

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université SAAD DAHLAB BLIDA1**



Faculté de science de la nature et de la vie

Département Sciences alimentaires

Mémoire fin d'études en vue de l'obtention

Du diplôme Master en science alimentaire

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

**Etude des caractéristiques nutritionnelles et biochimiques de
la pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua L.*) de différentes
régions d'Algérie. Valorisation en pastification**

Réalisé par :

- ❖ **AZZI Fatima Zohra**
- ❖ **RABIA Hadjer**
- ❖ **BELKADI Anissa Rania**

Devant le jury :

Mme KOUIDRI A	MCA/ USDB1	Présidente
Mme DEFFAIRI D	MCB/USDB1	Examinatrice
Mme ABDELAOUI Z	MCB/USDB1	Promotrice

2021/2022

Résumé

Le présent travail, vise à étudier la composition nutritionnelle et biochimique de la pulpe de caroube récoltée dans trois régions de l'Algérie (**Blida, Tipaza, Sétif**) ainsi que l'effet de son incorporation à différents pourcentages (5%,10%,15%,20%) sur la qualité technologique et organoleptique des pâtes alimentaires (pâtes longues).

En plus, du dosage de l'humidité, cendres et protéines, l'étude a englobé une identification des polyphénols, dosage des vitamines **A, D, E** par **HPLC**, et une identification du profil lipidique ainsi que d'autres composés présents dans la pulpe réalisée par la **GCMS**.

Les résultats des analyses chimiques montrent que les pulpes de la caroube issues des régions de Tipaza, Sétif, Blida sont significativement différentes, caractérisées respectivement par des teneurs en eau de 13.72%,13.23% et11.81% ; matière minérale 2.84% ,3.25% et3.25% ; matière grasse 0.6% ,2% et 1% ; protéine 3.21%,3.21% et 4.25% ; provitamine A 0.024(mg/100g),0.012(mg/100g) et 0.006(mg/100g); vitamine D3 0.18(mg/100g), 0.06(g/100g), 0.06(mg/100g) vitamine E 0.40(mg/100g),0.69(mg/100g)et 0.57(mg/100g).

Les acides gras majoritaires détectés dans la région de Blida sont l'acide oléique (18.96%), à Sétif, l'acide élaidique (29.48%), et à Tipaza, l'acide oléique (48.54%) et l'acide palmitique (14.44%). Cinq composés phénoliques ont été identifiés dans la région Blida, (acide gallique catéchine hydrate, quercitene, merycetine, acide benzoïque) contre quatre à Tipaza (acide gallique, merycetine, catéchine hydrate, vanilline) et trois à Sétif (acide benzoïque, quercitene, merycetine).

Les résultats des tests de cuisson des pâtes incorporées avec la poudre de la pulpe de caroube ont montré que les pâtes de Sétif et de Blida nécessitaient des temps de cuisson (temps minimal) plus longs, respectivement 10min05sec et 11min05sec, tandis que celles de Tipaza mettaient un temps minimal de cuisson de 08min05sec. La perte à la cuisson des pâtes augmente avec le taux d'incorporation en poudre de caroube.

Le meilleur coupage pour fabriquer les pâtes alimentaires longues est obtenu avec l'incorporation de 5% de poudre de la pulpe de caroube.

Mots clés : caroube, pulpe, polyphénols, acide gras, vitamines, pâtes alimentaires longues.

Abstract

This work aims to study the nutritional and biochemical composition of carob pulp harvested in three regions of Algeria (**Blida, Tipaza, Setif**) as well as the effect of its incorporation at different percentages (5%, 10%, 15%, 20%) on the technological and organoleptic quality of long pasta.

In addition to the dosage of humidity, ash and proteins, the study included an identification of polyphenols, dosage of vitamins **A, D, E** by **HPLC**, and an identification of the lipid profile as well as other compounds present in the pulp by **GCMS**.

The results of the chemical analyzes show that the carob pulps from the regions of Tipaza, Setif, Blida are significantly different, characterized respectively by water contents of 13.72%, 13.23%, 11.81%; mineral matter 2.84%, 3.25%, 3.25%; fat 0.6%, 2%, 1%; protein 3.21%, 3.21%, 4.25%; protamine A 0.024 (mg/100g), 0.012(mg/100g), 0.006(mg/100g); vitamin D3 0.18(mg/100g), 0.06(g/100g), 0.06(mg/100g), vitamin E 0.40(mg /100g), 0.69(mg/100g), 0.57(mg/100g).

The main fatty acids detected in the Blida region are oleic acid (18.96%), in Sétif elaidic acid (29.48%), and in Tipaza oleic acid (48.54%) and palmitic acid (14.44%). Five phenolic compounds have been identified in the Blida region (gallic acid catechin hydrate, quercitene, merycetin, benzoic acid) against four in Tipaza (gallic acid, merycetin, catechin hydrate, vanillin) and three in Sétif (benzoic acid, quercitene, merycetin).

The results of culinary tests carried out on pasta incorporated with carob pulp indicated that those from Sétif and Blida take a little longer (minimum) to cook, 10 min 05 seconds and 11 min 05 seconds respectively, and those from Tipaza have a (minimum) time of 08 min 05 sec. The cooking loss of pasta increases with the rate of incorporation of carob powder.

The best blend for making pasta is obtained with the incorporation of 5% carob pulp powder.

Keywords: carob, pulp, polyphenols, fatty acid, incorporation, long pasta.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة التركيب الغذائي والبيو الكيمائي للخبز المحمص في ثلاث مناطق من الجزائر (البلدية، تيبازة، سطيف) وكذلك تأثير دمجها بنسب مختلفة (5٪، 10٪، 15٪، 20٪). على الجودة التكنولوجية والحسية للمعكرونة.

بالإضافة إلى معرفة نسبة الرطوبة والمادة الرمادية والبروتينات، تضمنت الدراسة الكشف عن البوليفينول وكمية الفيتامينات، وذلك بواسطة HPLC وتحديد المركبات الدهنية بالإضافة إلى المركبات الأخرى الموجودة في الخبز بواسطة GCMS.

أظهرت نتائج التحليل الكيميائي أن لب الخبز من المناطق تيبازة سطيف، البلدية تختلف اختلافا كبيرا، حيث تتميز على التوالي بكمية الماء بلغت 13.72٪، 13.23٪، 11.81٪. المواد المعدنية 2.84٪، 3.25٪، 3.25٪؛ الدهون 0.6٪، 2٪، 1٪؛ البروتين 3.21٪، 3.21٪، 4.25٪؛ بروفيتامين أ 0.024 (مغ / 100 غ) 0.012 (مغ / 100 غ)، 0.006 (مغ / 100 غ)؛ فيتامين د 0.18 3 (مغ / 100 غ)، 0.06 (مغ / 100 غ)، 0.06 (مغ / 100 غ)؛ فيتامين هـ 0.40 (مغ / 100 غ)، 0.69 (مغ / 100 غ)، 0.57 (مغ / 100 غ).

الأحماض الدهنية الرئيسية التي تم الكشف عنها في منطقة البلدية هي حمض الأوليك (18.96٪)، وحمض ستيف اللينيك (29.48٪)، وفي حمض الأوليك تيبازا (48.54٪) وحمض البالمتيك (14.44٪).

تم تحديد خمسة مركبات فينولية في منطقة البلدية (حمض الغاليك كاتشين هيدرات، كيرسيتين، ميريسيتين، حمض البنزويك) مقابل أربعة في تيبازا (جاليك / حمض، ميريسيتين، كاتشين هيدرات، فانيلين) وثلاثة في سطيف (حمض البنزويك، كيرسيتين، ميريسيتين).

أشارت نتائج اختبارات الطهي التي أجريت على المعكرونة المدمجة بلب الخبز إلى أن طهي معكرونة سطيف والبلدية يستغرق وقتاً أطول قليلاً (كحد أدنى) للطهي، 10 دقائق و5 ثوانٍ و11 دقيقة و5 ثوانٍ على التوالي، وبالنسبة لمعكرونة المدمجة بلب تيبازة لديها (الحد الأدنى) الوقت 08 دقيقة و05 ثانية. يزداد معدل فقد المعكرونة أثناء الطبخ مع معدل دمج مسحوق الخبز.

يتم الحصول على أفضل مزيج لصنع المعكرونة بدمج لب الخبز بنسبة 5٪.

الكلمات المفتاحية: الخبز، اللب، البوليفينول، الأحماض الدهنية، الدمج، المعكرونة.

Remerciements

Avant toutes choses, nous remercions Allah, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toutes nos gratitude à notre promotrice, Dr. ABDELAOUI ZAKIA Vous nous avez fait le très grand honneur de diriger ce travail et de nous guider tout au long de son élaboration.

Nous sommes reconnaissantes pour votre appui, disponibilité, vos critiques et du respect que vous nous avez témoigné durant tout ce temps.

Notre respect le plus profond s'adresse à la présidente de jury Dr KOUIDRI A pour avoir accepté de présider le jury de notre modeste travail. Que vous soyez assurée de nos entières reconnaissances.

Nos sincères remerciements vont également à l'examinatrice :

Dr DEFFAIRI D

Nous vous remercions vivement de nous faire l'honneur de consacrer une partie de votre temps précieux pour examiner ce modeste travail.



Dédicace

Grâce au Dieu le tout puissant, qui m'a donné la volonté, qui m'a éclairé vers le bon chemin, et qui me permet d'arriver à ce but.

Je dédie ce travail à

Mes parents qu'ALLAH les garde

« Ma mère » qui a œuvrée pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments les plus sincères et mon éternelle gratitude.

« Mon père » qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie ; Merci pour les valeurs nobles que tu m'as enseignées et mille mercis pour ton soutien permanent.

Mes sœurs : Hanane et Amel Je leur souhaite une vie heureuse.

Mon frère Youcef : je le souhaite du bonheur et vie pleine de réussite.

Dédicace spéciale à une personne proche à mon cœur :

Mon fiancé Adel qui m'a soutenu dans la mise en place et le succès de ce travail.

A ma grand-mère

A Mon beau-père et ma belle-mère

A tous mes oncles et tantes

A mes meilleures amies : Hadjer, Anissa vous êtes comme ma famille

FATIMAZOÛRA



Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier **Dieu** le tout puissant de m'avoir donné la santé, la patience, la volonté et de m'avoir fourni sa bénédiction.

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents qu'Allah les garde

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts et la flamme de mon cœur ma vie et mon bonheur « Maman » je te remercie pour tout ce que tu as fait pour moi, tu es une mère exceptionnelle. Je t'aime maman.

A mon cher papa, tu as été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection. Je t'aime papa.

Une personne très proche à mon cœur

Mon mari Abdelhalim, qui m'a aidé et supporté dans tous les moments difficiles,

Mes sœurs Farah et Insafe : je vous souhaite une vie heureuse.

Mon frère Abd Allah : je te souhaite tout le bonheur du monde mon prince.

Mes grandes mères et mon grand père

Mon beau-père et ma belle-mère

Mes deux chères collègues : Fatimazohra et Anissa Ranta

Tous mes oncles et mes tantes

Tous mes cousins et cousines

A tous les membres de ma famille et à tous ceux qui me sont chers.

Hadjer



Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail accompagné d'un profond amour :

À ma très chère mère SAMIA Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon Chère papa Mohamed pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé.

A la mémoire de ma grand-mère YAMINA tu serais toujours dans mon cœur, et à toi mon grand - père BEN MERA ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour, que ce rapport soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.

Amon frères ADEM et Mes Sœurs LINA et YASMINE, Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

À mes oncles et tantes SORAYA, SABRINA, MOHAMED, SIHEM, LINADA et HAMZA. Et a toute la famille maternelle sans oublier personne merci pour votre amour et de votre encouragement.

Sans oublier, mes deux chers collègues FATIMA, et HADJER

ANISSA RANIA




Table des matières

CHAPITRE 1 : Le caroube et le caroubier

Résumer	
Introduction	
I.Historique.....	1
II.Taxonomie et position systématique	1
III. Description botanique	2
III.1. Les feuilles	3
III. 2.Les fleurs	4
III.3.Les Branches	5
III.4.Les racines	5
IV. La biologie de reproduction	7
V.Origine et répartition biogéographique	8
V.1.Origine du caroubier.....	8
V.2.La répartition biogéographique	8
2.1Dans le monde.....	8
V. 2.2. En Algérie.....	9
V.La composition biochimique de caroube.....	10
VI. 1.Composition de la pulpe de caroube	11
VI.1.1Teneurs en Sucres	12
VI.1.2Teneur en acide aminé	13
VI.1.3Teneur en Vitamines	13
VI.1.4Teneurs en composés phénoliques	14
VI.1.5. Teneur en minéraux	15
VI.1.6. La teneur en cendres	16
VI.1.7. Humidité.....	16
VI.2.La composition de la graine	17
VII. Air de production de caroubier	17
VII. 1.Dans le monde.....	17
VII. 2.En Algérie	18
IX. Utilisation de la caroube.....	19

IX. 1.Utilisation dans l'industrie agroalimentaire	19
IX. 2.Utilisation médicinale	20
IX.3. Utilisation écologique	21
IX.4. Utilisation cosmétique.....	21

CHAPITRE 2 : Les pâtes alimentaires

I.Définition de pâte alimentaire.....	22
II.Classification des pâtes.....	22
II.1. Les pâtes extrudées	22
II.2.Pâtes laminées.....	23
III. Les matières premières utilisées en pastification	23
III.1. La Semoule.....	23
III.2. L'eau.....	24
IV.La production des pâtes alimentaires dans le monde	24
V.Technologie de fabrication de pâtes	25
V.1.Hydratation et malaxage.....	25
V.2.Extrusion	26
V.3.Laminage	26
V.4.Séchage.....	27
V.5.Emballage (conditionnement)	27
VI. Qualité des pâtes	28
VI.1. Qualité nutritionnelle et énergétique.....	28
VI.2. Qualité hygiénique	29
VI.3. Qualité culinaire	30

CHAPITRE 3 : Matériel et méthodes

I.1.Collecte des échantillons de caroube	32
I.2. Stockage.....	32
Les échantillons sont stockés	32
II. Préparation des échantillons	32
II.1. Nettoyage.....	32
II.2. Concassage	33

II.3. Broyage.....	33
II.4. Tamisage et conditionnement.....	33
III. Analyses chimiques et nutritionnelles de la poudre de la pulpe de caroube et de la semoule.....	34
III.1 La pulpe de caroube	34
III.1.1. Détermination de la teneur en eau	34
III.1.2. Détermination de la teneur en cendres	35
III.1.3. Dosage de la matière grasse	37
III.1.3.1. Couplage chromatographe gazeuse/spectrométrie de masse	39
III.1.4. Dosage des protéines brutes	40
III.1.5. Dosage des vitamines	42
III.1.5.1. Dosage de la provitamine A (B-CAROTENE).....	42
III.1.5.2. Dosage de la vitamine D3 (cholécalférol).....	43
III.1.5.3. Dosage de la vitamine E.....	44
III.1.6. Les polyphénols.....	44
III.1.6.1. Préparation des étalons.....	45
III.1.6.1.1. Acide Ascorbique.....	45
III.1.6.1.2. Acide Gallique.....	45
III.1.6.1.3. Acide Tannique	45
III.1.6.1.4. Catéchine hydrate.....	45
III.1.6.1.5. Caféine	45
III.1.6.1.6. Acide Vanillique	45
III.1.6.1.7. Acide coumarique	45
III.1.6.1.8. Acide benzoïque.....	46
III.1.6.1.9. Myricetine	46
III.1.6.1.10. Acide quercetine.....	46
III.2. La semoule	46
III.2.1 La teneur eau	46
III.2.2 Les cendres.....	46
III.2.3. Mesure de la teneur en gluten	46
III.2.3.1. Gluten index	47
III.2.3.2. Gluten sec.....	48
IV. L'essai de fabrication des pâtes	48
IV. 1. Préparation des mélanges.....	48

IV.2. La fabrication des pâtes alimentaires	50
IV.2.1 Les étapes de fabrication.....	52
IV.2.1.1 Hydratation.....	52
IV.2.1.2. Malaxage	52
IV.2.1.3. Extrusion	53
IV.2.1.4. Séchage	53
V. Appréciation de la qualité du produit fini (les pâtes)	54
V.1. Analyses physico-chimique.....	54
V. 1.1. La teneur en eau (humidité).....	54
V.2. Analyses technologiques	55
V.2.1. Indice de couleur	55
V.2.2. Tests de cuisson.....	56
V.2.2.1. Détermination des temps de cuisson	56
V.2.2.2. La perte à la cuisson	57
V.2.2.3. Le gonflement (la capacité d'absorption d'eau)	57
V.2.2.4. L'état de surface des pâtes alimentaires	58
VI. Analyse statistique.....	59

CHAPITRE 4 : Résultats et discussion

I. Les résultats des analyses physico-chimiques et nutritionnelles des matières premières.....	60
I.1 La teneur en eau	60
I.1.1 La poudre de la pulpe de caroube	60
I.1.2 La semoule	62
I.2 Le taux des cendres	62
I.2.1 La poudre de la pulpe de caroube	62
I.2.2 La semoule	64
I.2.3. Mesure de la teneur en gluten	65
I.3. Teneur et composition d'huile extraite	66
I.3.1 Rendement en matière grasse.....	66
I.3.2. Analyse biochimique des huiles de la caroube par la GCMS	67
I.4. Les protéines de la poudre de la pulpe de caroube	70
I.5 Les vitamines	72
I.6. Les polyphénols	73

II. Les résultats des analyses physico-chimiques du produit fini (pâtes alimentaires)	78
II.1 L'humidité des pâtes.....	78
III.2. Evaluation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires	79
III.2.1. Temps de cuisson	80
III.2.2. Les pertes à la cuisson.....	82
III.2.4. Etat de surface et fermeté des pâtes après cuisson	83
CONCLUSION.....	86
Références bibliographique.....	89
Annexe.....	98

Liste des figures

Figure 1 L'arbre de caroubier (photo d'internet).....	3
Figure 2: foliole du caroubier.....	3
Figure 3 : Feuille du caroubier	3
Figure 4:(A) Fleures males ;(B) Fleures femelles ;(C) Fleures hermaphrodites.....	4
Figure 5: Branche de caroubier (photo d'internet).....	5
Figure 6: Les racines de caroubier	6
Figure 7:(A) Gousse verte ;(B) Gousse mure;(C) Les graine	7
Figure 8: La répartition géographique de caroubier dans le monde	9
Figure 9: Pate extrudée.....	22
Figure 10: Pate laminer	23
Figure 11: Le séchage	27
Figure 12: Le conditionnement	28
Figure 13: Concassage de la gousse et séparation de la graine et la pulpe	33
Figure 14 : Tamisage et conditionnement de la poudre de la pulpe de caroube (photo originale).	33
Figure 15: : Incinération de la prise d'essai	35
Figure 16: SOXLHET	38
Figure 17 : Courbe d'étalonnage de la provitamine A.....	43
Figure 18 : Courbe d'étalonnage de la vitamine D3.	43
Figure 19: Courbe d'étalonnage de la vitamine E.	44
Figure 20: Diagramme de fabrication des pâtes.....	51
Figure 21: Hydratation.	52
Figure 22: Malaxage et mélange.	52
Figure 23: Pate extrudé.	53
Figure 24: : Séchage des pâtes (A : pate à 100% semoule ; B : pates à 20% caroube ; C : pates à 10% caroube.....	54
Figure 25 : Mesure de la couleur des pâtes (A : broyage des pâtes ; B : tamisage des pâtes séché ; C : mesure de couleur)	55
Figure 26: Matériel utilisé pour le test de cuisson (A : Balance pour peser les pâtes ; B : plaque chauffante).....	56
Figure 27: Etat de surface des pâtes alimentaires	58
Figure 28 : Teneur en eau de la pulpe de la poudre de caroube des trois régions (Tipaza, Sétif, Blida).	61
Figure 29: Teneur en cendres de la pulpe de caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza).	64
Figure 30: Teneur en lipides en % des pulpes de la caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza)	66
Figure 31: Teneur en protéines de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions.....	72
Figure 32: Taux des vitamines en mg/100g MS des pulpes de caroube.	72
Figure 33: Teneur en eau des pâtes fabriquées.	79
Figure 34: Illustration du test de la ligne blanche utilisé pour la détermination du temps minimal(A) et optimal de cuisson	80
Figure 35 : Chromatogramme de standard : Provitamine A(B-carotène) à 2.5 ppm	98

Figure 36:Chromatogramme de provitamine A d'extrait de la pulpe de Blida.....	98
Figure 37:Chromatogramme de provitamine A d'extrait de la pulpe de Sétif.....	98
Figure 38:Chromatogramme de provitamine A d'extrait de la pulpe de Tipaza	99
Figure 39:Chromatogramme de standard : Cholécalférol(D3) à 200ppm.....	99
Figure 40:Chromatogramme de vitamine D3 d'extrait de la pulpe de Blida	100
Figure 41:Chromatogramme de vitamine D3 d'extrait de la pulpe de Sétif	101
Figure 42:Chromatogramme de vitamine D3 d'extrait de la pulpe de Tipaza.....	101
Figure 43:Chromatogramme de standard : vitamine E à 270ppm	102
Figure 44:Chromatogramme de vitamine E d'extrait de la pulpe de Blida	102
Figure 45:Chromatogramme de vitamine E d'extrait de pulpe de Sétif	103
Figure 46:Chromatogramme de vitamine E d'extrait de la pulpe de Tipaza	103
Figure 47:Chromatogramme de standard : acide ascorbique	104
Figure 48:Chromatogramme de standard : acide gallique	104
Figure 49:Chromatogramme de standard : acide tannique.....	105
Figure 50:Chromatogramme de standard : Catechine hydrate	105
Figure 51:Chromatogramme de standard : Caféine	106
Figure 52:Chromatogramme de standard : Vanilline	106
Figure 53:Chromatogramme de standard : acide A coumarique	107
Figure 54:Chromatogramme de standard : acide benzoïque.....	107
Figure 55:Chromatogramme de standard : acide quercétique.....	108
Figure 56:Profile chromatographique des composés phénoliques d'extrait de la pulpe de Blida	109
Figure 57:Profile chromatographique des composés phénoliques d'extrait de la pulpe de Sétif	109
Figure 58:Profile chromatographique des composés phénoliques d'extrait de la pulpe de Tipaza	110
Figure 59:Chromatogramme d'huile de la pulpe de Blida.....	1
Figure 60:Chromatogramme d'huile de la pulpe de Sétif.....	1
Figure 61:Chromatogramme d'huile de la pulpe de Tipaza	2
Figure 62: (A) : HPLC, (B) : GCMS, (C) : injecteur	3
Figure 63:Pates cuites de témoin (Tmin, Tmin+1, Tmin+11)	88
Figure 64:Pates cuites (semoule avec 5% de Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11). 89	
Figure 65: Pates cuites (semoule avec 10% de Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).	90
Figure 66 : Pates cuites (semoule+ 15% Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)	91
Figure 67 : Pates cuites (semoule+ 20% Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)	92
Figure 68 : Pates cuites (semoule+ 5% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).....	93
Figure 69 : Pates cuites (semoule+ 10% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).....	94
Figure 70:Pates cuites (semoule+1 5% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).....	95
Figure 71:Pates cuites (semoule+ 20% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).....	96
Figure 72:Pates cuites (semoule+ 5% Pc de Tipaza) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)	97
Figure 73:Pates cuites (semoule+ 10% Pc de Tipaza) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)	98
Figure 74:Pates cuites (semoule+ 15% Pc de Tipaza) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)	99
Figure 75:Pates cuites (semoule+ 20% Pc de Tipaza) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)	100
ulpe de caroube de Tipaza.	69

Liste des Tableaux

Tableau 1. Classification de caroubier	2
Tableau 2: La composition chimique de la gousse de caroube	11
Tableau 3: Valeurs moyennes de la composition chimique brute et de la valeur calorique de la poudre de caroube	12
Tableau 4: Composition chimique de la pulpe en Ms de la pulpe.....	12
Tableau 5: Valeurs moyennes des acides aminés dans 100g de protéine	13
Tableau 6: Valeur moyenne de la teneur en vitamines de la poudre de caroube	14
Tableau 7: Valeurs moyennes de la teneur en composés phénoliques de la poudre caroube.....	15
Tableau 8: Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg)	16
Tableau 9: La production et le rendement de la caroube dans le monde	18
Tableau 10: Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie en 2009.	19
Tableau 11. Les vingt premiers consommateurs de pâtes dans le monde	24
Tableau 12. Composition des pâtes alimentaires issus du blé dur.....	29
Tableau 13: Les conditions opératoire de la CGMS.	39
Tableau 14: Les quantités des ingrédients pour la fabrication des pâtes par la poudre de la pulpe de caroube de la région Blida.....	49
Tableau 15 : Les quantités des ingrédients pour la fabrication des pâtes par la poudre de la pulpe de caroube de la région Sétif	49
Tableau 16: Les quantités des ingrédients pour la fabrication des pâtes par la poudre de la pulpe de caroube de la région Tipaza.....	50
Tableau 17 : La teneur en eau de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions (Tipaza, Sétif, Blida)	60
Tableau 18 : La teneur en eau de la semoule de blé dur utilisée.	62
Tableau 19: Taux des cendres de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza)	63
Tableau 20: Taux de cendres de la semoule utilisée.	64
Tableau 21: Teneur en gluten index et gluten sec de la semoule	65
Tableau 22: Composition en acides gras identifiés dans les huiles de la pulpe de caroube de Blida.....	67
Tableau 23: Composition en acides gras identifiés dans les huiles de la pulpe de caroube de Sétif.....	68
Tableau 24: Composition en acides gras identifiés dans les huiles de la pulpe de caroube de Tipaza.	69
Tableau 25: La teneur en protéines de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions étudiées (Blida, Tipaza, Sétif)	71
Tableau 26: Les composés phénoliques identifiés dans l'extrait de pulpe de Blida.	74
Tableau 27: Les composés phénoliques identifiés dans l'extrait de la pulpe de Sétif.	75
Tableau 28: Les composés phénoliques identifiés dans l'extrait de pulpe de Tipaza.	76
Tableau 29: La teneur en eau des pâtes fabriquées.	78
Tableau 30: Caractéristiques culinaires des pâtes alimentaires des pâtes alimentaires avec les différents taux d'incorporation de la poudre de la pulpe de caroube.....	81
Tableau 31: Notes attribuées pour l'appréciation visuelle des pâtes issus d'incorporation des poudres des pulpes de caroube des 3 régions	83
Tableau 32: Résultats d'indice de coloration des différentes pâtes issue de l'incorporation par l'appareil MINOLTA.	85

Liste des symboles et des abréviations

CPG : Chromatographie en phase gazeuse

Em : Emission

Ex : Excitation

HPLC : Chromatographie en phase liquide à haute performance

h : hectare

g : gramme

GCMS : Chromatographie gazeuse couplé par Spectromètre de masse

GI : gluten index

GS : gluten sec

Kcal : kilocalorie

Kg : kilogramme

L : litre

mg : milligramme

min : minute

Min : minimal

Ms : matière sèche

ml : millilitre

nm: nanomètre

Ppm : partie par million

SM : spectrométrie en masse

t : temps

UV : ultraviolet

μL : microlitre

μm : micromètre



Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*. C'est une espèce sclérophylle, xérophile, thermophile, héliophile et calcicole, originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique (Mhdad et al., 2017).

Le caroubier (*Ceratoniasiliqua*) possède une importance économique et écologique considérable, d'abord il n'est pas exigeant vis-à-vis du climat et du sol, mais aussi tous ses composants (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces, racines) sont utilisés dans plusieurs domaines, dans le reboisement et contre l'érosion, aussi utilisé comme plante ornementale planté aux bordures des routes, son bois est de qualité favorisée en menuiserie et charbonnerie, les fleurs sont appréciées en apiculture et la production du miel. (Hariri et al, 2009).

La caroube étant une gousse composée d'une pulpe sucrée (90%) englobant des graines (10%). (Hddrah et al., 2013), présente des propriétés assez importantes leurs conférant l'aptitude à être utilisé dans plusieurs domaines (l'agroalimentaire, chimie, pharmacie, alimentation du bétail (Bonnier ;1990 ; Battle et al.,1997). En effet, la grande valeur de la caroube est connue grâce aux pulpes et aux graines.

La pulpe du caroubier est très riche en sucre, dont le saccharose représente 65% à 75% des sucres totaux, même plus riche que la canne à sucre et la betterave sucrière, elle est aussi riche en composés phénoliques ce qui lui donne un pouvoir anti oxydant remarquable (Hariri et al., 2009 ; Gillet et al.,2013). La poudre de caroube contenait 6,34% de protéines et un faible niveau de matières grasses 1,99 %. La poudre de caroube possède une riche source de Fe, Ca, Na, K, P et S ainsi que E, D, C, Niacine, B6 et acide folique. (Kamal et al.,2013).

La farine de caroube est utilisée dans l'industrie alimentaire pour préparer des biscuits, des jus de fruits et comme édulcorant naturel avec un goût et une apparence similaires au chocolat, sans caféine et sans théobromine. (Gillet et al.,2014).

La gomme de caroube est utilisée actuellement en industrie agro-alimentaire comme un additif alimentaire (E410) car elle possède des propriétés épaississantes. Elle est particulièrement utile dans des compositions pour crèmes glacées, soupes, confiseries. (Gillet et al.,2014).

La caroube suscite actuellement beaucoup d'intérêt en Algérie, en particulier à Tlemcen où les industriels se disputent le marché international, en vue de son exportation sous forme de farine tirée de la pulpe et des graines pour leur culture agricole.(Gaouar., 2012).

Les pâtes alimentaires sont un aliment à base de céréales produits à partir de blé dur. Elles contiennent 11 à 15 % de protéines et des faibles niveaux de lysine et de thréonine. Leur qualité est liée à celle du blé utilisé, au processus de production et à la quantité de protéines efficace lors de la cuisson. Les pâtes sont riches en amidon mais pauvres en fibres alimentaires, minéraux, vitamines, et composés phénoliques.

La demande croissante d'aliments sains a accru l'intérêt des industriels pour le développement de pâtes riches en minéraux, vitamines, fibres alimentaires et à faible indice glycémique. Différents composants fonctionnels, pigments de couleur, sources élevées de protéines et de fibres alimentaires ont été ajoutés aux formulations de nouvelles pâtes alimentaires enrichies en composés bioactifs, légumes (farine de haricot, farine de patate douce), fruits (poudre de carotte, pomme poudre d'écorce, poudre de raisin, farine de banane verte), légumineuse farines (farine de pois chiche, fava protéine), graines végétales (farine de quinoa, farine d'amarante. (Dilek et al.,2020).

La composition de la caroube en divers éléments nutritifs peut enrichir la valeur nutritionnelle des pâtes alimentaires qui peuvent être une bonne source de minéraux, vitamines et antioxydants pour le consommateur étant donné que cet aliment est largement consommé chez nous et dans les pays méditerranéens notamment. Dans ce même contexte, et dans le but de valoriser ce produit de terroir, notre travail a fait l'objet de l'incorporation de la pulpe de caroube dans les pâtes alimentaires. L'étude est consacrée à une caractérisation nutritionnelle et biochimique de la pulpe de caroube de trois régions différentes en Algérie (Blida, Tipaza, Sétif), et à l'effet des taux d'incorporation de la poudre de la pulpe de caroube dans les pâtes alimentaires sur leurs caractéristiques technologiques et organoleptiques.

L'objectif

L'objectif de notre travail consiste à :

- ❖ Identifier les composés physicochimiques et nutritionnels qui existent dans la caroube en fonction des régions agro-écologique.
- ❖ Améliorer la qualité nutritionnelle et technologique des pâtes alimentaires.

CHAPITRE 1

Le caroubier et la caroube

I. Historique

Le caroubier est un arbre cultivé depuis l'antiquité (4000 ans avant J. C), sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. La valeur de cette espèce était reconnue par les anciens Grecs, qui l'ont apporté de son Moyen-Orient natal à la Grèce et l'Italie, et par les Arabes, qui l'ont diffusé le long de l'Afrique du Nord côte et au nord en Espagne et au Portugal (Batlle et al., 1997).

En Egypte, les pharaons utilisaient la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIesiècle avant J.C) (Evreinoff., 1947). Le caroubier est également implanté dans plusieurs autres pays ayant des régions à climat méditerranéen telles que les Etats-Unis (la Californie du sud et l'Arizona), le Mexique, le Chili et l'Argentine par des Espagnols, à certaines parties de l'Australie par des émigrants méditerranéens et à l'Afrique du Sud et l'Inde par les Anglais, les philippines et l'Iran (Evreinoff., 1947 ; Batlle et al, 1997.)

II.Taxonomie et position systématique

Le nom scientifique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dérive du grec keras, corne, et latin siliqua, faisant allusion à la dureté et à la forme de la gousse. Le nom commun vient de l'hébreu kharuv, dont dérivent l'arabe kharrub et plus tard algarrobo ou garrofero en espagnol, carrubo en italien, caroubier en français, Karubenbaum en allemand, alfarrobeira en portugais, charaoupi en grec, charnup en Turc, et garrofer ou garrover en catalan (Batlle et al., 1997).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des légumineuses de l'ordre des rosales, sous famille des Cesalpinoïdae, tribu des Cassieae. Toutefois, cette position taxonomique demeure controversée.

