, 276p.

Leite, A. I. N., Pereira, C. G., Andrade, J., Vicentini, N. M., Bell, M. J. V., & Anjos, V. (2019). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for the rapid detection of adulterations in butter cheeses. *Lwt*, 109, 63-69.

Lucera, A., Costa, C., Marinelli, V., Saccotelli, M. A., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2018). Fruit and vegetable by-products to fortify spreadable cheese. *Antioxidants*, 7(5), 61.

Luquet, F. M. (1990). Laits et produits laitiers: vache, brebis, chèvre. Tome 2: Les produits laitiers, transformation et technologies. Ed., Lavoisier. *Sciences et Techniques Agro-alimentaires*, 637.

### -M-

MAOUI, R., SAY, B., EL HADJ, B., FRIKH, A., & GIRARD, C. (1990). La culture de la fève en Tunisie. Ed. INRAT, ONH, AGROPOL. et ITCF.

Marcel, M., Aubineau, M., Bermond, A., Bougler, J., Ney, B., & Jean, R. (2002). Larousse agricole. *Le monde agricole XXI e siècle*, 2.

Marchiani, R., Bertolino, M., Ghirardello, D., McSweeney, P. L., & Zeppa, G. (2016). Physicochemical and nutritional qualities of grape pomace powder-fortified semi-hard cheeses. *Journal of food science and technology*, 53, 1585-1596.

Mateos-Aparicio, I., et al., Peapod, broadbeanpod and okara, potential sources of 364 functional compounds. *LWT - Food Science and Technology*, 2010. 43(9): p. 1467-1470.

MATIERE, P. (2014). Guide méthodologique.

Mejri, F., Khoud, H. B., Njim, L., Baati, T., Selmi, S., Martins, A., ... & Hosni, K. (2019). In vitro and in vivo biological properties of pea pods (*Pisum sativum* L.). *Food Bioscience*, 32, 100482.

Mekhoukhe, A., Kicher, H., Ladjouzi, A., Medouni-Haroune, L., Brahmi, F., Medouni-Adrar, S., & Madani, K. (2019). Antioxidant activity of carob seeds and chemical composition of their by-products. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 16(1).

Mohamed, A. G., Shalaby, S. M., & Gafour, W. A. (2016). Quality characteristics and acceptability of an analogue processed spreadable cheese made with carrot paste (*Daucus carota* L.). *Int. J. Dairy Sci*, 11(3), 91-99.

Moletta, R. (Ed.). (2013). *Le traitement des déchets*. Éd. Tec & doc.

### -N-

NF V05-113 (1972) Fruits, légumes et produits dérivés-Minéralisation des matières organiques-Méthode par incinération.

**-P-**

Pagano, M., & Faggio, C. (2015). The use of erythrocyte fragility to assess xenobiotic cytotoxicity. *Cell biochemistry and function*, 33(6), 351-355.

Pax, A. P., Ong, L., Vongsvivut, J., Tobin, M. J., Kentish, S. E., & Gras, S. L. (2019). The characterisation of Mozzarella cheese microstructure using high resolution synchrotron transmission and ATR-FTIR microspectroscopy. *Food chemistry*, 291, 214-222.

Perna, A., Intaglietta, I., Simonetti, A., & Gambacorta, E. (2015). Effect of genetic type on antioxidant activity of Caciocavallo cheese during ripening. *Journal of dairy science*, 98(6), 3690-3694.

Péron, J. Y. (2006). Références productions légumières, 2ème édition. chap.

Philippi, K., Tsamandouras, N., Grigorakis, S., & Makris, D. P. (2016). Ultrasound-assisted green extraction of eggplant peel (*Solanum melongena*) polyphenols using aqueous mixtures of glycerol and ethanol: Optimisation and kinetics. *Environmental Processes*, 3, 369-386.

Pinchao-Pinchao, Y. A., Ordoñez-Santos, L. E., & Osorio-Mora, O. (2019). Evaluation of the effect of different factors on the ultrasound assisted extraction of phenolic compounds of the pea pod. *Dyna*, 86(210), 211-215.

Pombo, A. F. W. (2021). Cream cheese: Historical, manufacturing, and physico-chemical aspects. *International Dairy Journal*, 117, 104948. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104948>

Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical biochemistry*, 269(2), 337-341.

