

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة 08 ماي 1945 قالمة  
Université 8 mai 1945 Guelma  
Faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et l'Univers  
Département d'Ecologie et de Génie de l'Environnement



## Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Domaine :** Science de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Alimentaires

**Spécialité :** Production et Transformation Laitière

### Thème

**Etude des paramètres physicochimiques et potentiel antioxydant  
d'un fromage enrichi en bétalaïnes de la betterave**

**Présenté par :**

Bounefla Assia

Hessainia Imane

Hamzaoui Bouthayna

Menaiaia Yousra

**Devant le jury composés de:**

<b>Présidente</b>	Dr. SLIMANI A.	MAA	Université de Guelma
<b>Examineur</b>	Dr. MEZROUA E.	MCB	Université de Guelma
<b>Promotrice</b>	Dr. YDJEDD S.	MCB	Université de Guelma

**Année Universitaire 2021/2022**

## Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction .....	1
<b>I. Synthèse bibliographique</b>	
Chapitre I. Fromage .....	2
1. Définition .....	2
2. Histoire du fromage.....	2
3. Fabrication du fromage .....	2
3.1. Coagulation.....	3
3.2. Egouttage .....	3
3.4. Salage.....	3
3.5. Affinage .....	4
4. Classification des fromages.....	4
4.1. Fromages à pâte pressée cuite .....	4
4.2. Fromages pâtes pressées non cuites.....	4
4.3. Fromages à pâte molle .....	4
4.4. Fromages persillés .....	5
4.5. Fromage à pâtes fraîches .....	5
Chapitre II : Colorants alimentaires .....	6
1. Définition .....	6
2. Utilisation des colorants .....	6
3. Application des Colorants .....	6
4. Nature des colorants alimentaires .....	7
4.1. Colorants naturels .....	7
4.2. Colorants synthétiques.....	8
5. Stabilité des colorants alimentaires .....	8
6. Rôle du colorant .....	9
Chapitre III : Généralités sur la betterave .....	10
1. Description botanique .....	10
2. Systématique .....	10
3. Morphologie.....	11
4. Composition chimique et valeur nutritionnelle.....	11

## II. Matériel et méthodes

1. Matériel utilisé .....	13
2. Extraction du jus de betterave .....	13
3. Préparation de fromage .....	13
4. Rendement.....	14
5. Analyses physico-chimiques .....	15
5.1. Préparation des extraits aqueux des échantillons de fromage .....	15
5.2. Mesure du pH .....	15
5.3. Test d'humidité.....	15
5.4. Détermination de l'acidité titrable.....	16
5.5. Mesure du degré Brix .....	16
6. Extraction et dosages des antioxydants.....	16
6.1. Extraction et dosage des polyphénols totaux.....	16
6.2. Extraction et dosage des Bétalaines.....	17
7. Evaluation de l'activité antioxydante.....	17
7.1. Activité antiradicalaire DPPH .....	17
7.2. Pouvoir réducteur de fer (PRF) .....	18
8. Analyse statistique .....	18

## III. Résultats et discussion

1. Analyses physicochimiques des fromages préparés .....	19
1.1. Rendement.....	19
1.2. pH .....	20
1.3. Acidité titrable .....	20
1.4. Taux d'humidité .....	20
1.5. Brix .....	20
2. Teneurs en antioxydants.....	21
2.1. Teneurs en polyphénols totaux .....	21
2.2. Teneurs en bétalaines.....	22
3. Activité antioxydante .....	22
3.1. Activité antiradicalaire DPPH .....	23
3.2. Pouvoir réducteur de fer .....	24
Conclusion.....	25
Références Bibliographiques .....	26

Annexe

Résumé

## ***Remerciements***

*Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, Le Tout Puissant qui nous a accordé la santé et le courage pour mener ce travail jusqu'au bout.*

*Nos vifs remerciements s'adressent à **Mr MEZROUA E.** d'avoir accepté d'examiner notre travail et **M<sup>me</sup> SLIMANI A.** pour l'honneur qu'elle nous fait de présider le jury.*

*Nous tenons à remercier également notre promotrice **M<sup>me</sup> YDJEDD S.** qui a accepté de nous encadrer et qui nous a guidée dans la réalisation de ce travail, Pour son aide et son encadrement, ses encouragements et surtout sa Compréhension durant toute la période de préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions aussi nos professeurs qui nous ont enrichis de connaissances et tout le Département d'Ecologie et Génie de l'Environnement.*

## **Dédicace**

*La locomotive de recherche a traversé de nombreux obstacles, cependant, j'ai essayé de la surmonter régulièrement, grâce à Dieu et de Lui.*

*A mes parents, mes frères et mes amis, ils ont été le soutien et le soutien afin de mener à bien la recherche.*

*Et je ne dois pas oublier mes professeurs qui ont eu le plus grand rôle dans mon soutien*

*Fournit des informations précieuses...*

*Je vous dédie mon mémoire de fin d'études.....*

*Prier le Tout-Puissant - le Tout-Puissant - pour prolonger votre vie et vous bénir avec des primes.*

*Merci*

# **Dédicace**

*Je dédie cet humble acte et ma profonde gratitude à:*

*Avant tout, je remercie dieu de m'avoir vu sur le bon chemin pour pouvoir faire ce travail.*

*Ma chère mère, à qui je dois le succès, pour l'éducation qu'elle m'a donnée par tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'elle a consentis pour moi, pour le sens du devoir qu'elle m'a inculqué dès mon enfance, pour son amour, ses encouragements et prières.*

*Mon cher père pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordée. Mon cher frère HATEM et ma chère sœur BOUTHAINA pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de mes études. Et je remercie tout particulièrement mon amie et ma bien-aimée ASSIA, HADJER.*

**IMENE**

**Liste des abréviations**

**DJA** : Dose journalière admissible.

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

**OMS** : Organisation mondiale de la santé.

**DPPH** : radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

**EAA** : Equivalent en acide ascorbique

**EAG** : Equivalent en acide gallique.

**PRF** : Pouvoir Réducteur de Fer.

**TPC** : Teneur en Composés Phénoliques.

**AFNOR**: Association française de normalisation.

**ANOVA**: Analyses de la variance (Analysis of variance).

**Liste des figures**

Figure 1: structure chimique de Le $\beta$ –carotène .....	7
Figure 2: Structure chimique de Bleu patenté .....	8
Figure 3: <i>Beta vulgaris ssp. Vulgaris</i> du groupe Betterave Jardin.....	11
Figure 4 : Etapes de préparation du fromage .....	14
Figure 5: Fromages préparés à différentes concentrations de jus de betterave .....	14
Figure 6: Préparation des extraits aqueux des échantillons de fromage .....	15
Figure 7. Teneurs en composés phénoliques totaux des quatre fromages enrichis avec différentes concentration de jus de betterave .....	21
Figure 8. Teneurs en bétalaines des quatre fromages enrichis avec différentes concentration de jus de betterave .....	22
Figure 9. Activité inhibitrice du radical DPPH des échantillons du yaourt enrichi en jus de betterave. ....	23
Figure 10. Teneurs en pouvoir réducteur de fer du fromage enrichi en jus de betterave.....	24

**Liste des tableaux**

Tableau 1 : Facteurs qui influencé sur les colorants alimentaires ..... 8

Tableau 2. Exemples des colorants autorisés, caractéristiques et utilisations..... 9

Tableau 3. Taxonomie selon Hequet *et al.* (2019) ..... 10

Tableau 4. Valeurs nutritionnelles pour 100g de betterave..... 12

Tableau 5. Résultats des analyses physicochimiques..... 19

# ***Introduction***

## Introduction

L'utilisation des extraits de plantes en agroalimentaire est due principalement à leurs propriétés thérapeutiques, organoleptiques et odorantes (**Boucekrit, 2018**). Ces plantes renferment une large variété de composés chimiques (huiles essentielles, polyphénols, bétalaïnes, etc.) de propriétés physico-chimiques très différentes et qui présentent de nombreuses activités biologiques. L'ajout de ces extraits de plante dans les préparations alimentaires a pour objectif d'améliorer leur valeur nutritionnelle et qualité sensorielle et prolonger la durée de vie du produit (**Shahidi et al., 1992**).

Le fromage a une longue tradition dans l'alimentation humaine. Il est riche en nutriments essentiels, en particulier en protéines, en peptides bioactifs, en acides aminés, en lipides, en acides gras, en vitamines et en minéraux (**Walther et al., 2008**).

Les colorants sont des additifs alimentaires qui ajoutent de la couleur aux denrées alimentaires. Ils sont classés en deux catégories différentes, Les colorants naturels qui provenant de la nature elle-même et les colorants synthétiques qui résultent de la reproduction industrielle de substances naturelles ou d'une création artificielle (**Houdjej, 2012**).

La nature a su nous donner un bon nombre de plantes qui pourront être la source des colorants naturels, parmi lesquelles, le grenadier, le safran, la betterave et le figuier de barbarie (**Haddar., 2016, Shivangi et al 2019**).

La betterave (*Beta vulgaris*) est l'origine d'un colorant alimentaire naturel rouge due aux pigments azotés appelés bétalaïnes, composés principalement de bétacyanines de couleur rouge-violet et bétaxanthines de couleur jaune-orange. Elle est une bonne source des antioxydants, des vitamines et des composés bioactifs. Elle possède également de nombreux avantages pour la santé (**Singh et Singh Hatan, 2014, Neha, 2018, Srivastava et al., 2018**).

L'objectif de ce travail est l'enrichissement d'un produit laitier « le fromage » avec un extrait brut de Bétalaïnes de la betterave rouge, en tant que colorant et antioxydant naturel, à différentes concentrations; puis analyser les paramètres physicochimiques (taux d'humidité, pH, acidité, et Brix) et déterminer la teneur en polyphénols totaux et en bétalaïnes ainsi qu'évaluer l'activité antioxydante (DPPH et Pouvoir réducteur de fer).