De plus, certains auteurs ont désigné *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses (Tucker, 1992a) et qui serait complètement isolé des autres genres de sa famille (Zohary, 1973).

En plus de *Ceratonia siliqua*, le genre contient également une deuxième espèce de *Ceratonia* - *C. oreothauma*, qui ressemble beaucoup à la caroube commune et possède le même nombre de chromosomes ($2n = 24$) (albannal., 1990). Deux sous-espèces ont été distinguées : *oreothauma*, originaire d'Arabie (Oman), et *somalensis*, originaire du nord de la Somalie (Batlle et al., 1997).

D'un point de vue botanique, selon (Cronquist,1981), la caroube se situe dans les niveaux taxonomiques suivants :

Tableau 1.Classification de caroubier (Cronquist, 1981).

Règne	Plante
Sous-règne	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe	Magnoliosida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Rosales
Famille	Légumineuses
Sous-famille	Caesalpinioideae
Sous-tribu	Ceratoninae
Genre	Ceratonia

III.Description botanique

Le caroubier est un arbre sauvage ou cultivé, toujours vert et à feuillage, généralement cultivé dans un climat méditerranéen chaud. Le caroubier présente une bonne résistance à la sécheresse, mais est sensible au froid.

Dans les zones basses méditerranéennes (0-500 m, rarement 900 m d'altitude), le caroubier constitue une essence dominante et caractéristique du maquis des arbres sclérophylles, peut atteindre 15 à20 m de haut (Ait chit., 2007 ; SBAY.,2008 ; Kadri et al., 2014).

Il possède une cime très étalée et arrondie. Le tronc est épais, très crevassé, tortueux comme l'olivier, car le caroubier pousse aussi lentement et vit longtemps Jusqu'à 500 ans avec un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 mètres de circonférence. Cette espèce ligneuse a une écorce lisse et grise à l'âge juvénile et brune, rugueuse à l'âge adulte. Son bois est blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune et devient rose veiné puis rouge foncé et dur en vieillissant. (Benmahiol et al., 2011).



Figure 1 L'arbre de caroubier (photo d'internet)

III.1. Les feuilles

Les feuilles persistantes, de longueur de 10 à 20 cm, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant de 8 à 15 folioles, opposés, de 3 à 7 cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert noir brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (Ait chit et al., 2007). Les feuilles sont sclérophylles, avec un épiderme supérieur monocouche, ses cellules contiennent des composés phénoliques dans de grandes vacuoles, et les stomates sont Uniquement présent dans l'épiderme inférieur et disposé en grappes (Batell et al., 1997). Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai (Ait chit et al., 2007).



Figure 3 : Feuille du caroubier



Figure 2: foliole du caroubier

III.2. Les fleurs

Le caroubier est une espèce dioïque rarement monoïque avec quelques formes hermaphrodites ; donc mâle, les fleurs femelles et hermaphrodites sont généralement portées sur des arbres différents. (Evreïnoff V, 1947). Les fleurs mâles possèdent cinq sépales bien développés ou rudimentaires selon les variétés et présentent des nectars à leur base soudés aux sépales formant un disque charnu (3-5 mm de diamètre, couleur verte) (Albanell, 1990).

Par contre, Les fleurs femelles ont un pistil plus ou moins long, courbe en forme de légume d'un ton blanc-verdâtre avec un style court et épais et un stigmate persistant très épais de couleur vert riche en mucilage. Le pistil est entouré par un disque résultant de la soudure des pétales rudimentaires, le disque nectarifère est entouré par cinq sépales pileux et présente quelques étamines rudimentaires à son sommet (Albanell., 1990). Les fleurs sécrètent des substances nectarifères dont la quantité et la contenance en sucre sont élevées dans la fleur femelle par rapport à son homologue mâle. (Kadri et al., 2014).

Les fleurs hermaphrodites sont caractérisées par un pistil et étamines fonctionnelles au sein d'une même fleur, laquelle est considérée comme une fleur parfait ou complète. (Albanell, 1990)



Figure 4:(A) Fleures mâles ;(B) Fleures femelles ;(C) Fleures hermaphrodites

III. 3. Les Branches

Selon leur âge, les branches présentent les différentes caractéristiques suivantes (Albanell., 1990) :

- ✓ Les branches principales d'âge avancé sont généralement épaisses, tortueuses et avec une tendance à l'horizontalité due à leur poids et aux tailles de formation.
- ✓ Leur rôle principal est celui de servir comme élément support à d'autres branches, même si elles peuvent occasionnellement être productives.



Figure 5: Branche de caroubier (photo d'internet)

III.4. Les racines

Le système racinaire se caractérise par une racine principale pivotante, profonde et vigoureuse et de nombreuses racines latérales de tendance rampante qui s'étendent, dans certains cas, jusqu'à 30 ou 40 mètres, leur permettant de prendre l'humidité et les éléments nécessaires à leur alimentation d'une grande superficie de terrain, particulièrement à partir de la couche la plus superficielle du sol, laquelle présente les niveaux les plus élevés de fertilité, d'aération et de matière organique. C'est probablement l'une des raisons principales pour laquelle cet arbre peut croître dans un terrain rocheux avec des sols peu profonds et dans des conditions arides qui seraient restrictives pour d'autres cultures (JUAN., 1984 ; Albanell, 1990).



Figure 6:Les racines de caroubier (Mhdad et al ;2017)

III. 5.Les fruits

La gousse est épaisse, coriace, indéhiscente, arquée, à sutures épaisses il est vert puis brune et au moment de la maturité, brun foncé à noir avec une surface ridée et sont coriace à maturité

Elle est de longue 10 à 20 cm sur 2 à 3 cm de largeur, La pulpe comprend une couche externe coriace (péricarpe) et plus molle région interne (mésocarpe). Cette pulpe très sucrée, nutritive, rafraîchissante est très appréciée par les peuples de la région méditerranéenne. Les graines se trouvent dans la gousse transversalement, séparées par le mésocarpe Ils sont très durs et nombreux, comprimés ovales-oblongs, de 8 à 10 mm de long, 7-8 mm de large et 3-5 mm d'épaisseur (Evreinoff.,1947 ; Battel et al., 1997). Le développement du fruit est très long. La fructification se situe entre juillet et décembre de l'année qui suit la floraison, selon les régions et les cultivars. Pour arriver à maturité en été, il met généralement entre 9 et 10 mois. (Kadri et al.,2014).



Figure 7:(A) Gousse verte ;(B) Gousse mure;(C) Les grains

IV. La biologie de reproduction

Le caroubier est un arbre dioïque, parfois hermaphrodite et rarement monoïque (Linskens et Scholten, 1980 ; Batlle et al., 1988). Les pieds mâles sont stériles et improductifs. (Schroeder, 1995). Elles sont initialement bisexuelles habituellement unisexuées à la cour du développement floral (Battle et al., 1997 ; Konate 2007). Le caroubier est considéré comme le seul arbre méditerranéen qui fleurisse en été : du mois d'août à octobre (Aafi., 1996) ou en automne de septembre à novembre (Fournier., 1977).

Cependant, le temps et la durée de période de la floraison dépendent des conditions climatiques (Batlle et al., 1997).

La pollinisation des fleurs du caroubier est, en grande partie, assurée par les insectes (Retana et al., 1990, 1994 ; Rejeb et al 1991 ; Ortiz et al., 1996) mais aussi par le vent (Passos de Carvalho, 1988 ; Tous et Batlle, 1990). Les trois sexes de fleur, sécrètent des substances nectarifères dont la quantité et la contenance en sucre sont élevées dans la fleur femelle par apport à son homologue mâle (Ortiz et al., 1996).

La fructification, chez le caroubier, se situe entre juillet et décembre de l'année qui suit la floraison, selon les régions et les cultivars (Aafi, 1996).

D'après Haselberg (1996), la variation dans l'intensité d'inflorescence et la production des Fruits de caroube est plutôt liée à des facteurs endogènes qu'aux aléas climatiques. Toutefois, des conditions défavorables de l'environnement peuvent entraver, (Batlle et al., 1997).

V. Origine et répartition biogéographique

V.1. Origine du caroubier

Le mot caroubier vient de l'arabe El kharroub. Il est connu sous le nom scientifique de *Ceratonia siliqua* L. *Ceratonia*, du grec keratia, désigne une petite corne et le nom d'espèce siliqua, désigne en latin une siliqua ou gousse. Il est aussi appelé Carouge, Pain de Saint Jean-Baptiste, figuier d'Egypte, fève de Pythagore (Batlle et al., 1997).

Le centre d'origine de *Ceratonia siliqua* n'est pas clair. Il a été placé dans la région de la Méditerranée orientale (Turquie et Syrie) (Candolle., 1883 ; Vavilov., 1951).

Cependant, Le caroubier est considéré comme issue d'une flore xérotropicale indo-malésienne (Zohary, 1973).

Il est considéré aussi comme originaire des hautes terres d'Arabie méridionale (Yémen) (Schweinfurth, 1894). Le caroubier était connu dans le proche Orient et les îles de la méditerranée. Ce dernier a été introduit très anciennement par les grecs, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce, en Italie, en Espagne et au Portugal (Rejeb., 1994).

V.2. La répartition biogéographique

2.1 Dans le monde

La répartition originale de *Ceratonia siliqua* n'est pas claire car elle a fait l'objet d'une culture extensive depuis l'Antiquité.

Le caroubier est étendu, à l'état sauvage, en Turquie, Chypre, la Syrie, le Liban, Israël, le sud de la Jordanie, l'Égypte, l'Arabie, la Tunisie et la Libye avant d'atteindre l'Ouest de la méditerranée. Il a été propagé par les Grecs en Grèce et en Italie, puis par les Arabes le long de la côte de l'Afrique du Nord dans le sud et l'est de l'Espagne, d'où il a migré au sud du Portugal et au sud-est de la France (Hillcoat et al., 1980). Il a été aussi introduit avec succès par les espagnols et les

anglais dans autres pays à climat méditerranéen notamment, aux États-Unis (Arizona, Sud de la Californie), au Mexique, en Australie et en Afrique du Sud (Estrada et al., 2006).

En général, la distribution des espèces arboricoles telles que *Ceratonia siliqua* est limitée par le stress lié au froid (Mitrakos., 1981). Le caroubier est considéré comme une essence dominante et caractéristique des zones inférieures (0-500 m, atteint rarement les 900 m d'altitude) du maquis méditerranéen à feuilles persistantes (Zohary et Orshan., 1959 ; Folch i Guillén., 1981).

La présence sauvage de caroubier dans la Méditerranée occidentale est douteuse (Zohary. ,1973). Le caroubier se trouve aussi dans de nombreux endroits autour de bassin méditerranéen, où il existe plus grande diversité de l'espèce et pour autant c'est l'aire dans laquelle il est forte possible de trouver de nouveaux matériels génétiques avec une plus grande probabilité de réussite. (Melgarejo et Salazar., 2003).



Figure 8:La répartition géographique de caroubier dans le monde (Batlle et tous,1997)

V.2.2. En Algérie

En Algérie, comme dans plusieurs pays méditerranéens, le caroubier croît dans les conditions naturelles à l'état sauvage sous des bioclimats de type subhumide, semi-aride et aride. Il est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et Santa., 1962) (Koherane., 2021). On le trouve à l'état naturel en association avec l'amandier, l'olivier et le

pistachier, dans les étages semi-arides chaud et subhumide, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée. Cette espèce tolère des températures allant de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an. (Kbir.,2016). Ses lieux de prédilection sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales : Sahel algérois, Dahra, la Kabylie, vallée de la Sommam (1074 ha) et de l'Oued-Isser, collines d'Oran et des coteaux Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaines d'Annaba, Mitidja et les vallées intérieures (1054 ha). Il descend jusqu'à Bou-Saâda, mais n'y portepas de fruit, et dans la zone de Traras au Nord de Tlemcen (276 ha) (Lavallée., 1962 ; Zitouni., 2010).

V.La composition biochimique de caroube

Le fruit du caroubier, « la gousse de caroube », est formé principalement de pulpe et des graines qui représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. (Haddarah et al., 2013).

Elle est riche en carbohydrates et particulièrement en sucres hydrolysables (sucrose 34%, D-glucose 6,4% et D-fructose 6%)qui représentent 40 à 55% du poids de la gousse et en protéines (6%), par contre elle présente une faible proportion en lipides (3%). Elle Contient en outre des composés phénoliques (2-20% Ms) ce qui lui confère plusieurs rôles : antioxydant, facilité de la digestion, baisse du taux cholestérol.... De nombreuses études ont démontré que ces polyphénols sont essentiellement des tanins condensés (16 à 20%), des pros anthocyanidines, des flavonoïdes, des ellagitanins... (Avallone al., 1997 ; Owen al., 2003 ; Makris et Kefalas., 2004).

La gousse du caroubier présente une valeur énergétique importante (17,5 KJ/g de M.S) (Avallone et al.,1997 ; Biner et al.,2007).

Tableau 2: La composition chimique de la gousse de caroube (Biner et al., 2007)

La pulpe 90%	La graine 10%
Glucides 48% à 78%	L'enveloppe tégumentaire (cuticule) 30-33%
Protéines 1-2%	
Matières grasses 0.5-0.7%	
Cellulose et hémicellulose 18 %	L'endosperme (albumen) 42-46 %
42-46 % Minéraux (Ca, Mg, K, P)	
Pectines et fibres 4.2 à 9.6%	L'embryon (germe) 23-25%
Cendres 1.5-2.4%	
Polyphénols 16 – 20 %	

VI.1. Composition de la pulpe de caroube

Tandis que la pulpe de caroube est riche en hydrates de carbone (saccharose, fructose et glucose), ainsi qu'en fibres alimentaires, tanins et polyphénols ; elle contient également une faible quantité de protéines et de lipides (Bengoechea et al., 2008), et d'autres composés tels que des minéraux, des vitamines. La composition chimique de la pulpe de gousses dépend en général de la variété, du climat, des techniques de cultures, de l'origine et parfois de la période de récolte (Albanell et al., 1991; Petito et al., 1995).

Tableau 3: Valeurs moyennes de la composition chimique brute et de la valeur calorique de la poudre de caroube (Kamal et al., 2013).

Composition chimique et valeurs Calorique		%
Humidité	5,29	
Protéine	6,34	
Cendre	3,16	
Fibre brute	7,30	
Glucide	75,92	
Grasse brute	1,99	
Valeur calorifique Kcal. /100 g.	346,95	

VI.1.1 Teneurs en Sucres

La pulpe de caroube est caractérisée par une teneur élevée en sucre (environ 500 g/kg), plus élevée que celle présente dans la betterave ou dans la canne (environ 200g/kg). Il est bien connu que le saccharose est le sucre le plus abondant dans la gousse de caroube, suivi par le glucose et le fructose. Les teneurs des autres sucres (xylose, maltose) sont plus faibles et la cellulose et l'hémicellulose représentent 18% (Tableau 4). Cependant, ces proportions varient selon les auteurs (Haddarah, 2013).

Tableau 4: Composition chimique de la pulpe en Ms de la pulpe (Haddarah, 2013).

Constituants	Poudre de Caroube%
Saccharose	65-75
Glucose	1,5-17,4
Fructose	1,8 - 17,9

VI.1.2 Teneur en acide aminé

Ayaz et ses collaborateurs, ont montré la présence dans les extraits de gousses de caroube de 18 acides aminés, principalement de l'acide aspartique et glutamique, l'alanine, la valine et la leucine

Tableau 5: Valeurs moyennes des acides aminées dans 100g de protéine

Composants	Teneur (g/100g protéine)
Acide aspartique + Asparagine	18.25
Acide glutamique + Glutamine	9.65
Serine	6.80
Histidine	2.80
Glycine	3.55
Thréonine	5.10
Arginine	3.20
Alanine	10.55
Proline	5.80
Tyrosine	1.70
Valine	9.05
Méthionine	1.40
Cystéine	0.80
Isoleucine	3.80
Leucine	9.30
Phénylalanine	3.10
Lysine	4.20
Tryptophane	0.95

VI.1.3 Teneur en Vitamines

Les données présentées dans le tableau 06 représentent les valeurs moyennes de la teneur en vitamines de la poudre de caroube. Les données ont révélé que la poudre de caroube est une bonne source de vitamines E, D, C, niacine, B6 et d'acide folique. Cependant, elle contient moins de vitamines A, B2 et B12. (Kamal et al., 2013).

Tableau 6: Valeur moyenne de la teneur en vitamines de la poudre de caroube (Kamal et al.,2013)

Vitamines	Unités
Vitamine liposoluble	µg/100 g
A	1 407
E	5377
D	4,9
Vitamine hydrosoluble	mg/100g
C	830,08
B2	0,38
Niacine	185.68
B6	23,80
Acide folique	41,97
. B12	1,30

VI.1.4 Teneurs en composés phénoliques

On retrouve également une haute teneur en fibres (27 à 50%) et 16 à 20% de composés polyphénoliques (tanins). Par ailleurs la consommation de fibres de caroube a démontré un pouvoir antioxydant élevé et un abaissement du taux de cholestérol et des triglycérides sérique.

Les composés phénoliques de la poudre de caroube consistent en 11 composés ; Pyrogallol, catéchol, chlorogénique et protocatéchiq ont enregistré les valeurs les plus élevées, tandis que la coumarine, le phénoliques, cinnamique, l'acide férulique, l'acide gallique et le vanillique ont enregistré les valeurs les plus faibles des composés. (Kamal et al.,2013).

Tableau 7: Valeurs moyennes de la teneur en composées phénoliques de la poudre caroube.

(Kamal et al., 2013).

Composés phénoliques	Ppm
Acide gallique	10,21
Pyrogallol	4970,18
Protocatéchine	79,47
Chlorogénique	101,09
Catéchine	27,97
Catéchol	164,67
Caféine	48,23
Vanillique	13,92
Férulique	10,17
Coumarine	4,49

VI.1.5. Teneur en minéraux

Selon les données représentées, la poudre de caroube est considérée comme une source importante de Fe, Ca, Na, K, P et S. Les oligo-éléments Cu, Zn agissent en tant que cofacteurs d'enzymes antioxydants pour protéger le corps contre les radicaux libres de l'oxygène produit lors du stress oxydatif. (Barakat., 2009). Les données relatives à la teneur moyenne en minéraux de la poudre de caroube figurent dans le tableau (8).

Tableau 8: Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg)

(M. Kamal et al ;2013)

La teneur en minéraux	mg /kg
Mn	10,24
Zn	24,71
Fe	381,80
Cu	4,84
Se	9,79
Ca	2123
Na	505,97
K	8637,64
P	2255,21
S	17 577,80

VI.1.6. La teneur en cendres

Selon plusieurs auteurs (Albanell et al., 1991 ; Avallone et al., 1997 ; Batlle et al., 1997 ; Bravo et al., 1994 ; Calixto et al., 1982 ; Iipumbu et al., 2008 ; Alghzawi et al., 2000 ; Yousef et al., 2009), la teneur en cendres présentes dans la poudre de caroube varie entre 2% et 6% selon le type de caroube.

VI.1.7. Humidité

La poudre de caroube contient une humidité qui varie de 6% à 15,6% (Avallone et al., 1997 ; Calixto et al., 1982 ; FAO 1991; Iipumbu et al., 2008; Alghazwi., 2000; Youssef et al., 2009 ; Batlle et al 1997 ; Iipumbu et al 2008) ont expliqué que cette variabilité est due aux conditions environnementales (pluie et humidité), aux cultivars de caroubier, a la durée de maturation, au moment de la récolte et a la durée de stockage (Albanell et al ., 1991 ; Avallone et al ., 1997 ; Iipumbu et al ., 2008).

VI.2.La composition de la graine

Les graines de caroube sont considérées comme une source importante d'antioxydants et de polysaccharides (rapport 1 /4 de galactose sur mannose) (Bengoechea., 2008). Les graines contiennent des minéraux (calcium, fer, magnésium, phosphore), des vitamines (B3, A et E) et des tanins. De plus, c'est une très bonne source de fibres solubles et insolubles. Enfin, ils contiennent des minéraux (calcium, fer, magnésium, phosphore), des vitamines (B3, A et E) et des tanins.

Elles sont composées de trois parties différentes mais fortement reliées, il s'agit, de L'extérieur vers l'intérieur :

- **Une enveloppe** (une cuticule marronne, 30-33%.) est considérée comme étant une source naturelle pour la production de polyphénols antioxydants (Batista et al.,1996 ; Makris et Kefalas.,2004).
- **L'endosperme** (blanc et translucide, 42-46%) est la partie la plus intéressante de la graine de caroube, il est constitué de 2 téguments recouvrant le germe et sa composition chimique est déficiente en minéraux, fibres et protéines. En revanche, il contient beaucoup de lipides (Bouzouita et al., 2007).
- **Embryons ou germes** (23-25 %) (Andrade et al.,1999 ; Neukom.,1988 ; Garnit., 2006), riches en protéines (50 %), glucides (27 %) (Lizardo et al., 2002). De plus, l'analyse de la composition chimique de la poudre de germe de caroube a montré des niveaux élevés d'acides aminés tels que l'acide glutamique, l'acide aspartique et l'arginine. Il existe également une gomme ou une molécule de polysaccharide de galactomannane (Bengoechea., 2008)

VII.Air de production de caroubier

VII.1.Dans le monde

La superficie totale de la production mondiale de caroube s'élève à 102 939 ha. Selon les statistiques publiées par FAOSTAT (2010), desquels la plus grande superficie 83574 ha (81,19%) répartie sur l'Europe, contre une superficie estimée à 1000 ha (1%) pour l'Algérie et

13 460 ha (13.08%) pour les pays d'Afrique du Nord. Le caroubier présente une irrégularité de production très marquée dont on attribue généralement, la cause à une mauvaise pollinisation, à des déficiences en soins culturaux et aux conditions climatiques (FAO., 2003).

Tableau 9: La production et le rendement de la caroube dans le monde (FAOSTAT 2011)

Pays	Surface cultivée (ha)	Production(tonnes)	Rendement (t/ha)
Espagne	47000	55754	1.19
Maroc	9717	20489	2.11
Italie	9183	44749	4.87
Portugal	8274	31067	3.75
Grèce	5284	31067	3.75
Turquie	2910	13972	4.80
Chypre	1353	10560	7.80
Israël	1347	210	0.16
Algérie	1000	4000	4
Croatie	550	553	1.01
Tunisie	414	858	2.07
Liban	250	2300	9.20
Total	87458	205589	2,35

VII.2.En Algérie

La superficie cultivée totale du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011 (FAOSTAT). En 2009, la superficie cultivée totale du caroubier en Algérie était de 927 ha (tableau 10) dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia. La production nationale de la caroube est estimée à 33841 qx et se concentre principalement dans la wilaya de Bejaia avec une production de 18.417 qx, ce qui représente 54,42 % de la production nationale (Tableau 10), suivie par la wilaya de Blida (23,79%) et Tipaza (16,55%). La superficie cultivée du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie (comprenant la wilaya de Tlemcen et Mascara) ne représente que 6 ha, soit 0,65 % de la superficie nationale, tandis que la production de la caroube est de seulement 0,39 %.

Tableau 10: Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie en 2009 (FAOSTAT).

Wilaya	Surface cultivée (ha)	Production (qx)	Rendement qx/ha
Bejaïa	645	18417	28,6
Tipaza	105	5600	53,03
Blida	100	8050	80,5
Boumerdès	32	1080	40
Bouira	22	144	6,9
Mila	10	80	8
Tlemcen	5	100	20
B. bouarrerej	4	20	5
Ain defla	2	300	150
Mascara	1	20	20
Tizi ousou	1	20	20
Total	927	33841	36.5

IX. Utilisation de la caroube

IX.1. Utilisation dans l'industrie agroalimentaire

Le fruit du caroubier ou la caroube, se compose d'une pulpe enveloppant des graines régulières. En effet la pulpe sucrée de la caroube est employée depuis longtemps comme nourriture de bétail à côté d'autres aliments comme la farine d'orge. Il semble que la farine de caroube soit un produit parfaitement adapté à l'alimentation des porcelets. La farine de caroube, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est employée surtout en agro-alimentaire. (Kadri et al., 2014).

La farine de caroube est utilisée dans l'industrie alimentaire pour préparer des biscuits, des jus de fruits et comme édulcorant naturel avec un goût et une apparence similaires au chocolat, sans

caféine et sans théobromine. Le chocolat et le cacao contiennent des quantités relativement importantes de ces deux anti nutriments (Bahry., 2017).

En Égypte, le sirop était extrait du fruit pour conserver le fruit ; les Arabes utilisaient la pulpe pour faire des boissons alcoolisées, et les Kabyles utilisaient la pulpe pour faire un plat appelé tomina. (Kaderi et al., 2014).

La gomme de caroube a ensuite retrouvé des critiques favorables et est actuellement un additif alimentaire utilisé industriellement (E410) avec des propriétés épaississantes (épaississantes et viscosifiantes) en raison de sa capacité d'auto-association et des stabilisants. La gomme est particulièrement utile dans des compositions pour crèmes glacées, soupes, confiseries, aliments pour bébés, produits laitiers, boissons alcoolisées et non alcoolisées, aliments pour animaux (Gillet et al ; 2013).

Avec toute la richesse de la gousse, elle pourrait être exploitée et utilisée en biotechnologie comme un substrat de fermentation pour les microorganismes.

Les gousses de caroube sont considérées comme la matière première pour la préparation d'un milieu de culture (extrait de caroube) et pour rendre ce milieu adapté à la croissance de bactéries telles que *Lactobacillus* et à la production de métabolites d'intérêt commercial tels que l'acide lactique. (Hariri et al ;2009).

IX.2.Utilisation médicinale

L'huile essentielle de caroube a des propriétés antibactériennes et cytotoxiques ainsi que des propriétés médicinales. De nombreuses études cliniques ont mis en évidence l'efficacité de la poudre de caroube dans le traitement des diarrhées aiguës de l'enfant. L'utilisation de la pulpe est recommandée contre la tuberculose et les maladies bronchiques. De plus, elle est riche en antioxydants (composés phénoliques), en sucres, en protéines, en fibres, en potassium et en calcium, cette plante est connue en thérapeutique pour ses effets anti-cholestérol, antiprolifératif, anti-diarrhéique et les troubles digestifs. La teneur élevée en fibres de la caroube suggère qu'elle peut abaisser le taux de cholestérol sanguin. (Kadri et al, 2014).

En outre, l'extrait de pulpe de caroube riche en polyphénols a augmenté l'oxydation des acides gras, ce qui s'est notamment traduit par une augmentation de la dépense énergétique et des taux de triglycérides mesurés après les repas (Kadri et al.,2014). Le fruit est riche en pectine et en tanin, et la graine est riche en mannane et en galactane, qui ont un fort effet anti diarrhéique,

principalement des graines qui sont largement utilisées pour la diarrhée pédiatrique. La gomme de caroube est un épaississant alimentaire utilisé pour traiter le reflux gastro-œsophagien chez les enfants. En cas d'insuffisance rénale chronique, la gomme de caroube retient l'urée, la créatinine, l'acide urique, l'ammoniac et le phosphate dans le tube digestif, réduisant ainsi considérablement les taux d'urée sanguine (Kadri et al, 2014).

IX.3. Utilisation écologique

Le caroubier est une espèce qui résiste mieux à la sécheresse et souvent utilisé pour lutter contre l'érosion des sols, comme brise vent et comme arbre ornemental en bordure des routes et dans les jardins compte tenu de sa couronne sphérique, et de son feuillage persistant dense et brillant. Son bois est très apprécié en ébénisterie et utilisé pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage (Battle et al ; 1997).

IX.4. Utilisation cosmétique

L'huile de caroube est connue pour être riche en fibres et en tanins. Les tanins agissent sur l'organisme sous forme de polyphénols, c'est-à-dire qu'ils possèdent de fortes propriétés antioxydants et antibactériennes qui limitent l'action incontrôlée des radicaux libres, pouvant entraîner un vieillissement cutané prématuré. De plus, ils ont un effet astringent qui resserre les pores de la peau et irrite la peau. Utilisez l'huile comme sérum capillaire pour renforcer et restaurer la couleur des cheveux. C'est également une excellente source de vitamines (A, D, E) et de minéraux (potassium, calcium et phosphore) qui préviennent le vieillissement cellulaire et réduisent les dommages tissulaires. De plus, l'extrait de caroube est riche en acides gras essentiels comme l'acide oléique, qui ont des propriétés anti-inflammatoires. (Anonyme1).

A decorative border with floral motifs in the corners, surrounding the text.

CHAPITRE 2

Les pâtes alimentaires

I. Définition de pâte alimentaire

Les pâtes alimentaires peuvent être considérées comme des produits prêts à l'emploi culinaire, préparées par pétrissage sans fermentation de semoule de blé dur additionnée d'eau potable et soumis à des traitements physiques appropriés tels que : extrusion, laminage et le séchage, ce qui leurs donnent l'aspect consacré par les usagés (Vierling, 2003).

Les pâtes alimentaires sont universellement consommées et appréciées : la simplicité de leur fabrication, leur facilité de transport, leur excellente aptitude à la conservation et au stockage, leur bonne qualité nutritionnelle et hygiénique. La diversité des modes de préparation favorise leur utilisation et leur consommation (Petitot et al., 2009).

II. Classification des pâtes

Les pâtes alimentaires existent sous une grande variété de formes, mais elles peuvent être classées en deux catégories distinctes en fonction des machines dont elles proviennent : les pâtes extrudées et les pâtes laminées (Boudreau et Menard., 1992).

II.1. Les pâtes extrudées

Ce sont des pâtes comprimées à l'aide d'une presses munies de filières, appelées extrudeuses, qui forment les pâtes longues dont la longueur est d'environ 25 cm comme les macaronis et les spaghettis ainsi que les pâtes coupées ou courtes dont la longueur maximale est de 6 à 8 cm comme les bagues, les coudes divers et certaines pâtes à potage (Anonyme2).



Figure 9: Pate extrudée

II.2. Pâtes laminées

Le mélange pâteux est abaissé par laminage entre deux cylindres et est réduit en feuilles larges et minces (de l'ordre du mm et moins). Celles-ci sont soit divisées en rubans, soit amenées sur des machines munies d'emporte-pièces ce qui donne la forme désirée.

(Anonyme2)



Figure 10: Pâte laminier

III. Les matières premières utilisées en pastification

Les pâtes sont probablement le produit alimentaire le plus naturel et ceci est dû à ses ingrédients et méthodes de fabrication. Elles sont produites avec deux ingrédients de base, la semoule de blé dur ou la farine de blé tendre et de l'eau.

III.1. La Semoule

Il est cependant reconnu que la semoule de blé dur constitue la matière première de choix pour préparer les pâtes alimentaires, en raison de sa teneur en gluten qui confère à la pâte (couscous, pâtes, ...) des propriétés rhéologiques spécifiques, sa dureté, sa couleur unique, sa saveur et sa qualité de cuisson. (Godon et al., 1991 ; Feillet et al., 1996 ; Petitot., 2009). Elle donne des produits avec de bonnes qualités culinaires et une stabilité à la cuisson (Sissons., 2008). La qualité technologique d'une semoule pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. Ces deux caractéristiques sont influencées par la

composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, eux même liés à l'origine histologique des produits (Abecassis., 1991).

III.2. L'eau

L'utilisation d'une eau de faible dureté est recommandée dans la pastification (Feillet., 2000). De plus, l'eau doit être tiède et de température qui ne doit jamais dépasser 35°C et uniforme tout au long du malaxage, notamment. Plusieurs observation industriels ressort que la qualité de l'eau utilisée au cours de l'embâlage peut exercer une influence non négligeable sur l'aspect et le comportement des produits finis au cours de la cuisson. (Anonyme 2).

IV. La production des pâtes alimentaires dans le monde

La production des pâtes alimentaires sèches était de 230651 tonnes, dont 17% étaient exportés vers le marché européen et les pays tiers. 527 276 tonnes de pâtes (dont 64% importés principalement d'Italie) et 101158 tonnes de couscous (dont 28% importés) ont alimenté le marché intérieur français. (Dubief, 2018).

En 2017, les Français ont consommé 8,1 kg par habitant de pâtes alimentaires, loin derrière les Italiens (23,5 kg/habitant/an) et les Tunisiens (17 kg/hab/an) (Dubief., 2018).