**-R-**

Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., & Aruoma, O. I. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1), 75-87.

---

Richonnet, C. (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 51(1), 48-56.

Roussos, P. A., Sefferou, V., Denaxa, N. K., Tsantili, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different cropload. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 472-478.

---

### -S-

Salehi, F. (2021). Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4666-4686.

Shalaby, H. G., Elsohaimy, S., Zeitoun, A. A., & Zeitoun, M. A. (2020). Chemical Composition and Physical Properties of Some Egyptian Cucurbitaceae Seeds and Oils. *Journal of the advances in Agricultural Researches*, 25(3), 324-340.

Shori, A. B., & Baba, A. S. (2013). Antioxidant activity and inhibition of key enzymes linked to type-2 diabetes and hypertension by *Azadirachta indica*-yogurt. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(3), 295-301.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.

Slozhenkina, M. I., Gorlov, I. F., Kryuchkova, V. V., Serkova, A. E., Ryaskova, A. D., & Belik, S. N. (2019). Vegetable ingredient in cheese product. *Potravinarstvo*, 13(1).

Smith, B. (2006). Food quality attributes. In : laboratory manual for food science. The university of Auckland, Auckland, New Zealand, p.5.

Swarup, V. (1995, March). Genetic resources and breeding of aubergine (*Solanum melongena* L.). In *I International Symposium on Solanacea for Fresh Market 412* (pp. 71-79).

### -T-

Tarapoulouzi, M., Kokkinofa, R., & Theocharis, C. R. (2020). Chemometric analysis combined with FTIR spectroscopy of milk and Halloumi cheese samples according to species' origin. *Food science & nutrition*, 8(7), 3262-3273.

### -V-

Vedamuthu, E. R., & Washam, C. (1983). Cheese. *Biotechnology. Volume 5. Food and feed production with microorganisms*, 231-313.

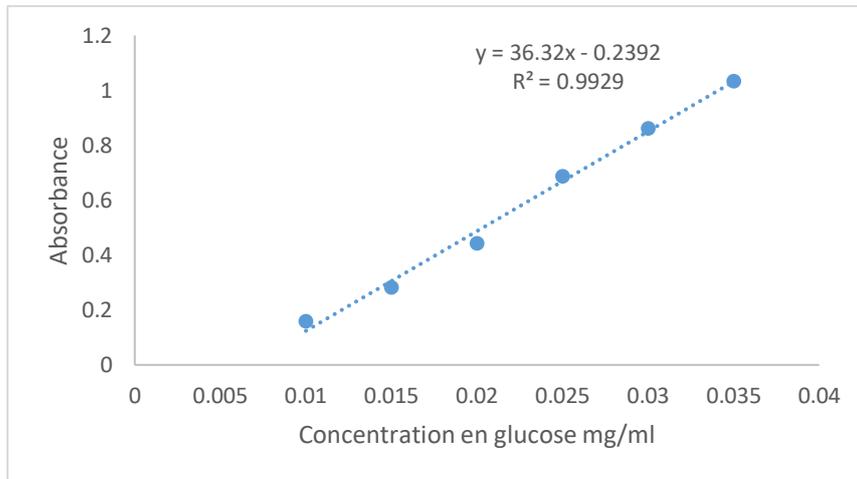
-Z-

Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the Old World: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley* (No. Ed. 3). Oxford university press.