Afin d'améliorer la lisibilité et la structure du document, ce dernier est organisé en deux parties. La première partie est une synthèse bibliographique sur le fromage, la betterave et les colorants alimentaires. La deuxième partie est une description du matériel et méthodes utilisées ainsi que des résultats obtenus et leur discussion.

# ***Synthèse bibliographique***

***Chapitre I.***  
***Fromage***

## Chapitre I. Fromage

### 1. Définition

Le fromage, selon la norme (**Codex STAN 283-1978**), est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum /caséines ne dépasse pas celui du lait. On l'obtient par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ; ou alors par emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait et/ou des produits provenant du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques correspondant à la définition précédente (**Eck et Gillis, 1997**).

### 2. Histoire du fromage

Le fromage de l'ancien français « fromage », du latin « formaticus » c'est-à-dire fait dans une forme, c'est l'un des premiers moyens de conservation du lait (**Richonnet, 2015**).

Jadis, on faisait cailler le lait dans des formes percées de trous pour qu'il s'y égoutte. Ces faisselles, en latin, se disaient "forma" et Le mot "fromage" tire son origine de son moule et non de son procédé de fabrication. Au 13<sup>ème</sup> siècle, "forma" devient "formage", "fourmage" ou encore "fourmaigne".

La première occurrence de l'utilisation du fromage comme aliment est inconnue, les ethnologues tiennent preuve que l'homme a connu depuis longtemps le phénomène de coagulation du lait, et ce depuis la découverte sur les rive de lac Neuchâtel (en suisse) des moules à caillé datant de 5000 ans av J-C.

Cependant l'origine exacte de la transformation du lait en fromage est incertaine, tout le monde s'entend pour dire que le fromage serait originaire du sud-ouest asiatique et daterait d'environ 8000 ans, les romains auraient stimulés le développement de nouvelles variétés durant leur invasion de l'Europe entre 60 av. J.-C et 300 après J.-C, leur influence est reflétée dans l'étymologie. En effet le mot latin caseus, signifiant fromage est la racine donnera le mot caséine en français, nom qui désigne protéine coagulable du lait (**Gelais et al., 2002 ; Katz et Weaver, 2003**).

### 3. Fabrication du fromage

La transformation du lait en fromage comporte trois étapes principales: la coagulation, l'égouttage et l'affinage. Cette dernière étape n'existe pas dans le cas des fromages frais (**Evette, 1975**). La qualité du lait de fromagerie est en fonction de son aptitude à donner un bon fromage, dans des conditions de travail normales, avec un rendement satisfaisant. Elle dépend d'un certain nombre de caractéristiques du produit tels que sa composition chimique, sa richesse en caséines,

sa charge microbienne et la nature de sa microflore, son aptitude au développement des bactéries lactiques. Elle dépend aussi de son comportement vis-à-vis de la présure (**Remeuf *et al.*, 1991**).

### 3.1. Coagulation

La coagulation du lait constitue une forme ancestrale de conservation des protéines, de la matière grasse ainsi que d'une partie du calcium et du phosphore, dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme (**Abiazar, 2007**), en industrie fromagère, le procédé choisi pour la coagulation a un large effet sur la texture du produit fini (**Herbert *et al.*, 1999**), la coagulation soit acide ou enzymatique peut être affectée par différents facteurs (**Gelais *et al.*, 2002**).

La fabrication du fromage nécessite une phase de coagulation du lait, qui permet d'expulsion plus ou moins grande d'une partie de l'eau et de la matière soluble (le sérum), on obtiendra ainsi un caillé ou un fromage non affiné. La coagulation correspond à une modification physico-chimique des micelles de caséine sous l'action d'enzymes protéolytiques et (ou) d'acide lactique. Celles-ci entraînent la formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel. Les mécanismes proposés dans la formation du coagulum diffèrent totalement, suivant que ces modifications sont induites par acidification ou par action d'enzymes coagulantes, ou encore par l'action combinée des deux (**Eck et Gillis, 1990**).

### 3.2. Egouttage

L'égouttage se traduit macroscopiquement par une élimination du lactosérum qui s'accompagne d'une rétraction et d'un durcissement du gel. L'égouttage résulte, à la fois, d'un processus actif, appelé synérèse, et de l'aptitude du gel à évacuer le lactosérum occlus. Il ne s'agit pas d'une simple déshydratation. La plus grande partie des éléments solubles du lait (lactose, sels minéraux) et quelques fractions insolubles mineures (protéines solubles) sont expulsées du gel avec l'eau (**Gelais *et al.*, 2002**).

Les mécanismes conduisant à la synérèse sont complexes et celle-ci résulte de deux propriétés différentes du gel lacté :

- Un pouvoir de contraction de la trame protéique formée par les micelles de caséine lors de la coagulation, qui se traduit par une compaction du gel.
- Une aptitude du gel à évacuer le lactosérum interstitiel qui est en fonction de la porosité et de la perméabilité.

### 3.4. Salage

Le salage représente une étape importante non seulement pour la formation de la croûte et le goût salé des fromages affinés, mais aussi parce qu'il conditionne la phase d'affinage en intervenant sur l'activité de l'eau des fromages qui régit les développements microbiens et enzymatiques, principaux agents de l'affinage (**Riahi, 2006**).

En fin de salage, le sel se trouve concentré dans les couches superficielles du fromage et migre jusqu'au cœur du fromage (en raison d'un gradient de concentration) pendant l'affinage. Les cinétiques de transfert du sel au moment du saumurage sont dépendantes de la perméabilité, du rapport surface/volume et du pH du caillé, et également de la température et de l'agitation de la saumure (**Mahaut et al., 2000**).

### 3.5. Affinage

Il correspond à un ensemble de réactions enzymatiques dont le résultat est d'altérer le caillé pour lui donner des caractéristiques précises de texture et de goût. Ces réactions impliquent tous les composants organiques présents dans le caillé, à savoir les protéines, les lipides et les glucides. La partie minérale est quantitativement constante, les minéraux restant dans le fromage et ne changeant pas de nature (**Sibra, 2014**).

L'affinage résulte de l'action des enzymes provenant du développement des quatre groupes de microorganismes suivants: les moisissures du genre *penicillium* (croute fleurie et pâte persillée), les bactéries aérobies du genre *brevibacterium* associées à des levures ou à des moisissures (croute lavée), les bactéries productives de gaz du genre *Propionibacterium* (affinage dans la masse avec ouvertures) et les bactéries lactiques (**Amiot et al., 2002**).

Sa durée peut aller de quelque jours pour les fromages affinés à pâte molle jusqu'à quelques années pour d'autres fromages tel que le «*Wheel of Parmigiano Reggiano*» (**Katz et Weaver, 2003**).

Les enzymes responsables de la transformation ont trois origines : celles présentes naturellement dans le lait, les agents coagulants ajoutés et celles des différents micro-organismes bactériens, levures et moisissures (**Goudédranche et al., 1999**).

## 4. Classification des fromages

### 4.1. Fromages à pâte pressée cuite

Fromage à pâte pressée cuite Ce sont des fromages à pâte pressée dans lesquels le caillé est chauffé à 50°C ou plus pendant le processus de tranchage. Sous réserve de conditions d'expiration spécifiques (**André et Claude, 2006**).

### 4.2. Fromages pâtes pressées non cuites

Ce sont des fromages où le mélange caillé-lactosérum peut être chauffé, mais à des températures inférieures à 50°C, où le caillé est pressé après moulage. (**André et Claude, 2006**).

### 4.3. Fromages à pâte molle

Les fromages à pâte molle sont des fromages affinés ou non ayant éventuellement subi indépendamment de la fermentation lactique, d'autres fermentations, et dont la pâte n'est ni cuite ni pressée Commentaire (**André et Claude, 2006**).

#### **4.4. Fromages persillés**

Le roquefort est entièrement fabriqué au lait de chèvre, tous les autres fromages sont issus du lait de vache. Faire une trancheuse à caillé, puis remuer pour enrober les grains et créer une pâte puis la laisser s'oxyder en favorisant l'aspect vert correspondant au persil (**Magali , 2012**).

#### **4.5. Fromage à pâtes fraîches**

La technologie des fromages à pâte fraîche est définie par son caractère acide dominant. Les modalités de la fabrication sont orientées pour obtenir une pâte de fromage fortement humide, acide, peu minéralisée et à faible cohésion (**André et Claude, 2006**).

***Chapitre II.***  
***Colorants alimentaires***

## Chapitre II : Colorants alimentaires

### 1. Définition

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur: appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation auxochromes (**Lamri, 2010**). Les colorants sont des composés non dégradables par les micro-organismes, ces rejets toxiques et nocifs pour les eaux superficielles et de profondeur, présentent un danger certain pour l'homme et l'animal. Les colorants synthétiques ont presque complètement supplantés les colorants naturels. Les colorants azoïques constituent la famille la plus importante sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes (**Anouar et al, 2014**).

### 2. Utilisation des colorants

L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement:

- Pigments (industrie des matières plastiques);
- Encre, papier (imprimerie);
- Colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire);
- Pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment);
- Colorants capillaires (industrie des cosmétiques);
- Colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique);
- Carburants et huiles (industrie automobile etc.,...);
- Colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc. (**Salmi et Slimani, 2014**).