Tableau 11. Les vingt premiers consommateurs de pâtes dans le monde (Dubief., 2018)

Pays	Kg /habitant /ans
Italie	23.5
Tunisie	17
Grèce	11.1
Venezuela	12
Chili	9.4
Etats-Unis	8.8
Argentine	8.7
Turquie	8.7
Iran	8.5
France	8.1
Pérou	7.8
Allemagne	7.7
Hongrie	7.5
Uruguay	7.5
Russie	7.2
Portugal	6.5
République Tchèque	6.4
Canada	6.3

Brésil	5.8
Estonie	5.3

V. Technologie de fabrication de pâtes

Les pâtes alimentaires sont fabriquées à partir de la semoule de blé dur et d'eau à 34%, par rapport à la matière sèche, cette pâte à des transformations mécaniques telles que mélange, pétrissage, l'extrusion, le séchage et l'emballage (Deghmoum ., 2013)

V.1. Hydratation et malaxage

La quantité d'eau ajoutée pour l'hydratation est environ 25 à 34 kg/100 kg de semoule, de manière à ce que la teneur en eau finale soit voisine de 44 à 49 % de la matière sèche. Cette quantité d'eau compte tenu de l'humidité initiale de la semoule qui se situe généralement aux environs de 14 % (ms) (Abecassis et al., 1994) et la forme finale de la pâte (Dalbon et al., 1996). Le mélange des constituants de la pâte s'effectue dans un malaxeur qui tour à 120 tours /min pendant 20 minutes (Petitot et al., 2010).

Le malaxage permet de distribuer l'eau entre les particules de semoule le plus uniformément possible, de manière à obtenir des grumeaux de taille variable, pouvant atteindre 2 à 3 cm de diamètre. A ce stade un vide 50 à 70 cm de hg est appliqué. Ce vide assure une fonction ; d'une part l'absence d'oxygène réduit l'oxydation des pigments caroténoïdes donnant aux pâtes une couleur plus intense, d'autre part, le vide empêche la formation de bulles d'air qui influent négativement sur la qualité des pâtes sèches (pâtes moins brillantes, moins translucides, avec une texture collante) (Smith et al., 2004).



Figure 11 : Malaxeur

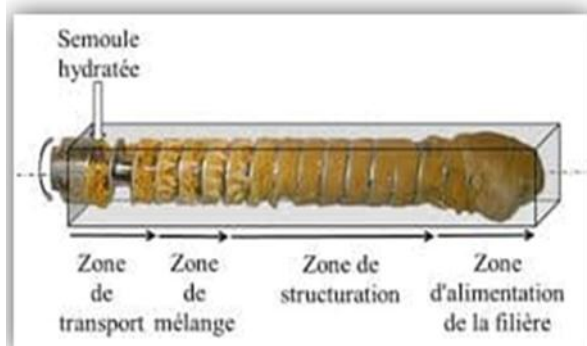


Figure 12 : Extrudeuse



Figure13 : La filière

V.2.Extrusion

La semoule hydratée est reprise par une vis sans fin dont la fonction est d'assurer l'avancement des pâtes tout en les comprimant de manière à provoquer leur extrusion à travers un moule situé en tête de vis. Les pressions auxquelles est soumise la pâte au cours de cette opération peuvent dépasser 100 kg/cm^2 et semble être essentielle pour donner la compacité nécessaire au produit final pour une meilleure tenue à la cuisson (Kruger et al., 1996).

Un système de refroidissement à circulation d'eau situé autour du cylindre d'extrusion et de la tête de presse permet d'éviter un accroissement excessif de la température qui doit rester inférieur à $45\text{-}50^\circ\text{C}$ afin d'éviter une dégradation des constituants de la semoule (Petitot et al., 2009). La forme des filières, la vitesse d'extrusion et les conditions de découpe déterminent le format des produits finis (spaghetti, macaroni, pâtes courtes, papillons).

V.3.Laminage

Dans le processus de laminage, la pâte est pétrie et laminée en feuille entre deux cylindres rotatifs. Trois à cinq paires de rouleaux, avec une diminution des lacunes des rouleaux sont utilisés jusqu'à ce que la feuille atteigne l'épaisseur désirée. La feuille est ensuite coupée en brins de largeur et de longueur souhaitée. Les deux techniques utilisées sont différentes au niveau de l'énergie mécanique dont elle est employée pour le formage de la pâte (Abecassis et

al., 1994). L'énergie transférée à la pâte est plus élevée avec le procédé d'extrusion qu'à celui de laminage et une partie de celle-ci est dissipée sous forme de chaleur.

En outre, lors de l'extrusion, la pâte est soumise à un stress de cisaillement alors pendant le laminage, un stress élongation elle a été appliqué. Ces différences de ces paramètres (le stress, la chaleur et la pression) peuvent entraîner la formation des pâtes de structures différentes (Petitot et al., 2010).

V.4.Séchage

Les pâtes justement extrudées ont une humidité de 29 à 31% ; ces pâtes doivent être séchées de manière à ce que leur humidité finale n'excède pas 12,5% (humidité optimale pour la Conservation des pâtes alimentaires). Le séchage assure le renforcement de la structure et la stabilisation de la pâte. (Denis, 2015).

Un séchage trop lent à une basse température pourrait conduire au développement de moisissures et à la décoloration du produit, tandis qu'un séchage trop rapide nécessite des températures élevées, peut provoquer la dénaturation des protéines et la gélatinisation de l'amidon induisant l'apparition de fissuration et de gerçures (Kent et al., 1994).



Figure 11: Le séchage

V.5.Emballage (conditionnement)

Les pâtes alimentaires sont souvent emballées dans des sacs en cellophane ou en polyéthylène basse densité ou encore dans des boîtes en carton. Ces emballages ont pour

fonction de : maintenir le produit fini à l'abri des contaminations microbiennes et des réactions enzymatiques et oxydatives, de le protéger contre les dommages qui peuvent survenir lors de la livraison et du stockage ainsi que d'attirer et de séduire le consommateur (Karel et al.,2000).



Figure 12: Le conditionnement (photo d'internet)

VI. Qualité des pâtes

VI.1. Qualité nutritionnelle et énergétique

Sur le plan nutritionnel, les pâtes alimentaires sont considérées comme étant un aliment énergétique. Cependant, elles sont pauvres en graisses et riches en glucides complexes du type amidon (Mouloud., 2013). L'apport protéique est également loin d'être négligeable : 100g de pâtes alimentaires contiennent de 11,5 à 13g de protéines, mais ces dernières sont malheureusement déficientes en acides aminés essentiels, notamment en lysine. Il en est de même pour ce qui est des vitamines A et B qui font totalement défaut dans les pâtes alimentaires, et les matières minérales dont la teneur est relativement basse, du fait que la plus grande part d'elles est concentré dans les parties périphériques (péricarpe, couche aleurone) et que celles-ci sont séparées des semoules durant la mouture. (Anonyme2).

Tableau 12. Composition des pâtes alimentaires issus du blé dur(fredot2006).

Nutriments (100g /ms)	Pates qualité supérieure	
	Crues	Cuites
Eau (%)	12.5	69
Energie (Kcal)	360	125
Protéines(g)	11.5	4
Glucides(g)	74	26
Lipides(g)	1.5	0.5
Calcium(mg)	20	7
Fer(mg)	1.5	0.5
Thiamine(mg)	0.15	0.05
Riboflavine(mg)	0.09	0.03
Acide nicotinique(mg)	1.5	0.05
Vitamine A (U, I)	0	0

VI.2. Qualité hygiénique

La qualité microbienne des pâtes alimentaires ne se suscite pas de difficultés. Cependant, la possibilité de contamination ne doit pas être sous-estimée. Il existe un risque non négligeable de présence de salmonelles et de staphylocoques, notamment dans les pâtes aux œufs, même si ces derniers sont ajoutés à l'état poudre. La présence de mycotoxines et de résidus de produits phytosanitaires peut être une autre source de toxicité. Le contrôle rigoureux de la qualité du blé sur le marché et à l'entrée de la semoulerie élimine ce risque. Des impuretés (poils de rongeurs, débris d'insectes) peuvent être présentes dans des semoules et se retrouver dans les pâtes. Il est quasi impossible de garantir l'absence totale de cette matière étrangère offensive, car les opérations de mouture reposent sur des moyens physiques de séparation constitués essentiellement de système de tamisage appliquant les principes de la gravité, par ailleurs, un grand effort a été fait par l'ensemble des fabricants pour améliorer la qualité hygiénique de leurs équipements. Les matériaux qu'ils utilisent sont le plus souvent de l'acier inoxydable et le mode de construction des machines à malaxage et à extrusion permet un nettoyage relativement aisé (Boudreau et al., 1992).

VI.3. Qualité culinaire

Elle se manifeste lors de la cuisson, ces critères sont sous la dépendance de facteurs diverses agronomiques et/ou technologiques. Il s'agit de :

- ❖ Temps minimal, optimal et maximal de cuisson, qui correspondent respectivement au temps à partir duquel l'amidon est gélatinisé, au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et au temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson.
- ❖ L'absorption d'eau (ou le gonflement) pendant la cuisson, caractéristique aisément mesurée en déterminant le poids des pâtes avant et après cuisson, d'une manière générale 100g de pâtes sèches fixent 160-180ml d'eau. (Abecassis., 1997).
- ❖ Pertes à la cuisson : Solubilisation des chaînes d'amidon non immobilisées par le réseau protéique. (Denis., 2015)
- ❖ L'état de surface ou de désintégration des produits cuits dont dépend le degré d'adhésion des brins entre eux (notion de collant) et l'aspect plus au moins lisse des produits cuits (notion de délitescence). (Denis., 2015).
- ❖ L'arôme et le goût (Abecassis et al., 1997).

A decorative border with floral motifs in the corners, surrounding the text.

CHAPITRE 3

Matériel et méthodes

L'objectif et démarche expérimentale

L'objectif de notre travail consiste à :

- ❖ Étudier les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles de caroube des différentes régions (Blida, Tipaza, Sétif).
- ❖ L'effet des taux d'incorporation de la poudre de la pulpe de caroube dans les pâtes alimentaires sur leurs caractéristiques technologiques et organoleptiques.

I.1. Collecte des échantillons de caroube

- ❖ Les caroubes utilisées sont cultivées dans les régions de :
 - Blida (Soumaa situer au centre de wilaya de Blida, à environ 8km au nord-est de Blida, 44km au sud-ouest d'Alger et à environ 35km au nord-est de Médéa).
 - Tipaza (L'arhat est situé au nord-ouest de la wilaya de Tipaza, à environ 60 km à l'ouest de Tipaza, et 10 km l'est de Damous).
 - Sétif (Gurbaa).
- ❖ La quantité utiliser de caroube :
 - La région Blida : 1 kg et 600 g.
 - La région Tipaza : 1 kg et 500 g.
 - La région Sétif : 2 kg et 500 g.

I.2. Stockage

Les échantillons sont stockés dans des sacs en plastique.

II. Préparation des échantillons

II.1. Nettoyage

- Eliminer les pierres et les particules métalliques.
- Laver les gousses avec de l'eau.
- Sécher à l'air libre.

II.2. Concassage

- Il consiste à séparer la pulpe et la graine de la caroube à l'aide d'un marteau.



Figure 13: Concassage de la gousse et séparation de la graine et la pulpe (photo originale).

II.3. Broyage

- Cette opération a pour but de réduire les pulpes en fines particules.
- Le broyage est réalisé par un moulin mécanique.

II.4. Tamisage et conditionnement

- Le tamisage est réalisé à l'aide des tamis dont l'objectif est d'obtenir une farine de la pulpe de caroube.
- La farine obtenue est stockée dans des boîtes en verre.



Figure 14 : Tamisage et conditionnement de la poudre de la pulpe de caroube (photo originale).

III. Analyses chimiques et nutritionnelles de la poudre de la pulpe de caroube et de la semoule.

Les analyses ont été effectuées dans :

- Laboratoire physico-chimique au niveau du société sopi (Mama).
- Centre de recherche scientifique et technique en analyse physique et chimique (CRAPC).

III.1 La pulpe de caroube

III.1.1. Détermination de la teneur en eau (ISO712 ,2009)

C'est la perte de masse, exprimée en pourcentage, subie par le produit dans les conditions décrites dans la présente méthode.

✓ Principe

-Séchage d'une prise d'essai dans un étuve à une température comprise entre 130-133C° pendant 1h30.

✓ Mode opératoire

❖ Effectuer deux essais pour laboratoire.

• Préparation des capsules

❖ Avant utilisation, les capsules découvertes et leurs couvercles doivent être séchés à l'étuve durant 15min /30C°.

❖ Refroidir dans le dessiccateur jusqu'à atteindre la température du laboratoire (entre 30min et 45min).

• Préparation de la prise d'essai

➤ Bien homogénéiser l'échantillon.

➤ Peser la capsule vide à 0.001g près : **Md**.

➤ Peser une prise d'essai d'environ $5g \pm 1g$: noter **M0'** (la masse de la prise d'essai avec capsule).

- Mettre la capsule dans l'étuve à 130C° pendant 1h30.
- Retirer la capsule et la laisser refroidir dans le dessiccateur pendant 10min.
- Peser la capsule après séchage à 0.001g près : noter **M1'**.

✓ **Expression des résultats :**

Teneur en eau (%) de matériel végétal est donnée par la formule suivant :

$$\text{TH (\%)} = \left(1 - \frac{M1}{M0}\right) \times 100$$

- M0 : masse en g de la prise d'essai(M0'-Md).
- M1 : masse en g de la prise d'essai après séchage (M1'-Md).

III.1.2. Détermination de la teneur en cendres (ISO 2171 ,2007)

- ❖ Résidus incombustible obtenu après incinération.

✓ **Principe**

-Incinération d'une prise d'essai jusqu'à combustion complète des matières organique dans une atmosphère oxydante à une température de 550±10C° puis peser le résidu obtenu.



Figure 15: :Incinération de la prise d'essai

✓ **Mode**

opérateur

- **Préparation de la prise d'essai**

- Utiliser la poudre de la pulpe de caroube.
- Déterminer la teneur en eau.

- **Préparation des nacelles**

- Nettoyer et placer les nacelles dans une étuve durant le temps nécessaires au séchage.
- Retirer les nacelles et les laisser refroidir dans le dessiccateur jusqu'à atteindre la température ambiante.
- Peser les nacelles vide 0.1 mg près.
- Peser la prise d'essai 4,9 à 5.1g de produit.

- ✓ **Pré incinération**

- Ajouter des gouttes d'éthanol pour les enflammer.
- La porte du four étant ouverte, placer les nacelles et leur contenu à l'entrée du four préalablement chauffé à $550\text{C}^{\circ} \pm 10\text{C}^{\circ}$.

- ✓ **Incinération**

- Une fois le produit brulé, introduire les nacelles à l'intérieur du four à l'aide d'une pince, en prenant soin de ne pas toucher le contenu des nacelles.
- Fermer la porte du four. Une fois la température affichée atteint les 550c° ; lancer le chronomètre. La durée d'incinération est de 4 heures.
- Retirer les nacelles du four et les déposer 1min sur un support thermorésistant puis les placer dans un dessiccateur (60min à 90min) jusqu'à atteindre la température ambiante.
- Peser rapidement à 0.1mg près chaque nacelle afin qu'elle n'absorbe pas l'humidité de l'atmosphère.

- ✓ **Expression des résultats :**

Le taux de cendres, exprimé en fraction massique par rapport à la matière sèche, exprimé en % est donné par l'équation suivante :

$$(M2 - M1) \times \frac{100}{M0} \times \frac{100}{100 - TH\%}$$

- TH% : Teneur en eau de l'échantillon analysé exprimé en %.
- M0 : masse en gramme de la prise d'essai.
- M1 : masse en gramme de la nacelle.
- M2 : masse en gramme de la nacelle et du résidu d'incinération.

III.1.3. Dosage de la matière grasse

✓ Principe

L'extraction de la matière grasse se fait à l'aide d'un extracteur de type SOXHLET (figure 16).

Cette technique consiste à utiliser un solvant organique apolaire (éther de pétrole, l'hexane ou l'acétone). L'appareil contient :

- Un ballon contenant le solvant qui doit être porté à ébullition.
- Une partie intermédiaire dans laquelle est placée une cartouche en papier filtre épais contenant le corps à épuiser.
- Un tube siphon et un tube d'adduction.
- Un réfrigérant.

Les vapeurs chaudes du solvant passent par le tube adducteur se condensent plus haut dans le réfrigérant et retombent dans la cartouche contenant la mouture à épuiser. Il y a alors macération et extraction des huiles de mouture.

Le solvant condensé s'accumule dans la partie intermédiaire jusqu'à atteindre le sommet du tube siphon, qui provoque le siphonage et le solvant retombe dans le ballon d'ébullition. Le cycle continue jusqu'à l'extraction complète de la matière grasse.

Le solvant contenu dans le ballon est alors saturé en huile extraite. Il suffit alors d'évaporer le solvant à l'aide d'un appareil évaporateur rotatif pour recueillir les huiles et récupérer le solvant qui pourrait être réutilisé plusieurs fois.



Figure 16: SOXLHET

✓ Mode opératoire

- À l'aide d'une balance de précision, nous avons pesé 50 ± 0.01 g de la mouture, puis la placer dans une cartouche en papier filtre épais. Elle est ensuite placée dans la partie intermédiaire de l'appareil.
- Un ballon rodé à fond plat d'
- Une capacité de 1000 ml est remplie par 550 ml de solvant (l'éther de pétrole).
- Ce ballon est inséré à l'extracteur, ensuite l'appareil est placé sur une plaque chauffante avec une alimentation continue du réfrigérant par l'eau froide.
- Six heures d'extraction seront suffisantes pour extraire toute la quantité d'huile de nos échantillons.
- Le solvant est éliminé à l'aide d'un évaporateur rotatif.

✓ Expression des résultats :

Le rendement en huile déterminé après extraction, et calculé selon la formule suivante :

$$R\% = \frac{P1 - P2}{PE}$$

- P1 : poids du ballon après extraction contenant huile en gramme.
- P2 : poids du ballon vide (g).
- PE : prise d'essai (g).

III.1.3.1. Couplage chromatographe gazeuse/spectrométrie de masse

Le couplage CPG/SM est aujourd'hui une des techniques parmi les plus utilisées de la chimie analytique. L'association des deux techniques fournit un instrument d'analyse particulièrement performant. La principale difficulté rencontrée lors de ce couplage est due à la grande différence de pression. En effet, la SM requière un niveau de pression très bas, alors que la CPG se déroule à un niveau de pression plus élevé. Ainsi le couplage CPG/SM en mode impact électronique (SM-IE) est la technique la plus utilisée dans le domaine des huiles et huiles essentielles (Cavalli G et al., 2002). Le bombardement de substances par un faisceau d'électrons d'énergie de l'ordre de 70Ev provoque leur ionisation et leur fragmentation. Les fragments ioniques positifs forment alors le spectre de masse caractéristique du composé. Les spectres de masses ainsi obtenus sont ainsi comparés avec ceux des produits de références contenus dans des bibliothèques informatisées contenant plusieurs milliers de spectres (Bouchonnet et al., 2002).

✓ Les conditions opératoires

Tableau 13: Les conditions opératoire de la CGMS.

Conditions opératoires de la CGMS	
Passeur d'échantillon	Automatique
Volume injecté	1 µl
Gaz vecteur	Hélium pureté : N6
Colonne utilisée	HP-5MS (long 30 m, Diamètre interne 0.25 mm, épaisseur film 0.25 µm)
Température d'injection	250c°
Température de la ligne de transfert	280c°
Condition opératoire de MS	
Type d'ionisation	Impact électronique
Intensité du filament	70év
Température de la source	230C°

III.1.4. Dosage des protéines brutes

✓ Principe

La teneur en protéine est déterminée par la méthode de Kjeldahl après : transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique à chaud en présence d'un catalyseur approprié (minéralisation), distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

✓ Les réactifs

- Acide sulfurique H_2SO_4 concentré de 95-97%, $d=1.84$ à $20c^\circ$ et $M=98g/mol$.
- Acide sulfurique 0,1N.
- Acide Borique H_3BO_4 à 4%, solution, à préparer comme suit : Dissoudre 4 g dans 100ml d'eau.
- Hydroxyde de sodium NaOH à 35% (m/v), $d=1.33$ à 20%, à préparer de la manière suivante : dissoudre 500 g de soude dans un litre d'eau distillée.

✓ Catalyseur de consistance solide

- Sulfate de cuivre en poudre $CuSO_4$ (couleur bleu) : **10 g**.
- Sulfate de potassium K_2SO_4 : **100g**.

✓ Mode opératoire

Effectuer deux déterminations sur le même échantillon (deux essais pour chaque région : Blida, Setif et Tipaza) et un matras sans échantillon qui formera l'essai à blanc.

✓ Première étape : Minéralisation sulfurique

- Introduire dans le matras 1g d'échantillon.
- Ajouter dans chaque matras de minéralisation 2g de catalyseur.
- Ajouter 20ml d'acide sulfurique pur.
- Après une attaque à froid pendant 15min jusqu'à l'apparition des vapeurs blanches d'anhydride sulfurique : porter dans un minéralisateur à une température de $350c^\circ$ pendant

4h à l'issus de cette étape, l'azote organique est décomposé en sulfate d'ammonium $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$.

✓ Deuxième étape : Distillation de l'ammoniac

- Lorsque le minéralisât devient limpide, elle est refroidie en ajoutant 50ml d'eau distillée dans chaque matras, après les traverser dans une fiole de 100ml puis diluer avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, et les verser dans des bouteilles numérotées.
- Prélever 20 ml de chaque solution, mettre dans matras, ajouter 20ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) 0.1 N, puis placer dans l'enceinte de distillation
- Plonger l'extrémité de l'appareils a distillation dans un erlen meyer contenant 20ml d'acide borique avec 2goutte de rouge de méthyle, puis mettre le distillateur a marche.

✓ Troisième étape : Titrage

Après la distillation, le titrage est effectué par la méthode volumétrique avec une solution d'acide sulfurique à 0.1N, la coloration doit passer du limpide au rose.

✓ Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en pourcentage de la teneur en protéine, ils sont la moyenne arithmétique de deux déterminations pour chaque échantillon.

$$\text{TP}(\%) = V \times 0.0014 \times 100 \times 5.7 \times 5 \times \left(\frac{100}{100 - H} \right)$$

- TP : Teneur en protéines exprimé en pourcentage en masse rapporté à la matière sèche
- V : Volume en ml de la solution d'acide versé à la burette l'ors du titrage
- H : Teneur en eau exprimée en pourcentage.
- 5.7 : Coefficient de conversion.

Remarque :

- 1ml de H_2SO_4 à 0.1N correspond à 0.0014g d'azote.

III.1.5. Dosage des vitamines

La méthode de dosage utilisée est la chromatographie en phase Liquide à haute Performance (CLHP), qui permet à la fois d'identifier et de quantifier les molécules et les substances recherchées. La CLHP est une technique analytique qui permet l'évolution de la chromatographie préparatrice sur colonne et l'utilisation de phases stationnaires très élaborées.

Dans notre étude on a dosé la provitamine A (Béta carotène), vitamine D3 et vitamine E.

✓ Préparation des échantillons

- Peser 0.5 g de la poudre de caroube.
- Ajouter 1 ml de méthanol.
- Agitation par ultrason 1000 (tour /min) pendant 5 min.
- Filtration par filtre 0.45 μ m.

✓ Mode opératoire

- Lancer l'équilibrage de la colonne.
- Placer l'injecteur sur la position LOAD.
- Insérer l'aiguille de la seringue et injecter le produit (20 à 50 μ L) dans la boucle d'injection.
Laisser l'aiguille dans l'injecteur.
- Tourner l'injecteur sur la position INJECT. Le gradient et l'imprimante démarrent automatiquement. A ce moment seulement on retire l'aiguille de l'injecteur.

III.1.5.1. Dosage de la provitamine A (B-CAROTENE)

✓ Préparation de la courbe d'étalonnage

Solutions standards de concentrations 2.5,1,0.5,0.1,0.01 ppm de bêta carotène ont été utilisé pour tracer une courbe d'étalonnage. Détection à 450nm : Pic chromatographique(Annexe1) à 3.5 min.

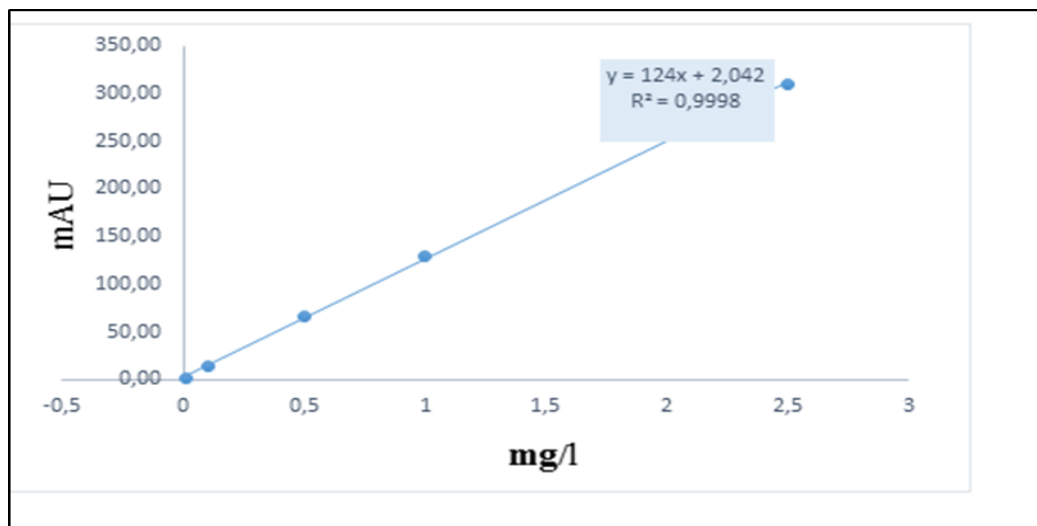


Figure 17 : Courbe d'étalonnage de la provitamine A.

III.1.5.2. Dosage de la vitamine D3 (cholécalférol)

✓ Préparation de la courbe d'étalonnage

Solutions standards de concentrations 200, 50, 10, 1, 0.1 et 0.01 ppm de cholécalférol (D3) ont été utilisé pour tracer une courbe d'étalonnage. Détection à 280 nm : Pic chromatographique(Annexe1) à 8.5 min.

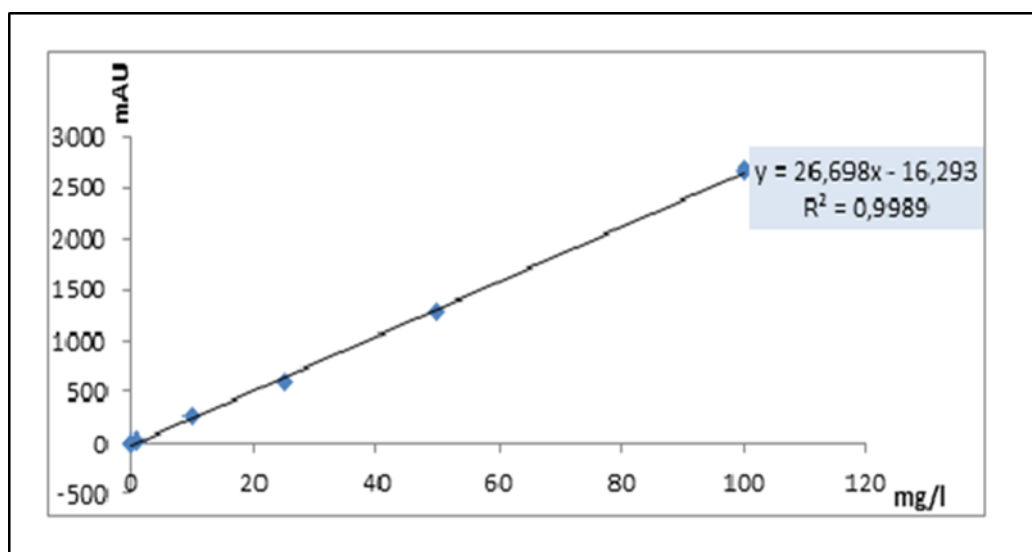


Figure 18 : Courbe d'étalonnage de la vitamine D3.

III.1.5.3. Dosage de la vitamine E

✓ Préparation de la courbe d'étalonnage

Solutions standards de concentrations 270, 20, 10, 5, 2, 5, 1, 25, 0, 625, 0, 125 ppm de vitamine E ont été utilisés pour tracer une courbe d'étalonnage (EX=290nm, EM=330nm) : Pic chromatographique (Annexe 1) à 5.5min.

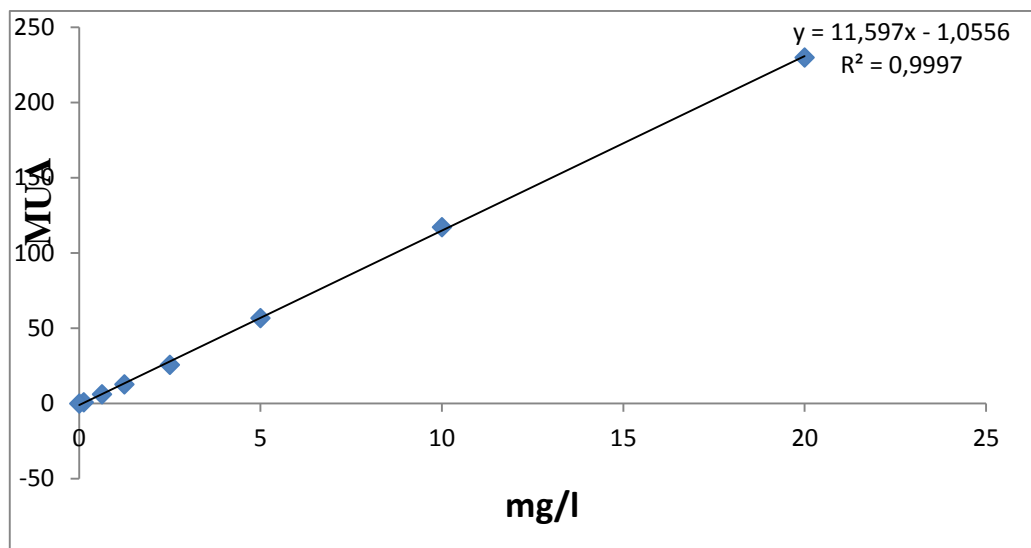


Figure 19: Courbe d'étalonnage de la vitamine E.

III.1.6. Les polyphénols

Les composés phénoliques ont été analysés par un système HPLC, en utilisant une colonne C18 (EUROSPHER KNAEUB COLONNE C18 250 mm diamètre 4 mm taille des particules 10µm). Les composés ont été séparés selon le gradient de solvants A (Eau acidifiée 1% ;95%) et B (Méthanol ;5 %) et détectés à 254 nm avec un détecteur UV et un débit 1ml /min.

✓ Préparation des échantillons

- Peser 0.5 g de la poudre de caroube.
- Ajouter 1 ml de méthanol.
- Agiter le mélange par ultrason 1000 (tour /min) pendant 5 min.
- Filtrer le mélange obtenu par un filtre de 0.45µm pour séparer la phase liquide (le filtra) de la phase solide.

III.1.6.1. Préparation des étalons

III.1.6.1.1. Acide Ascorbique

Solutions standards de concentrations 50ppm d'acide ascorbique, détecter à 254nm, Pic chromatographique(annexe2) à 2.8min.

III.1.6.1.2. Acide Gallique

Solutions standards de concentrations 100 ppm d'acide gallique, détecter à 254nm, Pic chromatographique (Annexe 2) à 6.9 min.

III.1.6.1.3. Acide Tannique

La solution standard d'acide tannique est détectée 254 nm, Pic chromatographique (Annexe2) à 7.5min.

III.1.6.1.4. Catéchine hydrate

La solution standard de Catéchine hydrate est détectée à 254 nm, Pic chromatographique(Annexe2) à 14.2min.

III.1.6.1.5. Caféine

La solution standard de caféine est détectée à 254 nm, Pic chromatographique(Annexe2) à 19.2min.

III.1.6.1.6. Acide Vanillique

Solutions standards de concentrations 100 ppm d'acide vanillique, détecter à 254nm, pic chromatographique(Annexe2) à 20.8 min.

III.1.6.1.7. Acide coumarique

La solution standard d'acide coumarique est détecter à 254 nm, Pic chromatographique(Annexe2) à 22.9 min.

III.1.6.1.8. Acide benzoïque

La solution standard d'acide benzoïque est détectée à 254 nm, Pic chromatographique(Annexe2) à 27.1 min.

III.1.6.1.9. Myricetine

La solution standard de Myricetine est détectée à 254 nm, Pic chromatographique(Annexe2) à 31.06 min.

III.1.6.1.10. Acide quercetine

Solutions standards de concentrations 200 ppm d'acide Quercetine, détecter à 254nm, Pic chromatographique(Annexe2) à 35min.

III.2. La semoule

III.2.1 La teneur eau

La détermination de la teneur en eau est effectuée à partir de la méthode normalisée (ISO712 ,2009), citée dans la page 30.

III.2.2 Les cendres

La détermination de cendre selon la norme (ISO 2171 ,2007), cité dans la page 31.

III.2.3. Mesure de la teneur en gluten

✓ Définition

Cette mesure permet d'apprécier la quantité du gluten. Le gluten est le composant fonctionnel des protéines qui a un intérêt principalement technique, il représente la fraction insoluble des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement de la pâte.

