

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département Génie des Procédés



Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle

Spécialité : Génie des procédés
Option : Génie chimique

Thème :

**Contribution à l'étude du séchage des aliments :
Optimisation des conditions du processus
et maîtrise de la qualité du produit**

Présentée par RAHMANI YUCEF

Soutenue publiquement : le 25/ 04 / 2024

Devant le jury composé de :

Jury	Nom et prénom	Grade	Etablissement
Président de jury	MENNOUCHE DJAMAL	Professeur	Université de Ouargla
Rapporteur	KHAMA REDA	MCA	Université de batna2
Examineur	GHIABA ZINEB	Professeur	Université de ouargla
Examineur	ACHI FETHI	Professeur	Université de ouargla
Examineur	LATI MOKHTAR	MCA	Université de ouargla
Examineur	BAISSISSE SALIMA	MCA	Université de batna1

2023/2024

Dédicaces

A mes chers parents, Grâce à vos sacrifices et votre soutien indéfectible durant toutes ces années, j'ai pu avancer sur le chemin des études pour arriver au bout de ce doctorat. Que ce travail soit le témoignage de ma plus profonde gratitude.

A mes frères et sœurs, Votre enthousiasme à toute épreuve et vos encouragements répétés m'ont permis de persévérer dans les moments de doutes. Un grand merci pour avoir cru en moi.

A ma tendre épouse, Ton amour et ta patience durant ce long parcours ont été le phare me guidant vers l'achèvement de cette thèse. Ta présence à mes côtés fut mon plus grand réconfort.

A mes enfants Meriem, Lina et Mohamed, Vos sourires et votre joie de vivre ont égayé mes journées et m'ont donné l'énergie d'avancer. Que ce travail vous inspire à poursuivre vos rêves.

À la mémoire de mon frère Karim, qui nous a quittés à jamais le 10 juillet 2024. Que Dieu l'accueille dans Son vaste paradis

A tous mes amis, Un immense merci à vous qui avez su m'épauler, me conseiller et me changer les idées quand il le fallait. Votre bonne humeur et sympathie m'ont porté tout au long de ce doctorat.

A vous tous, je dédie cette thèse

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été mené au sein de prestigieuses institutions que je tiens à remercier chaleureusement : le Laboratoire de Génie des Procédés (LGP) de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla, le Centre de Recherche et d'Analyses Physicochimiques (PTAPC-Ouargla) et le Laboratoire de Valorisation des Énergies Renouvelables de la même université.

J'adresse ma profonde gratitude à Monsieur Réda Khama, Docteur habilité en Génie Chimique et Maître de Conférences classe A, à l'université de Batna 2, pour avoir encadré cette thèse avec une grande disponibilité et beaucoup de bienveillance tout au long de sa réalisation. Ses précieux conseils scientifiques et son soutien indéfectible m'ont été indispensables. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Mes remerciements s'adressent également au Professeur Segni Ladjel, Directeur du Laboratoire de Génie des Procédés, ainsi qu'au Professeur Becheki Djamel, Doyen de la Faculté de Mathématiques de l'Université de Ouargla, pour avoir mis à disposition les équipements nécessaires à ce travail.

Je remercie également le Professeur Mohamed Ider, Directeur du Laboratoire Phoenix, les professeurs des Laboratoires de Bio-Ressources et de Géologie Saharienne, ainsi que les ingénieurs qui m'ont aidé à réaliser les analyses indispensables à ce travail.

J'exprime ma gratitude aux membres du jury, le Professeur MENOUCHE DJAMEL, Président, le Professeur GHIABA ZINEB, Examinatrice, le Professeur ACHI FETHI, Examineur, le Docteur LATI MOKHTAR, Examineur, et le Docteur BAISSISSE SALIMA, Examinatrice, qui me font l'honneur d'évaluer cette thèse. Enfin, ma reconnaissance va à l'ensemble des enseignants du Département de Génie des Procédés ainsi qu'aux responsables du Comité Scientifique et du CFD pour leur accompagnement bienveillant.

Résumé

Bien que le séchage soit une méthode de conservation des aliments d'origine végétale et animale largement utilisée, de nombreuses questions subsistent concernant l'impact des conditions de prétraitement et de séchage sur la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits finis. Cette thèse vise à optimiser ces conditions dans le cas du séchage de raisins et de viande de dromadaire, utilisés comme exemples, par différentes techniques (séchage solaire indirect, séchage au soleil, séchage aux micro-ondes à 180 et 270 Watts et séchage statique à 45 et 65°C). Le prétraitement utilisé pour la viande cameline est une saumure à 19% de chlorure de sodium à une température froide de 4°C, ainsi que le temps de trempage des tranches de viande variée entre 30 et 90 minutes ; les tranches de viande ont une épaisseur de 4 mm et 8 mm. Le prétraitement des raisins avant séchage est un trempage dans une solution composée de 2% d'huile d'olive, 2% de carbonate de calcium et 98% d'eau ; la température de la solution est fixée à 60 et 80°C.

Les résultats des expériences réalisées montrent une réduction globale de temps de séchage des tranches de viande de 13.19% pour le séchage au soleil. On observe une augmentation du pH des tranches en fonction du temps de trempage, de 6.13 à 6.25, ainsi qu'une augmentation du taux de salinité de 2.90 à 3.94%. Le taux de rétrécissement varie de 46.12 à 51.12%. Les résultats du séchage aux micro-ondes montrent une diminution du temps de séchage en fonction de la puissance, ainsi qu'une réduction de la teneur en lipides, de 3.72% pour la viande fraîche, à 3.13% à 180 Watts et 0.90% à 270 Watts. Une meilleure rétention du taux de protéines des tranches de viande est enregistrée dans le séchage à l'étuve à 65°C, avec 55.48%.

Concernant le séchage des raisins par techniques de séchage au soleil direct et de séchage solaire indirect, on relève une diminution du temps de séchage inversement proportionnel au temps de prétraitement, ainsi qu'une augmentation du taux de réhydratation d'environ 50% par rapport aux échantillons non traités pour le séchage au soleil. La rétention de la teneur en polyphénol des raisins séchés révèle un taux encourageant de 645 mg EAG/100 g pour l'échantillon traité séché dans un séchoir solaire indirect, et de 201 mg EAG/100 g pour l'échantillon non traité séché au soleil.

Le plan d'expérience Taguchi réalisé permet de d'identifier les modèles mathématiques d'évaluation de teneur en protéine en des conditions de prétraitement et temps de séchage des tranches de viande et des grains de raisin dans les modes de séchage réalisé.

En conclusion, le séchage par technique d'étuvage des tranches de viande s'est révélé être une meilleure méthode de préservation de la qualité nutritionnelle dans ce travail de recherche. Pour les raisins, le séchage au séchoir solaire indirect est la technique la plus préservatrice des nutriments et de la qualité du produit.

Mots clés : Séchage - Qualité - Raisins - Viande cameline - Énergie - Prétraitement - Méthode de séchage - Optimisation - Expérimentation.

ABSTRACT

Although drying is a widely used method for preserving foods of plant and animal origin, many questions remain concerning the impact of pretreatment and drying conditions on the nutritional and organoleptic quality of the finished products. This thesis aims to optimize these conditions in the case of drying grapes and camel meat, used as models, by different techniques (indirect solar drying, sun-drying, microwave drying at 180 and 270 Watts and static drying at 45 and 65°C). The pretreatment used for camel meat is a 19% sodium chloride brine at a cold temperature of 4°C, as well as varying the soaking time of the meat slices between 30 and 90 minutes; the meat slices have a thickness of 4 mm and 8 mm. The pretreatment of grapes before drying is soaking in a solution composed of 2% olive oil, 2% calcium carbonate and 98% water; the temperature of the solution is set at 60 and 80°C.

The results of the experiments carried out show an overall reduction in drying time of the meat slices of 13.19% for sun-drying. An increase in the pH of the slices is observed as a function of soaking time, from 6.13 to 6.25, as well as an increase in the salinity rate from 2.90 to 3.94%. The shrinkage rate varies from 46.12 to 51.12%. The results of microwave drying show a decrease in drying time as a function of power, as well as a reduction in fat content, from 3.72% for fresh meat, to 3.13% at 180 Watts and 0.90% at 270 Watts. Better retention of the protein content of the meat slices is recorded in oven drying at 65°C, with 55.48%.