### 3. Application des Colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques-unes essentielles :

- Teinture et impression sur fibre et tissus de tous genres ;
- Teinture du bain de filage des fibres chimiques ;
- Teinture du cuir et des fourrures ;
- Teinture du papier et du parchemin ;
- Teinture des caoutchoucs, des feuilles et des matières plastiques ;
- Colorants pour toutes les techniques de la peinture ;
- Préparation des couleurs à la chaux pour les pré-colorations et enduits sur bâtiments;
- Colorants pour l'impression des papiers peints ;
- Préparation des encres ;

- Colorations des denrées alimentaires ;
- Colorants pour les emplois médicaux et cosmétiques (**Nait M. N.**)

#### 4. Nature des colorants alimentaires

C'est un composé chimique coloré naturels qui se trouve dans la nature sous forme des plantes (ex: safran) ou synthétiques (liquide ou poudre....) en générale organiques. La terminologie industrielle moderne définit un colorant comme un produit contenant le colorant organique pur avec différents additifs et agents de couplage, qui facilitent son utilisation. Il existe deux types de colorants :

##### 4.1. Colorants naturels

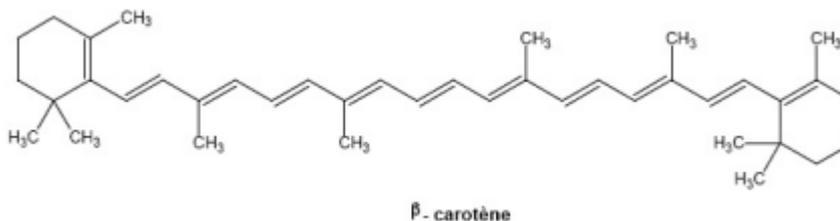
Il existe une dizaine de colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques **WILLMOTT et GUTHRIE et NELSON**. Jusqu'en 1850, les colorants alimentaires ont été d'origine naturelle. C'était des colorants pour la plupart organiques qui provenaient :

- de végétaux comestibles (carotte [orange], betterave [rouge], peau de raisin noir [noir], ...) - d'extraits d'origine animale ou végétale non habituellement consommée (rouge cochenille provenant d'un insecte d'Amérique centrale [Coccus Cacti], stigmatine de crocus [safran], ...)
- du résultat de la transformation de substances naturelles (caramel [marron], ...). Les colorants naturels sont extraits des plantes, des arbres, des lichens ou insectes et des mollusques.

Exemple : Caroténoïdes (E 160a à E 160f)

Les caroténoïdes sont des pigments naturels, très largement répandus dans la nature, et possédant des teintes brillantes : jaune, orange, rouge de nombreux fruits comestibles (citrons, pêches, abricots, oranges, fraises, cerises, tomates...), de légumes (carottes), de champignons (girolles), d'animaux (œufs, homards, langoustes, poissons divers...).

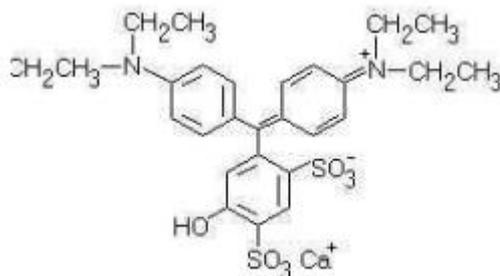
Le  $\beta$ -carotène est sans doute le plus connu de tous les caroténoïdes. Il est insoluble dans l'eau, l'éthanol, légèrement soluble dans les graisses végétales. Il a une activité vitaminique A



**Figure 1:** structure chimique de Le  $\beta$ -carotène

## 4.2. Colorants synthétiques

Les colorants synthétiques sont des composés synthétisés à partir de première chaîne principale de base telle que le benzène..... qui sont eux même issus synthétisée des huiles **U.PAGGA et D.BROWN**. Exemple: Bleu patenté V (E131) : est un composé chimique de couleur bleu-foncé. Il est utilisé en agroalimentaire comme colorant (dans les bonbons Schtroumpf).



**Figure 2:** Structure chimique de Bleu patenté

## 5. Stabilité des colorants alimentaires

Les colorants alimentaires les plus sensibles sont les pigments naturels dont la stabilité sera conditionnée par la composition de l'aliment, le procédé de fabrication utilisé, l'emballage et la date limite de consommation. Les principaux facteurs intervenant sont :

**Tableau 1 :** Facteurs qui influencent sur les colorants alimentaires

Facteurs	Effets	Solutions éventuelles
Lumière	Décoloration	Conservation à l'abri de la lumière
pH	Dépôts à pH bas Changements de couleur	Micro encapsulation
Chaleur	Pas de Changement de couleur	/
Oxydations	Dégradations, décolorations	Microencapsulation Antioxydants (Acide ascorbique, BHA, BHT,...)
Métaux	Dégradation Dépôts de calcium	Agents chélatants (séquestrants)

**Tableau 2.** Exemples des colorants autorisés, caractéristiques et utilisations

Code	Nom usuel	Origine	Utilisation	D.J.A	Effet(s) sur la santé
<b>E 162*</b>	Bétanine	Naturel végétal	Nombreux aliments	Aucune Considéré	comme inoffensif
<b>E 160*</b>	Caroténoïdes	Naturel ou synthétique	Nombreux aliments	Aucune	Bénéfique car c'est la vitamine A
<b>E 124</b>	Rouge cochenille	Synthétique	Nombreux aliments	0,15	Rend hyperactif, cancérigène
<b>E 131</b>	Bleu patenté V	Synthétique	Glaces, bonbons, liqueurs	2,5	Cancérogénécité non établie, interdit en Australie

## 6. Rôle du colorant

L'ajout de colorants alimentaires a pour objectifs:

D'accentuer la couleur d'un aliment pour le rendre plus ludique, comme dans le cas des pâtisseries ou encore des bonbons, le fromage et le yaourt.....

De compenser la couleur d'un produit qui a perdu son intensité du fait de son stockage pu d'un traitement particulier;

De corriger la perte de couleur d'un produit comestible du fait du manque d'ensoleillement, de son exposition à l'air ou encore à cause de la présence de moisissures

***Chapitre III***  
***Généralités sur la betterave***

## Chapitre III : Généralités sur la betterave

### 1. Description botanique

La betterave est une plante bisannuelle dont les racines (coniques, rondes ou aplaties) Tubercules, racines pivotantes, betteraves à chair rouge (pour l'alimentation humaine uniquement), betteraves à chair blanche Fourragère, moitié sucre et sucre;

Les feuilles forment une rosette à la racine elles sont grandes, succulentes, ovales et pétiolées La deuxième année.

Les racines développent des tiges anguleuses et ramifiées atteignant un mètre de haut qui produisent des grappes de fleurs vertes (**Jouve , 2009**).

### 2. Systématique

L'espèce de betterave rouge *Beta vulgaris* L. appartient à la famille des Chenopodiaceae et selon la classification phylogénique APG : la famille des Amaranthaceae. (**Grubben, et al., 2019**) (Voir tableau 1)

**Tableau 3.** Taxonomie selon **Hequet et al. (2019)**

<b>Domaine</b>	<i>Biota</i>
<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Sous-Règne</b>	<i>Viridiaeplantae</i>
<b>Infra-Règne</b>	<i>Streptophyta</i>
<b>Classe</b>	<i>Equisetopsida</i>
<b>Clade</b>	<i>Tracheophyta</i>
<b>Clade</b>	<i>Spermatophyta</i>
<b>Sous-Classe</b>	<i>Magnolidae</i>
<b>Superordre</b>	<i>Caryophyllanae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Caryophyllales</i>
<b>Famille</b>	<i>Amaranthaceae</i>
<b>Sous-Famille</b>	<i>Betoideae</i>
<b>Genre</b>	<i>Beta</i> L
<b>Espèce</b>	<i>Beta vulgaris</i> L
<b>Sous espèce</b>	<i>Beta vulgaris</i> ssp.

### 3. Morphologie

C'est une plante herbacée, robuste, érigée ; racine principale longue, trapue, conique, les racines latérales formant un système racinaire dense et étendu. Chez la betterave potagère, hypocotyle et partie supérieure de la racine principale forment un organe spectaculairement renflé, globuleux, aplati, cylindrique ou conique, racines adventives se présentant sur deux lignes opposées dans la partie inférieure, racine renflée formée de couches alternées de tissu conducteur en général fortement coloré et de tissu de réserve légèrement coloré. (Grubben *et al.*, 2019).

La plante a donc un système racinaire composé d'une racine principale et de racines plus petites pouvant atteindre 60 cm de profondeur, avec ramification latérale. Elle possède également un tubercule, rouge violacé, de forme globulaire, au goût sucré, qui se développe presque à la surface du sol (Baião, 2017).



**Figure 3:** *Beta vulgaris ssp. Vulgaris* du groupe Betterave Jardin (Oyen, 2019)

### 4. Composition chimique et valeur nutritionnelle

La betterave possède une valeur nutritionnelle élevée en raison de sa forte teneur en glucose, sous forme de saccharose. Elle est considérée comme une excellente source de fibres, de minéraux, (potassium, sodium, fer, cuivre, magnésium, calcium, phosphore et zinc), de vitamines (B, C) (Baião *et al.*, 2017; Vargas-Rubóczki, 2020). La betterave ou bétanine (C<sub>24</sub>H<sub>27</sub>N<sub>2</sub>O<sub>13</sub>– E162). Il est soluble dans l'eau et sensible à des températures élevées, à l'oxygène et à la lumière. Les betteraves contiennent aussi de la géosmine, qui donne cette odeur de terre si caractéristique (Oyen, 2019).

**Tableau 4.** Valeurs nutritionnelles pour 100g de betterave (Oyen, 2004).

Valeurs nutritionnelles pour 100g	
➤ Énergie (Kcal)	30Kcal
➤ Protéine	0,73g
➤ Lipides	0,09g
• Acide gras saturés	0,013 g
• Acide gras mono insaturés	0,016 g
• Acide gras poly insaturés	0,03 g
• Dont oméga 6	0,028g
• Dont oméga 3	0,002g
➤ Glucides	7,14g
• Glucides sucres assimilables	0,61g
• Sucres simples et autre sucres	6,53g
➤ Vitamines et assimilés	0,004g
• Vitamine A et provitamine A	1µg
• Caroténoïdes pro vitaminiques A	0,003g
➤ Minéraux et oligo-éléments	0,213g
• Potassium	159mg
• Phosphore	15mg
• Calcium	18mg
• Sodium	143mg
• Magnésium	18mg
• Fer	0,73mg
• Zinc	0,34mg
• Cuivre	0,043mg
• Manganèse	0,411mg
• Sélénium	0,1µg

## ***Matériel et méthodes***

## II. Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée au laboratoire pédagogique de l'université 8 Mai 1945, Guelma. Elle repose sur l'incorporation du jus de betterave à différentes concentrations, comme colorant et antioxydant naturel, dans une préparation fromagère, puis faire le suivi des modifications des propriétés physicochimiques ainsi que le potentiel antioxydant des fromages préparés.