III.2.3.1. Gluten index

L'indice de Gluten ou le Gluten Index est la quantité de gluten résiduel par rapport au poids total du gluten humide en pourcentage.

✓ Principe

L'extraction du gluten est réalisée par un malaxage manuel et lavage d'un mélange de l'échantillon et d'une solution d'eau salée (solution de chlorure de sodium 20g/l). Le produit obtenu sera essoré et peser.

Le gluten est obtenu par une lixiviation, afin de se débarrasser de l'amidon. La totalité du gluten obtenu est le gluten humide.

✓ Mode opératoire

Préparer un pàton à partir de 10g de l'échantillon et 5 ml de solution de chlorure de sodium, puis laisser reposer 20min.

Laver le pàton préparé sous un filet d'eau jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus trouble.

Ensuite, un essorage de la masse plastique obtenue par une centrifugeuse (6000tr/min) pendant 1min dans un tamis de 600 μ . Deux fractions sont alors obtenues :

- La quantité de gluten qui a traversé le tamis.
- La quantité de gluten retenue par le tamis.

✓ Expression des résultats

Le gluten index est calculé comme suit :

$$GI = \left(\frac{\text{masse de paton humide} - \text{masse de gluten faible}}{\text{masse paton humide}} \right) \times 100$$

III.2.3.2. Gluten sec

✓ Principe

La détermination du gluten sec se fait par séchage de la totalité du gluten humide à l'aide du « glutork ».

✓ Mode opératoire

La masse du gluten humide dans une plaque chauffante pendant 4min à une température de 150°C.Repeser le produit obtenu (gluten sec).

Expression des résultats :

Le gluten sec est calculé comme suit :

$$GS = \text{mass de paton sec} \times 10$$

IV.L'essai de fabrication des pâtes

IV.1.Préparation des mélanges

À l'échelle industrielle les pâtes alimentaires sont fabriquées par des mélanges de 450L d'eau avec 1000kg de la semoule fine. Après avoir hydrater le mélange et afin de bien incorporer l'eau dans la semoule, Le mélange est malaxé à l'aide d'un malaxeur pendant 13 minutes. Le produit obtenu après le malaxage suit son itinéraire technique (extrusion, laminage, séchage, emballage).

Dans le cas de notre étude, les pâtes alimentaires sont fabriquées à petite échelle (échelle de laboratoire), ce qui nécessite de réduire les quantités de la semoule et de l'eau selon les quantités de la poudre de caroube incorporée et la capacité du pétrin employé (dont notre cas le pétrissage été manuelle). Mais ces quantités restent proportionnelles à celle utilisées à grande échelle, les tableaux 14,15,16 suivants montrent cela :

Tableau 14: Les quantités des ingrédients pour la fabrication des pâtes par la poudre de la pulpe de caroube de la région Blida.

Ingrédients	Pourcentage d'incorporation				
	Témoin	5%	10%	15%	20%
	(g/300g)	1er essai (g/300g)	2eme essai (g/300g)	3eme essai (g/300g)	4eme essai (g/300g)
Semoule	300	285	270	255	240
Farine de caroube	/	15	30	45	60
L'eau(ml)	90.22	94.24	95.45	95.86	96

Tableau 15 : Les quantités des ingrédients pour la fabrication des pâtes par la poudre de la pulpe de caroube de la région Sétif.

Ingrédients	Pourcentages d'incorporation			
	5%	10%	15%	20%
	1er essai (g/300g)	2eme essai (g/300g)	3eme essai (g/300g)	4eme essai (g/300g)
Semoule	285	270	255	240
Farine de caroube	15	30	45	60
Eau(ml)	87.20	90	91.12	91.9

Tableau 16: Les quantités des ingrédients pour la fabrication des pâtes par la poudre de la pulpe de caroube de la région Tipaza

Ingrédients	Pourcentage d'incorporation			
	5%	10%	15%	20%
	1er essai (g/300g)	2eme essai (g/300g)	3eme essai (g/300g)	4eme essai (g/300g)
Semoule	285	270	255	240
Farine de caroube	15	30	45	60
L'eau(ml)	93.74	94.28	94.82	98.6

Remarque :

La quantité d'eau ajoutée dans la fabrication des pâtes est obtenus selon l'équation suivante : (ISO ;1985)

$$\text{Quantité d'eau à ajouter} = \frac{33.5 - H\%}{100 - 33.5} \times 300$$

IV.2. La fabrication des pâtes alimentaires

La fabrication des pâtes est réalisée au niveau de l'institut technique des grandes cultures (ITGC).

Les principales étapes de fabrication correspondent au schéma de fabrication ci-dessous :

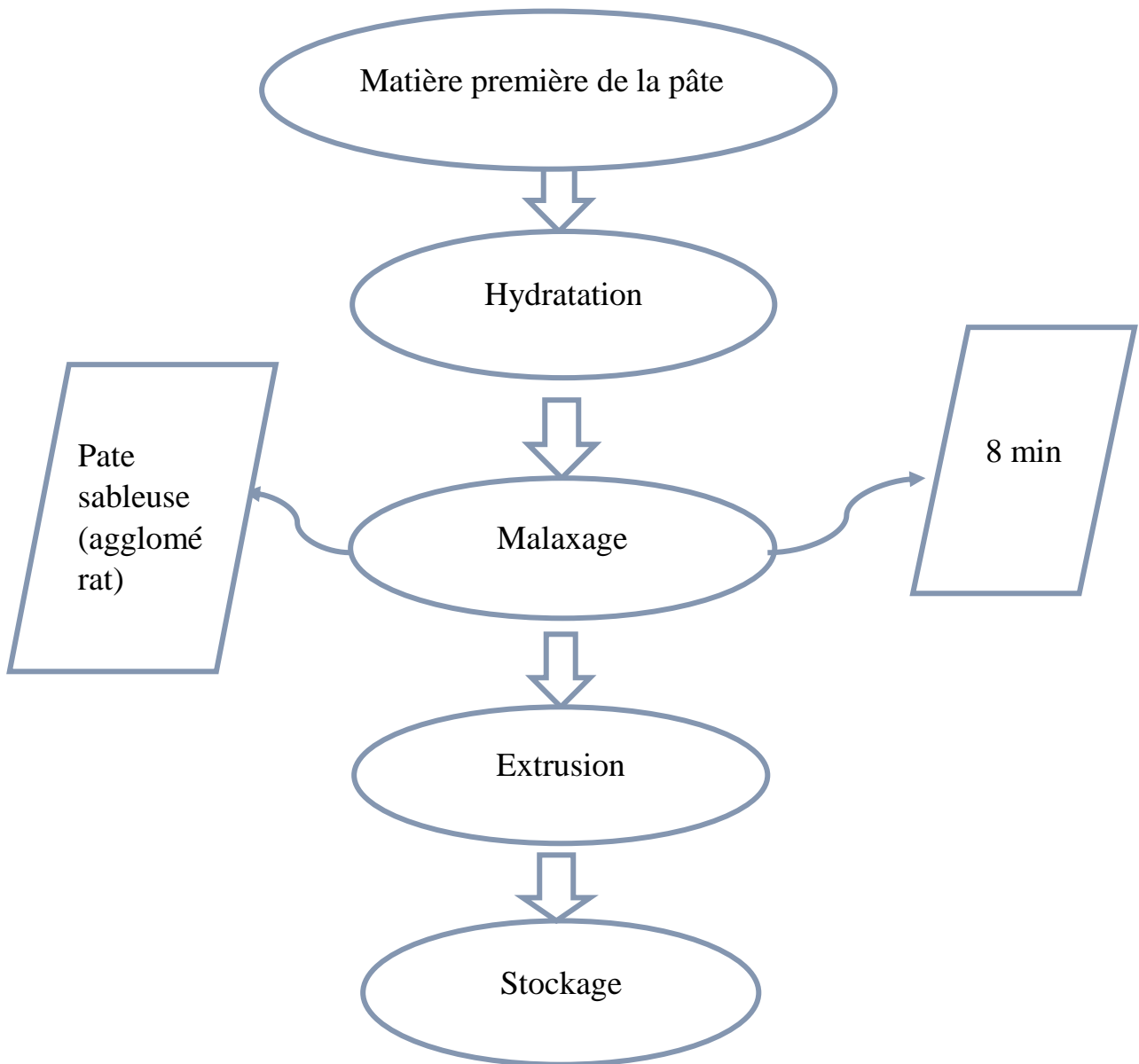


Figure 20: Diagramme de fabrication des pâtes.

IV.2.1 Les étapes de fabrication

IV.2.1.1 Hydratation

Dans un récipient en plastique, nous avons introduire 300g de coupage (semoule/poudre de caroube) et la quantité d'eau nécessaire.

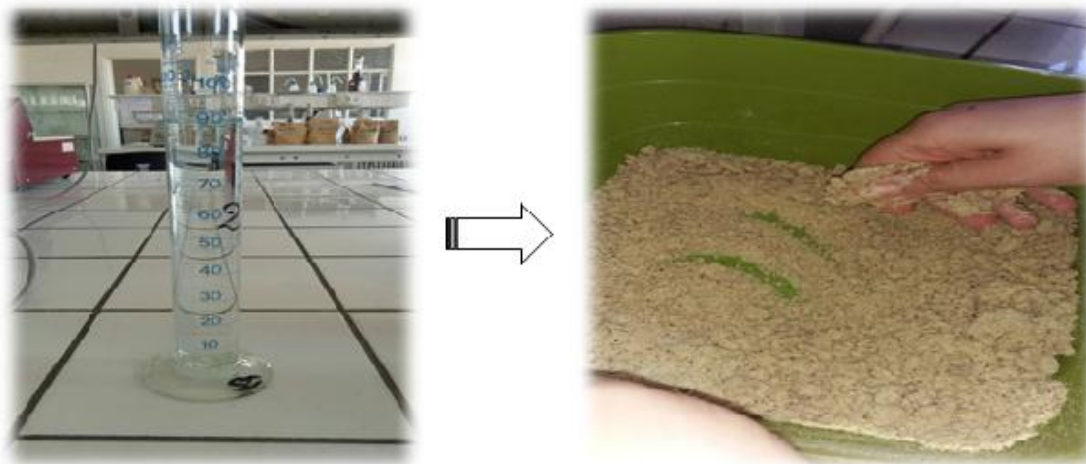


Figure 21: Hydratation.

IV.2.1.2. Malaxage

Dans cette presse le mélange subit un malaxage pendant 8 min.



Figure 22: Malaxage et mélange.

IV.2.1.3. Extrusion

Le mélange subit une structure d'agglomérat ensuite il passe dans la zone de transport, la zone de mélange et zone de structuration puis la zone d'alimentation de la filière.

La pâte formée est ensuite passée dans la même presse, mais cette fois-ci entre les rouleaux découpeurs.

Dans notre cas la pâte est découpée sous forme de longues pates.



Début de l'extrusion sortir de la pâte extrudée

Figure 23: Pate extrudé.

IV.2.1.4. Séchage

Les pâtes sont récupérées à la main et déposées sur des baguettes pour être séchées pendant 24h.

Une fois le séchage est achevé, Le produit fini est prêt, on le récupère pour continuer le reste des tests.

La même démarche de préparation des pâtes alimentaires est appliquée pour les autres coupages (semoule/poudre de caroube).



Figure 24: : Séchage des pâtes (A : pate à 100% semoule ; B : pates à 20% caroube ; C : pates à 10% caroube

V. Appréciation de la qualité du produit fini (les pâtes)

Les propriétés qui définissent la qualité des pâtes alimentaires sont déterminées à travers leur aspect à l'état cru, leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (Nasehi et al., 2011). Dans notre étude, on a étudié les critères suivants :

V.1. Analyses physico-chimique

V.1.1. La teneur en eau (humidité)

Après le séchage des pâtes alimentaires, il faut mesurer l'humidité de chaque essai. Le principe, l'appareillage et le mode opératoire de cette méthode sont les mêmes avec celles utilisés pour les matières premières (la semoule : la poudre de la pulpe de caroube).

Remarque :

Les pâtes doivent être broyées avant les utiliser.

V.2. Analyses technologiques

V.2.1. Indice de couleur

La couleur de la pâte après séchage est un paramètre fondamental pour le consommateur.

✓ Mode opératoire

A l'aide d'un broyeur, nous avons broyé une quantité de la pâte séchée de chaque essai pour obtenir une poudre suffisante avec des particules homogènes. Le même principe a utilisé la couleur de la matière première.

Les images suivantes montrent le processus de mesure de couleur des pâtes séchées.



Figure 25 : Mesure de la couleur des pâtes (A : broyage des pâtes ; B : tamisage des pâtes séché ; C : mesure de couleur)

V.2.2. Tests de cuisson

Le test de cuisson permet d'apprécier la qualité culinaire des pâtes élaborée par analyse sensorielle réalisée dans des conditions décrites par AFNOR ISO 7304-1985.

✓ Préparation des échantillons

100gs de pâtes élaborées sont coupées ont deux brins de 20 cm cuits dans 2 litres d'eau minérale additionnées de 14 g de sels.

✓ Appareillage

- Deux plaques en verre.
- Chronomètre.
- Plaque chauffante.
- Balance.
- Casserole.

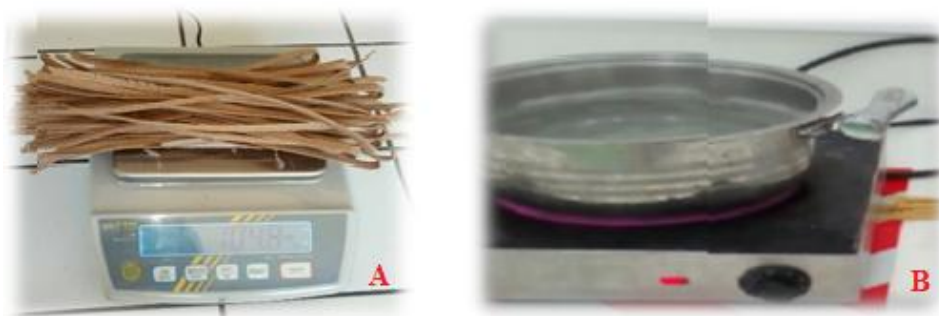


Figure 26: Matériel utilisé pour le test de cuisson (A : Balance pour peser les pâtes ; B : plaque chauffante)

V.2.2.1. Détermination des temps de cuisson

Cette observation repose à préciser les 3 temps suivant le temps minimal de cuisson (T) et au temps T+6 et T+11 qui correspondent respectivement au temps optimal et au temps maximal de cuisson.

- T minimal (T min) correspondant à la durée à partir duquel l'amidon est gélatinisé, sa détermination se fait au cours de cuisson, chaque 30 secondes un brin et prélevé puis immédiatement écrasé entre deux plaques en verre afin de visualiser la disparition d'une ligne blanche continue visible au centre d'un brin de pâte dont la présence témoigne de ce que la pâte est encore crue. (Annexe 4).
- T+6 : (le temps optimal de cuisson) T min + 6 minutes de cuisson c'est le temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée. (Annexe 4).
- T+11 le temps de sur cuisson, au-delà duquel la structure de la pâte se dégrade, il est obtenu par addition de temps minimal au temps optimal nécessaire à la cuisson. (Annexe 4).

V.2.2.2. La perte à la cuisson (NF 03-714.1981)

Les pertes à la cuisson "PC (%)" représentent la quantité de matière sèche perdue par 100g de pâte, après évaporation de 25 ml d'eau de cuisson pendant 24 heures dans l'étuve à température 102C°, après dessiccation complète et il est pesé après refroidissement.

✓ Expression du résultat :

$$PC \left(\frac{\text{g}}{100 \text{g ms}} \right) = Es \times \left(\frac{V}{25} \right) \times \left(\frac{100}{100 - H} \right)$$

- Es : le poids de l'extrait sec (g).
- V : Le Volume finale de l'eau de cuisson.
- H : teneur en eau des pâtes crues (%).

V.2.2.3. Le gonflement (la capacité d'absorption d'eau) (NF03-714 décembre 1981)

La capacité de fixation d'eau Ca (%), rend compte de l'aptitude des pâtes cuites à retenir plus au moins d'eau. Il est déterminé après égouttage des pâtes mises à cuire. C'est la différence entre le poids des pâtes cuites et le poids d'un échantillon cru mis à cuire, on l'exprime en g d'eau absorbée par 100 g de pâte crue, il est donné par l'équation suivante :

$$Ca(\%) = \left[\frac{(P - 100)}{(100 - H - Pc)} \right] \times 100$$

- Ca : capacité de fixation d'eau (%).
- P : la masse en (g) des pâtes cuites.
- PC : perte à la cuisson (g/100g ms).
- H : teneur en eau des pâtes crues (%).

V.2.2.4. L'état de surface des pâtes alimentaires

L'état de surface ou de désintégration des pâtes cuits dépend du degré d'adhésion des brins (notion de collant) et aussi de l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (notion de délitescence). (Sung et Stone,2003 ; Abe cassis,2011).

Après le T+11 minutes de cuisson, l'état de surface des pâtes est apprécié par l'évaluation sensorielle. Les pâtes sont notées de 1 à 9 (1 : non délitescence, 9 : très délitescence) (1 : très délitescence, 9 : non délitescence). Selon la norme NF ISO 7304-1985, l'appréciation des caractères « délitescence » et « tendance à coller » est effectuée par comparaison et en se basant sur des photos témoins.

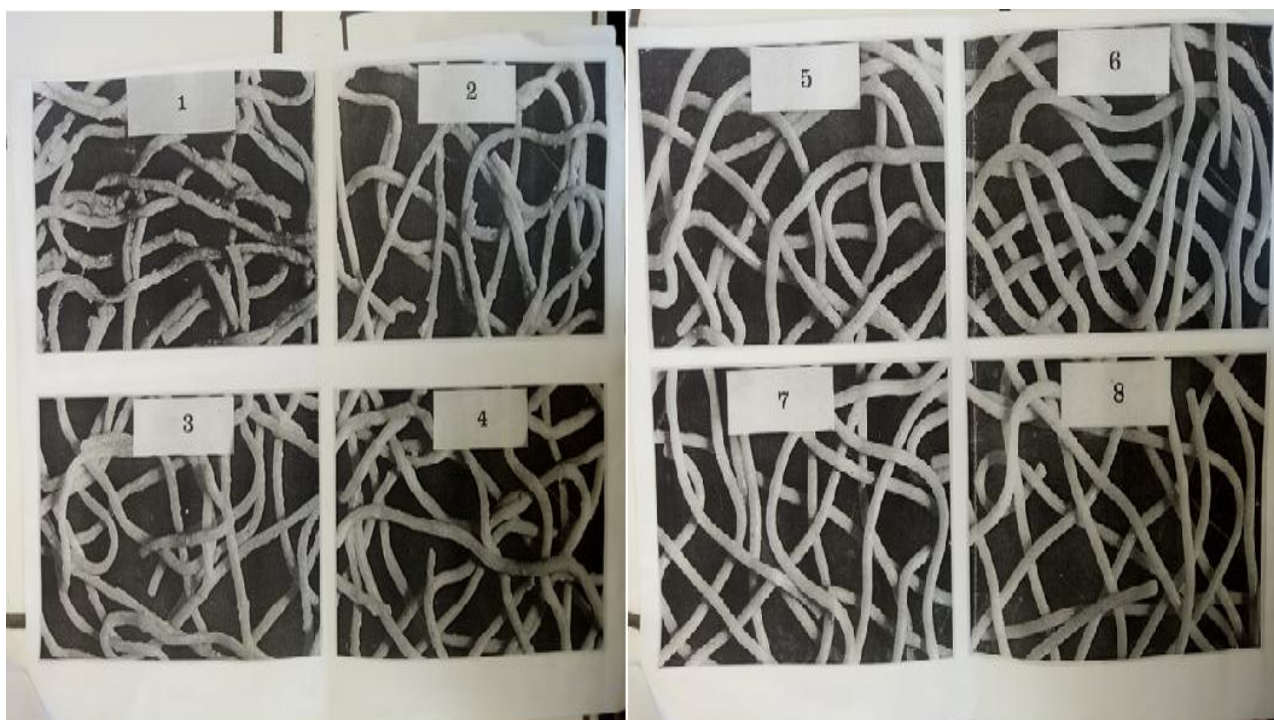


Figure 27:Etat de surface des pâtes alimentaires

VI. Analyse statistique

L'analyse de la variance (ANOVA) des résultats obtenus sont effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA.

L'analyse de la variance permet de déterminer l'influence du facteur étudié sur les différents paramètres étudiés, suivant le niveau de significativité :

- **P<0,001** la différence entre les traitements est très hautement significative.
- **P<0,01** la différence entre les traitements est hautement significative.
- **P<0,05** la différence entre les traitements est significative.
- **P>0,05** la différence entre les traitements est non significative.

CHAPITRE 4

Résultats et discussion

I. Les résultats des analyses physico-chimiques et nutritionnelles des matières premières

I.1 La teneur en eau

L'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques. Le contrôle de l'humidité de la farine (dans notre cas c'est la poudre de la pulpe de caroube) et de la semoule permet de réduire le risque d'altération lors du conditionnement et du stockage (Fillet,2000).

I.1.1 La poudre de la pulpe de caroube

Les résultats de la teneur en eau de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions sont représentés dans le tableau 17 et la figure 28 :

Tableau 17 : La teneur en eau de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions (Tipaza, Sétif, Blida)

La région	Teneur en eau (%)
Tipaza	13,72a
Setif	13,23a
Blida	11,81b
Moyenne	12,92
Signif.Stat	Significatif
Ecart-type	0,9389

La teneur en eau des poudres de la pulpe de caroube étudiées est comprise entre 11,81% et 13,72% pour Blida et Tipaza avec une moyenne de 12,92% et un écart-type de 0,9389.

L'analyse de la variance (ANOVA) montre un effet significatif ($P < 0,05$) sur la teneur en eau de la caroube. Le classement des moyennes par le test de Newman-Keuls distingue deux (2)

groupes homogènes, dont Tipaza et Sétif sont de groupe (a) et Blida est de groupe (b) (figure28).

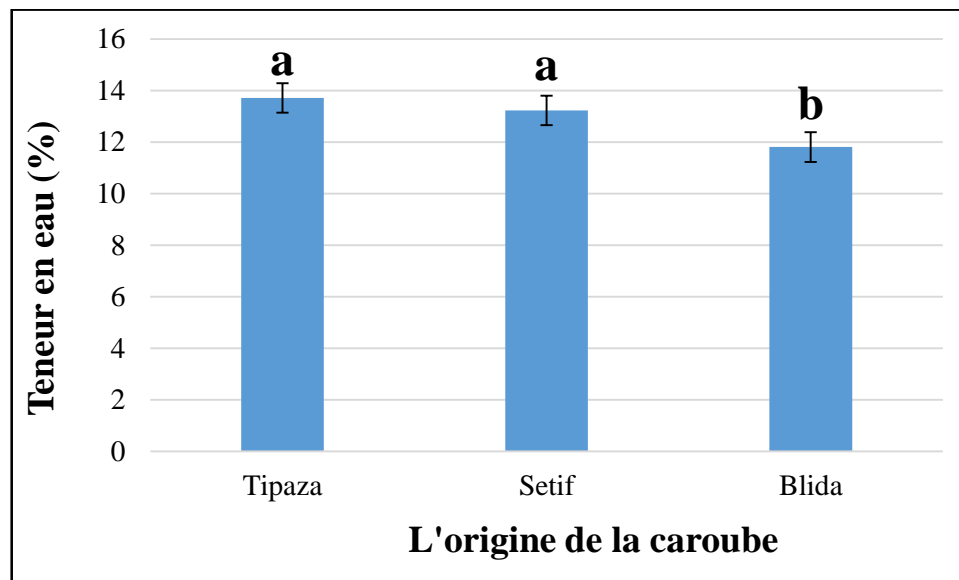


Figure 28 : Teneur en eau de la pulpe de la poudre de caroube des trois régions (Tipaza, Sétif, Blida).

D'après les résultats obtenus, nous observons que la valeur la plus élevée de la teneur en eau est celle de Tipaza avec une moyenne de 13,72%, suivi par celle de la caroube de Setif avec une moyenne de 13,2%. Il est à noter que la teneur en eau enregistrée dans les échantillons de caroube de la région de Blida est la plus basse soit 11,81%. Celle-ci est comparable à celles trouvées par Khlifea et al (2013) et Vekiari et al (2011) qui sont de l'ordre de 10,2% 10,9% respectivement.

Selon l'étude de Kamal et al (2013) sur les caroubes de l'Égypte, les valeurs de la teneur en eau sont très faibles (5,29%). Aussi, Kabir (2016) a rapporté que la teneur en eau de la pulpe de caroube est de 9,1%.

Ces différences sont probablement dues aux conditions climatiques, l'origine géographique, la période de récolte et les conditions de stockage (Lacen,1990 ; Albanell et al.,1991 ; Petit et al.,1995 ; Avallone et al,1997 ; Gillet et al,2014 ; Kaderi et a.,2015).

I.1.2 La semoule

Les résultats de la teneur en eau de la semoule sont consignés dans le tableau 18 :

Tableau 18 : La teneur en eau de la semoule de blé dur utilisée.

Semoule de blé dur	La teneur en eau (%)	
	La moyenne	La norme (NA)
	13,5	<14,5

La teneur en eau de la semoule utilisée est conforme à la norme qui exige une teneur en eau inférieure à 14,5%, ce qui permet une bonne conservation du produit fini.

I.2 Le taux des cendres

La détermination de la teneur en cendre permet de connaître la quantité totale des sels minéraux contenus dans l'échantillon à analyser.

I.2.1 La poudre de la pulpe de caroube

Les résultats du taux de cendres sont regroupés dans le tableau 19 :

Tableau 19: Taux des cendres de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza)

La région	Taux de cendres (%)
Blida	3,25 ^a
Setif	3,25 ^a
Tipaza	2,84 ^b
Moyenne	3,11
Signif.Stat	Très hautement significatif
Ecart-type	0,2145

Les résultats obtenus montrent que le taux des cendres des poudres de la pulpe de caroube des trois régions étudiées varie entre 2,84% pour Tipaza et 3,25 pour les deux autres régions Sétif et Blida, avec une moyenne de 3,11% et un écart-type de 0,2145.

L'analyse de variance indique un effet très hautement significatif de l'origine de la caroube ($P < 0,001$) sur le taux de cendres. La comparaison des moyennes révèle deux groupes homogènes dont Blida et Sétif se classent dans le même groupe (a) et Tipaza se classe dans le deuxième groupe (b) (figure 30).

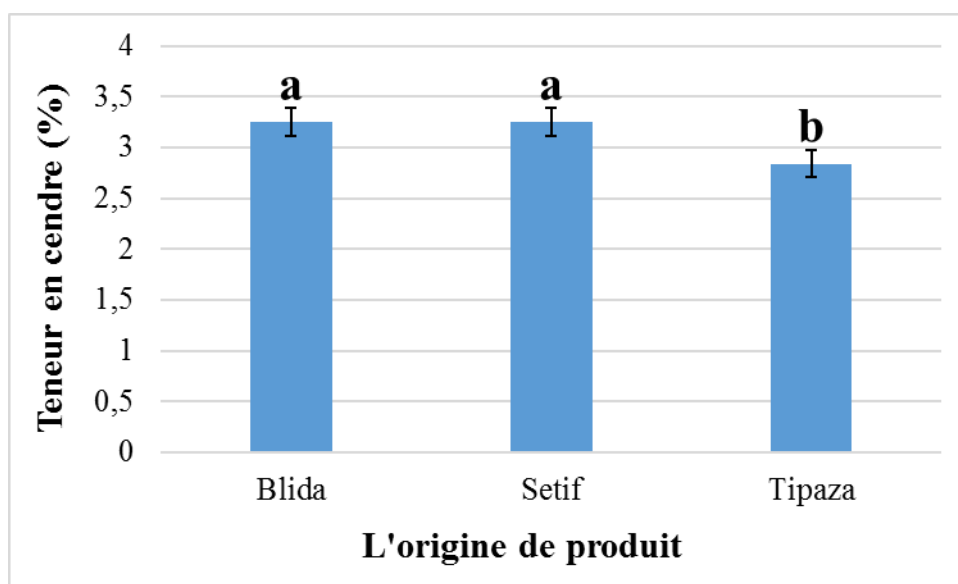


Figure 29: Teneur en cendres de la pulpe de caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza).

La valeur trouvée pour la région de Tipaza (2,84%) est comparable à celle trouvée par Salih et Jilal (2020) dans une étude réalisée sur l'utilisation alimentaire de la pulpe de la caroube marocain.

Dans une étude réalisée par Kocherane (2021) sur la "Caractérisation morpho-écologique et phytochimique du caroubier en Algérie", les valeurs des taux de cendres trouvées dans les régions Tipaza, Blida et Sétif de l'ordre de 2,21% ; 2,68% et 2,86% respectivement.

I.2.2 La semoule

Le taux de cendre de la semoule utilisée dans notre étude est de 1,02% (tableau 20), il ne dépasse pas la limite maximale de cendre de blé dur exigée par la norme algérienne (1,1%).

Tableau 20: Taux de cendres de la semoule utilisée.

La semoule de blé dur	Le taux des cendres (%)	
	Moyenne	La norme (NA)
	1,02	0,8-1,1

I.2.3. Mesure de la teneur en gluten

Le gluten est un complexe composé majoritairement de glutenines et de gliadines (protéines).

Le gluten est formé au cours du pétrissage par des liaisons disulfures (interaction hydrophile) entre les glutenines et les gliadines, il se caractérise par des propriétés viscoélastiques (élasticité, plasticité, ténacité). L'importance du gluten réside lors de la cuisson où il forme un réseau qui emprisonne les grains d'amidon afin qu'il ne soit pas libéré dans l'eau et par la suite les pâtes devient collante (Cheftel, 1992).

D'après les résultats obtenus (tableau 21), la semoule de blé dur renferme 12.9% du gluten sec. Et possède un gluten index de 49%.

La valeur de GS trouvée est correspondue à celle rapportée par GEOFEROY (1950), qui note qu'un gluten doit répondre qualitativement et quantitativement aux exigences attendues et qu'une bonne pâte exige un taux de GS supérieur à 8%.

Cependant, la poudre de la pulpe de caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza) ne contient pas de gluten (0%). Donc la caroube est un très bon aliment pour les personnes souffrent aux glutens ou la maladie de cœliaque.

Tableau 21: Teneur en gluten index et gluten sec de la semoule

Semoule	Gluten index	Gluten sec
	49%	12.9%

I.3. Teneur et composition d'huile extraite

I.3.1 Rendement en matière grasse

Après six heures d'extraction continue, avec un solvant approprié (éther de pétrole), le rendement en huile extraite est illustré dans la figure 30.

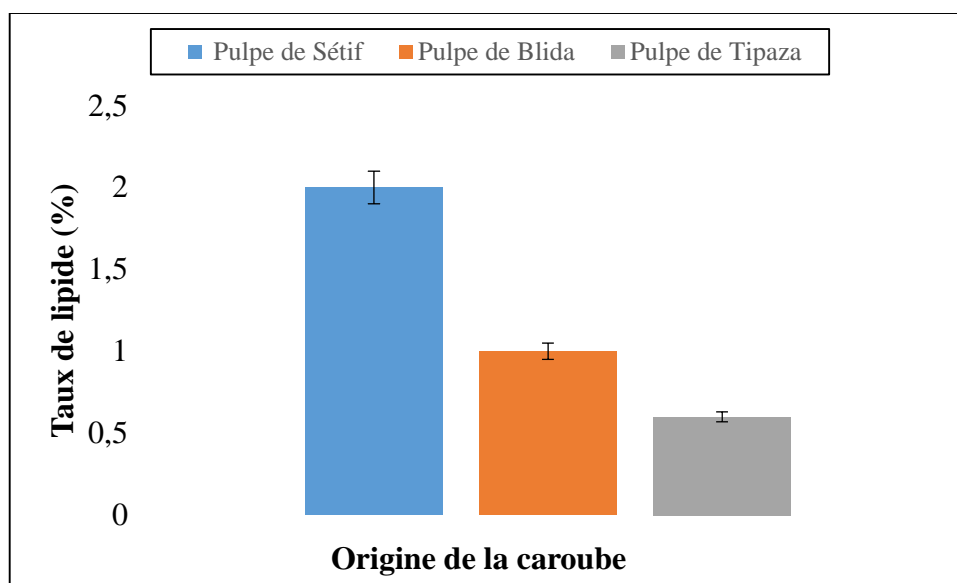


Figure 30: Teneur en lipides en % des pulpes de la caroube des trois régions (Blida, Sétif, Tipaza)

Les résultats obtenus montrent que la pulpe de la caroube de Sétif (2%) contient plus de matière grasse par rapport aux pulpes de Blida (1%) et Tipaza (0.6%).

Les valeurs obtenues pour la pulpe de Blida sont proches de celles trouvées par de Kabir (2016) et Gaouar (2011) qui sont de 1,82% et 1,83% respectivement.