Concerning the drying of grapes by open sun-drying and indirect solar drying techniques, there is a decrease in drying time inversely proportional to the pretreatment time, as well as an increase in the rehydration rate of about 50% compared to untreated samples for sun drying. The retention of the polyphenol content of dried grapes reveals an encouraging rate of 645 mg GAE/100 g for the treated sample dried in an indirect solar dryer, and 201 mg GAE/100 g for the untreated sun-dried sample.

The Taguchi experimental design carried out allows identifying the mathematical models for evaluating the protein content under pretreatment conditions and drying time of meat slices and grape berries in the drying modes performed.

In conclusion, oven drying of meat slices proved to be a better method of preserving nutritional quality in this research work. For grapes, indirect solar dryer drying is the most preservative technique for nutrients and product quality.

Keywords: Drying - Quality - Grapes - Camelina Meat - Energy - Pretreatment - Drying Method - Optimization - Experimentation.

المخلص:

على الرغم من أن التجفيف هو طريقة شائعة الاستخدام لحفظ الأغذية النباتية والحيوانية المصدر، لا تزال هناك العديد من التساؤلات حول تأثير ظروف المعالجة المسبقة والتجفيف على الجودة الغذائية والحسية للمنتجات النهائية. تهدف هذه الأطروحة إلى تحسين هذه الظروف في حالة تجفيف العنب ولحم الجمال، المستخدمين كنماذج، باستخدام تقنيات مختلفة (تجفيف شمسي غير مباشر وتجفيف تحت الشمس وتجفيف بالميكروويف عند 180 و270 واط وتجفيف ثابت، عند 45 و65 درجة مئوية). المعالجة المسبقة المستخدمة للحم الجمال هي محلول ملح كلوريد الصوديوم بنسبة 19٪ عند درجة حرارة باردة 4 درجات مئوية، فضلاً عن تغيير وقت نقع شرائح اللحم بين 30 و90 دقيقة؛ تبلغ سماكة شرائح اللحم 4 ملم و8 ملم. المعالجة المسبقة للعنب قبل التجفيف هي نقعه في محلول مكون من 2٪ زيت زيتون و2٪ كربونات الكالسيوم و98٪ ماء؛ تم ضبط درجة حرارة المحلول عند 60 و80 درجة مئوية.

تُظهر نتائج التجارب التي أجريت انخفاضًا عامًا في وقت تجفيف شرائح اللحم بنسبة 13.19٪ للتجفيف بالشمس. يُلاحظ زيادة في درجة الحموضة للشرائح تبعًا لوقت النقع، من 6.13 إلى 6.25، فضلاً عن زيادة في معدل الملوحة من 2.90 إلى 3.94٪. يتراوح معدل الانكماش من 46.12 إلى 51.12٪. تُظهر نتائج التجفيف بالميكروويف انخفاضًا في وقت التجفيف تبعًا للقدرة، فضلاً عن انخفاض في محتوى الدهون، من 3.72٪ للحم الطازج، إلى 3.13٪ عند 180 واط و0.90٪ عند 270 واط. يتم تسجيل احتفاظ أفضل بمحتوى البروتين لشرائح اللحم في التجفيف بالفرن عند 65 درجة مئوية، بنسبة 55.48٪.

فيما يتعلق بتجفيف العنب بتقنيات التجفيف بالشمس المباشر والمجفف الشمسي غير المباشر، هناك انخفاض في وقت التجفيف عكسيًا مع وقت المعالجة المسبقة، فضلاً عن زيادة في معدل إعادة الترطيب بنحو 50٪ مقارنة بالعينات غير المعالجة للتجفيف بالشمس. يكشف الاحتفاظ بمحتوى مركبات البوليفينول من العنب المجفف عن معدل مشجع يبلغ 645 ملغ مكافئ حمض الجالك/100 غرام للعينة المعالجة المجففة في مجفف شمسي غير مباشر، و201 ملغ مكافئ حمض الجالك/100 غرام للعينة غير المعالجة المجففة بالشمس.

يسمح تصميم التجارب التاجوشي المنفذ بتحديد النماذج الرياضية لتقييم محتوى البروتين في ظل ظروف المعالجة المسبقة ووقت تجفيف شرائح اللحم وحبات العنب في أنماط التجفيف المنفذة.

في الختام، أثبت تجفيف شرائح اللحم بتقنية الفرن أنه أفضل طريقة للحفاظ على الجودة الغذائية في هذا العمل البحثي. بالنسبة للعنب، يعد التجفيف بالمجفف الشمسي غير المباشر هو التقنية الأكثر حفاظًا على العناصر الغذائية وجودة المنتج.

الكلمات المفتاحية: تجفيف - جودة - عنب - لحم الجمال - طاقة - معالجة مسبقة - طريقة التجفيف - تحسين - تجريب.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
RÉSUMÉ.....	II
ABSTRACT	III
:الملخص	IV
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	1
Introduction Générale.....	1
PARTIE I : ÉTAT DE L'ART	3
Chapitre I. 1 :.....	4
SÉCHAGE DES FRUITS ET LÉGUMES ET DES VIANDES.....	4
I.1.1 Introduction	5
I.1.2 Avantages Et Inconvénients Du Séchage.....	5
I.1.3. Techniques De Séchage	6
I.1.4. Conclusion.....	13
CHAPITRE I.2 :	14
PARAMÈTRES GÉNÉRAUX DE SÉCHAGE.....	14
I.2.1 Introduction	15
I.2.3 Caractéristiques Des Aliments Humides	16
I.2.4. État De L'eau Dans Les Aliments Agroalimentaires	17
I.2.5 Activité De L'eau Dans Les Aliments	18
I.2.6. Isothermes D'adsorption Et De Désorption	19
I.2.7. Différentes Courbes De Séchage.....	20
CHAPITRE I.3 :	23
QUALITÉ PHYSICOCHIMIQUE DES PRODUITS AGROALIMENTAIRES.....	23
I.3. 1. Paramètres De Qualité Des Produits Agroalimentaires Séchés	24
PARTIE II.	28
MATÉRIELS ET MÉTHODES	28
CHAPITRES II. 1 :	29
Matières Premières	29
II. 1 .1 . Viande Cameline.....	30
II.1.2. Raisins.....	33
Protocoles De Prétraitement	37

II.2.1. Protocole De Pretraitement De La Viande Cameline	38
II.2.2. Protocole De Prétraitement Des Raisins	40
CHAPITRE II. 3 :	41
MODES DE SÉCHAGE	41
II.3.1. Séchage Par Microondes.....	42
II.3.2. Séchage Statique.....	42
II.3.3. Séchage Au Soleil (Naturelle)	42
II.3.4. Séchoir Solaire Indirect.....	43
CHAPITRE II.4 :	45
CARACTÉRISATIONS DE LA QUALITÉ DES PRODUITS APRÈS SÉCHAGE.....	45
II.4.1. Teneur En Eau.....	46
II.4.2 : Teneur En Proteines	46
II.4.3 Teneur En Azote Basique Total Volatile (Tbv-N).....	47
II.4.4 Teneur En Cendres.....	47
II.4.5. Dosage Des Polyphénols Totaux	47
II.4.6. Teneur En Lipides (Matière Grasse Totale).....	48
II.4.7. Dosage De L'acidité Titrable.....	48
II.4.8. Mesure De La Couleur.....	49
II.4.9. Capacité De Réhydratation	49
II.4.10. Taux De Rétrécissement	50
II.4.11. Calcul De La Diffusivite Effective	50
II.4.12. Observation Microscopique	51
CHAPITRE II.5 :	53
MÉTHODE DES PLANS D'EXPÉRIENCES.....	53
II.5.1. Interet D'application Des Plans D'expériences	54
II.5.2. Grandeurs Dépendants Et Indépendants Dans Le Plan D'expériences.....	54
II.5.3. Étapes D'application Des Plans D'expériences Pour Une Étude D'un Procédé.....	54
PARTIE III.	59
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	59
III.1 INTRODUCTION	60
III- I – Résultats de Séchage de Viande Cameline	61
III- I – Séchage De Viande Cameline.....	62
III- I- 1 Séchage Au Soleil.....	62
III-1.1.1 : Condition climatique de séchage au soleil :	62
Iii.1.1.3. Évaluation De Qualite Physicochimique Des Tranches De La Viande Cameline Séchée Au Soleil.....	68
Iii- I- 2 Séchage Aux Microondes	73
Iii- I- 2 .A : Séchage Aux Microondes A 180 Watts	73