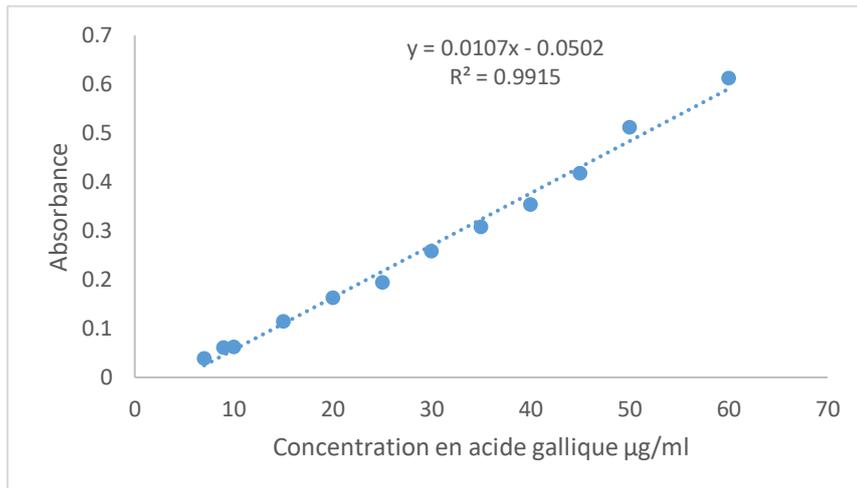
# *Annexes*

## Annexe N°1 : Les courbes d'étalonnage

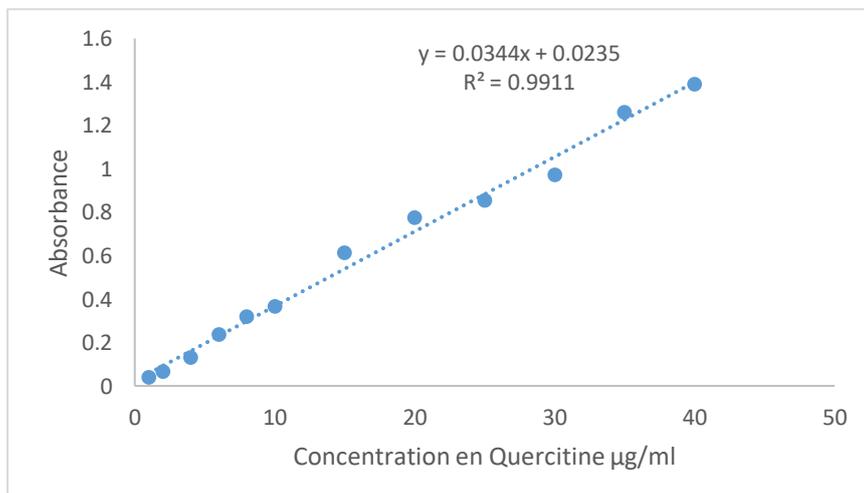
### 1. Courbe d'étalonnage pour le dosage sucres totaux



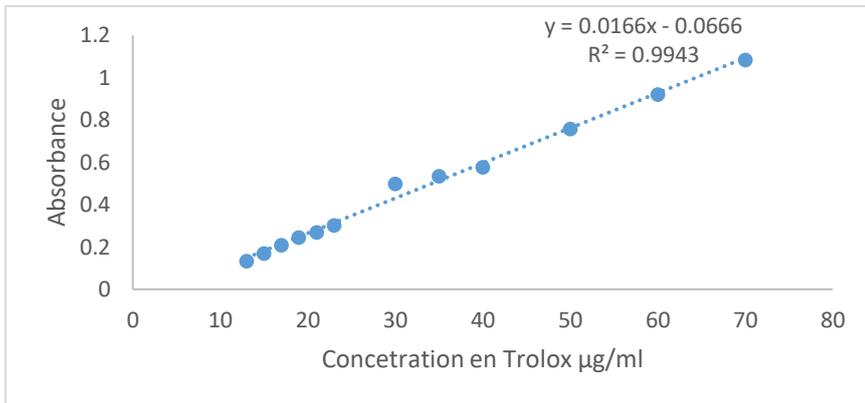
### 2. Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux



### 3. Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes



#### 4. Courbe d'étalonnage pour le pouvoir réducteur (FRAP)



## Annexe N°2 : les méthodes d'analyses microbiologique des Fromages élaborés

### 1. Détermination du nombre de coliformes totaux

L'isolement et le l'énumération des coliformes totaux se fait par la technique du nombre le plus probable(NPP). Les étapes sont comme suit :

**a) Inoculation** : 10 mL de dilution obtenues à partir de la solution mère sontensemencées dans un tube contenant 10 mL d'un milieu sélectif d'enrichissement double concentration (Bouillon à la tryptose et au lauryle sulfate) à raison de 1mL de milieu sélectif d'enrichissement simple concentration.

**b) Incubation** :

- Laisser le tube de milieu de culture double concentration dans l'étuve à 30 °C ou à37 °C pendant  $24 \pm 2$ h.