Les résultats obtenus pour la pulpe de Tipaza sont proches de ceux trouvés par Yousif et Alghzawi (2000), et Avallone et al., (1997), respectivement sur la pulpe de la Jordanie (0,74%) et de l'Italie (0,6%).

I.3.2. Analyse biochimique des huiles de la caroube par la GCMS

Nos échantillons d'huile de Blida Tipaza et Sétif ont été analysés par la GCMS au niveau de centre de recherche des analyses physico-chimiques (CRPC) à Bou Ismail.

Après injection de notre échantillon, on a eu les chromatogrammes représentés en annexe 3

Tableau 22: Composition en acides gras identifiés dans les huiles de la pulpe de caroube de Blida.

Nom	Formule	Ecriture symbolique	AGP%
Acide Pentadécanoïque	C15H30O2	(C15 :0)	2.96
Acide 10,13-Octadécanoïque	C18H32O2	(C18 :2)	5.38
Acide Oléique	C18H34O2	(18 :1)	18.96
Acide Stéarique	C18H36O2	18	0.91
Acide 11-Ecosénoïque	C20H38O2	(20 :1)	0.57
Acide Arachidique	C20H40O2	(20 :0)	0.28
Acide béhénique	C22H44O2	(C22 :0)	1.55
Acide lignocérique	C24H48O2	(C24 :0)	1.05
Stigmastérol	C29H48O	/	6.37
D, Alpha-Tocophérol	C29H50O2	/	0.65
Total des AGS	/	/	6.75
Total des AGIS	/	/	24.91

Tableau 23: Composition en acides gras identifiés dans les huiles de la pulpe de caroube de Sétif.

Nom	Formule	Ecriture symbolique	AGP%
Acide Palmitique	C16H32O2	(C16 :0)	6.99
Acide 2-Hexadécénoïque	C16H30O2	(C16 :1)	0.56
Acide Linoléique	C18H32O2	(C18 :2)	9.86
Acide élaidique	C18H34O2	(C18 :1)	29.48
Acide Stéarique	C18H36O2	(C18 :0)	1.5
Acide oléique	C18H34O2	C18 :1	0.84
Acide 11-Hexadécénoïque	C16H30O2	(C16 :1)	0.49
Acide Arachidique	C20H40O2	(C20 :0)	0.53
Acide béhénique	C22H44O2	(C22 :0)	0.90
Acide lignocérique	C24H48O2	(C24 :0)	1.53
Acide cérotique	C26h52O2	(C26 :0)	1.02
Stigmastérol	C29H48O	/	20.28
D, Alpha-Tocophérol	C29H50O2	/	0.99
Total AGS	/	/	12.47
Total AGIS	/	/	40 ,74

Tableau 24: Composition en acides gras identifiés dans les huiles de la pulpe de caroube de Tipaza.

Nom	Formule	Ecriture symbolique	AGP%
Acide palmitique	C16H32O2 ;	(C16 :0)	14.44
Acide oléique	C18H34O2	(C18 :1)	48.54
D,Alpha Tocophérol	C29H50O2	/	1.11
Acide Rétinoïque	C20H28O2	/	0.39
Stigmastérol	C29H48O	/	9.38
Total AGS	/	/	14.44
Total AGIS	/	/	48.54

Les résultats obtenus montrent que 8 composés lipidiques rentrent dans la composition de l'huile de pulpe de Blida, et 12 composés rentrent dans l'huile de pulpe de Sétif et 2 composés dans l'huile de pulpe de Tipaza. Les acides gras les plus près pondéralement détectés dans la région Blida sont l'acide oléique 18.96%, et Sétif acide élaidique 29.48%, et Tipaza acide oléique 48.54% et acide palmitique 14.44%. D'autre part, les autres composés liposolubles qui sont détectés en plus des acides gras, sont le α -tocophérol et stigmastérol et acide rétinoïque, la région de Sétif présente la valeur plus élevée de vitamine E avec 1.11%, par rapport à Tipaza (0.99%) et Blida (0.65%). De plus, l'acide rétinoïque est présent uniquement dans la région de Tipaza avec 0.39%. Aussi, le pourcentage le plus élevé de stigmastérol a été observé dans les échantillons de Sétif (20,28 %) par rapport à Tipaza (14,44 %) et Blida (6,37 %).

Dans les échantillons de la région Sétif, de plus faibles proportions en acide oléique et linoléique ont été enregistrées, soient 15.92% et 43.09% respectivement. Le profil en acides gras trouvés dans nos échantillons diffère de celui trouvé par Kebir (2016).

En effet, Dans les échantillons des régions de Tipaza et Blida, les proportions en l'acide oléique (48.54%) (18,96 %), sont plus élevés que celles rapportées par Kabir (2016) soient (15,92 %).

Une quantité d'acide oléique trouvé dans les échantillons de Sétif (0.48%) est inférieur par rapport à celle trouvé par Kabir (2016) qui est (15.92%).

Nos huiles extraites des pulpes sont faibles en acide gras insaturés, soit environ 24.91% enregistré dans l'échantillon de Blida, 40.74% de Sétif et 48.54% de Tipaza. Ils sont inférieurs à celui rapporté par Kabir (2016) qui est de 72.59%.

Par ailleurs, les travaux sur les feuilles de caroubier menés par Dallait et al. (2018) démontrent la présence de 12 acides gras qui sont l'acide myristique, acide palmitique, acide palmitoléique, acide margarique, acide stéarique, acide oléique, acide linoléique, acide γ -linoléique, acide linoléique, acide eicosénoïque, acide béhénique, acide lignocérique. Il révèle aussi que le profil en acide gras des feuilles de *Ceratonia siliqua* est à dominance d'acide gras insaturé. Cette fraction est dominée par l'acide linoléique et l'acide linoléique.

Le profil en acides en acides gras d'une huile de la même espèce diffère d'une région à une autre selon l'âge de la plante et le facteur physiologique.

En plus, et au sein de la même espèce, et dans les mêmes conditions climatiques, plusieurs plantes montrent une composition différente des lipides dans ses différentes parties (Smith et al., 1970) si pour cela, on peut dire que la composition chimique de la caroube dépend de la provenance géographique, les conditions climatiques, période de récolte, procédures de conservation, partie de la plante utilisée et des méthodes d'analyses (Smith et al., 1970 ; Battel et al., 1997).

I.4. Les protéines de la poudre de la pulpe de caroube

La teneur en protéines brutes est l'un des critères utilisés pour évaluer la valeur nutritive d'un aliment.

Les résultats trouvés sont représentés dans le tableau 25 et la figure 31.

Tableau 25: La teneur en protéines de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions étudiées (Blida, Tipaza, Sétif).

Les régions	La teneur en protéines (%)
Blida	4,25a
Tipaza	3,31b
Setif	3,21c
Moyenne	3,59
Signif.Stat	Très hautement significatif
Ecart-type	0,5171

Les résultats consignés dans le tableau n°, montrent que la teneur en protéine de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions est très faible avec une moyenne de 3,59% et un écart-type de 0,52. Dans une étude similaire, Kacherane (2021) a montré que la pulpe de la caroube de Blida contient 6.1% de protéine.

Parmi les valeurs obtenues, la teneur en protéine de la poudre de la pulpe de la région de Blida est la plus élevée soit 4,25%, mais elle reste toujours faible car l'apport quotidien en protéines doit être de 0,8 à 0,9 g par kilo, soit 12 à 13,5 g par jour pour un enfant de 15 kilos, par exemple.

Selon l'étude de Salihet Jial (2020), la teneur en protéine de la pulpe de caroube marocaine est de 4,7%.

L'analyse de la variance montre en effet très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur l'origine de caroube sur la teneur en protéine. Le test de Newman-Keuls fait ressortir trois groupes homogènes (figure 31).

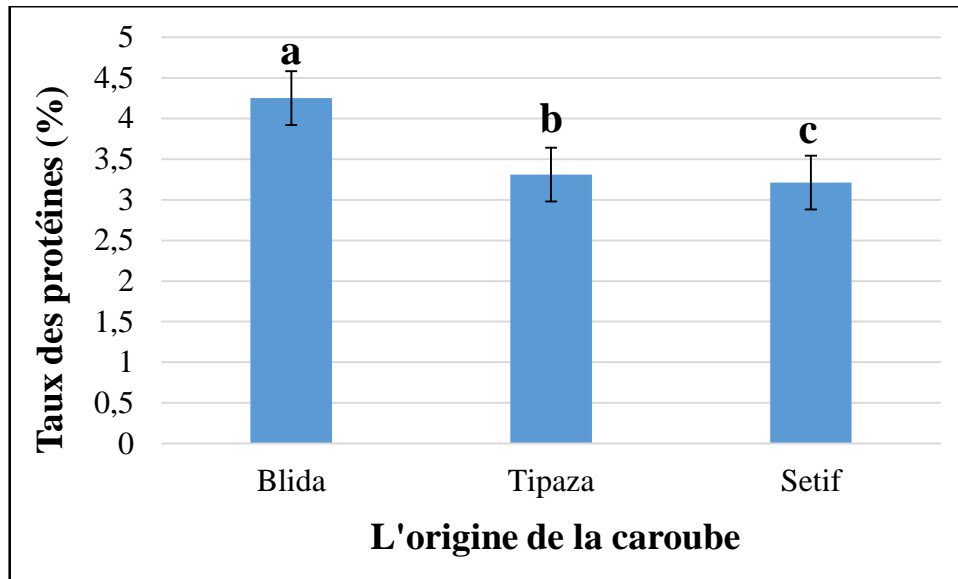


Figure 31: Teneur en protéines de la poudre de la pulpe de caroube des trois régions (Blida, Tipaza, Sétif).

I.5 Les vitamines

Les teneurs en vitamines (A, D, E) de la poudre de caroube des différentes régions (Blida, Sétif, Tipaza) sont illustrées dans la figure 32

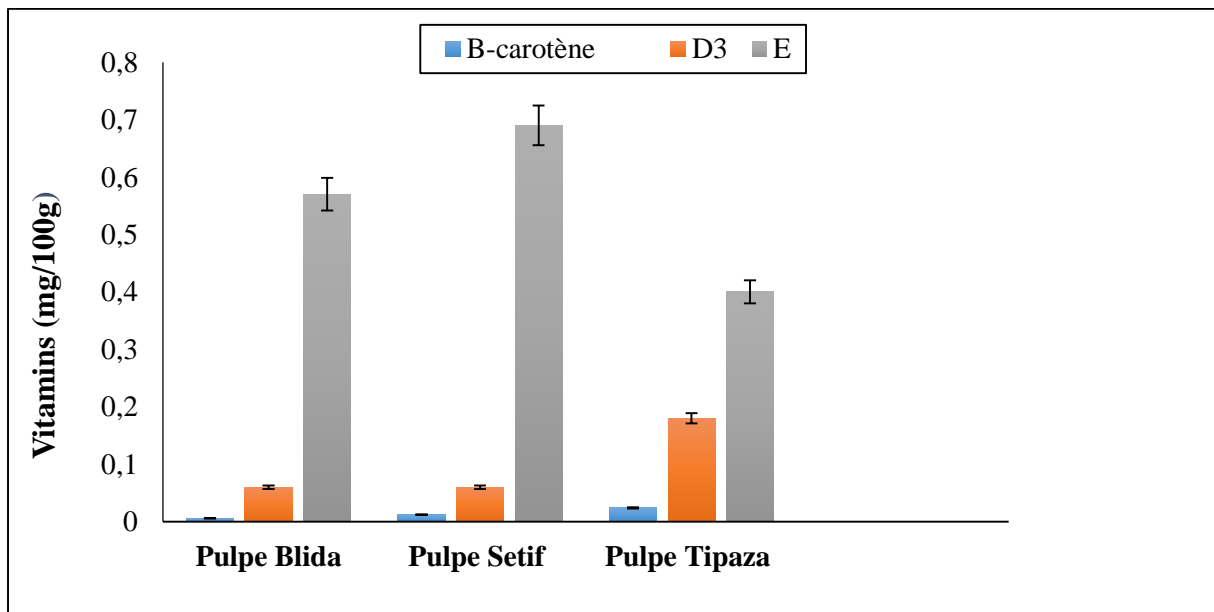


Figure 32: Taux des vitamines en mg/100g MS des pulpes de caroube.

La pulpe de Sétif détient la teneur la plus importante en vitamine E (0,69mg/g) de MS par rapport aux autres pulpes, suivie par la pulpe de Blida qui a une teneur de(0,57mg/g) de MS, suivie de la pulpe de Tipaza avec (0,40mg/g). Les résultats sur le taux de vitamine E ont révélé une différence peu significative entre pulpe Sétif et pulpe Blida, par ailleurs la différence entre les pulpes Sétif et Tipaza est très significative.

Concernant la vitamine D3, celles de Tipaza ont le taux le plus élevé avec (0,18mg/g) et une différence moyennement significative avec la pulpe de Blida et Sétif qui sont les même avec (0.06mg/g) respectivement.

De plus, la provitamine A, si l'on examine les résultats on constate que le taux dans la pulpe de Tipaza avec (0.024mg/g) deux fois plus que le taux dans la pulpe de Sétif avec (0.012mg /g) et trois fois plus que dans la pulpe de Blida avec (0.006mg/g), d'autre part la différence entre les pulpes Tipaza et Blida est très significative. D'après ces résultats on remarque que toutes les pulpes contiennent un taux important de vitamine E par rapport aux autres vitamines (B-carotène, D3) avec la plus importante valeur notée dans les échantillons de caroube de Sétif.

Les résultats obtenus sont nettement plus élevés que ceux de Kamal E.et al., (2013), ou la teneur en vitamine E de la pulpe de caroube trouvée est de 0.0053 mg /g, la vitamine D est de 0.005mg/g et la teneur en vitamine A est de 0.001mg/g.

Les vitamines de la caroube participent elles aussi à la défense de l'organisme. La vitamine A, par exemple, soutient le fonctionnement du système immunitaire et ralentit le vieillissement cellulaire, tout comme la vitamine E (Julia Perez, 2021).

I.6. Les polyphénols

Les analyses qualitatives d'HPLC des extraits de pulpe a révélé la présence de 40, 31, 21 composés des régions respectives, Blida, Tipaza et Sétif.

Après séparation des composées extraits, on a identifié les composés phénoliques, par comparaison avec les chromatogrammes des étalons. Le pic apparait selon le temps de rétention du composé. La même colonne et les mêmes conditions opératoires sont utilisées.

Les composés analysés ont le même temps de rétention que les composés standard « étalons ».

On a injecté 10 étalons : acide gallique, Merycétine, acide benzoïque, Quercitene, acide ascorbique, vanilline, acide tannique, acide coumarique, caféine, catéchine hydrate.

Les résultats sont représentés dans les tableaux 26,28,29 :

Tableau 26:Les composés phénoliques identifiés dans l'extrait de pulpe de Blida.

Nom	Tr (min)	Identification	Aire (%)	Formule chimique
Acide ascorbique	2.8	Non identifié	/	C6H8O6
Acide gallique	6.9	Identifié	15.46	C7H6O5
Acide tannique	7.5	Non identifié	/	C76H52O46
Catechin hydrate	14.2	Identifié	0.52	C15H16O7
Caféine	19.2	Non identifié	/	C8H10N4O2
Vanilline	20.8	Non Identifié		C8H8O3
Acide coumarique	22.9	Non identifié	/	C9H8O3
Acide benzouique	27.1	Identifié	1.05	C7H6O2
Myricetin	31.06	Identifié	1.63	C15H10O8
Quercetine	35.1	Identifié	1.04	C15H10O7

Tableau 27: Les composés phénoliques identifiés dans l'extrait de la pulpe de Sétif.

Nom	Tr (min)	Identification	Aire (%)	Formule
Acide ascorbique	2.8	Non identifié	/	C6H8O6
Acide gallique	6.9	Non identifié	/	C7H6O5
Acide tannique	7.5	Non identifié	/	C76H52O46
Catechin hydrate	14.2	Non identifié	/	C15H16O7
Caféine	19.2	Non identifié	/	C8H10N4O2
Vanilline	20.8	Non identifié	/	C8H8O3
Acide coumarique	22.9	Non identifié	/	C9H8O3
Acide benzouique	27.1	identifié	2.04	C7H6O2
Myricetin	31.06	identifié	3.74	C15H10O8
Quercetine	35.1	identifié	0.81	C15H10O7

Tableau 28: Les composés phénoliques identifiés dans l'extrait de pulpe de Tipaza.

Nom	Tr (min)	Identification	Aire (%)	Formule chimique
Acide ascorbique	2.8	Non identifié	/	C6H8O6
Acide gallique	6.9	Identifié	19.56	C7H6O5
Acide tannique	7.5	Non identifié	/	C76H52O46
Caféine	19.2	Non identifié	/	C8H10N4O2
Vanilline	20.8	Identifié	0.54	C8H8O3
Catechin hydrate	14.2	Identifié	0.51	C15H16O7
Acide coumarique	22.9	Non identifié	/	C9H8O3
Acide benzoïque	27.1	Non identifié	/	C7H6O2
Myricetin	31.06	Identifié	5.58	C15H10O8
Quercétine	35.1	Non identifié	/	C15H10O7

La comparaison des différentes compositions montre que :

- L'extrait de Blida a révélé la présence de 5 composés phénoliques, qui sont : acide gallique 15.46%, catéchine hydrate 0.52%, quercitène 1.04%, merycétine 1.63%, acide benzoïque 1.05%
- L'extrait de Sétif a révélé la présence de 3 composés : acide benzoïque 2.04%, quercitène 0.81%, merycétine 3.74%.
- L'extrait de Tipaza a révélé la présence de 4 composés : acide gallique 19.56%, merycétine 5.68%, catéchine hydrate 0.51%, vanilline 0.54%.

D'après ces résultats on remarque que la région Blida contient des composés phénoliques plus que ceux de Sétif et Tipaza ; selon les chromatogrammes (annexe2) obtenus après la séparation des composés, le chromatogramme de Blida présente 40 composés et Tipaza 31 composés et Sétif 21 composés.

De plus, les composés phénoliques identifiés dans la région Blida sont au nombre de 5 puis Tipaza 4 et Sétif 3.

On remarque que le Myricetin est présente dans les pulpes des caroubes des trois régions, et le quercetine et l'acide benzoïque sont présents dans les régions de Blida et Sétif. D'autre part, l'acide gallique et la catéchine hydrate sont présents dans les régions de Blida et Tipaza. Toutefois, la vanilline est présente uniquement dans la région de Tipaza.

La comparaison de ces résultats avec ceux de la littérature a montré quelques différences au niveau des composés. Kamal et al (2013) ont étudié la composition de la poudre de la pulpe de caroube de l'hygypte ont montré la présence de 11 composés qui sont : phrogallol, catéchol, chlorogénique, protocatécheique, catéchol, cinnamique, caféine, vanilline, ferulique, coumarine.

Par ailleurs, l'identification et la quantification des composés phénoliques des extraits des graines du caroubier (*Ceratonia Siliqua*) de deux localités différentes du sud-ouest marocain (Izouika et Reggada) par HPLC a montré la présence 7 composés qui sont : l'acide gallique, l'acide syringique, l'acide coumarique, l'acide benzoïque, l'acide p- coumarique, l'acide m-coumarique, acide 4hydroxybenzouique (Fadel et al., 2011). Aussi, Rtibi et al (2017) ont révélé la présence des polyphénols dans les feuilles comme l'acide tannique, l'hydrate catéchine et polydatine.

Cette différence observée dans les différentes études peut s'expliquer par la provenance géographique, la variété et surtout le degré de maturité, ce qui prouvé par les travaux de (AbiAzar., 2007).

Les polyphénols de caroube possèdent une activité antioxydant ainsi qu'antibactérienne et antifongique, de plus agissent contre le stress oxydatif au niveau de colon, ce qui confère la propriété anti cancérigène ; cela a été démontré dans les travaux de Klenow al (2009).

V. Les résultats des analyses physico-chimiques du produit fini (pâtes alimentaires)

II.1 L'humidité des pâtes

Les résultats de la teneur en eau sont représentés dans le tableau 29 :

Tableau 29:La teneur en eau des pâtes fabriquées.

La région	La teneur en eau (%)	Norme (NA)
Témoin	12a	<12,5
Blida	11,48b	
Setif	10,01c	
Tipaza	9,88c	
Moyenne	10,84	
Signif.Stat	Très hautement significatif	
Ecart_type	0,9734	

D'après les résultats obtenus, on remarque que les pâtes préparées présentent des teneurs acceptables 11,48%, 10,01% et 9,88% pour Blida, Sétif et Tipaza respectivement avec une moyenne de 10,84 et un écart-type de 0,9734.

Les pâtes témoins ont marqué la teneur la plus élevée (12%). Les résultats des produits finis répondent à la norme (<12,5%) exigé par la NA, ce qui signifie que les pâtes sont dans des conditions favorables de stockage et de conservation car un taux d'humidité élevé peut favoriser le développement des microorganismes donc plus l'humidité est faible plus la conservation sera meilleure.

La teneur en eau des pâtes dépend principalement des conditions de déroulement de l'opération de séchage ou la période de cette dernière ou les pâtes peuvent perdre certain pourcentage d'humidité.

CHAPITRE 4 : Résultats et discussion

L'analyse de variance pour ce paramètre présente un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) du facteur origine de pâtes. La comparaison des moyennes indique la présence de trois (3) groupes homogènes (figure 33).

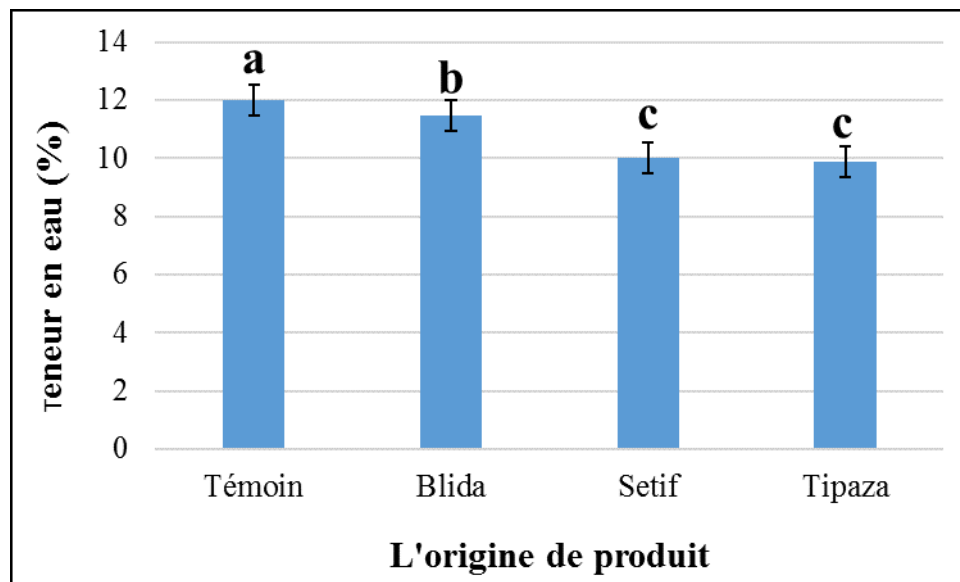


Figure 33: Teneur en eau des pâtes fabriquées.

III.2. Evaluation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires

La qualité culinaire rend compte du comportement de la pâte pendant et après la cuisson. Son évaluation peut se faire à travers l'examen des caractéristiques suivantes : temps de cuisson, absorption d'eau pendant la cuisson, texture des produits cuits (fermeté, élasticité), état de surface des produits cuits, arôme et goût (Feillet., 1986).

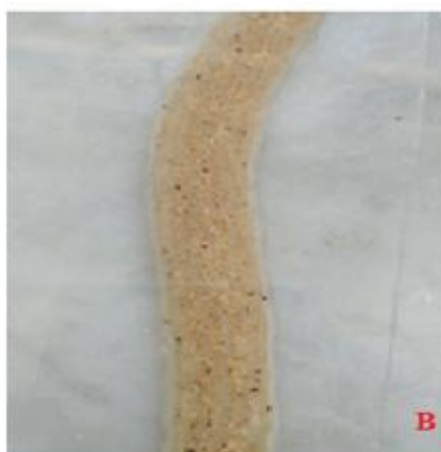
La cuisson d'une pâte alimentaire a visé à amener ses constituants (amidon et gluten) à la température désirée, c'est-à-dire à gélatiniser l'amidon pour le rendre digestible et à modifier la texture des pâtes de manière à leur donner les caractéristiques souhaitées par le consommateur (Lucisano et al., 2012).

III.2.1. Temps de cuisson

Les temps minimal, optimal et maximal de cuisson correspondent respectivement au temps à partir du quelle l'amidon est gélatinisé, le temps nécessaire pour donner à la pâte cuite la texture recherchée et le temps au-delà du quelle les produits commencent à se désintégrer dans l'eau de cuisson.



A: Brin de pâte au Cours de cuisson (apparence d'une ligne blanche au centre.)



B: Brin de pâte au temps optimale de cuissons (disparition du trait blanc en son centre)

Figure 34: Illustration du test de la ligne blanche utilisé pour la détermination du temps minimal(A) et optimal de cuisson

Tableau 30:Caractéristiques culinaires des pâtes alimentaires des pâtes alimentaires avec les différents taux d'incorporation de la poudre de la pulpe de caroube.

Paramètres		Temps minimal De Cuisson (min)	Temps optimal de cuisson (min)	Temps de sur cuisson (min)	Perte à la cuisson (g /100ms)	Capacité de fixation d'eau (%)
Régions	Pourcentage D'incorporation					
SETIF	5%	11	17	22	27.068	314.344
	10%	12.25	18.25	23.25	30.570	341.759
	15%	10	16	21	32.928	312.391
	20%	09	15	20	51.608	448.694
Moyenne		10.56	16.56	21.56	35.544	354.297
TIPAZA	5%	11	17	22	20.268	276.368
	10%	07	13	18	22.951	322.983
	15%	07	13	18	24.721	349.350
	20%	09	15	20	29.294	315.211
Moyenne		08.05	14.05	19.05	24.309	315.978
BLIDA	5%	12	18	23	18.500	262.423
	10%	12	18	23	19.907	290.594
	15%	11	17	22	20.302	294.616
	20%	12	17	22	21.731	242.096
Moyenne		11.75	17.05	22.05	20.110	272.432
Témoin		9.05	15.06	20	13.9	204.173

Les résultats consignés dans le (tableau30), montrent la durée moyenne de cuisson, de nos pâtes issus des coupages de la poudre de pulpe de caroube des 3 régions avec la semoule de blé dur. Les temps minimums moyens de cuisson varient entre 8 minutes à12 minutes. Les pâtes issues de Sétif et Blida mettent un peu plus de temps pour cuire à (10 min, 05 secondes .et 11 min05 seconds), celle de Tipaza a un temps minimum moyen de 08 min05 seconds.

L'incorporation de pulpe de caroube induit à une variation dans les temps de cuisson, en effet, on constate une augmentation du durer de temps minimum de cuissons par apport à celle au témoin avec un temps minimal respectif aux normes (09 min 05 seconds),

Il existe probablement une corrélation proportionnelle entre la teneur en protéines et le temps minimum de cuisson. En effet plus la teneur en protéines est élevée plus le temps que

met l'eau pour traverser la trame protéique pour gélatiniser l'amidon est longue (Lornez et al., 1997).

III.2.2. Les pertes à la cuisson

Celles-ci constituent un paramètre important dont il faut tenir compte car il détermine la tenue des pâtes. Grâce à ce test, on détermine les pertes de substances dans l'eau de cuisson qui, idéalement, doit rester aussi limpide que possible. D'après Abecassis, (1991), les pertes à la cuisson renseignent sur le degré de désintégration des pâtes à la cuisson qu'Okandza (2000) explique par une dénaturation des protéines (rupture des liaisons disulfures, hydrogènes, hydrophobes et ioniques sous l'action de la température) qui précède la gélatinisation de l'amidon et qui se traduit par un relâchement du réseau protéique laissant diffuser l'amylose solubilisé. Ce qui induit une diminution indéniable de la qualité culinaire (pâtes collantes).

D'après nos résultats (tableau 30), la perte matière en eau de cuisson semble augmenter progressivement avec le taux d'incorporation de chaque région (Blida, Tipaza, Sétif).

De ce fait, les pâtes à base de pulpe de caroube de Blida ont une perte moyenne à la cuisson plus faible par rapport aux deux autres régions et donc une meilleure emprise sur la cuisson. Cela peut s'expliquer par le fait que la teneur en protéines et en gluten des pâtes fabriquées à partir de ce mélange forme un réseau insoluble capable d'enfermer d'autres Constituants, dans son réseau, notamment les réseaux protéiques étant lâches, l'amylose solubilisée tend à diffuser hors de grain d'amidon gélatinisé et passe dans l'eau de cuisson ce qu'explique une perte importante Pour la région de Sétif.

III.2.3. La capacité de fixation d'eau

Le gonflement est l'absorption d'eau pendant la cuisson. Ce paramètre influe directement sur le poids des pâtes cuites et donc sur le rendement.

D'après nos résultats (tableau30), nous constatons que les moyennes de la capacité d'hydratation de nos pâtes oscillent entre 272,432 % et 354,297%. On remarque que les pâtes ayant un temps de cuisson élevé (les pâtes issues de l'incorporation de poudre de pulpe de Blida) présentent des capacités de rétention plus faible présente ainsi une qualité acceptable.

Selon Duskwieziez et al (1988), plus la trame protéique qui contrôle la vitesse de gélatinisation et le degré de gonflement des granules d'amidon est importante, plus la capacité de fixation d'eau diminue.

III.2.4. Etat de surface et fermeté des pâtes après cuisson

Etat de surface ou de désintégration des pâtes cuites recouvre la notion de l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (notions délitescence), alors que la fermeté signifie (Résistance des pâtes cuites à l'écrasement, lorsqu'elles sont placées sur la première phalange de l'index avec l'extrémité du pouce), qu'elles sont appréciées au temps T+11.

Tableau 31: Notes attribuées pour l'appréciation visuelle des pâtes issus d'incorporation des poudres des pulpes de caroube des 3 régions

Paramètres		Au temps normal de cuisson(T+1)		A la succussion (T+11)		Couleur
		Etat de surface (Délitescence)	Texture des pâtes (fermeté)	Etat de surface (Délitescence)	Texture des pâtes (fermeté)	
Régions	%					
SETIF	5%	6	7	6	4	Beige
	10%	6	6	5	3	Marron clair
	15%	5	5	3	5	Marron
	20%	2	2	1	1	Marron
Tipaza	5%	7	6	6	4	Beige
	10%	6	5	6	3	Marron Foncé
	15%	6	5	4	4	Marron Foncé
	20%	5	4	4	3	Marron foncé
BLIDA	5%	7	6	5	4	Beige
	10%	4	5	1	2	Marron
	15%	7	5	3	3	Marron
	20%	5	5	2	3	Marron
Témoin		8	7	7	5	Jaune

D'après ces caractéristiques (tableau 31) Il ressort clairement que le degré de délitescence et la fermeté des pâtes incorporées à la poudre de pulpe de caroube, changeant au cours de cuisson,

Cela est caractérisé par une diminution de la délitescence et diminution de la fermeté avec l'accroissement de taux d'incorporation par la poudre de caroube pour chaque région. Par ailleurs la pâte témoin issue de blé dur a le caractère le plus ferme et le plus lisse. La qualité des pâtes satisfaisants a été marquée avec le taux d'incorporation de 5% pour chaque région.

De nombreuses études ont mis en évidence une forte corrélation entre la teneur en protéines et la qualité culinaire des pâtes. Une forte teneur en protéines donne au produit un caractère plus ferme. De là, on peut dire que d'après les résultats de taux des protéines des 3 pulpes issues précédemment, Il s'avère que la pulpe de caroube est pauvre en protéines, ce qui explique la diminution de la fermeté au fur et à mesure qu'on augmente le taux d'incorporation

III.2.5. L'indice de coloration

Les indices de colorations représentés par l'indice de jaune (b) et l'indice de brun (100- L) (L en étant la clarté), constituent un facteur déterminant de la qualité organoleptique et sont dues à la fois, de pigments caroténoïdes et aux réactions de brunissement, leurs interactions confèrent la couleur caractéristique des pâtes alimentaires.

À travers l'évaluation grâce à un appareil appelé MINOLTA, on a pu déduire l'indice de coloration de nos différentes pâtes issues de l'incorporation de la pulpe de caroube des 3 régions (Blida, Tipaza, Sétif) illustré dans le tableau 32 ci-dessous :

Tableau 32: Résultats d'indice de coloration des différentes pâtes issue de l'incorporation par l'appareil MINOLTA.