III- I- 2. B : Séchage Aux Microondes A 270 Watts	81
III- I- 3 Séchage Statique (étuve)	88
III- I- 3-A. Séchage Statique À 45°C	89
III- I- 3-B. Séchage Statique À 65°C.....	93
III- II – Résultats De Séchage De Raisin Regal Seedlless.....	100
III-II. Séchage De Raisin Régal Seedless	101
2. Conditions Environnementales Pendant Le Processus De Séchage	101
5. Cinétique De Séchage.....	105
8. Conclusions	116
III-III Optimisation des conditions du séchage par le plan d'expérience Taguchi	118
A- Optimisation Des Conditions de Séchage Pour La Viande Cameline	119
B- Optimisation Des Conditions De Séchage Pour Les Raisins.....	134
CONCLUSION GÉNÉRALE	146
PERSPECTIVES	148
NOMENCLATURE	149
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	151
ANNEXES	166

LISTE DES FIGURES

Liste des figures	Page
Figure I. 1 Séchage au soleil de la tomate	7
Figure I. 2 Principe du séchoir solaire indirect	8
Figure I. 3 Tunnel de séchage	9
Figure I. 4 Four microonde	10
Figure I. 5 Lyophilisateur de laboratoire	11
Figure I. 6 Schéma représentatif de la technique DIC	12
Figure I. 7. Classification des méthodes de séchage en fonction du coût et de la qualité	13
Figure I. 8 Risque de détérioration des aliments en fonction de activité de l'eau (aw)	18
Figure I. 9 Isotherme de sorption	19
Figure I. 10. Périodes de la cinétique de séchage	21
Figure II. 1. Photo d'un dromadaire élevage naturel	31
Figure II. 2 Évaluation de la production de dromadaire	31
Figure II. 3 Évaluation de l'abatage de dromadaire de l'abattoir de Ouargla	32
Figure II. 4 Teneur en minéraux et oligoélément de la viande cameline	33
Figure II. 5 Teneur en vitamines hydrosolubles de la viande cameline	33
Figure II. 6 Schéma représentatif de la composition d'une baie de raisin	34
Figure II. 7 Production des raisins en Algérie dans période 2011.2020	34
Figure II. 8 Consommation de raisin dans différentes recettes	35
Figure II. 9 Protocole de prétraitement de la viande cameline	39
Figure II. 10 Protocole de prétraitement des raisins avant séchage	40
Figure II. 11 Séchage au soleil de la viande cameline	43
Figure III. 1. Evaluation des conditions climatiques durant le séchage de viande au soleil	63
Figure III. 2. Evaluation de la masse des tranches de viande au séchage au soleil	64
Figure III. 3. Evaluation de la teneur en eau (X) des tranches séchées au soleil	65
Figure III. 4. Evaluation de la surface des tranches de viande séchée au soleil	65
Figure III. 5. Evaluation de volume des tranches de viande séchée au soleil	66
Figure III. 6. Evaluation de (V/V0) en fonction de temps des tranche séchée au soleil	66
Figure III. 7. Evaluation de rapport (V/V0) en fonction de (X/X0)	67
Figure III. 8. Vitesse du seche (-dX/dt) / S durant le séchage au soleil	67
Figure III. 9. Evaluation du (X/X0) des tranche séchée au soleil	68
Figure III. 10. Evaluation de la composition physicochimique des tranches de viande séchée au soleil	69
Figure III. 11. Evaluation de pH des tranches de viande séchée au soleil	69
Figure III. 12. Evaluation de couleur des tranches de viande séchée au soleil	70
Figure III. 13. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches de viande séchées au soleil	70
Figure III. 14. Evaluation de teneur en eau (X) des tranches séchées à 180 Watts	73
Figure III. 15. Evaluation de (X/X0) des tranches de viande séchées à 180 Watts	74
Figure III. 16. Evaluation de volume des tranches séchées à 180 Watts	74
Figure III. 17. Evaluation de surface des tranche séchées 180 Watts	75
Figure III. 18. Evaluation de rapport (S/S0) des tranches séchées à 180 Watts	75
Figure III. 19. Evaluation de (S/S0) en fonction de (X/X0) des tranches séchées à 180 Watts	76

Figure III. 20. Evaluation de vitesse de séchage ($-dX/dt$) / S des tranche à 180 Watts	76
Figure III. 21. Evaluation de qualité des tranches de viande séchées à 180 Watts.....	78
Figure III. 22. Evaluation de pH des tranches de viande séchées à 180 Watts	78
Figure III. 23. Evaluation de la couleur des tranches de viande cameline séchées à 180 Watts	79
Figure III. 24. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches à 180 Watts	79
Figure III. 25. Evaluation de teneur en eau (X) à 270 Watts.....	81
Figure III. 26. Evaluation des surfaces des tranches séchées à 270 Watts.....	82
Figure III. 27. Evaluation de (S/S0) en fonction de temps à 270 Watts.....	82
Figure III. 28. Evaluation de volume des tranches de viandes à 270 Watts	83
Figure III. 29. Evaluation de rapport (V/V0) en fonction (X/X0) à 270 Watts.....	83
Figure III. 30. Evaluation de qualité physicochimique des tranches de viande à 270 Watts	85
Figure III. 31.Evaluation de pH des tranches séchées à 270 Watts.....	86
Figure III. 32. Evaluation de couleur de viande séchée à 270 Watts.....	87
Figure III. 33. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches de viande séchées à 270 Watts.....	87
Figure III. 34. Evaluation de la teneur en eau (X) des tranches à 45°C.....	90
Figure III. 35. Evaluation de rapport (X/X0) en fonction de temps de séchage des tranches séchées à 45°C	90
Figure III. 36.Evaluation de (V/V0) des tranches Séchées à 45°C.....	91
Figure III. 37. Evaluation de rapport (S/S0) des tranches séchées a 45°C.....	91
Figure III. 38. Evaluation de rapport (S/S0) en fonction de (X/X0) des tranches a 45°C	92
Figure III. 39. Evaluation de teneur en eau (X) des tranches séchées à 65°C.....	94
Figure III. 40. Evaluation de (X/X0) des tranches séchées a 65°C.....	95
Figure III. 41. Evaluation de rapport (V/V0) des tranches à 65°C.....	95
Figure III. 42. Evaluation de (V/V0) en fonction de (X/X0) des tranches séchées a 65°C.....	96
Figure III. 43. Evaluation de rapport (S/S0) des tranches a 65°C.....	96
Figure III. 44. Evaluation de (S/S0) en fonction de (X/X0) des tranches a 65°C	97
Figure III. 45. Evaluation des conditions climatiques de séchage des raisins.....	102
Figure III. 46. Evaluation des températures de l'aire a l'entre et sortie de séchoir	102
Figure III. 47.Balayage électronique des couches des raisins a) séchées au soleil , b) séchées au séchoir ..	103
Figure III. 48. Evaluation de surface (S/S0) en fonction de (X/X0) des raisins a) séchage au soleil b) séchage au séchoir	104
Figure III. 49.Evaluation de volume des raisins a) séchage au soleil,b) séchage au séchoir	105
Figure III. 50. Evaluation de teneur en eau des raisins a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir.....	107
Figure III. 51. Taux de séchage en fonction de temps a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir	108
Figure III. 52. Evaluation du coefficient de diffusion a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir	110
Figure III. 53. Evaluation des paramètres de couleur a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir	112
Figure III. 54.Evaluation de capacité de réhydratation des raisins séchés au soleil et au séchoir.....	113
Figure III. 55. Evaluation de l'acidité des raisins pendant le séchage au soleil et au séchoir.....	114
Figure III. 56. Evaluation de teneur en polyphénol des raisins	116
Figure III.57. Conteur plot de changement de teneur en protéine en fonction de temps de trempage et épaisseur des tranches de viande cameline dans le séchage au soleil (Tp = 4 °C).....	120
Figure III. 58. Evaluation de taux des protéines en fonction de l'épaisseur et temps de trempage.....	121
Figure III.59. Interaction des paramètres de prétraitement (temps et températures)	122
Figure III.60. Représentation graphique entre valeur prédites et valeurs réelles.....	122
Figure.III.61. Effet de temps et l'épaisseur sur la teneur en protéine dans le séchage au soleil des tranches de viande cameline.....	123
Figure III.62. Effet de l'interaction de temps l'épaisseur sur la teneur en protéine des tranches des viandes cameline séchage au soleil.....	123