### 1. Matériel utilisé

Le matériel végétal est constitué de racines de la betterave rouge (*Beta vulgaris*). Les betteraves achetées ont été nettoyées et bien lavées manuellement pour éliminer les saletés, puis épluchées afin d'extraire le jus. Le choix de cette variété est justifié par les critères suivants:

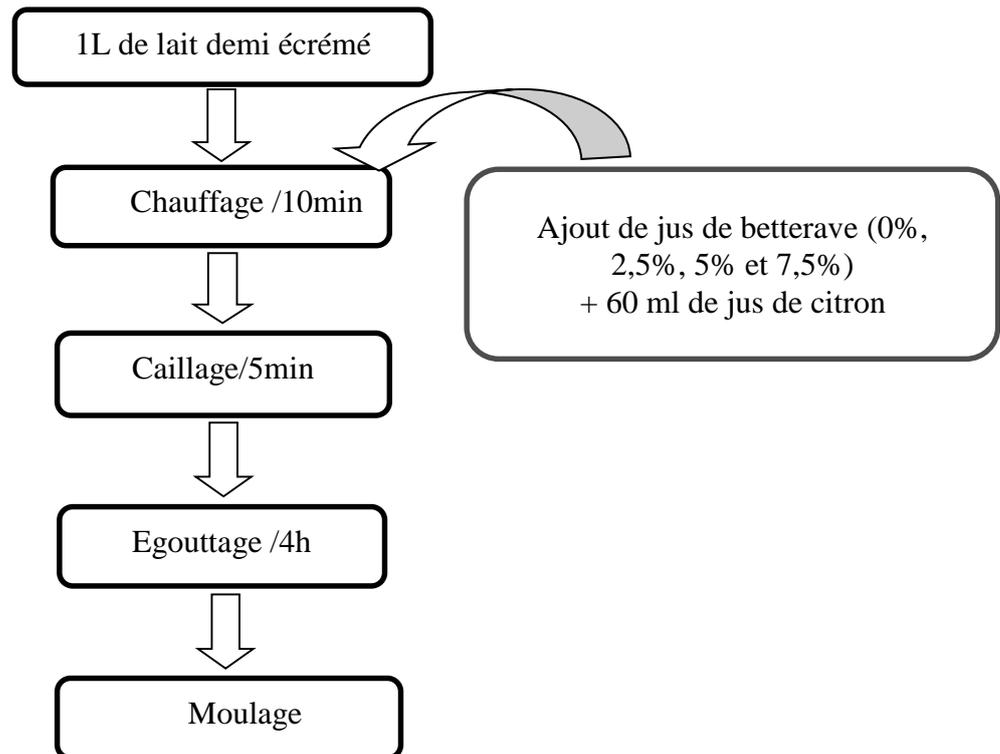
- Excellente source d'antioxydants ;
- Teneur importante en bétalaines (pigments naturels)

### 2. Extraction du jus de betterave

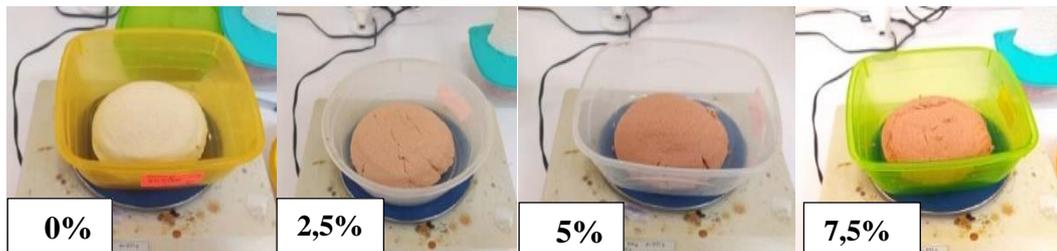
Afin d'extraire le jus, les betteraves épluchées ont été coupées en petits morceaux, ces derniers ont été versés dans un mixeur électrique afin de les hacher. Le mélange obtenu a ensuite été pressé et filtré à l'aide d'une gaze médicale. Le jus extrait a été conservé dans un flacon en verre fumé à 5°C.

### 3. Préparation de fromage

Le fromage a été fabriqué selon une recette de maison traditionnelle à partir du lait Candia demi écrémé (**figure** ). Un litre de lait additionné du **5g** de sel a été chauffé dans une casserole profonde à feu moyen, en remuant constamment, jusqu'à ébullition. Le feu sous la casserole a été réduit et laissé mijoter pendant cinq minutes (chauffage). Ensuite la casserole a été retirée du feu, puis 60 ml du jus de citron et du jus de betterave à différentes concentrations (0%, 2,5%, 5% et 7,5%) ont été ajoutés. Les ingrédients ont été bien mélangés et remis sur le feu pendant 5 minutes jusqu'à ce que le lait devienne grumeleux (caillage). Ensuite le mélange a été filtré à l'aide d'une passoire, pressé un peu à la main pour en faire une grosse masse, et mis dans un récipient perforé pour bien l'égoutter (l'égouttage). Enfin le fromage obtenu a été placé dans un moule circulaire (moulage), bien empilé à la main, et conservé dans des conteneurs au réfrigérateur jusqu'à l'utilisation.



**Figure 4 :** Etapes de préparation du fromage



**Figure 5:** Fromages préparés à différentes concentrations de jus de betterave

#### 4. Rendement

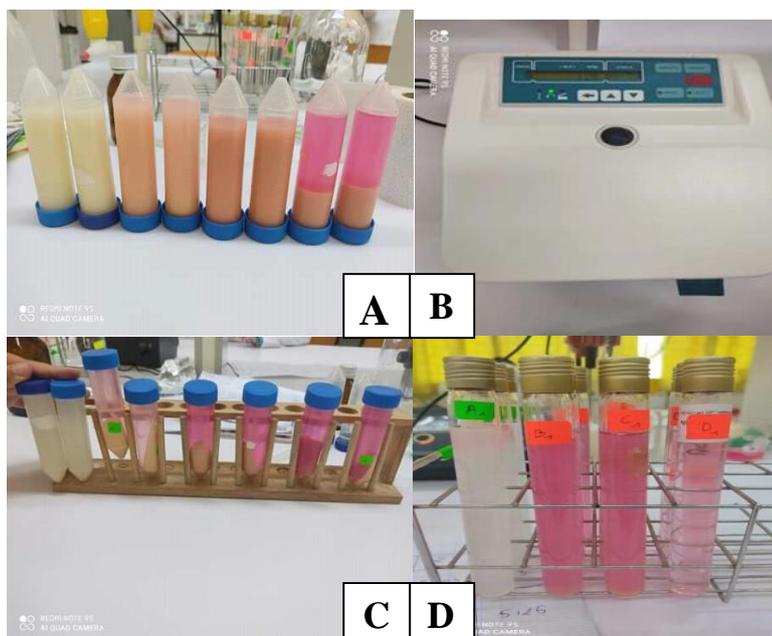
Le rendement fromager ou le rendement de la transformation du lait en fromage est l'expression mathématique de la quantité de fromage obtenue à partir d'une quantité donnée de lait.

$$y\left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{poids de fromage}}{\text{poids de lait}} \times 100$$

## 5. Analyses physico-chimiques

### 5.1. Préparation des extraits aqueux des échantillons de fromage

Chaque échantillon de fromage (10 g) a été homogénéisé avec 100 ml d'eau distillée et laissé sous agitation pendant 15 min. Ensuite, l'extrait a été centrifugé à 3000tr/min pendant 10 min, et filtré à l'aide d'un papier filter. les extraits obtenus sont utilisés pour les analyses physico-chimiques.



**Figure 6:** Préparation des extraits aqueux des échantillons de fromage

### 5.2. Mesure du pH

#### Principe

La mesure du pH a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre et la valeur du pH est directement affichée sur l'écran de l'appareil (AFNOR, 1980).

### 5.3. Test d'humidité

#### Principe

L'humidité d'un aliment est la quantité d'eau libre qu'il contient. Sa détermination se fait par dessiccation dans une étuve ventilée à 105°C jusqu'à ce que la masse de cet aliment reste constante.

#### Mode opératoire

Un poids de 5 g de chaque échantillon de fromage (0%, 2,5%, 5% et 7,5%) a été placé dans une étuve ventilée à une température de 105°C pendant 6 heures, jusqu'à la stabilité du poids. La

perte de masse de l'échantillon est calculée comme le pourcentage d'humidité (AOAC, 1984) selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{\text{Poids Après séchage}}{\text{poids initial (prise d'essai)}} \times 100$$

#### 5.4. Détermination de l'acidité titrable

##### Principe

Le principe est basé sur un titrage de l'acidité par l'hydroxyde de sodium (NaOH 0,1 N) en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré.

##### Mode opération

Un volume de 1 ml d'extrait de chaque échantillon de fromage et 9 ml d'eau distillée ont été introduits dans un bécher, additionné de 3 gouttes de phénolphthaléine (1%). Les extraits aqueux de fromage ont été titré avec de l'hydroxyde de sodium (0,1 N) jusqu'à ce que la couleur vire au rose ou avoir un pH égal à 8,2 (Zainoldin et Baba, 2009).

L'acidité titrable des échantillons est exprimée en degré Dornic, selon la formule suivante :

$$AT = 10D^{\circ} \times V_{NaOH}$$

AT: Acidité titrable.

$V_{NaOH}$ : Volume de NaOH utilisé pour la titration (ml).

#### 5.5. Mesure du degré Brix

Un réfractomètre est un appareil de mesure qui détermine l'indice de réfraction de la lumière d'un solide ou d'un liquide. Cet indicateur est observé par la déviation du faisceau lumineux selon la nature du milieu dans lequel il se propage. La mesure de degré Brix des échantillons de fromage a été effectuée directement sur le réfractomètre, et le résultat est affiché sur l'écran de l'appareil.