- Laisser le tube de milieu de culture simple concentration dans l'étuve à 30°C ou à 37 °C pendant  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ . Dans le cas de la formation d'un trouble qui empêche la détection de formation de gaz, la période d'incubation est allongée à  $48 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ .

**c) Confirmation** : Le milieu de culture utilisé pour la confirmation est le bouillon lactose bilié au vert brillant. Il est considéré comme étant un tube positif si la production de gaz après  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  ou après  $48 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  se manifeste.

**d) Interprétation** : le nombre total de tubes dans lesquels on observe un dégagement gazeux, est compté puis analysé.

**e) Expression des résultats** : Conformément à la technique d'interprétation des résultats indiquée, la présence ou l'absence de coliformes dans un échantillon ; se fait par la détermination du nombre le plus probable(NPP) des coliformes de chacun des tubes positifs pour chacune des dilutions, en se référant aux les tables statistiques de Mac Grady (**JORA N°58/2017**).

**2. Détermination du nombre de coliformes fécaux** : La méthode de dénombrement des coliformes thermotolérants se fait par comptage des colonies apparues après incubation à 44°C conformément aux dispositions décrites dans le **journal officiel N°75/2017**. Les étapes sont les suivantes :

**a) Préparation de l'échantillon :** Une suspension mère et des dilutions décimales sont effectuées dans de l'eau distillée stérile.

**b) Ensemencement et incubation :**

- Inoculer 1mL de la suspension mère et 1 mL des dilutions dans une boîte de Pétri
- Couler dans chaque boîte de Pétri environ 15 mL du milieu gélosé à la bile au rouge neutre et au cristal violet, mélanger et incuber à une température variable entre 44°C et 47°C.
- Après solidification du mélange, additionner une couche d'environ 5 ml de milieu V.R.B.L suivi d'une incubation à 44°C ± 1°C durant 24 ± 2 h.

**c) Comptage des colonies :** Après incubation, un comptage des colonies caractéristiques (violacées d'un diamètre supérieur ou égal à 0,5 mm et parfois entourées d'une zone rougeâtre due à la précipitation de la bile) de coliformes thermotolérants est réalisé.

**L'ISO 21528-1, 2017 :** Cette méthode est applicable lorsque les micro-organismes recherchés nécessitent une revivification par enrichissement.

**3. Recherche des *Salmonella* sp. :** Un pré enrichissement et un enrichissement sélectif sont souvent nécessaires, afin de pouvoir rechercher les *Salmonella* en nombre restreint ou ayant subi une altération.

**a) Pré-enrichissement en milieu non sélectif liquide :** Ensemencer la prise d'essai dans de l'eau peptonée tamponnée à la température ambiante, puis incuber à 37 °C ± 1 °C pendant 18 h ± 2 h.

**b) Enrichissement en milieux sélectifs liquides :** Ensemencer le bouillon Rappaport - Vassiliadis avec Soja (bouillon RVS) à 41,5°C±1°C pendant 24 h ± 3h et le bouillon Muller-Kauffmann au Tétrathionate novobiocine (MKTTn) à 37°C ± 1°C pendant 24 h ± 3 avec la culture du milieu d'enrichissement.

**c) Isolement, identification et confirmation :** Repiquer des colonies présumées de *Salmonella* isolées en RVS et MKTTn et procéder à la confirmation au moyen des essais biochimiques et sérologiques appropriés.

**NB :** Etant donné que la culture était négative, donc les étapes d'isolement et d'identification ont été négligées.

**4. Dénombrement de *Staphylococcus aureus* :** La présente méthode spécifie une technique pour le dénombrement des Staphylocoques à coagulase positive (*Staphylococcus aureus* et autres espèces) par comptage des colonies obtenues en milieu solide (milieu au plasma de lapin et au fibrinogène) après incubation en aérobiose à 35°C ou 37° C.

**a) Préparation de la suspension mère et des dilutions décimales :** 10g de fromage dans un flacon stérile auquel ont été rajoutés 90ml de diluant (eau peptonée tamponnée à température ambiante) (il s'agit là de la 1ère dilution). Les dilutions décimales sont préparées en transférant 1ml de la suspension mère dans un tube contenant 9ml du même diluant avec répétition pour chaque dilution préparée jusqu'à l'obtention d'une série de dilutions décimales (**JORA N° 74/2017**).