Figure III.63. Effet de l'interaction de temps de trempage et l'épaisseur des tranches de viande cameline sur le rapport bruit/signal	124
Figure III. 64.. Optimisation de taux des protéines dans le séchage au soleil	124
Figure III. 65.. Effet de temps et de l'épaisseur sur le rétrécissement de la viande cameline dans le séchage au soleil	125
Figure III.66.. Effet du temps et de l'épaisseur sur le taux de rétrécissement.	125
Figure III.67. Effet du temps et de l'épaisseur sur le rapport signal /bruit.....	126
Figure III.68. Évaluation de la salinité des tranches de viande.....	126
Figure III.69. Effet du temps et de l'épaisseur sur la salinité des tranches de viande.....	127
Figure III.70. Effet du temps et de l'épaisseur des prétraitements sur la salinité des tranches de viande cameline	127
Figure III. 71. Effet de puissance et temps de trempage sur la teneur en protéine.....	129
Figure III. 72. Effet d'interaction entre les puissances, temps et épaisseur des tranches de viande.....	129
Figure III.73. Mean effet des conditions de séchage sur la teneur en protéines (microondes).....	129
Figure III.74. Effet de l'interaction des facteurs sur la teneur en protéines.....	130
Figure III.75. Optimisation des conditions et effet de facteur sur la teneur on protéine	131
Figure III. 76. Effet de température et temps de trempage sur la teneur en protéine.....	132
Figure III. 77. Effet d'interaction entre la température, temps et épaisseur des tranches de viande.....	133
Figure III.78. Variation de teneur en polyphénol en fonction de la température Et du temps de trempage.....	135
Figure III.79. Optimisation des conditions de prétraitement.....	136
Figure III.80. Interaction température vs temps de trempage sur la teneur en polyphénol.....	136
Figure III.81. Effets de la température et du temps de trempage sur la teneur en polyphénol.....	137
Figure III.82. Test de l'intervalle de confiance.....	137
Figure III.83. Test de counteur de probabilité.....	138
Figure III.84. Rapport signal en fonction de bruit prédicat.....	138
Figure III.85. Conteur plot de variation de teneur en polyphénol en fonction des conditions de prétraitement dans le séchage au soleil.....	140
Figure III.86. Effet de la température et du temps de trempage sur la teneur en polyphénol.....	140
Figure III.87. Effet de la température et du temps de trempage sur le rapport S/N.....	141
Figure III.88. Test de l'intervalle de confiance - séchage au soleil	141
Figure III.89. Interaction de facteur température et temps de séjour.....	142
Figure III.90. Optimisation des conditions et effet de facteur sur la teneur on polyphénol.....	142

 LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux	Page
Tableau I. 1 Modèles de sorption	20
Tableau I. 2 Modèles mathématiques de l'humidité réduite	22
Tableau II. 1 Composition physicochimique essentielle des raisins sec par rapport à la matière sèche	35
Tableau II. 2 . Teneur en vitamines principaux des raisins	36
Tableau II. 3. Domaines de variation des paramètres du prétraitement de la viande cameline	58
Tableau II. 4. Domaine de variation de températures des prétraitements du raisin	58
Tableau II. 5. Plan d'expériences orthogonal L.8	58
Tableau III. 1 .Condition de prétraitement des tranches de viande cameline au séchage au soleil	62
Tableau III. 2. Composition physicochimique des tranches de viande séchée au soleil	71
Tableau III. 3. Composition en minéraux des tranches de la viande fraîche séchée au soleil	71
Tableau III. 4. Condition de séchage des tranches de viande cameline au microonde.....	73
Tableau III. 5. Résultats d'analyses physicochimiques des tranches de viande séchée à 180 Watts.....	80
Tableau III. 6. Teneur en minéraux et oligo-éléments de viande cameline séchée à 180 watts	80
Tableau III. 7. Résultats d'analyse physicochimiques des tranches de viande séchées à 270 Watts.....	84
Tableau III. 8. Composition nutritionnelle des tranches de viande à 270 Watts	87
Tableau III. 9. Condition de prétraitement de séchage a l'étuve des tranches de viande	88
Tableau III. 10. Paramètres de qualité physicochimique des tranches séchées à 45°C	93
Tableau III. 11. Teneur en minéraux des tranches de viande à 45°C	93
Tableau III. 12. Evaluation de qualité de viande cameline séchée à 65°C.....	97
Tableau III. 13. Teneur en minéraux de viande cameline séchée à 65°C.....	98
Tableau III. 14. Diffusion, coefficients et corrélation et le temps de séchage des raisins	111
Tableau III. 15. Evaluation du pH des raisins pendant le séchage au soleil et le séchage indirecte.....	115
Tableau III.16. Les essais du plan d'expériences Taguchi L8 (viande cameline).....	119
Tableau III.17.Essais du plan d'expériences Taguchi L8 au microonde (viande cameline).....	128
Tableau III.18 : Plan d'expériences Taguchi orthogonal l8 (raisin).....	134
Tableau III.19. Résultats de la teneur en polyphénol de raisins.....	135

Introduction Générale

Le séchage des aliments est un procédé de conservation largement utilisé pour les produits agroalimentaires. Cependant, les traitements thermiques impliqués peuvent engendrer une dégradation de la qualité nutritionnelle des aliments. Optimiser les conditions de séchage pour maximiser la rétention des nutriments apparaît donc comme un enjeu majeur.

L'objectif principal de cette thèse est d'identifier les procédés et conditions opératoires de séchage permettant de préserver au mieux la qualité nutritionnelle de deux produits modèles : les raisins et la viande de dromadaire. Pour cela, différents modes (soleil, étuve, micro-ondes) et paramètres de séchage seront étudiés. L'influence de prétraitements par trempage sera également analysée. Les effets sur la cinétique de séchage et la rétention de composés d'intérêt comme protéines, antioxydants, nutriments, qui seront quantifiés. L'objectif est de déterminer, pour chaque produit, les conditions optimales limitant les pertes nutritionnelles au séchage.

Les résultats permettront d'approfondir les connaissances scientifiques sur les relations procédé-qualité lors du séchage d'aliments. Ils ouvriront également des perspectives d'innovation pour des procédés préservant mieux la valeur santé des produits. A ces effets nous avons utilisé un procédé de prétraitement dans une nouvelle solution innovante préparée au laboratoire pour le traitement des raisins et une saumure à une salinité et température froide exclusives avant d'effectuer le séchage au direct au soleil, microonde, séchage par le séchoir solaire indirect et le séchage statique (étuve). Nous avons mis en œuvre ces méthodes de séchage en vue de répondre aux questions suivantes :

- ✚ Comment les conditions opératoires du prétraitement, les conditions et les modes des séchages affectent la qualité de viande cameline séchée ?
- ✚ Comment le temps de trempage dans la saumure influence sur la cinétique de séchage de viande cameline ?
- ✚ Comment les conditions de séchage influencent sur la qualité et la valeur nutritionnelle de la viande cameline ?
- ✚ Qu'il est le mode de séchage le plus adéquat au séchage de la viande cameline ?
- ✚ Comment le temps de trempage de la solution de trempage influence sur cinétique de séchage des raisins ?
- ✚ Comment la température de la solution de trempage influence sur la cinétique de séchage des raisins ?
- ✚ Comment le temps de trempage et la température de la solution de trempage influence sur la qualité et valeur nutritionnelle des raisins ?
- ✚ Qu'il est le mode de séchage le plus convenable pour le séchage de raisins ?

Finalement, si on peut répondre à ces questions, il sera possible de résoudre certaines problématiques reconnues sur le plan de la qualité. Les principales étapes de la réalisation des objectifs de cette thèse ont été :

- ✚ Étude comparative des procédés de séchage et l'impact du traitement sur les propriétés du produit fini.
- ✚ Confirmation de l'effet de la température de solution de prétraitement sur la cinétique de séchage de la viande cameline et les raisins.
- ✚ Confirmation de l'effet de la température et le temps de trempage dans la solution de prétraitement sur la qualité nutritionnelle de la viande cameline et des raisins.
- ✚ Optimisation des conditions opératoires du séchage lui-même.