### 6. Extraction et dosages des antioxydants

#### 6.1. Extraction et dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode de Folin-Ciocalteu (FC). Ce dosage est basé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribereau, 1968).

Dix grammes (10g) de chaque échantillon ont été ajoutés à 50 ml d'acétone 70%. Le mélange a été agité pendant 30 min, puis centrifugé à 3000 rpm pendant 10 min, et une filtration à l'aide d'un papier filtre. Les extraits obtenus ont été conservés dans des flacons fermés hermétiquement (**Mahmoudi et al., 2012**).

La teneur en composés phénoliques a été estimée par un dosage colorimétrique basé sur les procédures décrites par **Singleton et Rossi (1965)**. Un volume de 200 µL d'extrait a été mélangé avec 1ml de réactif de Folin-Ciocalteu et 600µL de carbonate de sodium (7,5%). Les tubes ont été agités et incubés à l'obscurité pendant 30min, l'absorbance est mesurée à 750 nm.

La teneur en composés phénoliques est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (Figure1, annexe). Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g de produit (mg EAG/100g).

## 6.2. Extraction et dosage des Bétalaïnes

Dix grammes (10g) de chaque échantillon ont été ajoutés à 50 ml de l'eau distillée. Le mélange a été agité pendant 30 min, puis centrifugé à 3000 rpm pendant 10 min, et une filtration à l'aide d'un papier filtre. Ensuite la lecture de l'absorbance est mesurée à 532 nm pour les bétacyanines et 482 nm pour les indicaxanthines (**Khatabi et al., 2013**). Les teneurs en bétalaïnes (BC) ont été exprimées en mg/100g et calculées selon l'équation suivante :

$$BC = \frac{A \times FD \times PM \times 1000}{\epsilon \times L}$$

**A** : l'absorption à 532nm (bétacyanines) et 482 nm (indicaxanthines).

**FD** : le facteur de dilution.

**PM**: poids moléculaire (550 et 380g/mol pour la bétacyanine et l'indicaxanthine, respectivement).

**ε** : Coefficients d'extinction molaire (60000l/mol.cm pour les bétacyanines et 48000l/mol.cm pour indicaxanthines).

**L** : trajet optique (1cm).

## 7. Evaluation de l'activité antioxydante

### 7.1. Activité antiradicalaire DPPH

#### Principe

Le 1,1-Diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH•) est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 517 nm. En présence de composés anti-radicalaires, le radical DPPH• est réduit et change de couleur en virant au jaune. Les absorbances mesurées à 517 nm servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH•, qui est proportionnel au pouvoir anti radicalaire de l'échantillon (**Chaabi, 2008**).

### Mode opération

Un volume de 200 µL d'extrait est additionné à 1ml de la solution de DPPH (60 µM). Le mélange est incubé pendant 30 min à l'obscurité ; l'absorbance est mesurée à 517 nm. Les résultats sont exprimés en pourcentage de piégeage du radical de DPPH selon la formule suivante :

$$\textit{inhibition} (\%) = \frac{(A_c - A_e)}{A_c} \times 100$$

$A_c$ =Absorbance contrôle.

$A_e$ =Absorbance extrait.

## 7.2. Pouvoir réducteur de fer (PRF)

### Principe

La méthode de PRF est basée sur la réaction chimique de réduction des ions Ferriques Fe(III) présent dans le complexe de ferricyanure de potassium  $K_3Fe(CN)_6$  en ion Ferreux Fe(II) selon la méthode de **Oyaiz (1986)**. L'absorbance du milieu réactionnel est déterminée à 700 nm. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (**Hubert, 2006**).

### Mode opératoire

Un volume de 500µl d'extrait est additionné à 500µl de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 500µl de ferricyanure de potassium (1 %). Après incubation à 50 °C pendant 20 min, 500µl d'acide trichloracétique (10 %) sont ajoutés au mélange suivi d'une centrifugation à 1700 rpm pendant 15 min. Une aliquote de 1 ml du surnageant est transférée dans un tube à essai est additionnée de 500µl d'eau distillée et de 200µl de chlorure ferrique (0,1%). Après une incubation à l'obscurité pendant 10 min, l'absorbance est mesurée à 700 nm.

Les résultats du pouvoir réducteur sont exprimés en mg équivalent acide ascorbique par 100g de poudre (mg EAA/100g MS), en se référant à une courbe d'étalonnage

## 8. Analyse statistique

L'analyse descriptive des résultats est réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2013, pour déterminer les moyennes et les écarts-types. Le logiciel « STATISTICA 5.5 » est utilisé pour réaliser l'analyse de la variance ANOVA et le degré de signification des données est pris à la probabilité  $p < 0,05$ .

Toutes les valeurs sont exprimées par la moyenne de trois essais (n=3). Les valeurs désignées par les lettres présentent des différences significatives ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par l'ordre croissant ;  $a > b > c > d > e$ .

## *Résultats et discussion*

### III. Résultats et discussion

#### 1. Analyses physicochimiques des fromages préparés

Le **tableau 05** montre les résultats des analyses physico-chimiques des 4 échantillons de fromage: témoin (sans rien ajouter), fromage enrichi avec 2,5%, 5% et 7,5% (v/v) de jus de betterave.

**Tableau 5.** Résultats des analyses physicochimiques

Échantillons	Rendement (%)	pH	Acidité (°D)	Humidité (%)	Indice de Brix (°B)	Indice de réfraction
<b>Témoin</b>	13,49	6,06 ± 0,055 <b>a</b>	35± 1 <b>a</b>	48± 0,035 <b>d</b>	0,5 <b>a</b>	1,33 <b>a</b>
<b>2,5%</b>	13,71	5,07 ± 0,012 <b>b</b>	40± 1 <b>b</b>	43,2± 0,064 <b>c</b>	0,6 <b>a</b>	1,33 <b>a</b>
<b>5%</b>	13,28	5,03 ± 0,02 <b>b</b>	45± 1 <b>c</b>	43,8± 0,045 <b>b</b>	0,6 <b>a</b>	1,33 <b>a</b>
<b>7,5%</b>	13,44	4,96 ± 0,025 <b>b</b>	57,5± 1,53 <b>d</b>	45,8± 0,005 <b>a</b>	0,7 <b>a</b>	1,33 <b>a</b>

#### 1.1. Rendement

D'après les résultats présentés dans le tableau 02 pour le rendement fromager en termes d'évolution de la concentration en jus de betterave, on constate qu'il n'ya de différence significative entre les rendements fromagers obtenus pour les différents fromages préparés (13,49% pour le fromage témoin, 13,71% pour le fromage (2,5%), 13,28% pour le fromage (5%) et 13,44% pour le fromage (7,5%)).

A travers les résultats obtenus, on constate que la production de fromage obtenue avec différentes concentrations de betterave est proche. Par conséquent, la concentration de jus de betterave n'affecte pas la production de fromage.

## **1.2. pH**

Comme le montre le tableau 02, l'ajout d'extrait de jus de betterave au fromage a entraîné une diminution non significative ( $p < 0,05$ ) du pH du fromage enrichi.

En effet, il est aisé de constater que le pH diminue en fonction de la concentration du jus ajouté, et les valeurs de pH testées sur 4 échantillons de fromage oscillent entre  $6,06 \pm 0,055$  pour le témoin et  $4,96 \pm 0,025$  pour le fromage 7,5%, dont chaque augmentation de la dose de jus de betterave correspond à une diminution du degré de ph.

La composition de l'extrait de jus de betterave ajouté a légèrement affecté le pH du fromage. Cela peut être dû à la richesse de cet extrait en acides organiques.

## **1.3. Acidité titrable**

En général, le processus d'enrichissement a conduit à une augmentation de l'acidité des échantillons de fromage enrichis au jus de betterave, où les résultats varient de  $35 \pm 1 \text{ D}^\circ$  à  $57,5 \pm 1,53 \text{ D}^\circ$ , (tableau 02), et cela nous permet expliquer ces résultats par la richesse du jus de betterave en acides organiques.

## **1.4. Taux d'humidité**

Selon les résultats présentés dans le tableau02, la teneur en humidité augmente avec l'augmentation de la quantité de jus ajouté. En effet, le taux d'humidité des fromages 2,5%, 5% et 7,5% sont  $43,2 \pm 0,064 \%$  et  $43,8 \pm 0,045\%$  et  $45,8 \pm 0,005 \%$  respectivement.

L'extrait sec représente la fraction solide qui contient les différentes substances responsables de la valeur nutritionnelle et thérapeutique des aliments fonctionnels. . L'ajout de jus de betterave au fromage augmente le niveau de fraction solide, ce qui conduit à l'amélioration de ses propriétés fonctionnelles.

Il a été noté que la betterave est un aliment caractérisé par une composition chimique très diversifiée : elle est constituée de nombreux éléments minéraux tels que Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn. **(vieira teixeira da silva, 2019).**

D'après les résultats, il existe une relation directe entre l'augmentation de la dose de jus de betterave et la diminution de taux l'humidité, et cela peut s'expliquer par la forte teneur en sucre de la betterave, qui est estimée entre 18% à 20% saccharoses.