**b) Ensemencement en profondeur** du milieu gélosé au plasma de lapin et au fibrinogène, (deux boîtes de Pétri) avec une quantité déterminée de la suspension mère et des dilutions décimales.

**c) Incubation :** Incubation de ces boîtes est effectuée à 35° C ou 37° C pendant 18 h à 24 h et, si nécessaire, 24 h supplémentaires.

**d) Interprétation et expression des résultats :** Après l'incubation, les staphylocoques sous forme de petites colonies noires ou grises ou même blanches, entourées d'un halo de précipitation indiquant une activité de coagulase puis procéder au comptage des colonies caractéristiques pour chaque boîte.

$$Ne = (C/2) * d$$

Où :

Ne : nombre estimé de Staphylocoques à coagulase positive par gramme de produit ;

C : somme des colonies de *Staphylococcus* à coagulase positive comptées sur les deux boîtes retenues ;

d : taux de dilution de la suspension mère.

**e) Expression du résultat :** Si les deux boîtesensemencées par la suspension mère ne contiennent aucune colonie de Staphylocoques à coagulase positive, le résultat est exprimé comme suit : moins de 1/d Staphylocoque à coagulase positive par gramme de produit, où d est le taux de dilution de la suspension mère (**JORA N°14/2015**).

**5. Analyse mycologique des fromages :** la méthode du dénombrement des levures et moisissures se fait par comptage des colonies.

**a) Ensemencement en surface :** Transférer 0,1 mL de la suspension mère ou les dilutions décimales dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture DRBC (Dichloran rose bengale chloramphénicolagar) et étaler l'inoculum sur la surface de ce dernier.

**b) Incubation :** Incuber en aérobiose les boîtes ensemencées, couvercles en haut, à  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  pendant cinq (5) jours.

**c) Expression des résultats :** énumérer la flore fongique en utilisant une loupe binoculaire (JORA N°48/2015).

**6. Dénombrement des bactéries sulfite-réducteurs (*Clostridium*) :** Le dénombrement des bactéries sulfite-réducteurs (anaérobie stricte) est réalisé en se référant à la méthode horizontale décrite dans le journal officiel N°51/2013.

**a) Prise d'essai** (suspension mère et dilutions) : un traitement thermique de la suspension mère à  $75^{\circ}\text{C}$  pendant 20 min est effectué pour éliminer les formes végétatives.

**b) Ensemencement :** prendre deux boîtes de Pétri stériles, transférer dans chaque boîte 1 mL de suspension mère et 1 mL de la dilution décimale ( $10^{-2}$ ), puis ajouter dans chacune des boîtes de Pétri environ 15 mL de gélose au sulfite de fer en surfusion. Après solidification du milieu, verser dans la boîte 5 mL à 10 mL du même milieu, de manière à recouvrir la couche précédente.

**c) Incubation :** Après solidification, incuber les boîtes de Pétri dans des jarres pour anaérobiose à  $7^{\circ}\text{C}$  à  $10^{\circ}\text{C}$  pendant 24 h à 48 h.

**d) Comptage des colonies :** lire les résultats après 24 h à 48 h (selon le degré de coloration noire et le taux de croissance des *Clostridium*). Les colonies noires, éventuellement entourées d'une zone noire, sont considérées comme des bactéries sulfite-réducteurs.



**5. Saveur acide (sensation en bouche)**

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

110	120	130	140	150

**6. Saveur ou arôme attribué (sensation en bouche)**

1. Aucun arôme
2. non identifié
3. Haricots
4. Epinard
5. Petit pois

110	120	130	140	150

**7. Arrière-goût (sensation en bouche)**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

110	120	130	140	150

**8. Texture en bouche**

1. Liquide
2. Trop mou
3. Mou
4. Ferme
5. Très ferme

110	120	130	140	150

**9. Astringence**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

110	120	130	140	150

**10. Consistance**

1. Liquide
2. Trop mou
3. Mou
4. Ferme
5. Très ferme

110	120	130	140	150

**11. Tartinabilité (tartiner sur un morceau de pain)**

1. Très difficile
2. Difficile
3. Moyenne
4. Facile
5. Très facile

110	120	130	140	150

**12. Préférence globale**

Attribuez pour chaque échantillon une note de préférence entre 1 à 9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et 9 à celui le plus préféré, selon l'échelle présentée ci-dessous :

- 1 : Extrêmement désagréable,
- 2 : Très désagréable,
- 3 : Désagréable,
- 4 : Assez désagréable,
- 5 : Ni agréable ni désagréable,
- 6 : Assez agréable,
- 7 : Agréable,
- 8 : Très agréable,
- 9 : Extrêmement agréable.