La thèse se divise en quatre parties :

1. La première partie est consacrée à l'état de l'art. Le chapitre I-1 présente le séchage des produits agroalimentaire et la viande. Le chapitre I-2 présente les paramètres généraux de séchage, le chapitre I-3. Présente La qualité physicochimique des produits agroalimentaires.
2. La deuxième partie est consacrée aux matériels et méthodes. Chapitre II.1 La matières premières principales (viande cameline et raisin). Le chapitre II-2 décrit les protocoles de traitement. Le chapitre II-3 présente les modes de séchage. Chapitre II.4. Caractérisations de la qualité des produits après séchage. Chapitre II.5 présente les méthodes de plans d'expériences.
3. La partie des résultats et discussions. Les résultats seront présentés sous forme d'articles. Une partie des résultats de plan d'expérience est développée en annexe du document.
4. Une conclusion générale et les perspectives sont la quatrième partie qui concerne la synthèse du travail.

PARTIE I : ÉTAT DE L'ART

Chapitre I. 1 :

Séchage Des Fruits Et Légumes Et Des Viandes

I.1.1 Introduction

Les produits alimentaires d'origine végétale et animale sont essentiels à la vie humaine, car ils fournissent des nutriments, des vitamines et des minéraux[1]. Les fruits, qui sont naturellement sucrés et aromatiques, sont des aliments importante qui fournissent la vitamines et de minéraux, mais une source moins importante pour de protéines et de matières grasses[2]. Les légumes, quant à eux, apportent de la saveur, de la couleur et de la variété à l'alimentation, et jouant un rôle primordial dans la nutrition. Le secteur commercial des fruits et légumes est devenu un secteur important de l'industrie agricole, grâce aux développements récents dans la technologie agricole qui ont considérablement augmenté la production mondiale des fruits et légumes [3]–[5]. Cependant, la composition de la plupart des fruits et légumes dépasse de 80% d'eau, les rendant très périssables, et entraînant des pertes pondérales et économiques ainsi que des pertes en nutriments essentiels dans les pays en développement[7]-[11]. Pour conserver ces produits, différentes technologies sont utilisées, notamment la mise en conserve, la congélation et le séchage. Le séchage est une méthode ancienne de conservation des produits agricoles et alimentaires qui permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, en abaissant l'activité de l'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0.5 [12]-[16]. Ces produits peuvent être stockés à température ambiante avant d'être réhydratés pour une utilisation industrielle ou culinaire. L'utilisation du processus de séchage dans le domaine de l'industries agroalimentaire peut avoir plusieurs objectifs, notamment accroître la durée de conservation des produits, stabiliser les produits agricoles saisonniers, transformer les produits par des réactions biologiques ou biochimiques, stabiliser des coproduits industriels pour l'alimentation animale et produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation. Toutefois, comme c'est le cas pour toutes les techniques de conservation thermique des produits, l'emploi du séchage comporte à la fois des avantages et des inconvénients.

I.1.2 Avantages Et Inconvénients Du Séchage

I.1.2.1 Avantages Du Séchage

Les principaux avantages du procédé de séchage sont [6], [17]-[20]:

- ✚ La spécification et la simplicité d'application de la méthode, et un rendement élevé.
- ✚ Applicable même dans les foyers particuliers.
- ✚ La durée de stockage et la conservation des produits déshydratés peuvent être de plusieurs années.
- ✚ Désactivation totale de l'activité enzymatique responsable de la détérioration des aliments et cela du a la réduction de l'activité de l'eau.
- ✚ Limiter les pertes de production en excès et contribution dans l'économie nationale notamment avec cette crise.

- ✚ Réduction de la facture de l'importation des aliments déshydratés.
- ✚ Minimiser les coûts de transport des aliments en raison de réduction de volume et la masse des produits déshydratés.

1.1.2.2 Inconvénients Du Séchage

Certes le séchage a plusieurs avantages, néanmoins, quelques inconvénients apparaissent dans la qualité des produits séchés, qui peuvent être détériorés ou dépourvus de leur qualité nutritionnelle dans quelque opération non étudiée (traditionnelle), la dégradation des aliments déshydratés due essentiellement aux [5], [21]-[25]:

- ✚ La perte d'arômes et les pigments.
- ✚ Perte des vitamines.
- ✚ Les réactions de brunissements.
- ✚ Durcissement de la texture superficielle.
- ✚ Perte des constituants volatiles.

1.1.3. Techniques De Séchage

Le séchage est défini comme étant une opération unitaire de transfert de masse accompagné d'un transfert de chaleur pour laquelle il est nécessaire de lui fournir de l'énergie, on distingue plusieurs méthodes de séchage qui sont adaptées à des différents aliments à sécher [26]-[29], les paramètres opératoires de ces procédés de séchage sont réglables et contrôlés, afin d'assurer une utilisation facile et pratique, pour le séchage des fruits et des légumes ainsi que les produits à base de viande, des procédés classiques fréquemment utilisés sont les procédés de séchage solaire et le séchage à l'air chaud, ainsi que des procédés très innovants comme la détente instantanée contrôlée et le séchage par microonde [30]-[32].

1.1.3. 1) Séchage Au Soleil (Naturel)

Le séchage au soleil consiste à exposer directement l'aliment à sécher au soleil [33], on utilise des supports, des tamis (Figure I-1), des claies, même les toits des maisons, cette technique est largement répandue dans les zones semi-arides et les zones arides, ces dernières présentent des conditions climatiques spécifiques, à savoir un ensoleillement important, une humidité peu considérable ainsi que la pluviométrie très faible.

Les avantages de cette technique sont limités au coût et de moindre effort, néanmoins, les résultats qui seront obtenus sont plus souvent non encourageants, car les aliments subissent des attaques par différents insectes, ravageurs, les oiseaux et différents animaux ainsi que le sable et la poussière, et le taux de séchage est non contrôlé, sèchent trop ou pas assez suivant les conditions climatiques [34]-[36].

Les prétraitements des aliments sont attirés par plusieurs chercheurs dans le domaine agroalimentaire, à savoir les prétraitements chimique, physique et même mécanique sont utilisés pour une amélioration de la qualité des produits déshydratés,

La protection des aliments et l'élimination des inconvénients décrits ci-dessus, permet aux scientifiques de développer des séchoirs solaires plus adéquats et diminuer l'utilisation de séchage au soleil [37], [39], [40].



Figure I. 1 Séchage au soleil de la tomate [39]

1.1.3. 2 Séchage Solaire

Les séchoirs solaires exploitent le rayonnement solaire pour générer l'énergie thermique nécessaire au processus de séchage (Figure I-2), et ils peuvent être classés en trois catégories : les séchoirs solaires directs, hybrides et indirects. De nombreux travaux ont été menés dans ce domaine, avec une concentration importante sur des études expérimentales et la modélisation mathématique pour différents types d'aliments tels que les légumes, les fruits, la viande rouge et blanche, notamment la banane, le poivron doux, la tomate, le raisin et la viande bovine ainsi que les fraises [41]-[45].

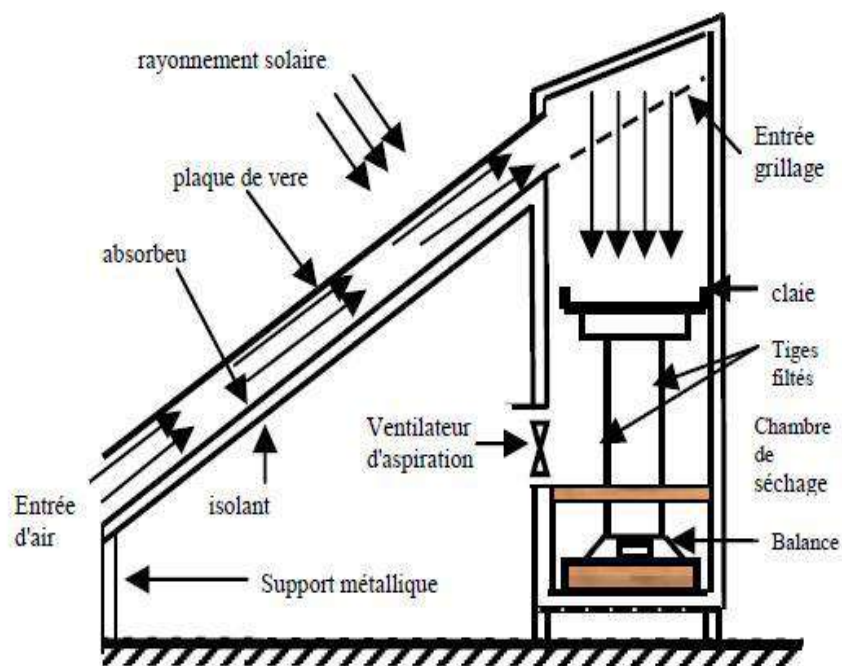


Figure I. 2 Principe du séchoir solaire indirect [29]

Les avantages des séchoirs solaires peuvent être résumés en :

- ✚ La diminution des risques de détérioration.
- ✚ Diminution de temps de séchage, par utilisation d'une surface de récolte plus large avec un dimensionnement approprié.
- ✚ Réglage des paramètres de processus à savoir la vitesse.
- ✚ Economique, exploitation d'énergie gratuite.