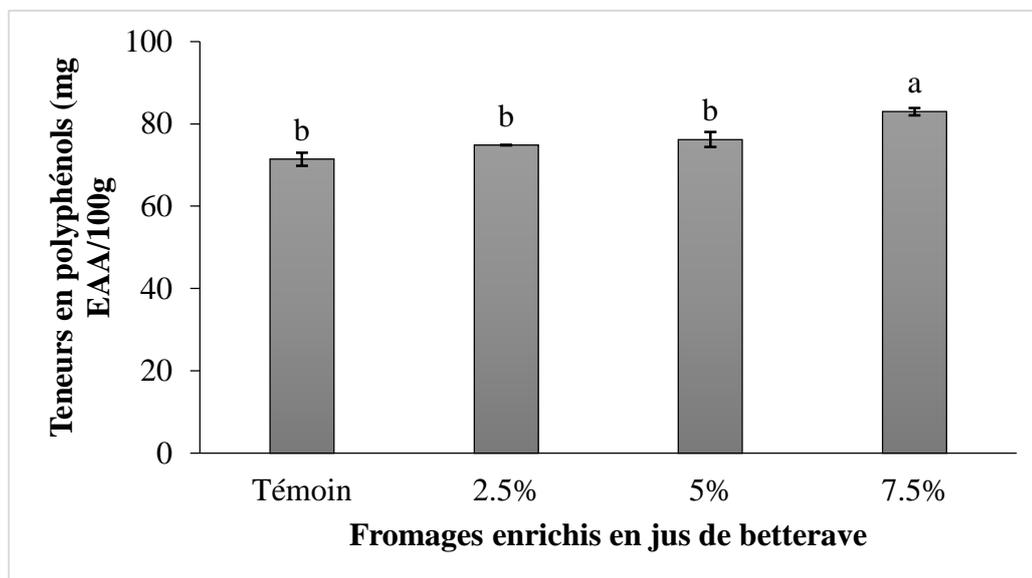
## **1.5. Brix**

La mesure de Brix est utilisée pour mesurer la teneur en sucre de substances telles que le fromage les boissons gazeuse, les jus, les huiles ...etc.

D'après le tableau 02, L'indice de Brix ne montre pas de différence significative entre les fromages préparés (0,5 B° pour le témoin, et 0,6B° ; 0,6B° ; 0,7B° pour les fromages à 2,5 %, 5% et 7,5%, respectivement).

## 2. Teneurs en antioxydants

### 2.1. Teneurs en polyphénols totaux



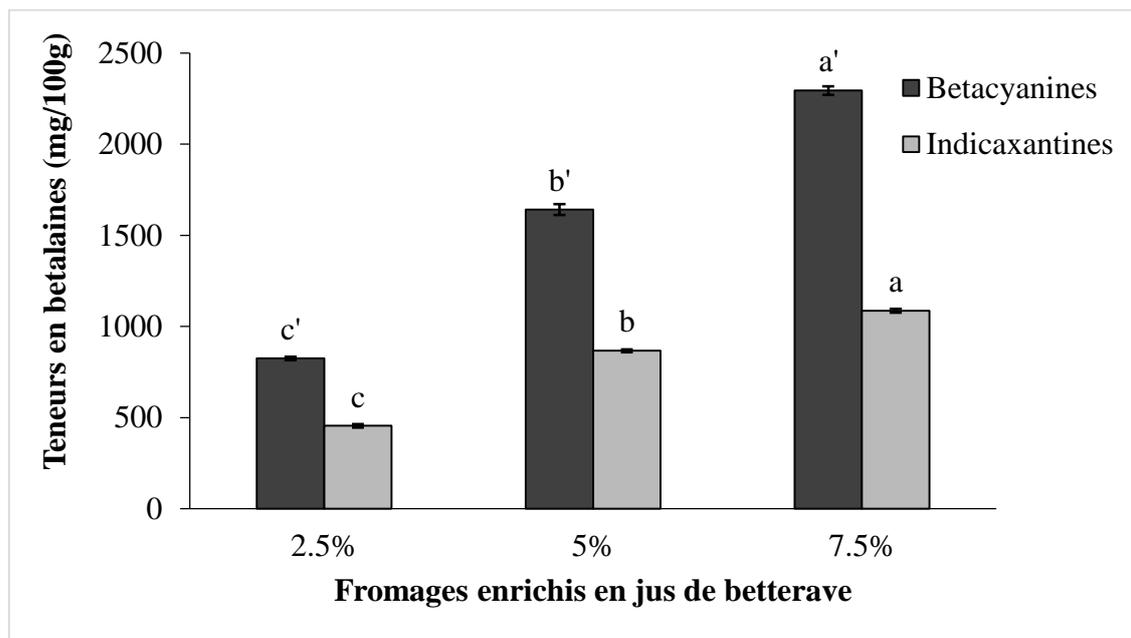
**Figure 7.** Teneurs en composés phénoliques totaux des quatre fromages enrichis avec différentes concentration de jus de betterave

Toutes les valeurs sont exprimées par la moyenne de trois essais ( $n=3$ ). Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives entre les échantillons de fromage enrichi en jus de betterave ( $p < 0,05$ ). Avec  $a > b > c > d$

La teneur la plus élevée en polyphénols totaux est obtenue pour le fromage 7,5% avec une valeur de 82,97mg EAA/100g suivi du fromage 5% ; 2,5% et le témoin avec 76,19 mgEAA/100g ; 74,84 mg EAA/100g ; 71,42 mg EAA/100g respectivement.

L'étude statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative de dose de jus de betterave ( $P < 0,05$ ) entre les taux de polyphénols totaux pour les quatre préparations fromagères. En effet, il est facile de constater que la teneur en polyphénols augmente en fonction du pourcentage de jus ajouté. La composition du jus de betterave a affecté l'augmentation de la teneur en polyphénols du fromage. Cela peut être dû à la richesse des betteraves en polyphénols comme l'acide gallique.

## 2.2. Teneurs en bétalaines



**Figure 8.** Teneurs en bétalaines des quatre fromages enrichis avec différentes concentration de jus de betterave

Toutes les valeurs sont exprimées par la moyenne de trois essais ( $n=3$ ). Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives entre les échantillons de fromage enrichi en jus de betterave ( $p < 0,05$ ). Avec  $a > b > c > d$

Les Bétalaines comportent les Bétacyanines (ou Bétanine) qui sont des pigments de couleur rouge à violet, colorant naturel appelé aussi rouge de Betterave et l'indicaxanthines (ou Bétaxanthines) les pigments azotés de couleur jaune à orange (**Escribano, Josefa, 1998**).

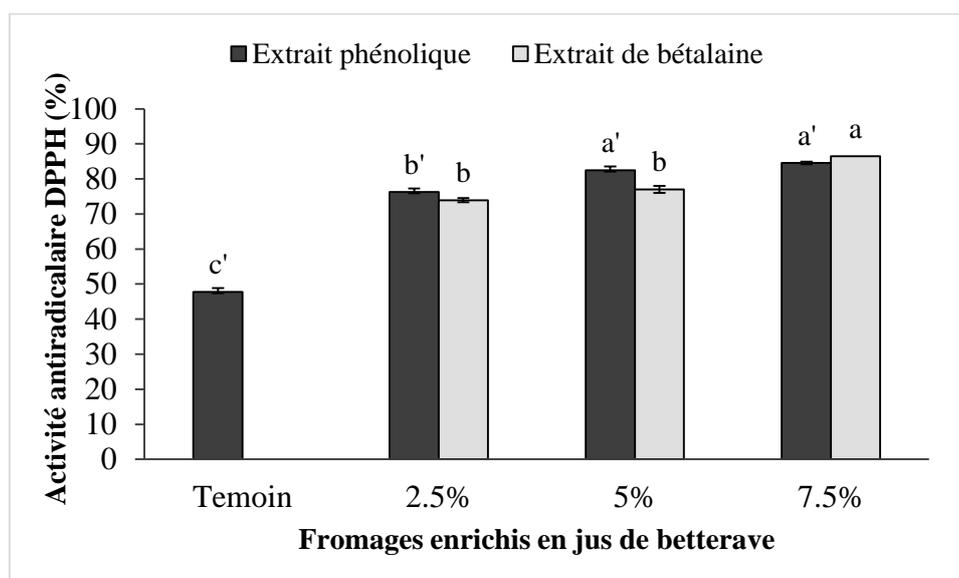
Les résultats de la figure 12 montrent que les teneurs de bétalaines (bétacyanines et indicaxanthines) augmentent significativement ( $p < 0,05$ ) avec l'augmentation de la dose de jus. Les teneurs en bétacyanines varient de 2294,72 mg/100g à 825,00 mg/100g de fromage et les teneurs en indicaxanthines varient de 1086,56 mg/100g à 455,58 mg/100g de fromage. Ces résultats montrent également que les teneurs des bétacyanines sont supérieures à celles des indicaxanthines dans les trois échantillons.

Les résultats obtenus dans la présente étude sont similaires à ceux obtenus par **Ydjedd et al., (2021)**, où les teneurs des bétacyanines sont supérieures aux teneurs des indicaxanthines au niveau de la variété rouge de figues de barbarie le yaourt enrichi.

## 3. Activité antioxydante

L'étude de l'activité antioxydante des extraits du fromage préparé est effectuée par deux méthodes à savoir le test du pouvoir réducteur de fer et le test de DPPH.

### 3.1. Activité antiradicalaire DPPH



**Figure 9.** Activité inhibitrice du radical DPPH des échantillons du yaourt enrichi en jus de betterave.

Toutes les valeurs sont exprimées par la moyenne de trois essais ( $n=3$ ).

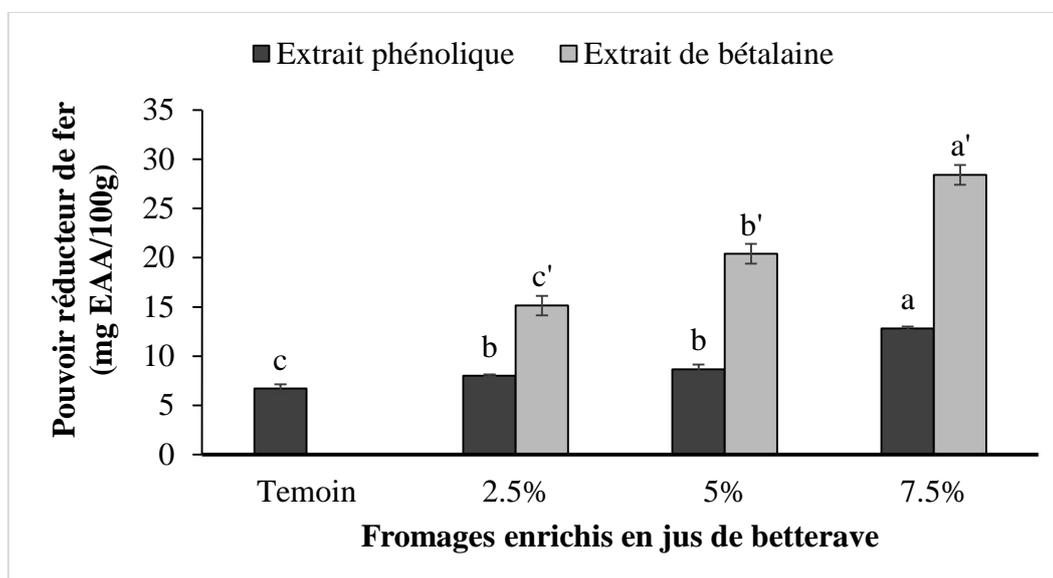
Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives entre les échantillons de yaourt enrichi en jus de betterave ( $p < 0,05$ ). Avec  $a > b > c > d$ .