110	120	130	140	150

"Merci pour votre coopération"

**Annexe N°4 : Questionnaire d'analyse sensorielle du Fromage (panel expert)**

**Nom :**                      **prénom :**                      **Age:.....**  
**Date : .....**

**Sexe : Féminin**       **Masculin**

Cinq échantillons des fromages enrichis sont codés 160, 170, 180, 190 et 200 vous sont présentés. Il vous est demandé d'évaluer différentes caractéristiques et d'attribuer une note de 1 à 5 pour chaque échantillon sur l'échelle suivante :

**1. La couleur (sans gouter)**

1. Blanc
2. Jaune
3. Gris clair
4. Gris
5. Gris foncé

160	170	180	190	200

**2. Odeur (sans gouter)**

1. Très peu intense
2. Faiblement intense
3. Moyennement intense
4. Fortement intense
5. Très fortement intense

160	170	180	190	200

**3. Texture (sans gouter)**

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

160	170	180	190	200

**4. Arôme (sensation en bouche)**

1. Absent
2. Faiblement intense
3. Moyennement intense
4. Fortement intense
5. Très fortement intense

160	170	180	190	200

**5. Saveur acide (sensation en bouche)**

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

160	170	180	190	200

**6. Saveur ou arôme attribué (sensation en bouche)**

1. Aucun arôme
2. non identifié
3. Poivre noir
4. Artichaut
5. Fève

160	170	180	190	200

**7. Arrière-goût (sensation en bouche)**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

160	170	180	190	200

**8. Texture en bouche**

1. Liquide
2. Trop mou
3. Mou
4. Ferme
5. Très ferme

160	170	180	190	200

**9. Astringence**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

160	170	180	190	200

**10. Consistance**

1. Liquide
2. Trop mou
3. Mou
4. Ferme
5. Très ferme

160	170	180	190	200

**11. Tartinabilité (tartiner sur un morceau de pain)**

1. Très difficile
2. Difficile
3. Moyenne
4. Facile
5. Très facile

160	170	180	190	200

**12. Préférence globale**

Attribuez pour chaque échantillon une note de préférence entre 1 à 9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et 9 à celui le plus préféré, selon l'échelle présentée ci-dessous :

- 1 : Extrêmement désagréable,
- 2 : Très désagréable,
- 3 : Désagréable,
- 4 : Assez désagréable,
- 5 : Ni agréable ni désagréable,
- 6 : Assez agréable,
- 7 : Agréable,
- 8 : Très agréable,
- 9 : Extrêmement agréable.

160	170	180	190	200

"Merci pour votre coopération"



**5. Saveur acide (sensation en bouche)**

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

210	220	230	240	250

**6. Saveur ou arôme attribué (sensation en bouche)**

1. Aucun arôme
2. non identifié
3. Betterave
4. Aubergine
5. Choux rouge

210	220	230	240	250

**7. Arrière-goût (sensation en bouche)**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

210	220	230	240	250

**8. Texture en bouche**

1. Liquide
2. Trop mou
3. Mou
4. Ferme
5. Très ferme

210	220	230	240	250

**9. Astringence**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

210	220	230	240	250

**10. Consistance**

1. Liquide
2. Trop mou
3. Mou
4. Ferme
5. Très ferme

210	220	230	240	250

**11. Tartinabilité (tartiner sur un morceau de pain)**

1. Très difficile
2. Difficile
3. Moyenne
4. Facile
5. Très facile

210	220	230	240	250

**12. Préférence globale**

Attribuez pour chaque échantillon une note de préférence entre 1 à 9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et 9 à celui le plus préféré, selon l'échelle présentée ci-dessous :

- 1 : Extrêmement désagréable,
- 2 : Très désagréable,
- 3 : Désagréable,
- 4 : Assez désagréable,
- 5 : Ni agréable ni désagréable,
- 6 : Assez agréable,
- 7 : Agréable,
- 8 : Très agréable,
- 9 : Extrêmement agréable.