Région	%	Moyenne de la clarté(L)	Moyenne d'indice de jaune (b)	Moyenne d'indice de rouge (a)	Indice de brune(100-L)
Sétif	5%	66.45	+18.77	+3.02	33.54
	10%	68.12	+16.88	+4.22	36.87
	15%	59.83	+15.47	+4.48	40.16
	20%	63.68	+14.89	+4.10	36.39
Tipaza	5%	49.273	+14.45	+3.74	50.72
	10%	60.79	+16.31	+5.93	39.20
	15%	61.46	+13.61	+5.64	38.53
	20%	58.58	+16.00	+6.37	41.41
Blida	5%	58.32	+17.87	+3.22	41.67
	10%	55.52	+16.18	+3.58	44.47
	15%	50.45	+16.19	+5.79	49.54
	20%	53.26	+15.82	+7.21	46.73
Témoin	/	80.77	19.56	-1.27	19.23

À partir du résultat obtenu, on a remarqué qu'il y a des variations entre les indices de couleurs des pâtes alimentaires élaborés. Ces variations représentent une diminution progressive des valeurs de l'indice de jaune « b » avec une augmentation progressive de valeur d'indice de brun dû suit à l'ajouter des poudres de pulpe de caroube des 3 régions, contrairement aux valeurs de seuil représenter par les témoins 100% de semoule.

La présence des protéines et les polyphénols oxydases de la poudre de la pulpe de caroube exercent une influence très importante sur les réactions de brunissement enzymatique au cours de cuisson sous l'action de température, ce qui explique une coloration fiancée (beige, marron) et par conséquence l'augmentation de l'indice de brun.

En revanche, le témoin jaune clair sont privilégiées par les consommateurs.



Conclusion

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la qualité nutritionnelle et physico-chimique de la pulpe de caroube de 3 régions différentes (Blida, Sétif, Tipaza) d'une part, et d'autre part valoriser ce produit de terroir dans la pastification en déterminant l'effet de son incorporation sur les propriétés culinaires et organoleptiques des pâtes Alimentaires.

Une caractérisation physico-chimique et biochimique de la pulpe de caroube de trois régions Sétif, Tipaza, Blida à travers des méthodes classiques et des méthodes de séparation par HPLC à haute performance et la GCMS.

Les résultats ont révélé :

- Une faible teneur en protéine estimé à 4,25%, 3,31% et, 3,21% respectivement dans les 3 régions Blida, Tipaza et Sétif.
- La pulpe de la caroube de Sétif contient une quantité plus élevée de matière grasse soit 2%, par rapport à celles de Blida (1%) et Tipaza (0,6%).
- Les valeurs des taux de cendres trouvées dans les régions Tipaza, Blida et Sétif sont de l'ordre de 2,84% ; 3,25% et 3,25% respectivement.
- Une différence dans le rapport des acides gras saturés et insaturés totaux a été signalée. Les chromatogrammes des 3 profils lipidiques démontrent, la présence des AG essentiels mono insaturé dans l'huile des pulpes des échantillons de Blida et Tipaza dont les principaux sont l'acide oléique (w9).

L'acide élaidique (acide Trans -oléique) dans le profil de l'échantillon de Sétif. L'acide palmitique a été identifié dans le profil de l'échantillon de Tipaza uniquement. D'autres composés liposolubles sont détectés, le tocophérol et stigmastérol et l'acide rétinoïque ;

- L'analyse qualitative par d'HPLC des extraits de pulpe de caroube ont révélé la présence de 40, 31, 21 composés des régions respectives, Blida, Tipaza et Sétif. On a pu identifier la présence des composés phénoliques, l'acide gallique, Merycétine, acide benzoïque, Quercitene, acide ascorbique, vanilline, acide tannique, acide coumarique, caféine, catéchine hydrate.
- Les composés phénoliques identifiés dans la région Blida sont au nombre de 5 qui sont acide gallique 15.46%, catéchine hydrate 0.52%, quercitene 1.04%, merycetine 1.63%, acide benzoïque 1.05%, Tipaza 4(acide gallique 19.56%, merycetine 5.68%,

catéchine hydrate 0.51%, vanilline 0.54%.) et Sétif 3(acide benzoïque 2.04%, quercitene 0.81%, merycetine 3.74%.


➤ Les différentes vitamines dosées (A, D, E) par l'HPLC sont présentes en proportions variables dans le profil des 3 pulpes. Les échantillons ont des teneurs satisfaisantes en vitamine E par rapport aux autres vitamines identifiées avec la plus importante proportion notée dans la pulpe de l'échantillon de Sétif.

La comparaison de la composition chimique et biochimique des trois poudres de pulpe étudiés, indique que la pulpe de Blida a une teneur plus élevée en protéines et en cendres et composés phénoliques, par contre celle de Tipaza est plus riche en acides gras insaturés et celle de Sétif contient 12 composés d'acides gras ainsi que le stigmastérol et une proportion plus importante en vitamine E. Ces différences peuvent être dues à l'influence des conditions agro-climatiques, de l'origine et des conditions de récolte.

Les résultats des tests technologiques effectués sur les pâtes alimentaires ont montré que l'incorporation de la poudre de pulpe de caroube, influe sur les temps de cuisson, les pertes à la cuisson, l'état de surface, le gonflement et la couleur (indice de brun et indice de jaune). La qualité des pâtes satisfaisante a été marquée avec le taux d'incorporation de 5% de poudre de caroube pour chaque région.

En perspectives, et pour compléter cette étude, d'autres analyses nutritionnelles et biochimiques peuvent être effectuées à savoir le dosage des sucres, des fibres, et le dosage de chaque polyphénol présent dans les échantillons. Aussi, on suggère d'analyser les graines et de faire l'extraction des gommes présentes dans les différents échantillons de caroube puis de les comparer.

Des essais d'incorporation de la farine de caroube en chocolaterie et biscuiterie, peuvent être réalisés. La poudre de caroube peut être aussi utilisée dans d'autres domaine tel que le domaine cosmétique.



Références bibliographiques

A

Albanell E., (1990)., Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España., Tesis doctoral.

Albanell E., Caja G. and Plaixats J. (1991), Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles, *Options Méditerranéennes* N°16, pp. 135- 136. Barcelona., España, pp. 209.

Abecassis, J., (1991). La mouture de blé dur. In godon B. *Biotransformation des produits céréaliers*. APRIA /INRA. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 221p.

Abecassis J., Abbou R., Chaurand M., Morel M.H., Vernoux P., (1994). Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature and pressure in the extruder on pasta quality. *Cereal chemists*, vol 71, N03, 247.

Abecassis J., Chaurand M., (1997). Appréciation de la valeur d'utilisation de blé dur en semoulerie et pastification. In: *Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales.*, Ed. Tec., do clavoisier. Paris, p. 765.

Avallone R., Plessi M., Baraldi M. and Monzani A., (1997), Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins, *Journal of food composition and analysis*, Vol.10, pp.166–172.

Ait Chitt M., Belmir H., Lazrak A., 2007. Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. *Transfert de technologie en agriculture. Maroc*. N° 153: 1-4.

Ayaz, F.A., Torun, H., Ayaz, S., Correia, P.J., Alaiz, M., Sanz, C., Gruz, J., Strnad, M., (2007)., Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): Sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *J. Food Qual.* 30, 1040–1055.

AbiAzar R., (2007)., Complexations des protéines laitères par les extraits des gousses verts de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus., *Agroparistech Ecole doctorale abies.*, Thèse de doctorat.

Anonyme 1 : <https://www.lespritcretois.fr/>

Anonyme 2 : <http://genie-alimentaire.com/spip.php ? article315>)

B

Boudreau A. Menard G., (1992). Le blé :éléments fondamentaux et transformation. Ed. Les presses de l'université de Laval. Québec.p.131.

Battle I., Tous J., (1997)., Carob tree. *Ceratoniasiliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research.Gatersleben/International Plant ResourcesInstitute. Rome. Italy.

Benmahioul, B., Kaid-harche, M., Daguin, F, Lecaroubier., (2011). Une espèce méditerranéenne à usage multiples, *Foret méditerranéenne*, t.XXXII, n°1, p 51-58.

Bahry, H ;(2017) ; Valorisation de la mélasse de caroube par une approche bioraffinerie., Ecole Doctorale Science Pour L'ingénieur de Clermont-Ferrand(Libane). Thèse de doctorat.

Bouchonnet S., Libong D.,(2002).Le couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse., Département de chimie,Laboratoire des mécanismes réactionnels, Ecoles polytechnique, Palaiseau CEDEX.

C

Calixto F.S., Canellas J., (1982)., Components of nutritional interest in carob pods *Ceratoniasiliqua*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33, 1319–1323.

Cheftel J.C., (1992)., Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Techniques et documentation, V. I, pp. 105-145.

Cavalli G. F., (2002)., Caractérisation par CPG /IK, CPG/SM et RMN du carbone-13 d'huile essentielle de madagascar., These de doctorat de l'université de corce,

D

Dalbon, G, GrivonD., PaganiM.A., (1996).Pasta: continuous manufacturing process., in: KrugerJ.E., MastuoR.R., Dick J.W. *Pasta and nodel technologie*. StPaul, MN, USA: American Association of cereals chemists. pp.13-58.

Deghmoum, I. (2013), L'effet coupage sur la qualité des produits céréaliers (cas des pâtes long), Université Saad Dahleb Blida 1, Blida, 79p. mémoire fin d'étude en vue l'obtention du diplôme master professionnelle.

Diniss C., (2015). Procédés de structuration des pâtes alimentaires et outils de contrôle de la qualité., INRA., 42p., France.

Dubief, P., (2018)., L'essentiel de la filière, Des chiffres et des céréales ; 37p ; France.

Dallali S., Aloui F., Selmi H., Sebei H., (2018)., Comparaison de la composition chimique des feuilles de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) collectées dans trois sites de Djbel Zaghoun (Tunisie)., journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, CIRS(21). , 3429-3438.

Dilek D.A., Seyma H., (2020)., The effect of soy flour and carob flour addition on the physicochemical, quality, and sensory properties of pasta formulations., Int J Agric Environ Food Sci., 4 (4)., 406-417.

E

Evreïnoff V. A., (1947), Le Caroubier ou *Ceratonia siliqua* L., botanique appliquée et d'agriculture tropicale, bulletin n°299-300, pp. 389-401.

Estrada C., (2006)., Fruticultura de secano. El Algarrobo. In: Labrador. J, Porcuna. J.L & Bello. A (Cords), Manual de agricultura y ganadería ecológica. Eumedia. España, pp. 186-195.

Folch I., Guillen, R., (1981)., La vegetació dels Països Catalans., Ed. Ketres, Barcelona.

F

Fadel F., Fattouch S., Tahrouch S., Lahmar R., Benddou A., Hatimi., (2011)., The phenolic compounds of *Ceratonia siliqua* pulps and seeds., J Mater. Environ. Sci. 2(3)., p.285-292.

Fredot E., (2006). Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique : les produits céréaliers. Ed. Tec, doclavoisier. Paris, p.161.

Fadel F., Chebli B., Tahrouch S., Benddou A., Hatimi A., (2011)., Activité antifongique d'extrait de *Ceratonia siliqua* sur la croissance in vitro de *penicilium digitatum*., bull.soc. pharm. bordeau., 150(1-4)., 19-30.

<http://www.fao.org/docrep/003/Y1797E/y1797e13.htm>.

J

JUAN, T, M;(1984), Cultivo del Algarrobo; Hojas ;16p; Madrid.

Julia Perez., (2021), darwin-nutrition.fr/super-aliments/caroube.

H

Hillcoat D., (1980)., A new species of Ceratonia (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic. Kew bull. 35: 261-271.

Hariri A., N. Ouis, Sahnouni F., D. Bouhadi., (2009), mise en œuvre de la fermentation de Certains ferments lactiques dans des milieux a base des extraits de caroube, rev. microbiol. ind. san et environn. pp. 37-55.

G

GEOFEROY., (1950)., le blé., la farine et le pain. Ed. Dunod-Paris.

Gaouar N., (2011)., Etude de la valeur nutritive de la caroube de différents variétés Algériennes., Laboratoire des produits Naturels de Département des Science d'Agronomie et des Forets., Tlemcen.pp47-70.

K

Kent N.L., EversA.D., (1994). Technology of cereals.Ed. ELservier Science Inc, 4ème edition ,New York,243p.

Kruger J.E., MastuoR.R., DickJ.W., (1996). Pasta and noodele technology.St. Paul, Minnesota: American Association of cereal chemist.

Karel K., JosefJ., Ponte Jr., (2000). Handbook of cereal science and technologie .2ème edition. Marcel Dekker Inc., New York.,655p.

Klenow S., Jahns F., Pool-Zobel B.L., Gleim., (2009)., Does an extract of carob (ceratonia siliqua L.) have chemopreventive related to oxidative stress and drug metabolism in human colon cells., J agric Food Chem., vol 57., n°7., pp.2999-3004.

Kamal M.E., Youssef Moshera M., El-Manfaloty, Hend M. Ali., (2013)., Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua L.*) *Food and Public Health*, 3(6): 304-308.

Kadri M., Ben Hamouda G., Zaeir H ; Hanana M., Hamrouni L., (2014)., Note ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua (L.)*, *lavoisier SAS* ,1-4.

Kabir W., (2016)., Extraction et caractérisation de la fraction lipidique de la caroube » « *ceratonia siliqua*"" et étude des activités biologiques., p.123. Université Saad Dahleb Blida 1., Mémoire de Magister.

L

Lavallée, P., (1962)., Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie. *Alger*, 47p.

M

Mitrakos K., (1981)., Temperature germination responses in three Mediterranean evergreen sclerophylls., in *Components of Productivity of Mediterranean-climate., Regions - Basic and Applied Aspects* (N.S. Margaris and H.A. Mooney, eds.). Dr.W. Junk Publishers, The Hague/Boston/London. Pp. 277-279

Melgarejo P., Salazar D.M., (2003). Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.

Mouloude A., (2013)., Etude la qualité technologique des pâtes courts., mémoire fin d'étude en vue l'obtention du diplôme master II. Université Saad Dahleb Blida 1., Blida.

Mhdad M. Y., Gaouar S. B S.,(2017). Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans le nord-ouest de l'Algérie. Ed. Université européenne., p.90., Allmagne.

P

Petitot M., Brossard C., Barrona C., Larre C., Morel M.H., Micard V., (2009). Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergen city of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 116(2), 401-412.

Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V., (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 43:634-641.

Q

Quezel, P., Santa S., (1962). Nouvelles flores de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I. Paris : Centre National de la Recherche Scientifique. 1170p.

R

Rejeb M. N., 1994., Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans : *Quel avenir pour l'amélioration des plantes.*, Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris., 79-85.

Ritibi K., Selmi S., Grami D., Amri M., Eto B., El-Benna J., Marouki L., (2017)., Chemical constituents and pharmacological of carob pods and leaves (*Ceratonia siliqua* L.) on the gastrointestinal tract., A review. *B. Biomedicine & Pharmacotherapy.*, 93., 522-528.

S

Schweinfurth G., (1894)., Sammlung arabisch-aethiopischer Pflanzen, Eugenicis von Reisen in den Jahren., 1881, 1888-89, 1891-92. *Bull. Herb. Bossier* 2:1-114.

Smith J.S., Huri Y.H., (2004). *Food processing: principals and applications.* Ed. Blackwell Ames, USA, 254p.

Sbay H., (2008) ; *Le caroubier au Maroc, Un arbre d'avenir.* CRF Collection Maroc Nature. pp., 48.

Sébastien, G., Mathilde, S., Michel, P., Aurore, R., (2013) ; Synthèse bibliographique de l'influence du procédé d'extraction et de purification sur les caractéristiques et les propriétés d'une gomme de caroube ; *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* ; 18(1) ; 97-107.

T

Tucker S.C., (1992a). The developmental basis for sexual expression in *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Ceasalpinoideae: Cassieae). *Am. J. Bot.* 79: 367-327.

V

Vavilov N.I.,(1951)., The Origin, Variation, Immunity, and Breeding of Cultivated Plants
[translated from the Russian by K.S. Chester]. The Ronald Press Co., New York.

Y

Yousif A., Alghzawi H., (2000)., Processing and characterization of carob powder. Food Chem., 69, 283.

Z

Zohary M., Orshan G.,(1959). The maquis of *Ceratonia siliqua* in Israel. Palest. J. Bot. Jerusalem 8:385-397.

Zohary M.,(1973). Geobotanical Foundations of the Middle East, 2 vols. Stuttgart.

Zitouni, A., (2010). Monographie et perspectives d'avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua*) en Algerie. Th. Ing. Agro. INA, El-Harrach, 201



Annexes

Annexe 1

Figure 35 : Chromatogramme de standard : Provitamine A(B-carotène) à 2.5 ppm

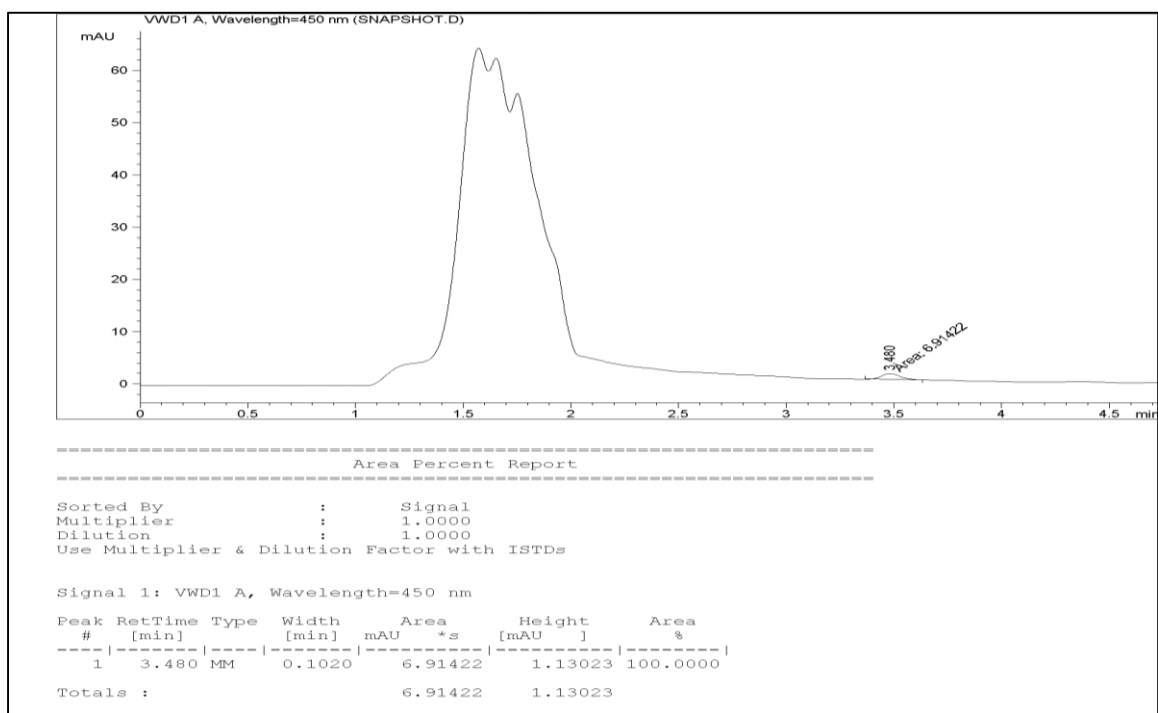


Figure 36:Chromatogramme de provitamine A d'extrait de la pulpe de Blida

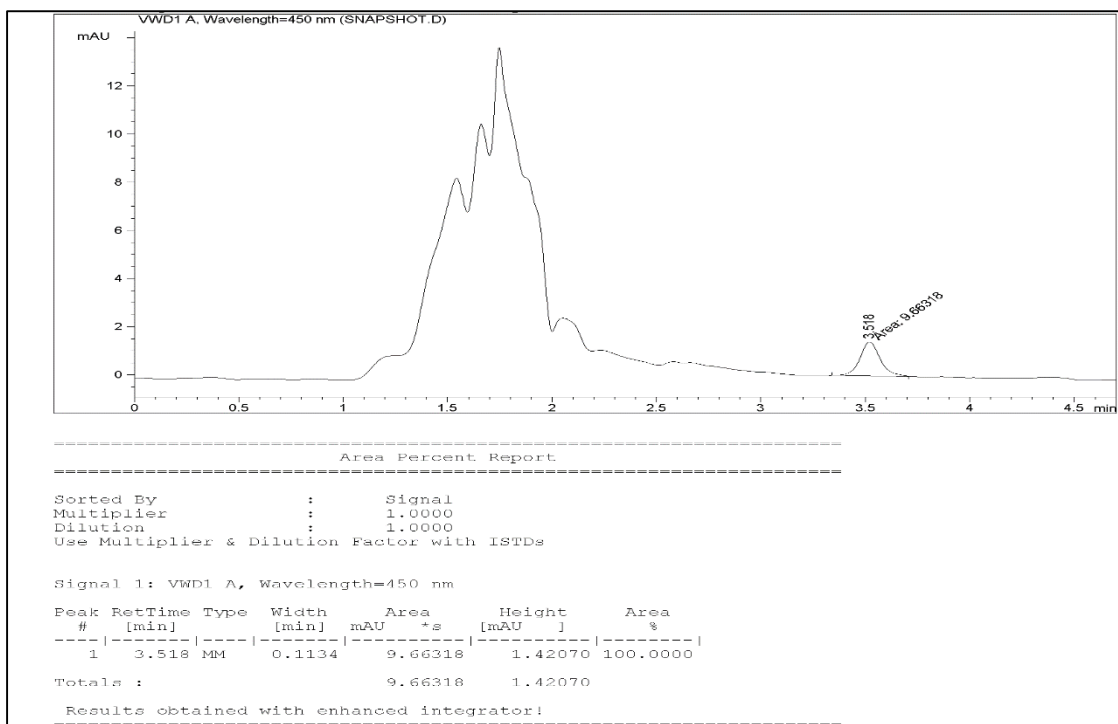


Figure 37:Chromatogramme de provitamine A d'extrait de la pulpe de Sétif

Annexe 1

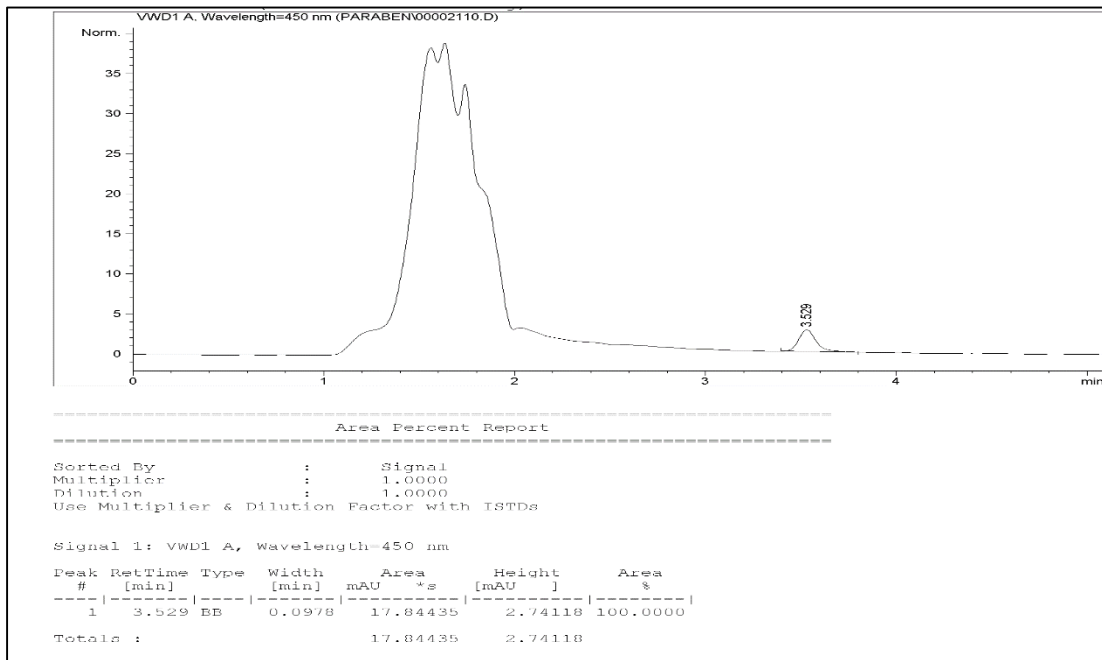


Figure 38: Chromatogramme de provitamine A d'extrait de la pulpe de Tipaza

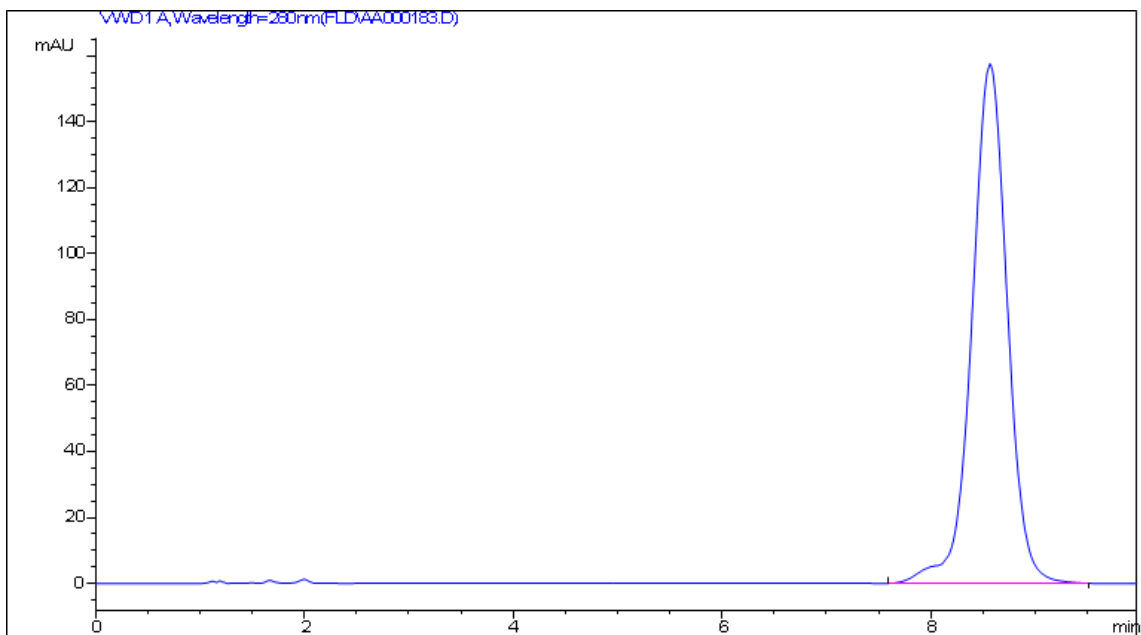


Figure 39: Chromatogramme de standard : Cholécalciférol(D3) à 200ppm

Annexe 1

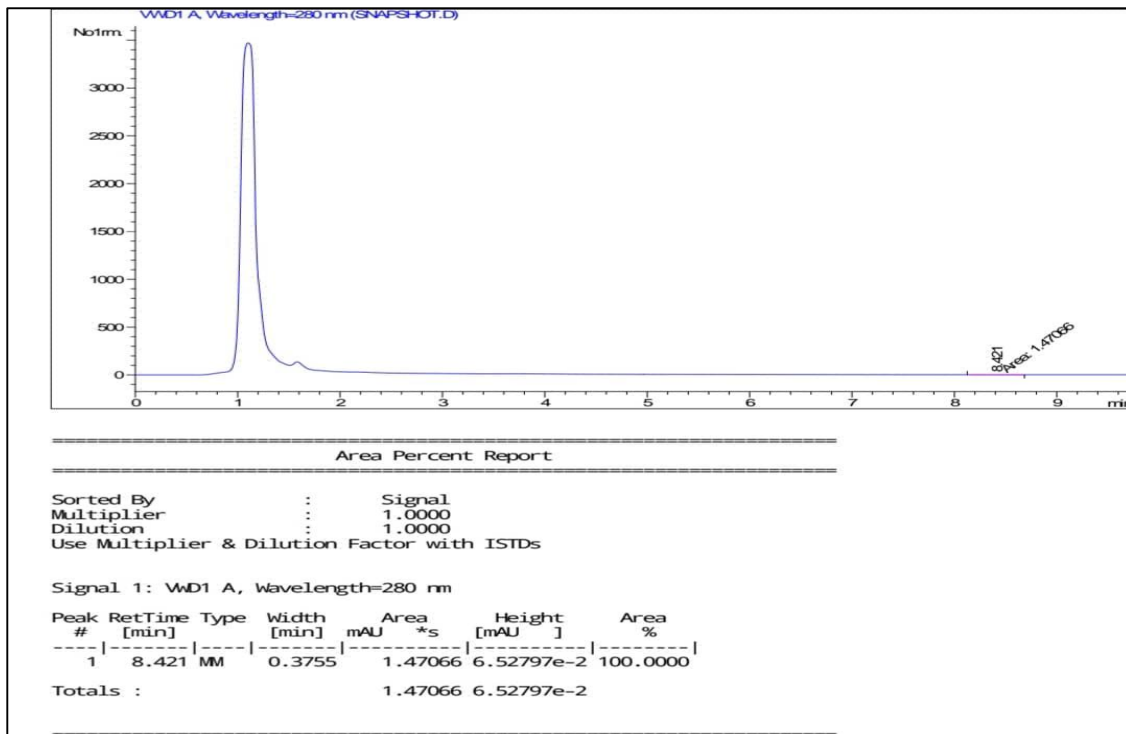
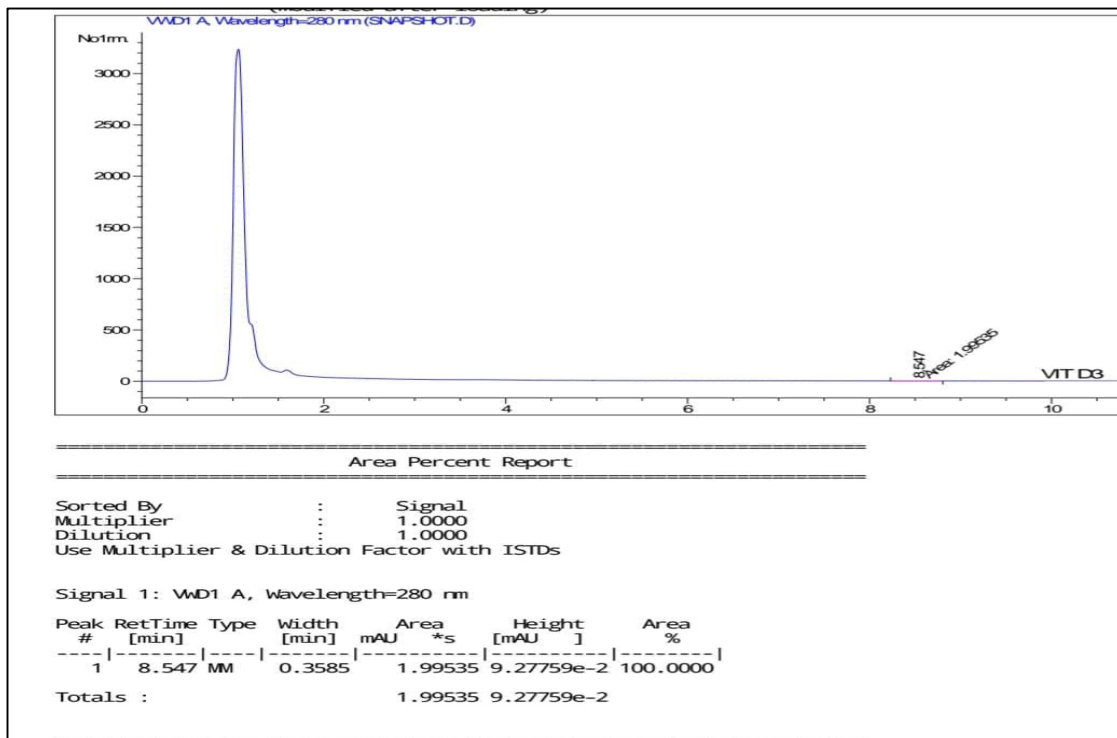