Une forte activité inhibitrice du radical DPPH est obtenue pour le fromage enrichi à 7,5 % de jus de betterave pour les deux extraits (phénolique et bétalaine). Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les extraits phénoliques de fromage à 7,5% est de 84,55% suivi de fromage à 5% (82,50%) puis le fromage à 2,5% (81,65%), tandis que le témoin présente l'activité inhibitrice la plus faible (47,73%). Alors que le pourcentage d'inhibition du radical DPPH de l'extrait de bétalaine à la dose de 7,5%, 5% et 2,5% est de 86,46% et 77,01% et 73,92%, respectivement.

L'étude statistique montre une légère différence significative ( $P < 0,05$ ) entre l'activité antiradicalaire DPPH des fromages préparés pour les deux extraits (phénolique et bétalaine).

### 3.2. Pouvoir réducteur de fer

Les résultats de l'activité antioxydante de pouvoir réducteur de fer dans les 4 extraits phénoliques et 3 extraits de Bétalaines sont représentés dans la figure 10 suivante.



**Figure 10.** Teneurs en pouvoir réducteur de fer du fromage enrichi en jus de betterave.

Toutes les valeurs sont exprimées par la moyenne de trois essais ( $n = 3$ ).

Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives entre les échantillons de fromage enrichi en jus de betterave ( $p < 0,05$ ). Avec  $a > b > c$ .

Les résultats obtenus montrent que les niveaux de pouvoir réducteur de fer augmentent progressivement avec l'augmentation de la dose de jus de betterave pour les deux extraits. Le fromage à 7,5 % a le pouvoir réducteur de fer le plus fort avec 12,83 mg EAA/100 g pour l'extrait phénolique et 28,41 mg EAA/100 g pour l'extrait de bétalaine.

L'étude statistique ( $p < 0,05$ ) montre que le fromage préparé avec une concentration en jus de 7,5 a la plus grande capacité à réduire le fer, suivi des fromages préparés à 5 % et 2,5 %. Ceci est probablement dû à sa richesse en bétalaines et en composés phénoliques.

# ***Conclusion***

## Conclusion

Le but de cette étude est d'enrichir le fromage en jus de betterave et de surveiller son effet sur certains paramètres physico-chimiques et d'évaluer leur potentiel antioxydant.

Les résultats de l'analyse physico-chimique des quatre échantillons de fromage préparé avec différentes doses de jus de betterave (0% témoin/ 2,5% / 5% / 7,5%) indiquent que les valeurs de la plupart des paramètres analysés augmentent avec l'augmentation de la dose de jus ajoutée, l'indice de Brix (0,5- 0,7), l'acidité ( $35 \pm 1$  -  $57,5 \pm 1,53$ ), Sauf pour les valeurs de pH et d'humidité décroissantes avec l'augmentation des doses de jus (pH:  $6,06 \pm 0,005$  -  $4,96 \pm 0,025$  et l'humidité:  $48 \pm 0,035$  -  $43,2 \pm 0,064$ ). Ces résultats sont dans la norme acceptée pour les analyses physico-chimique du fromage.

Les teneurs en composés phénoliques et en bétalaïne augmentent également progressivement avec l'augmentation des doses de jus de betterave ajoutée. Les teneurs en composés phénoliques varient de 71,42mgEAA/100g (témoin) à 82,97mgEAA/100g (fromage 7,5%). Alors que les teneurs en bétalaïnes oscillent entre 825 à 2294,72 mg/100g pour les bêtacyanines et de 455,58 à 1086,56mg/100g pour les indicaxanthines.

Quant aux résultats de test de pouvoir réducteur du fer et le test DPPH appliqués à l'extrait phénolique et à l'extrait de bétalaïne, il est clair que le jus de betterave a une activité antioxydante plus importante que le fromage témoin.

Au terme de ce travail, on peut conclure que le jus de betterave peut être exploité comme colorant alimentaire et antioxydant naturels et incorporé au fromage afin d'obtenir une saveur et une couleur distinctive. De plus, ce fromage enrichi au jus de betterave est riche en vitamines, minéraux, polyphénols et bétalaïne et possède un pouvoir antioxydant intéressant, ce qui en fait un aliment utile pour l'organisme.

Dans le but de compléter cette étude, Il serait intéressant :

- d'optimiser les conditions d'élaboration du fromage enrichi en antioxydant.
- d'étudier la stabilité des paramètres physicochimiques du fromage en enrichi en extrait de jus de betterave au cours de la conservation ;
- d'analyser les paramètres sensoriels et d'établir le profil sensoriel du fromage préparé ;
- d'effectuer les analyses microbiologiques du fromage élaboré.

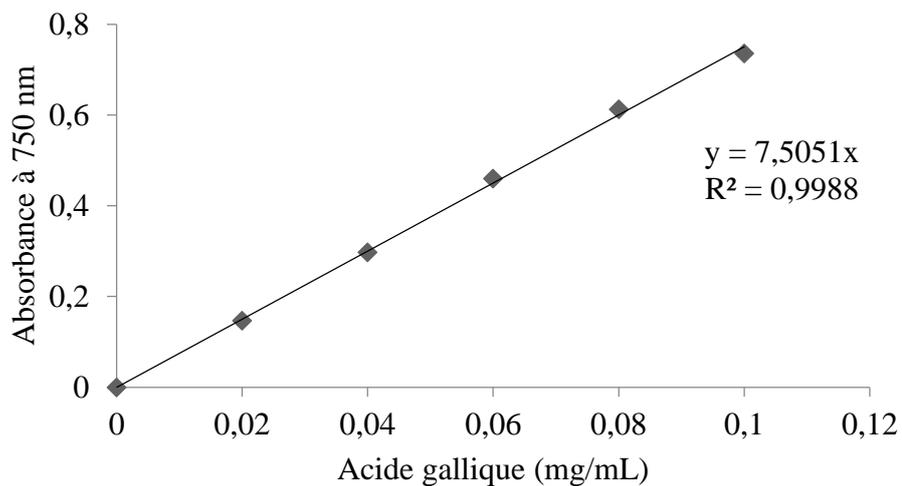
## ***Référence bibliographiques***

Références Bibliographiques

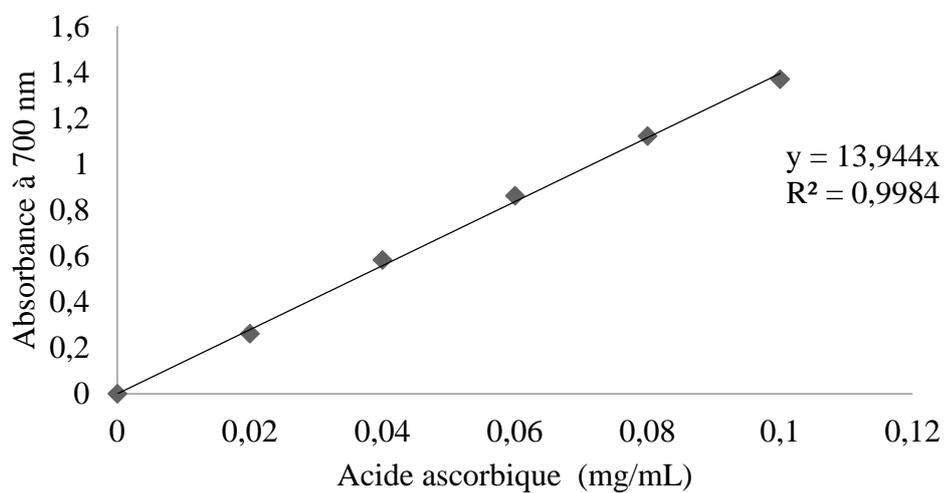
- Abi Azar Rania. (2007).**Complexation des protéines laitière par les extraits de gousses vertes de caroubier propriétés technologiques des coagulums obtenus. *These de doctorat. Agroparistech école doctoraleabies.* 152p.
- Albes, B., Mazereeuw-Hautier, J., Bazex, J., Bonafé, J., (2002).**allergies cutané muqueuses. 38p.
- Asadi, M. (2007).** Beet-Sugar Handbook. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.
- AFNOR, N. (1980).** Lait et produits laitiers-Méthodes d'analyse.
- Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P et Simpson R., 2002.** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyses du lait In science et technologies du lait transformation du lait par Vignola Carole L. presse internationale polytechnique. 1-60 pp.
- Bourrier, T., (2006).** Intolérances et allergies aux colorants et additifs. Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique, 46(2) 68–79.allergies .
- Baião Diego dos S. (2017).** Nutritional, Bioactive and Physicochemical Characteristics of different Beetroot Formulations , IntechOpen. .
- Bucic-kojic A, Planinie M, Tomas S, Billie C et Vellie D, (2007).** Study of solidliquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds. Journal of Food Engineering, 81,p 236-242.
- Chaabi Mehdi, (2008).** Etude phytochimique et biologique d'espèces végétales africaines : euphorbia stenoclada baill. (euphorbiaceae), anogeissus leiocarpus guill. & perré. (Combretaceae), limoniastrum feei (girard) batt. (plumbaginaceae). Thèse de doctorat. Sciences pharmaceutiques. Pharmacognosie: Université Strasbourg 1.France.
- Codex Alimentarius. (2010).** Codex STAN 283-1978. Norme générale Codex pour le fromage.
- Delgado-Vargas, F., Paredes-López, O. (2003).** Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses. CRC Press, LLC, Boca Raton, Florida.
- Eck André ., Jean-Claude Gillis, (1997),** Le fromage 3eme édition : Tec et Doc, Lavoisier. Paris. . p848.
- Gelais ST-D. TIRRARD-COLLER P., BELANGER G., DRAPEAU R., COUTURE R., (2002).** Le fromage In Science et technologies du lait transformation du lait par Vignola Carole L. presse internationale polytechnique. 349-413pp.
- Goudedranche H., Camier-Caudron B., Gassi J-Y., Schuck P., (1999).** Procédés de transformation fromagère (partie1) F 6305, Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, vol. F1.
- Harbutt J. (2010).** Le grand livre des fromages. Éditions Milan. Toulouse: 352p
- Harbutt J. (2020).**Le grand livre des fromages. Edition Milan. Toulouse:352p.