1.1.3. 3 Séchage À L'air Chaud

Au-delà de l'utilisation de source de l'énergie naturelle, des différentes technologies exploitées et développées dans le domaine de déshydratation dans XX^e siècle, la régénération d'une énergie artificielle est la base de cette technologie, le contact de aliments a séché et l'air chaud permet le

transfert de chaleur et de masse, les différentes méthodes basées sur ce principe sont appliquées par plusieurs chercheurs [46], [47].

La qualité de produit séché doit être acceptable, et de point de vue économique, le coût doit être dans les limites de raisonnable, les facteurs influençant l'opération de séchage sont la charge de l'aliment, la forme géométrique de l'aliment, les propriétés physiques de l'air asséchant (humidité relative, vitesse, température), et les caractéristiques de la conception de l'équipement de séchage, (séchage à co-courant, courant croisé, lit fluidisé etc. ...), d'où le choix d'une méthode et le séchoir convenable à un séchage d'un produit est dépendant de la nature de l'aliment à sécher (viande, légumes, fruit), un tunnel de séchage (Figure I-3) [48], est applicable pour les fruits en morceaux.



Figure I. 3 Tunnel de séchage [48]

1.1.3. 4 Séchage Par Technique De Microonde

Le séchage par technique de microondes est basé essentiellement sur les molécules dipôles comme la molécule d'eau, les dipôles sont orientés d'une manière aléatoire en absence de champ électrique, ils s'orientent en présence de champ électrique continu, un moment dipolaire est induit lorsque toutes les molécules sont orientées, Sous l'influence d'un champ électromagnétique alternatif, les dipôles des molécules d'eau oscillent et changent d'orientation en suivant les variations du champ. Durant la première demi-période positive du champ, les dipôles s'alignent dans sa direction. Lorsque le champ s'annule, ils perdent leur orientation. Puis au cours de la demi-période négative suivante, les dipôles se réorientent en sens inverse sous l'influence du champ inversé.

Ce phénomène cyclique d'orientation, de désorientation et de réorientation des dipôles avec chaque alternance du champ électromagnétique est appelé rotation dipolaire [28].

La rotation dipolaire permet une conversion de l'énergie électrique en énergie cinétique, L'énergie cinétique elle-même est transformée partiellement en chaleur, Contrairement au chauffage

conventionnel où la chaleur se propage de l'extérieur vers l'intérieur, le chauffage par micro-ondes inverse ce sens de transfert thermique. Lors d'un chauffage classique, la chaleur doit traverser le matériau du récipient du plus chaud (la source de chaleur externe) vers le plus froid (le centre du contenant). Avec le chauffage micro-ondes, la chaleur est directement générée au cœur même du produit par l'interaction entre les ondes électromagnétiques et les molécules polaires. Elle se diffuse ensuite vers la périphérie plus froide du contenant. Le transfert thermique est donc inversé par rapport à un chauffage conventionnel, passant de l'intérieur vers l'extérieur sous l'action micro-ondes (Figure I-4), la charge traitée devient elle-même une source d'énergie. D'où la chaleur transmise de l'intérieur vers l'extérieur du récipient [49]-[51].



Figure I. 4 Four microonde [52]

1.1 .3. 5 Lyophilisation

La méthode de séchage par la lyophilisation est une technique de conservation sous vide des aliments, son principe est une sublimation de glace à une pression réduite, d'où le transfert de masse solide est transfert d'une phase solide à la phase vapeur directe, on distingue trois étapes importante pour réaliser ce procédé [53]-[55].

- ✚ La congélation de l'aliment : le produit est congelé à une température comprise entre -20 et -80°C , la congélation peut être réalisé dans des armoires de surgélation.
- ✚ La dessiccation primaire : est une étape de sublimation de la plus grande teneur en eau a une pression réduite arrive a 0.03 mbar.
- ✚ La dessiccation secondaire : c'est l'étape de la sublimation des traces d'humidité, la pression réduite est poussée à des valeurs inférieures à 0.001 mbar.

Dans La dessiccation secondaire, le transfert de matière par voie de désorption permet de rendre le produit a une teneur en eau moins de 5%, et l'activité de l'eau est voisinage de 0.2 à 0.4, a cette activité l'activité enzymatique est totalement stoppe, permet aussi une préservation des produits

classée comme périssable ou facilement périssable comme les viandes, la (Figure I-5) montre un lyophilisateur opérationnel de laboratoire.

Plusieurs travaux réalisés par le processus de la lyophilisation, ont montré que les produits lyophilisés sont caractérisés par :

- ✚ Bonne conservation de leurs qualités nutritionnelles.
- ✚ Excellente préservation de l'architecture cellulaire.
- ✚ Haute préservation de leur composition physicochimique.
- ✚ Structure poreuse.
- ✚ Très bonne capacité de réhydratation.

Ces produits issus de la lyophilisation peuvent aussi être conserve pendant plusieurs années sans modification de leur constituant, la modification de gaz inerte de conservation sous vide comme l'azote dans un emballage opaque, permet de conserver les vitamines, néanmoins, la méthode présente quelques inconvénients à savoir :

- ✚ Le coût élevé à cause de l'énergie consommée durant le processus
- ✚ Un emballage doit être étanche pour éviter la réhydratation
- ✚ Le processus est applicable pour les produits en couche mince ou des faibles épaisseurs pour réduire le temps de séchage.

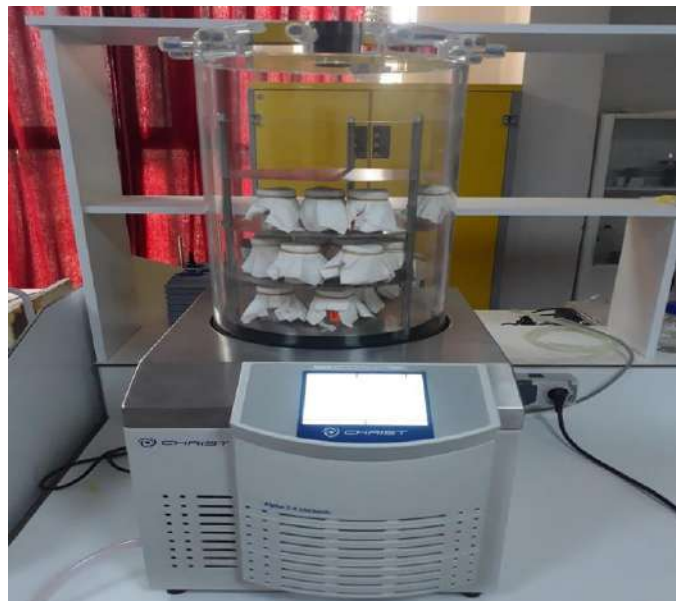


Figure I. 5 Lyophilisateur de laboratoire [48]

1.1 .3. 6 Procédés Couplés

Plusieurs procédés de séchage coupler entre eux afin d'améliorer la qualité des produits séchés, réduire le temps de séchage, a savoir le couplage de séchage par la technique de microonde et air

chaud (MWAS: assisted microwave air drying) et le swell-drying [56], cette dernière est considérée comme l'une des techniques les plus innovantes, est une technique issue d'un couplage de processus de air chaud et la texturation par détente instantanée contrôlée (DIC) [57], [58], est également une technique avec plusieurs avantages :

- ✚ Capacité de préservation des vitamines élevée.
- ✚ Préservation de pigment responsable de la couleur d'aliment.
- ✚ Activité antioxydante bien protégée.
- ✚ Une remarquable amélioration de vitesse de séchage.
- ✚ Conservation de polyphénol, notamment les flavonoïdes.
- ✚ Une désinfection microbienne partielle.

Cette technique (DIC) dispose de quatre parties principales, une enceinte de traitement à haute pression de vapeur, un système à vide, un système de connexion permet une chute abrupte de pression et un système de capteurs (Figure I.6) [59].