Figure 40: Chromatogramme de vitamine D3 d'extrait de la pulpe de Blida



Annexe 1

Figure 41: Chromatogramme de vitamine D3 d'extrait de la pulpe de Sétif

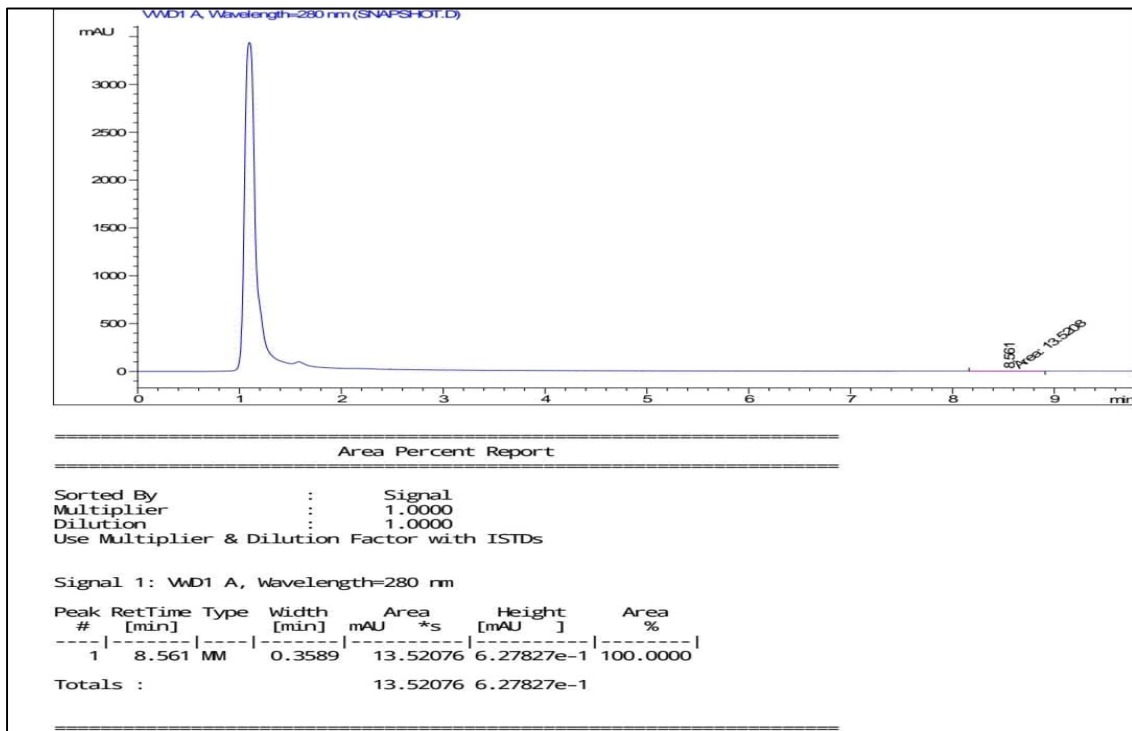


Figure 42: Chromatogramme de vitamine D3 d'extrait de la pulpe de Tipaza

Annexe 1

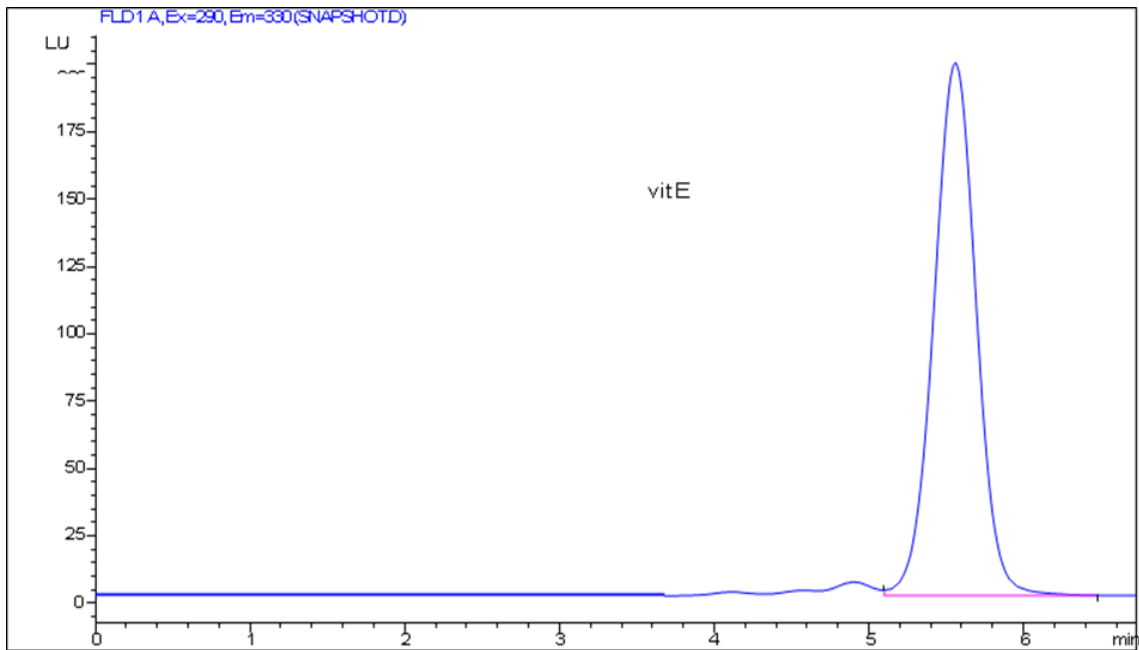


Figure 43: Chromatogramme de standard : vitamine E à 270ppm

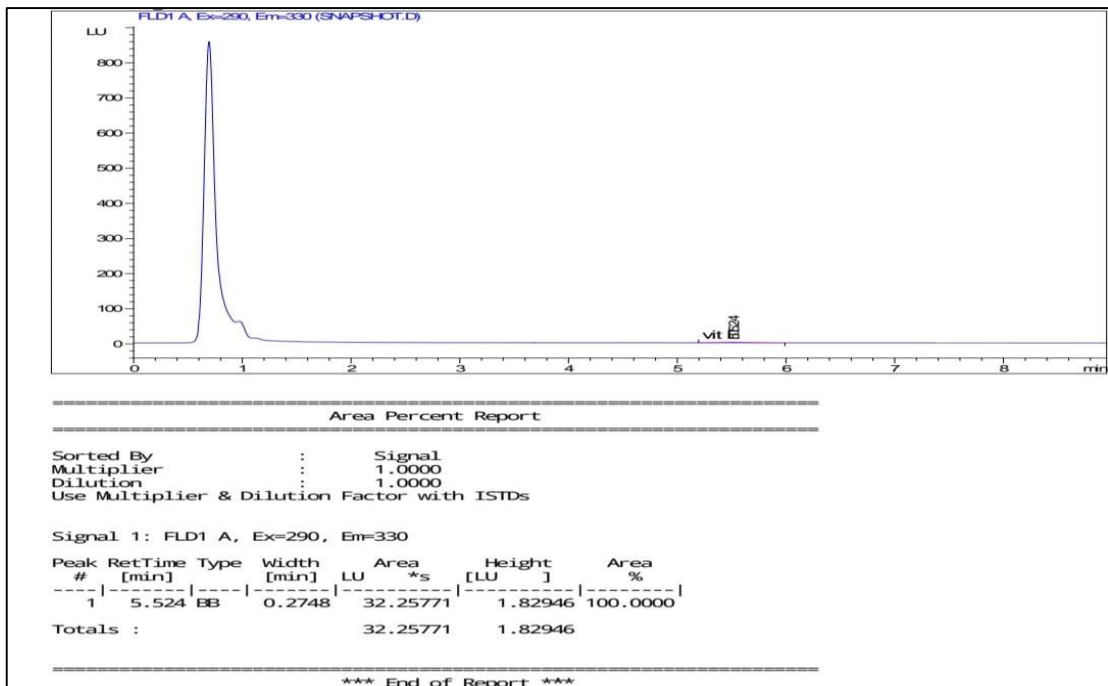


Figure 44: Chromatogramme de vitamine E d'extrait de la pulpe de Blida

Annexe 1

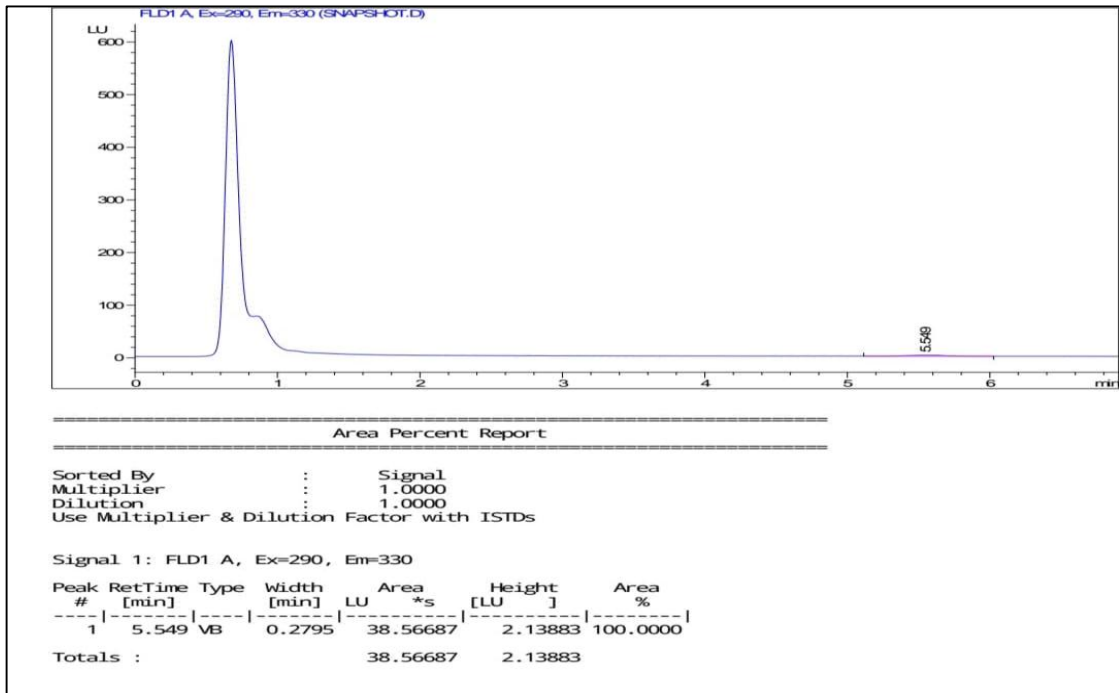


Figure 45: Chromatogramme de vitamine E d'extrait de pulpe de Sétif

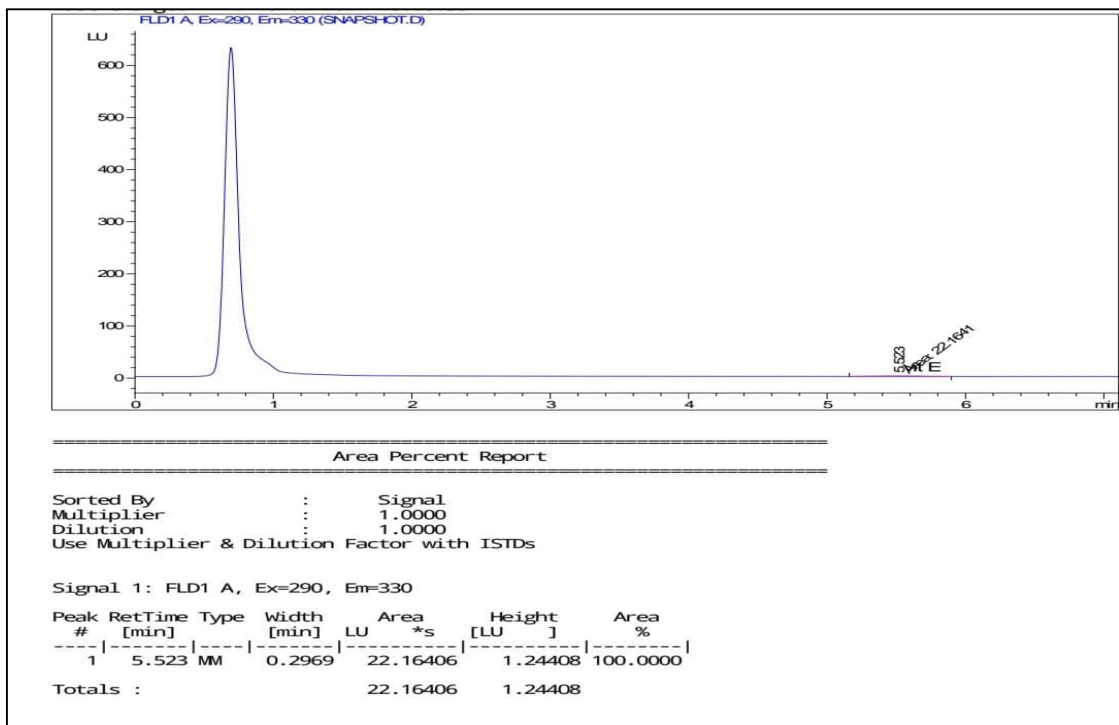


Figure 46: Chromatogramme de vitamine E d'extrait de la pulpe de Tipaza

Annexe 2

❖ Les polyphénols

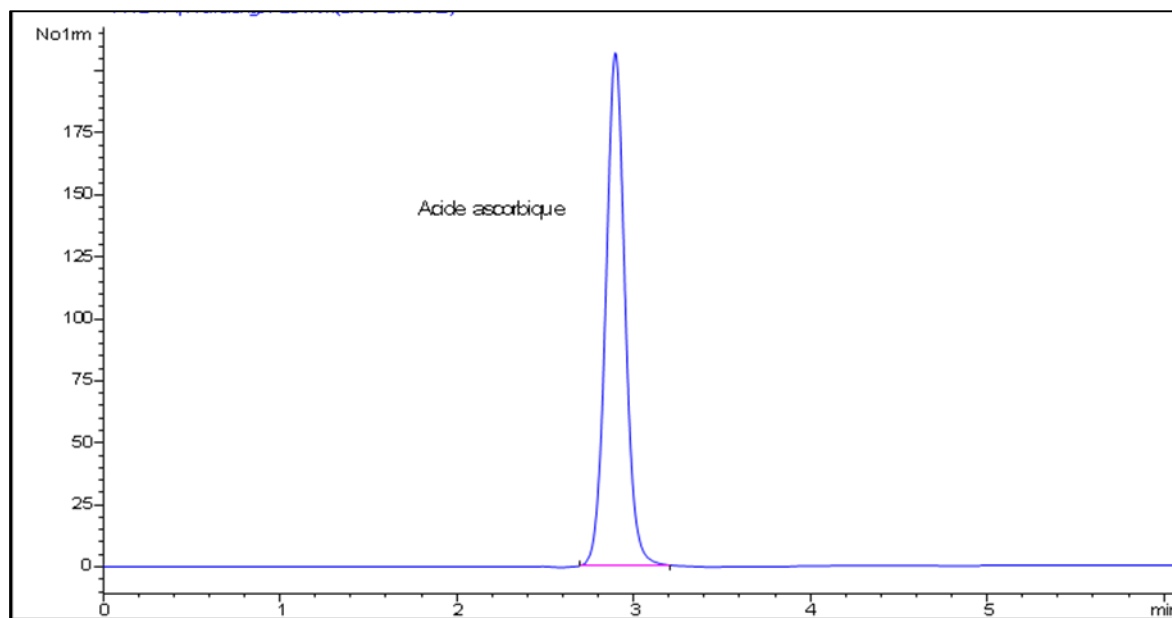


Figure 47:Chromatogramme de standard : acide ascorbique

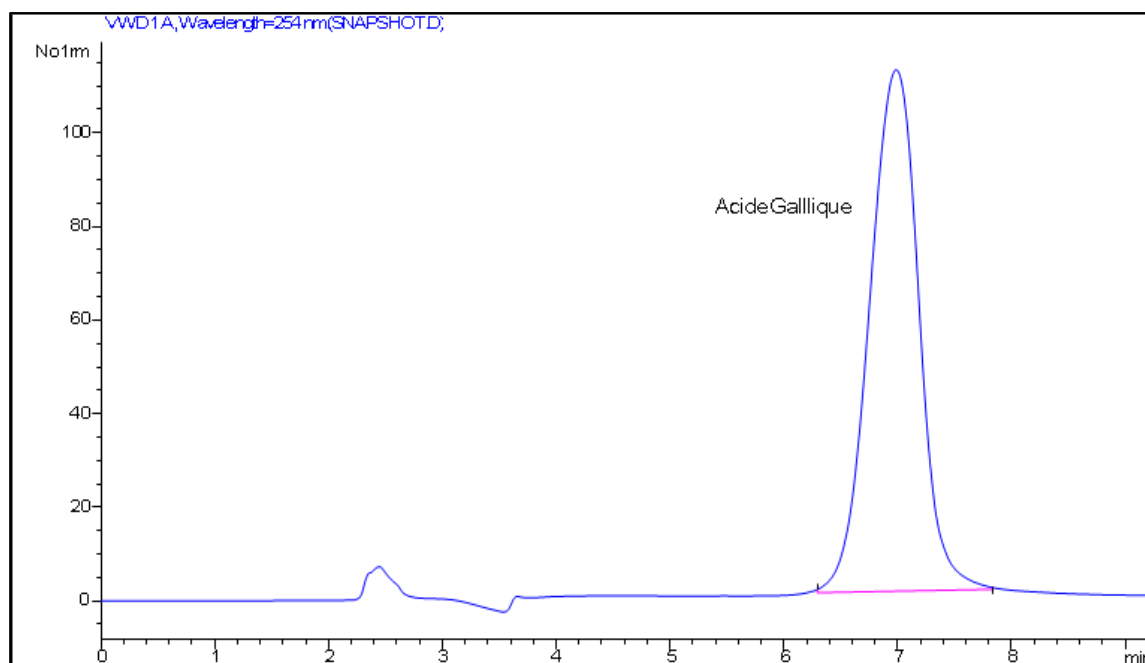


Figure 48:Chromatogramme de standard : acide gallique

Annexe 2

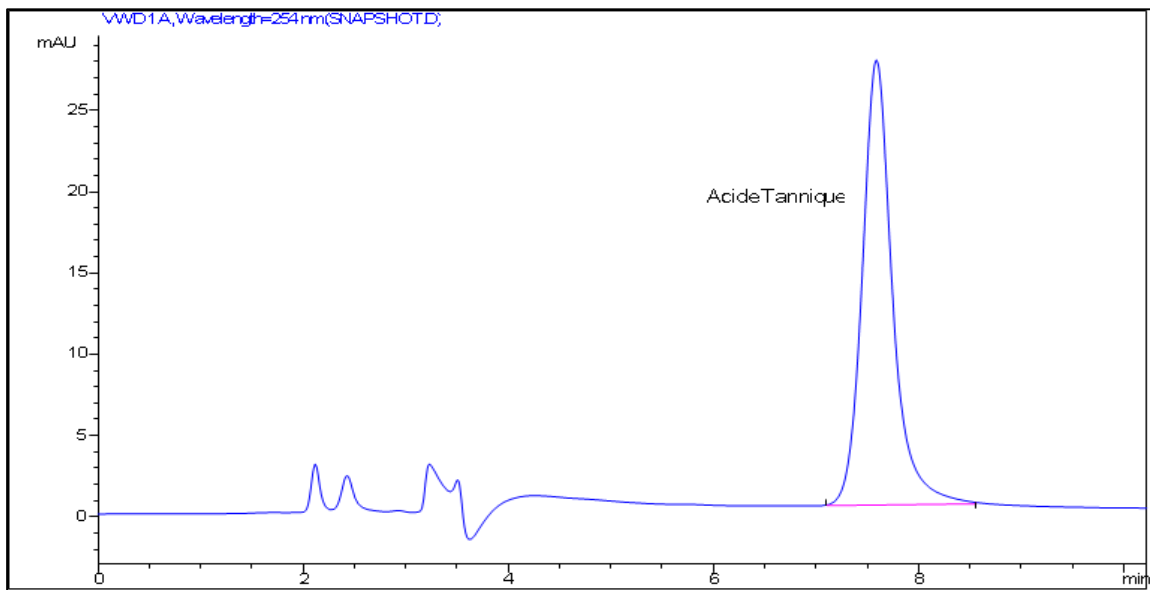


Figure 49:Chromatogramme de standard : acide tannique

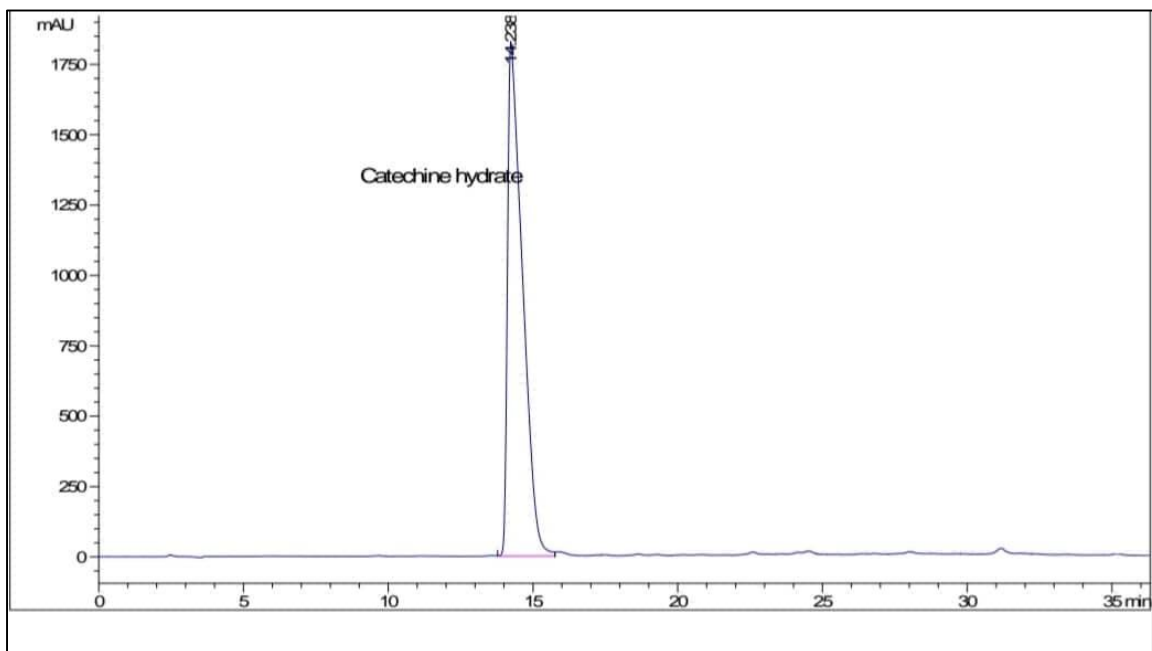


Figure 50:Chromatogramme de standard : Catechine hydrate

Annexe 2

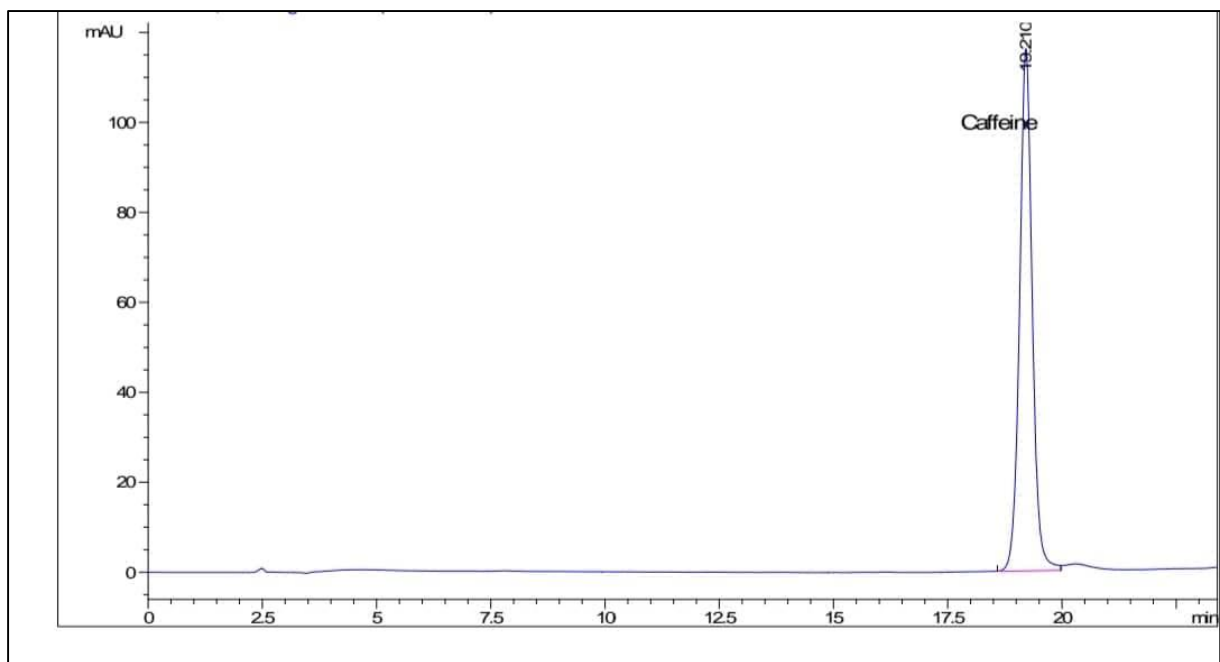


Figure 51:Chromatogramme de standard : Caféine

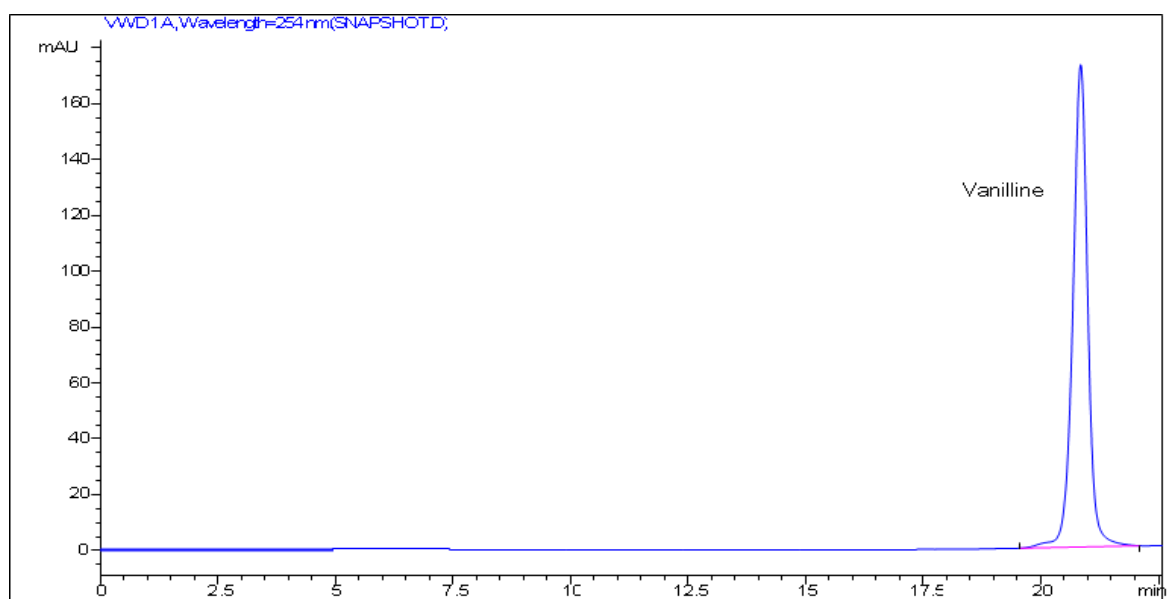


Figure 52:Chromatogramme de standard : Vanilline

Annexe 2

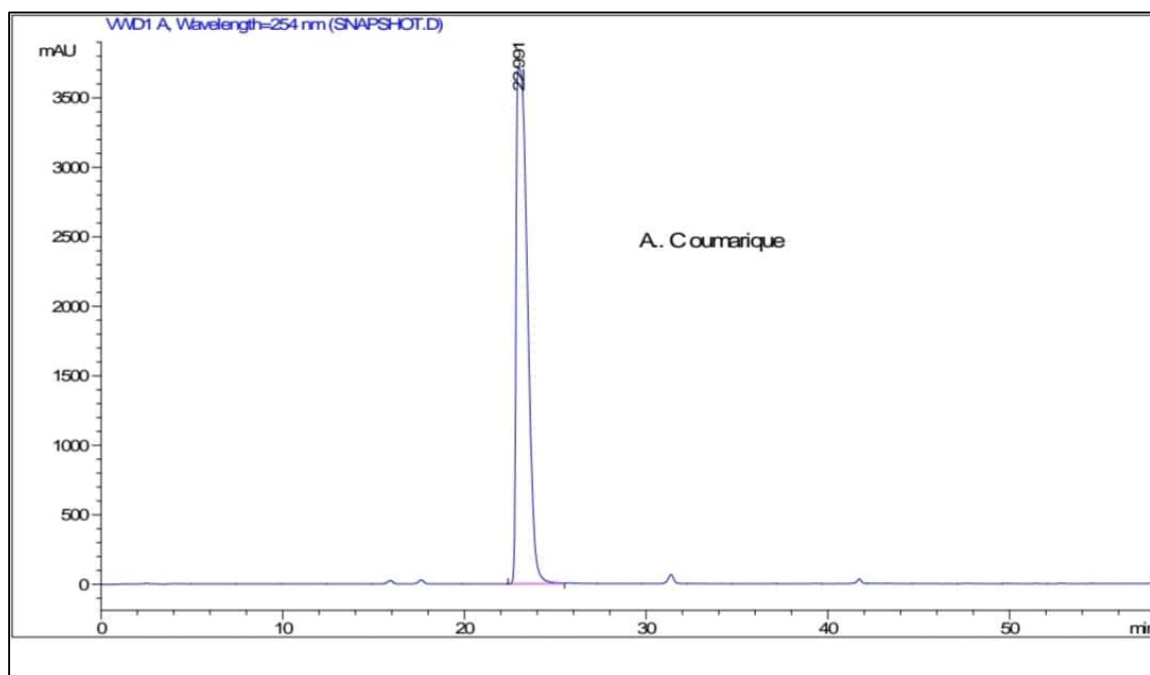


Figure 53:Chromatogramme de standard : acide A coumarique

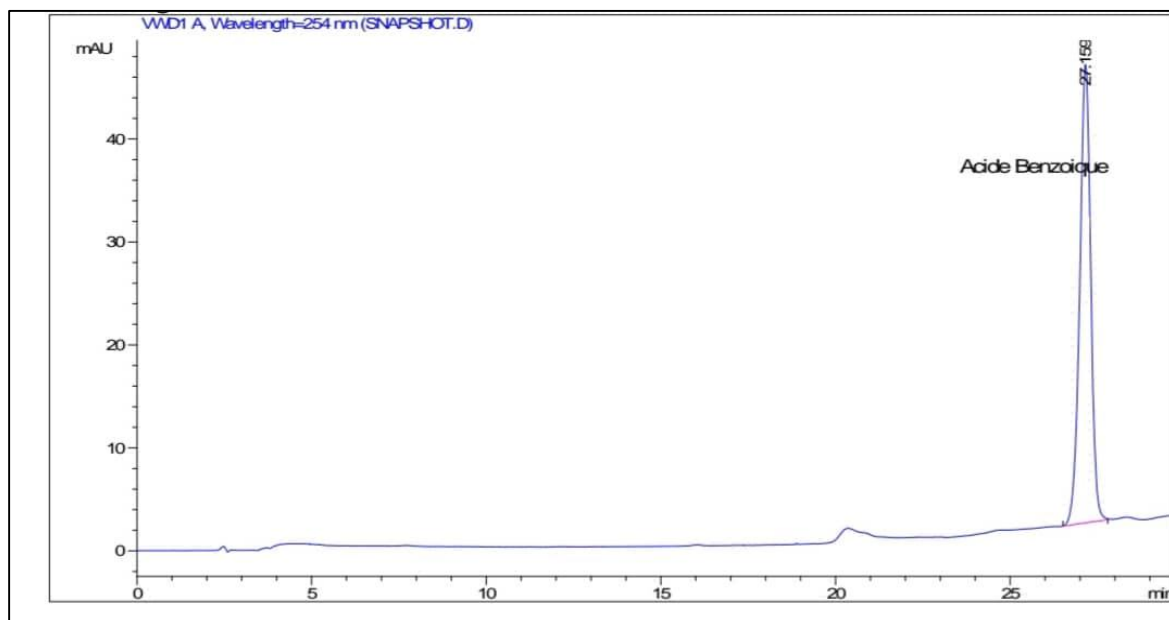


Figure 54:Chromatogramme de standard : acide benzoïque

Annexe 2

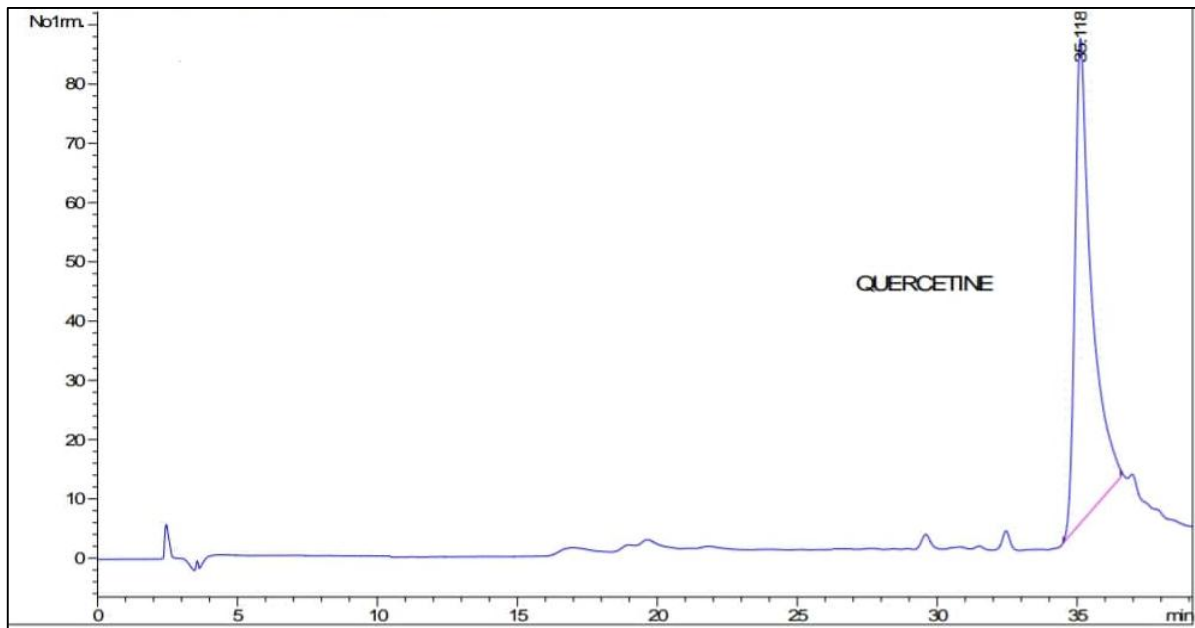


Figure 55:Chromatogramme de standard : acide quercetique

Annexe 2

Profil des échantillonnés :