- Hequet et Corre (2019).** *Beta vulgaris* L., 1753 [En ligne] // Inventaire National du Patrimoine Naturel. [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/85820/tab/taxo](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/85820/tab/taxo).
- Hubert, J. (2006).** Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja .Etude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de toutous, école doctoral des sciences écologiques, vétérinaires agronomique et biongénieries, spécialité qualité et sécurité des aliments p174.
- Herbert S. A., Riaublanc B., Bouchet D., Gallant J., and Dufour E., (1999).** Fluorescence spectroscopy investigation of acid or rennet-induced coagulation of milk. *J Dairy Sci* 82:2056 – 2062.
- Hiudjedj, N., Née, M., (2012).** Evaluation du risque toxicologique du colorant alimentaire tartrazine, à court terme chez la souris swiss. Thèse de doctorat, Université d'Oran, Algérie p 41 42.
- Katz H., Weaver W.W., (2003).** Encyclopedia of food and culture. V o l u m e 1: Acceptance to food politics. 718p. Charles Scribner's sons. New York.
- Marie-laure, André, (2013).** Les additifs alimentaires. Ed jouvence, Pp20-44.
- Mahaut M., Jeantet R., et Brule G., (2000).** Initiation à la technologie fromagère, Tec&Doc, ed.
- Molyneux P. (2004).** The use of the stable free radical diphenyl picrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 26(2): 211-219.
- Oyaizu, M., 1986.** Antioxidative activities of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn J Nutr* 44, 307-315.
- Pawłowska, Kuligowski, Jasińska-Kuligowska, Kidoń, Siger, Rudzińska1 et Nowak., 2018.** Effect of Replacing Cocoa Powder by Carob Powder in the Muffins on Sensory and Physicochemical Properties. *Plant Foods for Human Nutrition* 73:196–202.
- Richonnet Céline. (2015).** Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus, Edition Elsevier Masson, p9.
- Riahi M. H., (2006).** Modélisation des phénomènes microbiologiques, biochimiques et physico-chimiques intervenant lorsde l'affinage d'un fromage de type pâte molle croûte lavée. 200p. Thèse doctorat. Institut nationalagronomique paris-grignon.
- Sahraoui Y. et Sadoun Dj. (2015).** Essai de mise au point d'un fromage frais au lait de chèvre. Editions Universitaires Européennes. 264
- Stinzing, F. C., Carle, R. (2004).** Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 19–38.
- Vieira Teixeira da Silva D, dos Santos Baião D, de Oliveira Silva F, Alves G, Perrone D, Mere Del Aguila E., (2019).** Betanin, a Natural Food Additive: Stability, Bioavailability, Antioxidant and Preservative Ability Assessments. *Molecules*. 24(3):458.

- Ydjedd S., chaalal M., Bahri S., Mokadem S., Radji H., (2021).**Antioxidant and  $\alpha$ -amylase inhibition activities of pricklypears (*Opuntia ficus indica* L.) betalains extracts and application in yoghurt as natural colorants. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies.*journal-of-agroalimentary*.
- Zainoldin, K.H., Baba, A.S. (2009).** The Effet of Hylocereus polyrhizus and Hylocereus undatus on Physicochemical, Proteolysis, and Antioxidant Activity in Yogurt. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering* Vol: 3, N°12, p 585-590.
- Zhou, W., (2014).** Bakery products Science and Technology. 2ème edition Wiley Blackwell p 776.



**Figure 1** : Courbe d'étalonnage des polyphenols



**Figure 2** : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

## **Résumé**

L'objectif de la présente étude est d'analyser les paramètres physicochimiques (taux d'humidité, pH, acidité et Brix) et de déterminer la teneur en polyphénols totaux, en bétalaïnes, ainsi que d'évaluer l'activité antioxydante (DPPH et Pouvoir réducteur de fer) d'un fromage enrichi en différentes concentrations d'extrait de bétalaïnes de la betterave (0%, 2,5%, 5% et 7,5%). Les résultats obtenus montrent une diminution significative ( $P < 0,05$ ) de taux d'humidité (de 48% à 43%) avec l'augmentation de la concentration d'extrait de bétalaïnes ajouté aux préparations fromagères. Cependant, une légère diminution des valeurs du pH (de 6,06 à 4,96) et de degré du Brix (de 0,7 à 0,5) a été enregistrée. Tandis que, une augmentation significative ( $P < 0,05$ ) d'acidité (35 °D à 57,53 °D) a été enregistrée. Par ailleurs, aucune différence significative ( $P < 0,05$ ) n'a été enregistrée entre les teneurs des polyphénols totaux des quatre préparations fromagères avec des valeurs qui varient entre 74,84 et 82,74 mg EAG/100g. En revanche, une augmentation significative ( $P < 0,05$ ) de la teneur en bétalaïnes a été enregistrée avec l'augmentation des concentrations d'extrait de bétalaïnes ajouté aux quatre échantillons de fromages préparés avec des valeurs qui varient entre 825 et 2294,72 mg/100g pour les betacyanines et entre 455,58 et 1086,56 mg/100g pour les indicaxanthines. En outre, une forte activité antiradicalaire DPPH (86,46% pour l'extrait de bétalaïnes et 84,55% pour l'extrait phénolique) et un pouvoir réducteur du fer élevé (PRF) (28,83 mg EAA/100g pour l'extrait de bétalaïnes et 12,55 mg EAA/100g pour l'extraits phénoliques) ont été enregistrés.

**Mots clés :** Fromage, bétalaïnes, polyphénols totaux, paramètres physicochimiques, potentiel antioxydant.

## **Summary**

The objective of the present study was to analyse the physicochemical parameters (moisture level, pH, acidity and Brix) and to determine the total polyphenols, betalains contents, as well as to evaluate the antioxidant activity (DPPH and Iron-reducing power) of a cheese enriched with different concentrations of betalain extract of beet (0%, 2.5%, 5% and 7.5%). The results obtained show degree in moisture content (from 48% to 43%) with the increase in the concentration of betalain extract added to cheese preparations. However, a slight decrease in the values of pH (from 6.06 to 4.96) and the Brix degree (from 0.7 to 0.5) was recorded. However, a significant increase in acidity (35 °D to 57,53 °D) was recorded. Moreover, no significant difference ( $P < 0.05$ ) was recorded between the contents of total polyphenols of the four cheese preparations with values varying between 120.55 and 123.44 mg EAG/100g. On the other hand, a significant increase ( $P < 0.05$ ) in the betalain content was recorded with the increase in the concentrations of betalain extract added to the four samples of prepared cheeses with values varying between 825 and 2294.72 mg/100g for betacyanins and between 455.58 and 1086.56 mg/100g for indicaxanthins. In addition, a strong DPPH antiradical activity (86.46% for the betalain extract and 84.55% for the phenolic extract) and a high iron reducing power (PRF) (28.83 mg EAA/100g for the betalain extract and 12.55 mg EAA/100g for the phenolic extracts) were recorded.

**Keywords:** Cheese, betalains, physicochemical parameters, antioxidant potential.

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحليل المعلمات الفيزيوكيميائية (مستوى الرطوبة ، ودرجة الحموضة ، والحموضة ، و بريكس ) وتحديد محتوى البوليفينول الكلي ، والبيتالين ، وكذلك تقييم النشاط المضاد للأكسدة (DPPH) وقوة تقليل الحديد) من جبن مدعم بتركيزات مختلفة من مستخلص البيتاين من البنجر (2.5٪ ، 5٪ و 7.5٪). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها انخفاضاً معنوياً في محتوى الرطوبة (من 48٪ إلى 43٪) مع زيادة تركيز مستخلص البيتاين المضاف إلى محضرات الجبن. ومع ذلك ، تم تسجيل انخفاض طفيف في قيم الأس الهيدروجيني (من 6.04 إلى 96, 4) والحموضة وكذلك درجة السكر (من 0,7 إلى 0.5). علاوة على ذلك ، لم يتم تسجيل فرق معنوي ( $P < 0.05$ ) بين محتويات البوليفينول الكلي لمستحضرات الجبن الأربعة بقيم تتراوح بين 120.55 و 123.44 مجم EAG / 100 جم. من ناحية أخرى ، تم تسجيل زيادة معنوية ( $P < 0.05$ ) في محتوى البيتاين مع زيادة تراكيز مستخلص البيتاين المضافة إلى أربع عينات من الجبن المحضر بقيم تتراوح بين 55.43 و 21.90 مجم / 100 جم. للبيتاينين وبين 50.37 و 86.99 مجم / 100 جرام للإنديازانتين. بالإضافة إلى ذلك ، نشاط مضاد للجراثيم DPPH قوي (75٪ لمستخلص البيتاين و 43٪ لمستخلص الفينول) وقوة عالية لخفض الحديد (342 مجم EAA / 100 جرام لمستخلص البيتاين و 123.55 مجم EAA / 100 جرام بالنسبة للمستخلصات الفينولية). لوحظ وجود علاقة قوية بين محتويات betalaie وأنشطة مضادات الأكسدة التي تم تقييمها.

**الكلمات المفتاحية:** الجبن ، البيتاين ، المعلمات الفيزيوكيميائية ، مضادات الأكسدة .