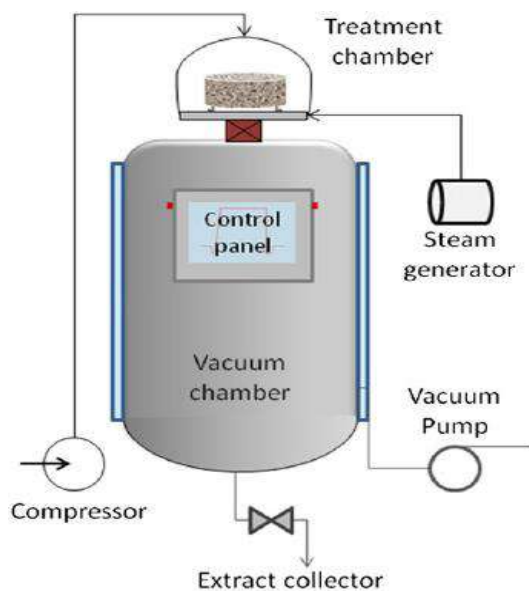


Figure I. 6 Schéma représentatif de la technique DIC [59]

Le coût du séchage des aliments en fonction de procédés choisis est différent (Figure I-7), les scientifiques et les spécialistes dans le domaine de séchage cherchent à garder la meilleure qualité avec un coût minimal, le schéma (figure 1.9), représente une comparaison entre la qualité de produit final séché et le coût de processus [60].

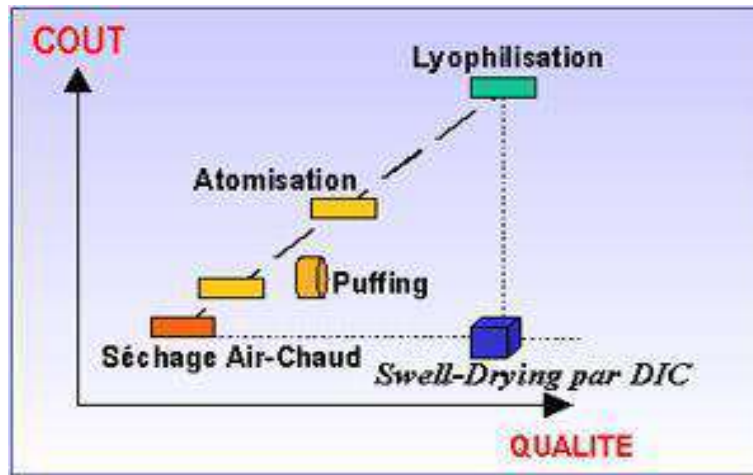


Figure I. 7. Classification des méthodes de séchage en fonction du coût et de la qualité [60]

I.1.4. Conclusion

En conclusion, le séchage est un procédé clé dans l'industrie agroalimentaire pour prolonger la durée de conservation de nombreux produits périssables tout en préservant leur qualité nutritionnelle. Les différentes techniques de séchage présentent chacune des avantages et des inconvénients en termes de coût, de rapidité, d'uniformité, etc. Le choix de la méthode doit donc se faire en fonction des caractéristiques du produit à traiter et des objectifs visés. Qu'il s'agisse de séchage naturel, convectif, sous vide, par atomisation ou lyophilisation, une maîtrise approfondie des relations entre les propriétés des aliments et les conditions opératoires est indispensable pour obtenir un séchage optimal. À l'heure où la demande en aliments sains et pratiques ne cesse de croître, le séchage apparaît plus que jamais comme un procédé d'avenir pour le développement de nouveaux produits alimentaires à haute valeur ajoutée. Les progrès dans la modélisation des transferts de chaleur et de masse au sein des matrices alimentaires devraient permettre d'améliorer encore les performances et le contrôle des opérations de séchage.

CHAPITRE I.2 :

Paramètres Généraux De Séchage

I.2.1 Introduction

Le séchage est un procédé de conservation des aliments largement utilisé. Il consiste à éliminer une partie de l'eau contenue dans la structure des aliments par évaporation. Ce procédé peut s'appliquer à divers types d'aliments tels que les produits solides, granuleux ou en poudre, les fibres alimentaires, ou encore les morceaux compacts de tailles variées [61], [62]. L'objectif principal du séchage est de réduire l'activité de l'eau dans les aliments sans altérer leur structure moléculaire, contrairement à d'autres techniques plus agressives. Il permet ainsi de prolonger la durée de conservation des aliments en limitant le développement microbien et les réactions enzymatiques. Cependant, le séchage peut également engendrer certains changements physico-chimiques indésirables qu'il convient de maîtriser [63]-[66].

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons aux différents états de l'eau dans les matrices alimentaires ainsi qu'aux cinétiques de séchage. Nous décrirons notamment les isothermes de sorption qui représentent les relations entre la teneur en eau des aliments et l'humidité relative de l'air. Ces aspects sont essentiels pour comprendre les mécanismes mis en jeu lors du séchage et optimiser cette opération.

I.2.2 Air Humide

Le séchage par convection est la technique la plus couramment utilisée en génie alimentaire. Elle consiste à exposer l'aliment à un courant d'air chaud qui réchauffe le produit, entraînant ainsi l'humidité sous forme de vapeur. L'air sec sortant du processus est caractérisé par des grandeurs qui permettent de contrôler le procédé de séchage. Il convient de distinguer l'air humide, qui est le mélange d'humidité avec de l'air sec [67], [68].

I.2.2.1 Humidité Absolue

La notion d'humidité absolue désigne une masse de vapeur d'eau dans un volume d'air sec, il est constante au-dessus de la température de point de rosée, calculer par la formule [69] :

$$X = \frac{M_{v.e}}{M_{a.s}} \quad (\text{Eq.I.1})$$

Avec :

$M_{v.e}$: la masse de la vapeur d'eau.

$M_{a.s}$: la masse d'air sec.

I.2.2.2 Humidité Relative

L'humidité relative (ϕ) de l'air est le rapport entre les pressions de la vapeur d'eau (PV) sur la pression de saturation (PS,t) de cette vapeur d'eau à la même température (t) [69] ;

$$\Phi = \frac{P_v}{P_{st}} \quad (\text{Eq.I.2})$$

1.2.2.3 Température Sèche Et Température Humide De L'air

La température de l'air mesurée par une sonde d'un thermomètre indique la température sèche T , lorsque on place une sonde dans un coton humide nous indique la température de bulbe humide, T_H , est la différence entre ces deux températures ($T - T_H$) représente l'humidité relative de l'air.

Dans le cas particulier, l'air est saturé en vapeur, ce qui donne une humidité relative de 100%. L'évaporation s'arrête, l'évaporation et dépend de l'intervalle de différence entre pression de saturation et la pression de vapeur ($P_{s,\theta} - P_v$) [28].

1.2.2.4 Enthalpie De L'air Humide

Le contenu énergétique dans l'air est défini par l'enthalpie, il est la quantité de chaleur dans le système air-eau, l'enthalpie (H) de l'air humide est le contenu en énergie, l'enthalpie d'un kilogramme d'air sec associée à une masse en kg de vapeur d'eau à une température connue ($\theta^\circ\text{C}$) est définie comme étant la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer ce mélange à une pression constante de 0°C à la température $\theta^\circ\text{C}$ [70], [71].

$$H = c_{p_a}\theta + Y(L_v + c_{p_e}\theta) \quad (\text{Eq.I.3})$$

Avec :

C_{p_a} et c_{p_e} sont des chaleurs massiques de l'air et de l'eau à l'état gazeux respectivement

L_v est la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 0°C .

1.2.3 Caractéristiques Des Aliments Humides

1.2.3.1 Humidité Absolue D'un Aliment

L'humidité absolue d'un aliment agroalimentaire est définie comme le rapport de la masse d'eau dans ce produit par la masse de la matière sèche, appelée aussi la teneur en eau (eq 01) [72][56].

$$X = \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad (\text{Eq.I.4})$$

M_t : la masse du produit telle qu'il est (humide)

M_s : la masse du produit séché

1.2.3.2 Humidité Relative D'un Aliment

L'humidité relative d'un aliment agroalimentaire est le rapport entre la masse d'eau par rapport à la masse humide appelée aussi le titre en eau [71].

$$\varphi = \frac{M_H - M_s}{M_H} \quad (\text{Eq.I.5})$$

I.2.4. État De L'eau Dans Les Aliments Agroalimentaires

L'eau est le constituant majeur de nombreux aliments agroalimentaires. Bien qu'elle n'apporte aucune valeur énergétique, sa présence influence la structure, l'apparence et le goût des aliments. On la trouve sous plusieurs formes au sein des produits alimentaires [73][74] :

I.2.4.1 Eau De Constitution

L'eau est un composant majeur des aliments, représentant souvent plus de 70% de leur masse. Au-delà de son rôle nutritionnel évident, l'eau joue également un rôle structurant au niveau moléculaire et supramoléculaire dans de nombreux aliments.