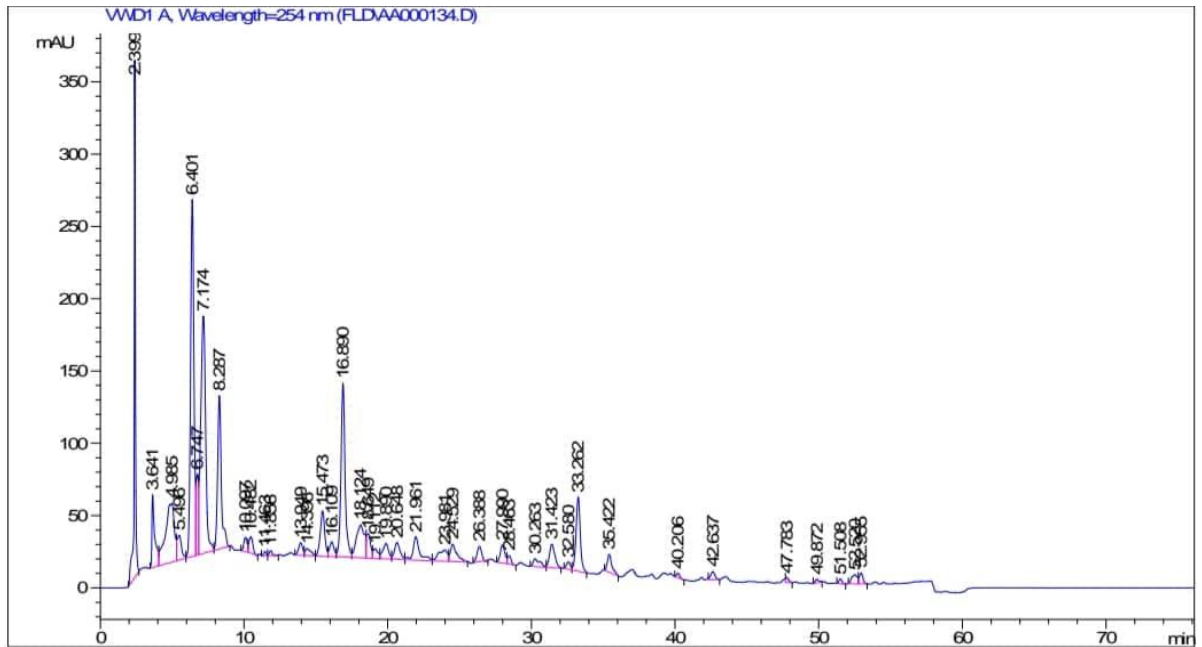


Figure 56: Profil chromatographique des composés phénoliques d'extrait de la pulpe de Blida

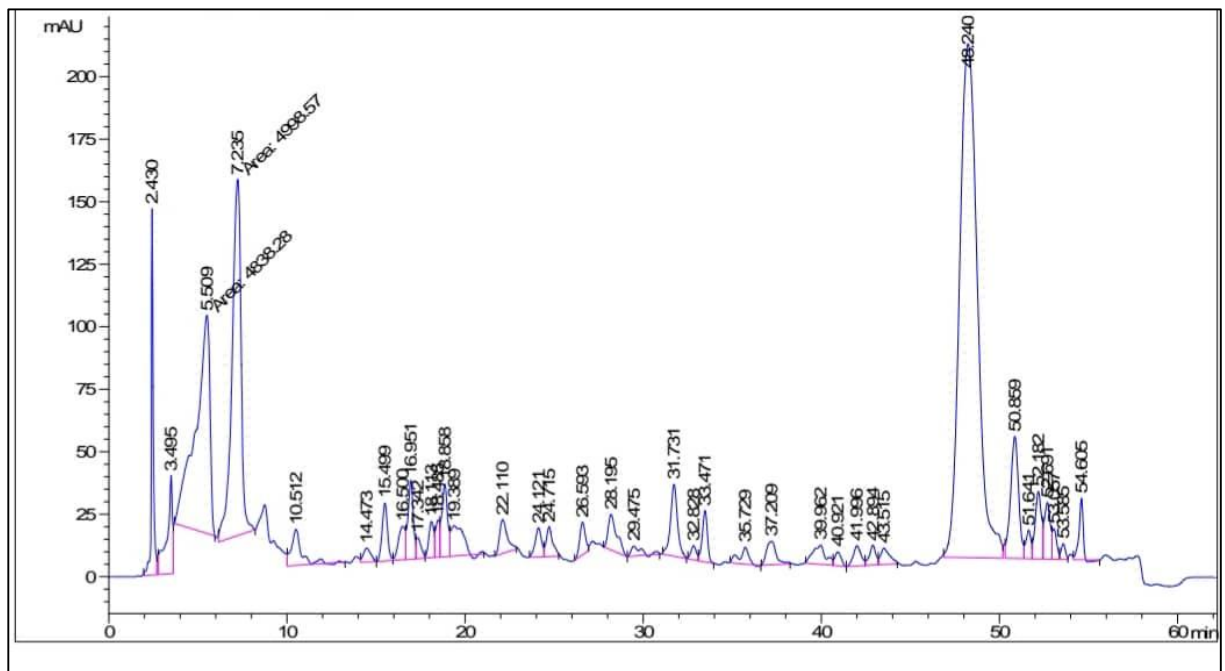


Figure 57: Profil chromatographique des composées phénoliques d'extrait de la pulpe de Sétif

Annexe 2

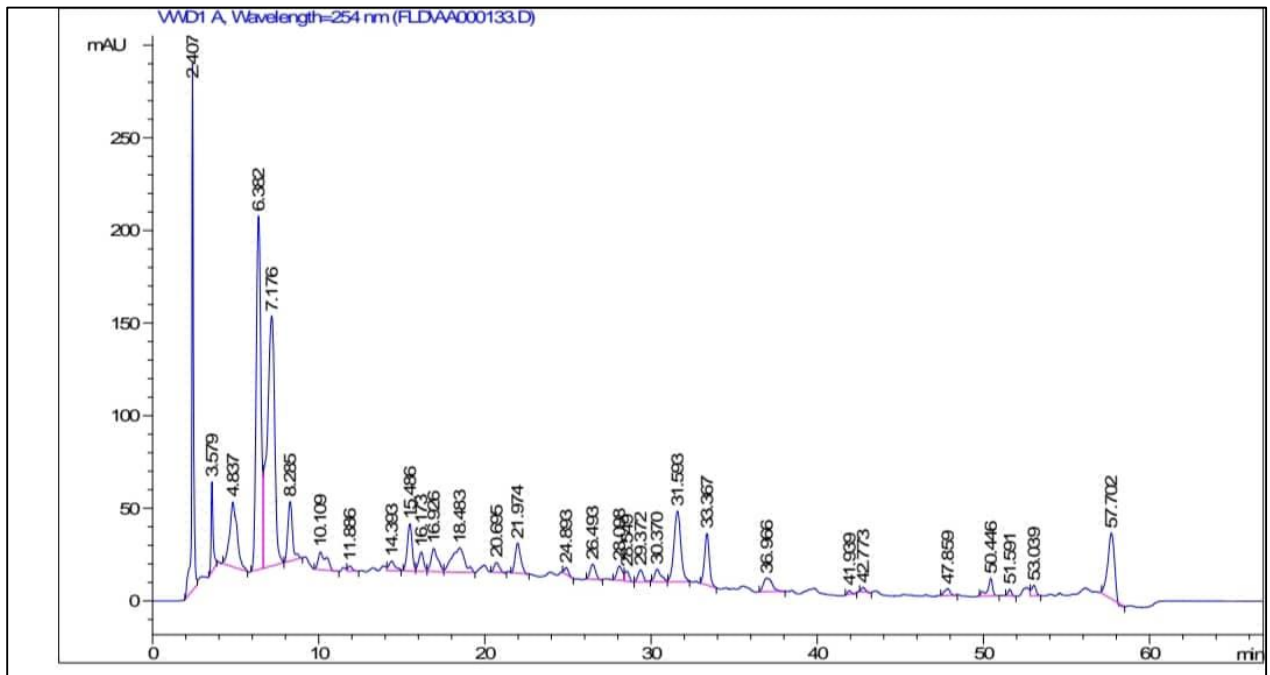


Figure 58: Profil chromatographique des composés phénoliques d'extrait de la pulpe de Tipaza

Annexe 3

Les profils des échantillons par GCMS

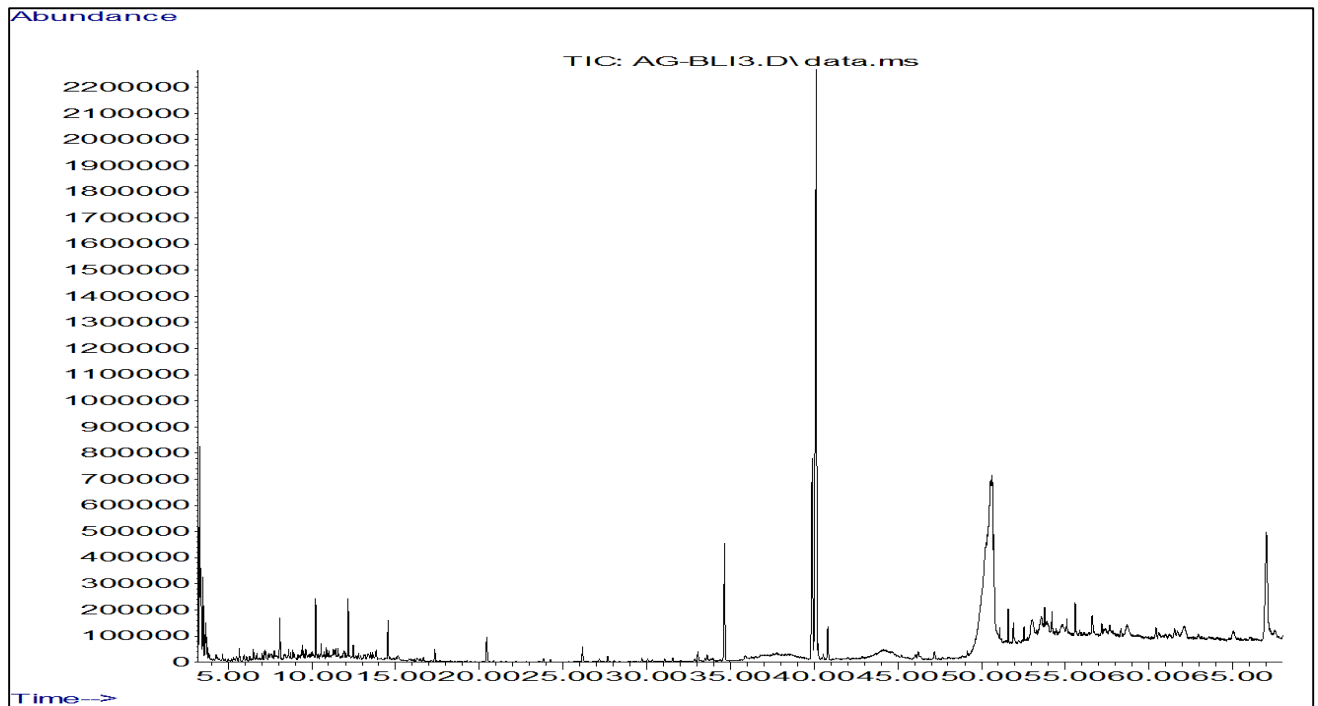


Figure 59: Chromatogramme d'huile de la pulpe de Blida

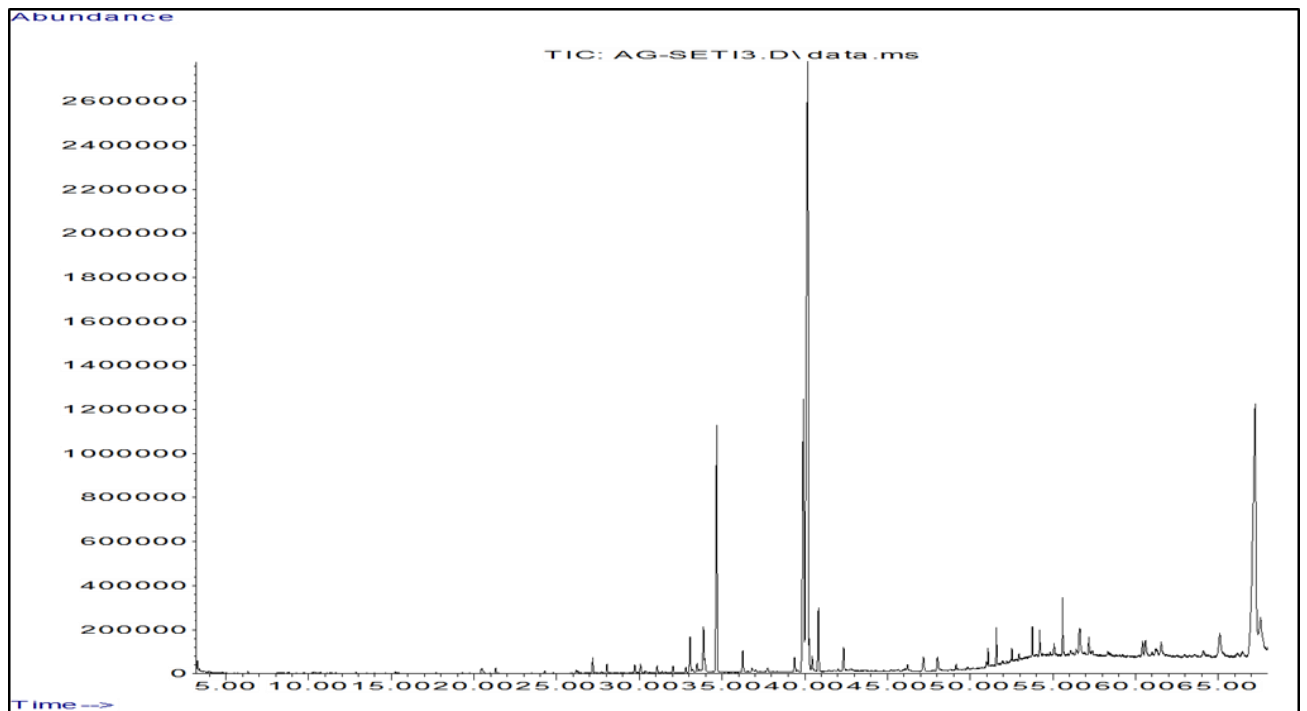


Figure 60: Chromatogramme d'huile de la pulpe de Sétif

Annexe 3

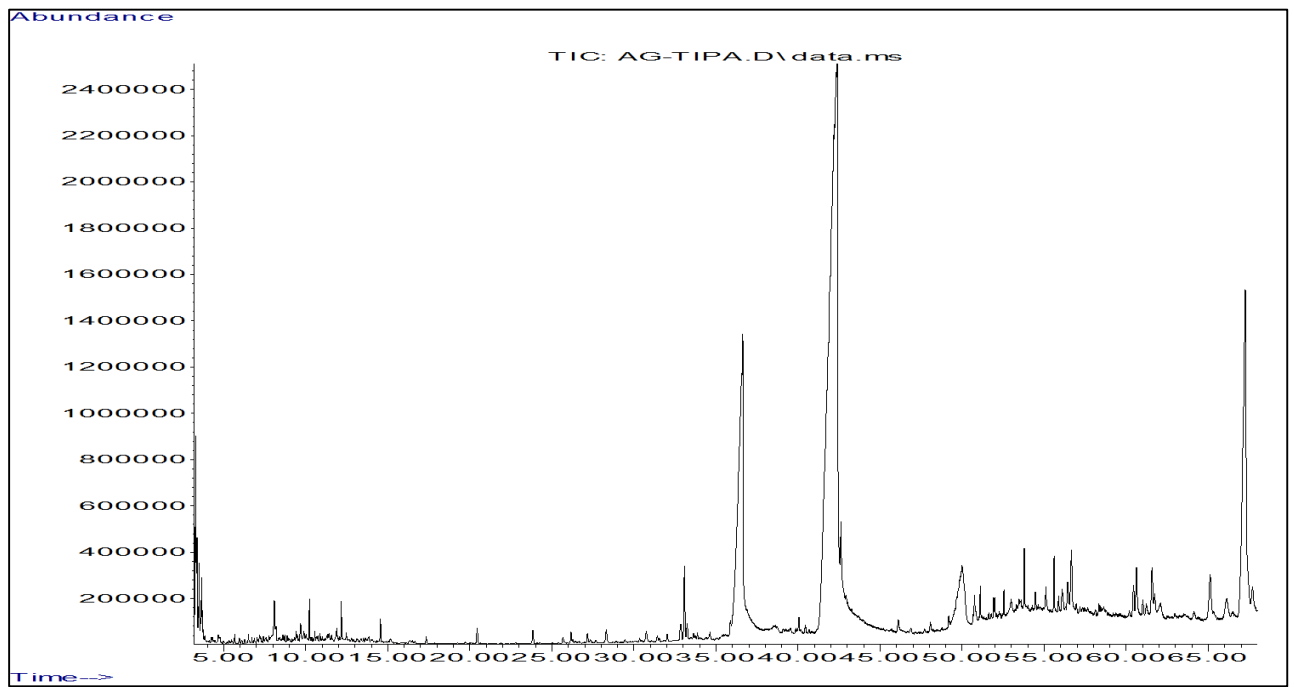


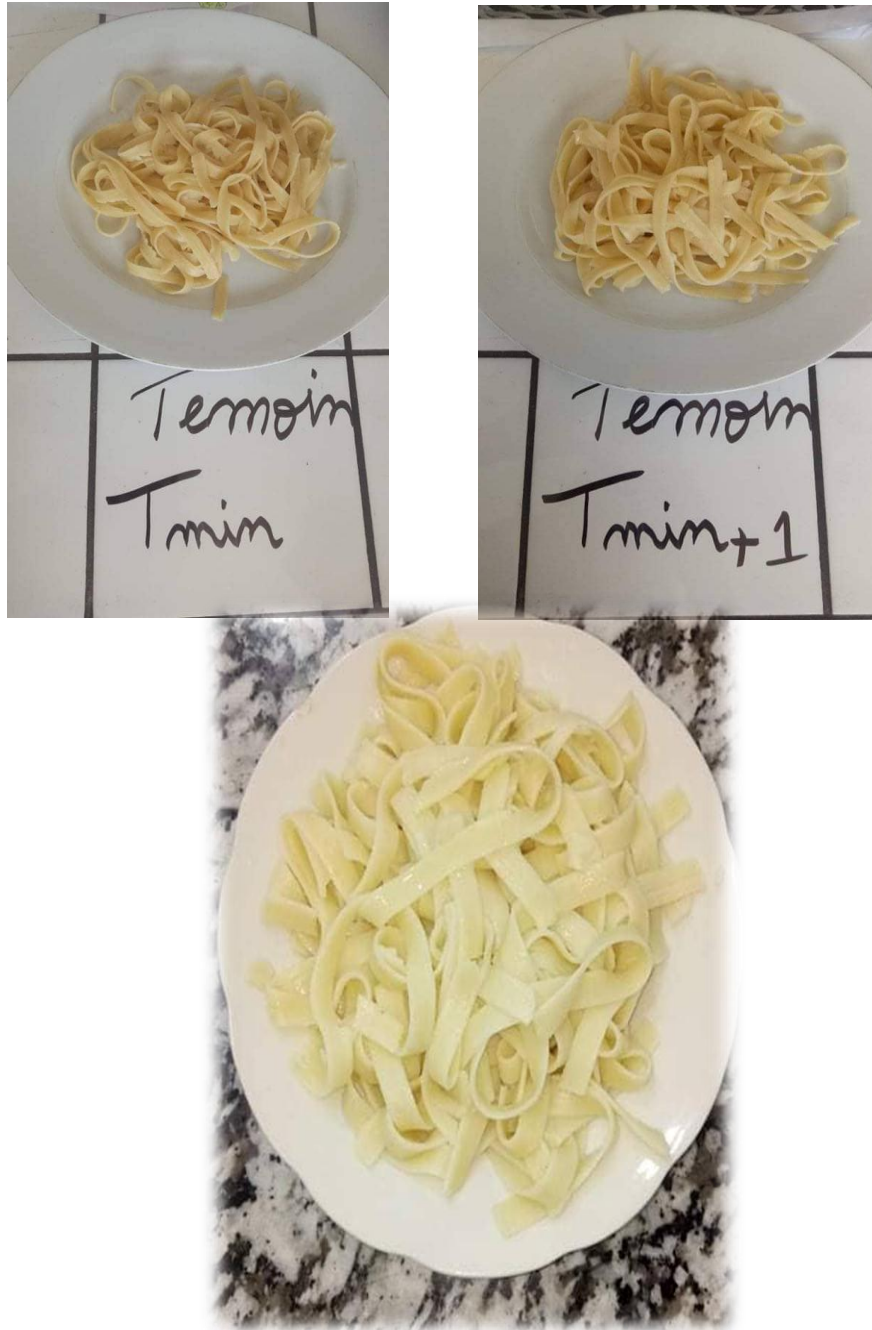
Figure 61:Chromatogramme d'huile de la pulpe de Tipaza

Annexe 3



Figure 62: (A) : HPLC, (B) : GCMS, (C) : injecteur

Annexe 4



Témoin

Tmin+11

Figure 63: Pates cuits de témoin (Tmin, Tmin+1, Tmin+11)

Annexe 4

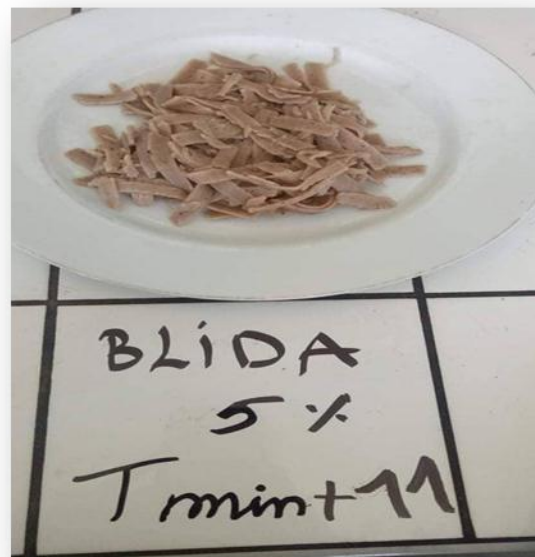
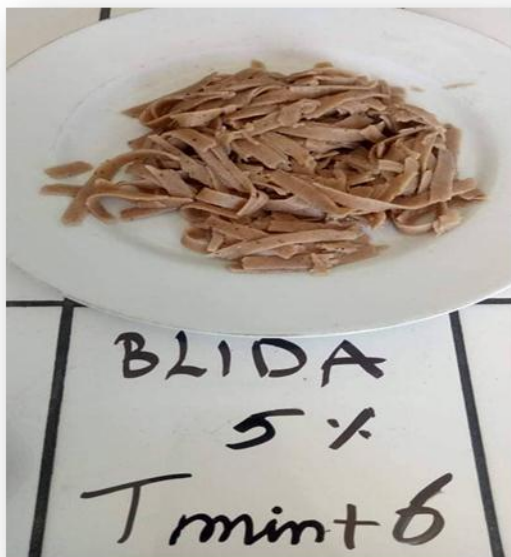


Figure 64: Pates cuites (semoule avec 5% de Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).

Annexe 4

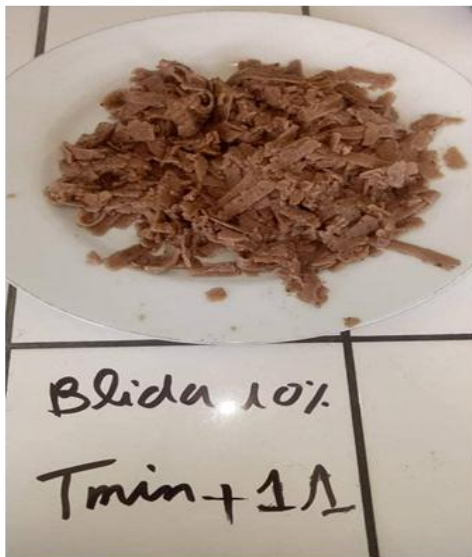
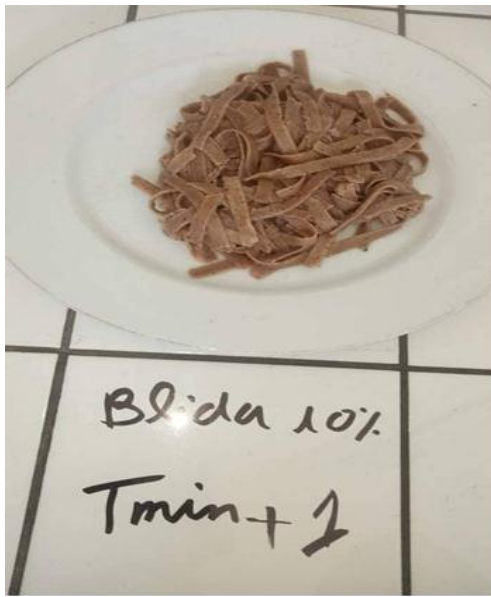


Figure 65: Pates cuites (semoule avec 10% de Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11).

Annexe 4



Figure 66 : Pates cuites (semoule+ 15% Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4



Figure 67 : Pates cuites (semoule+ 20% Pc de Blida) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4



Figure 68 : Pates cuites (semoule+ 5% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4



Figure 69 : Pates cuites (semoule+ 10% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4



Figure 70: Pâtes cuites (semoule+1 5% Pc de Sétif) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4

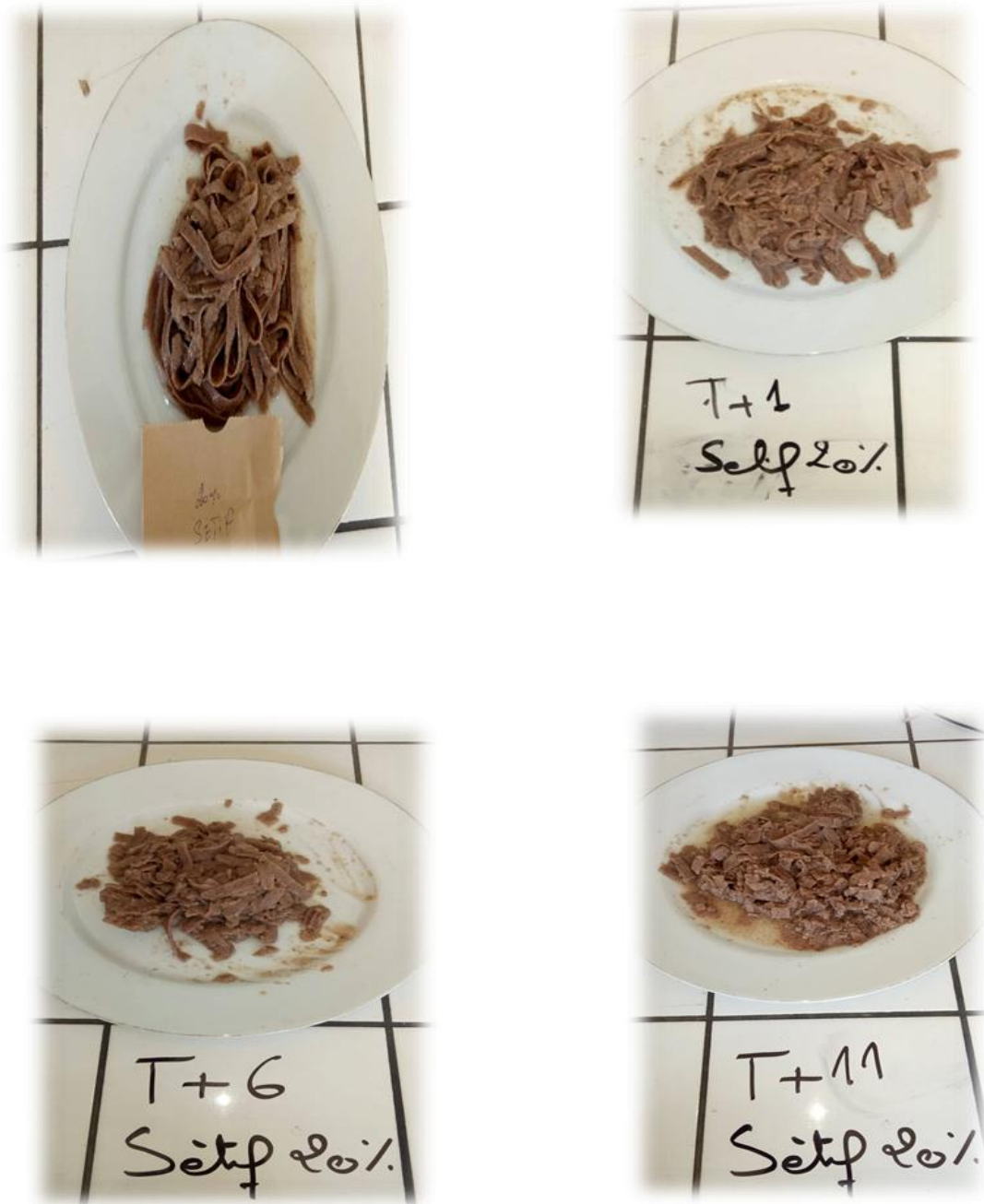


Figure 71: Pâtes cuites (semoule+ 20% Pc de Sétif) (T_{min}, T_{min}+1, T_{min}+6, T_{min}+11)

Annexe 4



Figure 72:Pates cuites (semoule+ 5% Pc de Tipaza) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4



Figure 73: Pates cuites (semoule+ 10% Pc de Tipaza) (Tmin, Tmin+1, Tmin+6, Tmin+11)

Annexe 4

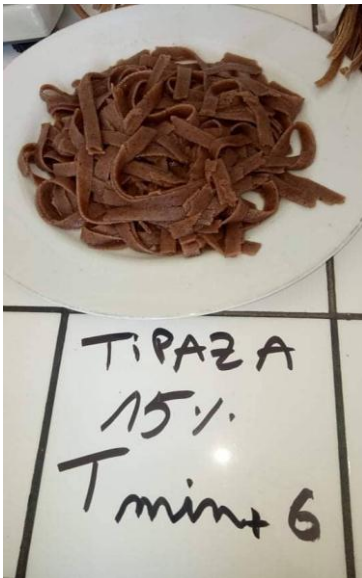


Figure 74: Pâtes cuites (semoule+ 15% Pc de Tipaza) (T_{min}, T_{min+1}, T_{min+6}, T_{min+11})

Annexe 4



Figure 75:Pates cuites (semoule+ 20% Pc de Tipaza) (T_{min}, T_{min}+1, T_{min}+6, T_{min}+11)

Annexe 5

✓ Appareillage

- Balance analytique.
- Matras Kjeldahl de 500ml.
- Fiole jaugée de 100 ml.
- Minéralisateur de Kjeldahl.
- Appareil de distillation de type Gerhardt Vapodest.
- Agitateur magnétique.
- Burette graduée.
- Bicher.
- Spatule.
- Pince.
- Pissette d'eau distillée.
- Centrifugeuse à vitesse de rotation fixée avec précision (vitesse = 6000trs/min).
- Plaque chauffante
- Broyeur.
- Etuve.
- Dessiccateur

✓ Les réactifs

- Acide sulfurique H₂SO₄ concentré de 95-97%, d=1.84 à 20c° et M=98g /mol.
- Acide sulfurique 0,1N.
- Acide Borique H₃BO₄ à 4%, solution, à préparer comme suit : Dissoudre 4 g dans 100ml d'eau.
- Hydroxyde de sodium NaOH à 35% (m /v), d=1.33 à 20%, à préparer de la manière suivante : dissoudre 500 g de soude dans un litre d'eau distillée.

Annexe 5

✓ Catalyseur de consistance solide

- Sulfate de cuivre en poudre CuSO_4 (couleur bleu) : **10 g**.
- Sulfate de potassium K_2SO_4 : **100g**.