210	220	230	240	250

"Merci pour votre coopération"

## Résumé

Le présent travail a été entrepris dans le but d'enrichir des fromages frais avec les cosses de petits pois, les gousses de fèves et les pelures d'aubergines tout en évaluant les caractéristiques des produits finis vis-à-vis des paramètres physico-chimiques, phytochimiques, microbiologiques, sensorielles et une caractérisation par infrarouge des produits élaborés. Le fromage CPP X<sub>1</sub>% détient la plus forte teneur en humidité (55,48±0,04%). Le produit enrichi en CPP X<sub>4</sub>% présente la valeur la plus prononcée en cendres (1,93±0,06%). La plus grande valeur en ° brix est obtenue dans le fromage GF X<sub>1</sub>%. Les fromages PA X<sub>3</sub>% et PA X<sub>4</sub>% ont recelé les valeurs les plus importantes en chlorophylle. La quantité la plus élevée en PPT (0,33±0,007 mg EAG/g F) est obtenue par PA X<sub>4</sub>% et celle en Flavonoïdes (0,23±0,012 mg EQ/g F) par GF X<sub>4</sub>%. L'activité antioxydante la plus prononcée évaluée par le test DPPH (86,23 %) ainsi que la capacité antioxydante par ABTS<sup>•</sup> (14,36 µmol ET/g F) a été notée pour le fromage GF X<sub>4</sub>%. Les deux fromages GF X<sub>4</sub>% et GF X<sub>3</sub>% procèdent La meilleure capacité à réduire le fer ferrique en fer ferreux (5,34 mg ET/g F, 5,28 mg ET/g F respectivement) ainsi que le meilleur pouvoir réducteur du molybdate d'ammonium avec un taux de 0,43 mg EAA/ g F. L'analyse microbiologique des fromages élaborés est conforme aux normes Algériennes. L'évaluation sensorielle des fromages a montré que le panel expert n'a pas pu choisir entre les fromages CPP et GF en revanches pour les fromages PA les plus appréciés sont les le fromage témoin et PA X<sub>1</sub>%. La caractérisation par infrarouge a permis de mettre en évidence des pics analogues dans les 13 fromages formulés correspondant à des composants communs présents dans les fromages.

**Mots clés :** Fromage frais enrichi, Cosses de petits pois, gousses de fèves, pelures d'aubergine

## Abstract

The present work is carried out to enrich a fresh cheese with powders of pea pods; broad bean pod and eggplant peel, and evaluate the characteristics of the finished products with in terms of physicochemical, phytochemical, microbiological and sensory parameters, and an infrared characterization of the finished products. CPP X<sub>1</sub>% cheese had the highest moisture content (55,48±0,04%). The product enriched with CPP X<sub>4</sub>% has the highest ash content (1.93±0.06 %). The highest °brix value is obtained in GF X<sub>1</sub>% cheese. PA X<sub>3</sub>% and PA X<sub>4</sub>% cheeses had the most significant chlorophyll values. The highest PPT (0.33±0,007 mg EAG/g C) and Flavonoid (0.23±0,012 mg EQ/g C) values was obtained with PA X<sub>2</sub>%, and GF X<sub>4</sub>% respectively. The most pronounced antioxidant activity assessed by the DPPH test (86.23%) as well as ABTS<sup>•</sup> antioxidant capacity (14.36 µmol ET/ g C) is observed in GF X<sub>4</sub>% cheese. The two cheeses GF X<sub>4</sub>% and GF X<sub>3</sub>% have the best capacity to reduce ferric iron to ferrous iron (5.34 mg ET/g C, 5.28 mg ET/g C respectively) as well as the best reducing power of ammonium molybdate with a rate of 0.43 mg EAA/ g C. Microbiological analysis of the cheeses conformed to Algerian standards. Sensory evaluation of the cheeses showed that the expert panel was unable to choose between the CPP and GF cheeses, while the most appreciated PA cheeses were the control and PA X<sub>1</sub>%. Infrared characterization revealed similar peaks in the 13 formulated cheeses, corresponding to common components present in the cheeses.

**Key words:** Fresh cheese enriched, pea pods, bean pods, eggplant peels