Concernant les protéines, l'eau intervient dans leur structure tridimensionnelle ou conformation. Elle établit des liaisons hydrogène avec les groupements polaires des chaînes latérales des acides aminés. Ces interactions stabilisent la conformation native des protéines. Par exemple, l'eau permet le maintien de la structure hélicoïdale de l' α -kératine dans les cheveux.

Pour les glucides, l'eau influence également la conformation du squelette glycosidique. Dans l'amidon, les molécules d'eau s'insèrent entre les zones amorphes et cristallines, stabilisant sa structure semi-cristalline. L'eau participe aussi à la gélification de polysaccharides comme l'alginate, le carraghénane ou la gomme de xanthane.

Enfin, l'eau favorise l'organisation supramoléculaire de certains composés en micelles sphériques. C'est notamment le cas des caséines du lait qui s'associent en micelles grâce aux interactions hydrophobes et hydrophiliques en présence d'eau.

I.2.4.2 Vapeur D'eau

Parmi les différents fluides présents dans les aliments, l'eau joue un rôle prépondérant dans leur mobilité lors de la cuisson. En effet, l'eau possède une constante diélectrique élevée et une forte capacité à absorber la chaleur. Elle est donc le facteur le plus déterminant pour permettre la diffusion de la chaleur et la mobilité des constituants dans les produits alimentaires pendant leur cuisson. Comparée à d'autres fluides comme les lipides et les sucres, la teneur en eau d'un aliment conditionne majoritairement sa réponse et sa mobilité lorsqu'il est chauffé. Plus un aliment contient de l'eau, plus il aura tendance à présenter une mobilité de ses composants sous l'effet de la chaleur.[63].

I.2.4.3. Eau D'hydratation

On distingue deux types d'eau dans les aliments : l'eau libre et l'eau liée. L'eau liée, également appelée eau d'hydratation, regroupe :

- ✚ L'eau retenue par capillarité dans les pores des aliments.
- ✚ L'eau liée par osmose.
- ✚ L'eau fixée par hydratation sur les macromolécules.

L'eau jouant le rôle de solvant des composés hydrosolubles. Contrairement à l'eau liée, l'eau libre possède une mobilité totale au sein de la matrice alimentaire et conserve toutes les propriétés physico-chimiques de l'eau pure. Elle n'est pas influencée par les interactions avec les composants du produit. L'eau libre joue donc un rôle prépondérant dans les modifications des aliments lors des procédés thermiques tels que la cuisson. [40], [54], [63].

I.2.5 Activité De L'eau Dans Les Aliments

L'activité de l'eau (a_w) est une mesure de la disponibilité de l'eau "libre" dans une matrice alimentaire. Elle ne correspond pas à la teneur totale en eau, mais uniquement à la fraction capable d'engendrer des réactions chimiques, biochimiques ou microbiologiques. a_w est définie par rapport à l'eau pure comme référence, d'où une valeur comprise entre 0 et 1. a_w de 0 signifie qu'il n'y a pas d'eau libre dans l'aliment complètement sec. A l'inverse, a_w de 1 équivaut à de l'eau pure.

a_w est un paramètre clé pour l'innocuité et la conservation des aliments. Une activité d'eau élevée favorise le développement microbien et la dégradation (Figure I-8). Il est possible de contrôler l' a_w par des procédés de séchage ou l'ajout de solutés comme le sel et le sucre qui vont lier l'eau. On peut ainsi ralentir l'altération et prolonger la durée de conservation. a_w se mesure à l'aide d'un aw-mètre en calculant le rapport entre la pression de vapeur d'eau dans l'aliment et celle de l'eau pure à la même température [75].

$$a_w = \frac{\text{Pression partielle de l'eau dans l'aliment}}{\text{Pression partielle de l'eau pure}} \quad (\text{Eq.I.6})$$

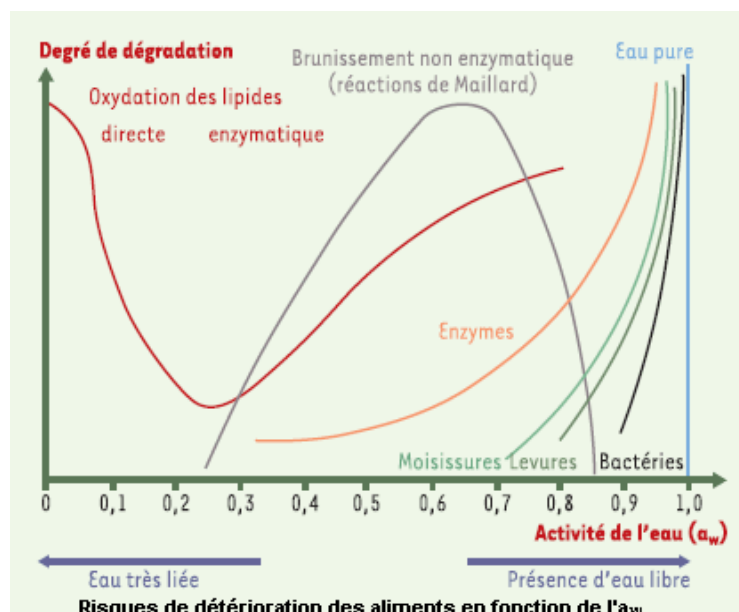


Figure I. 8 Risque de détérioration des aliments en fonction de activité de l'eau (a_w) [76]

I.2.6. Isothermes D'adsorption Et De Désorption

I.2.6.1 Relation Entre L'activité De L'eau Et La Teneur En Eau

La relation entre la teneur en eau et l'activité de l'eau d'un produit alimentaire peut-être représenté par une courbe, d'une manière à chaque point de l'activité de l'eau qui varié entre 0 et 1 possède une teneur une eau à l'équilibre à une température donnée, cette courbe est la courbe de l'isotherme de sorption (Figure I.9) [77]-[82].

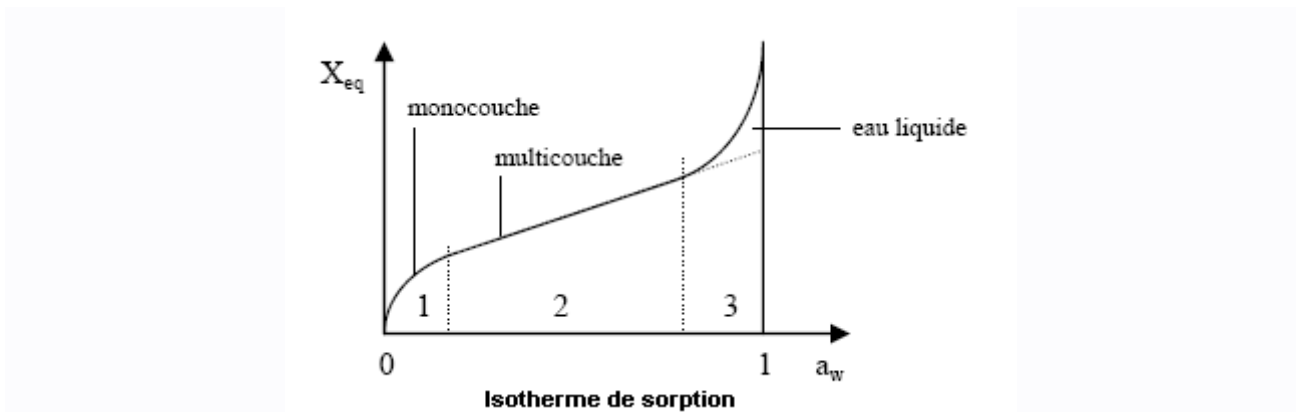


Figure I. 9 Isotherme de sorption [83]

La courbe de ces isothermes est divisée en trois zones principales on fonction de la forme de l'eau dans l'aliment :

- ✚ La première zone ou $a_w < 0.3$: correspond à l'eau de constitution, qui est fortement liée par des liaisons hydrogène et forces de Van der Waals et ne peut être séparée que par des techniques très sévères. Cette eau n'est pratiquement pas disponible comme solvant ou réactif et correspond à la première couche (monocouche) qui entoure la matière sèche d'aliments.
- ✚ La deuxième zone ou a_w entre 0.3 et 0.7 : correspond à l'eau « faiblement liée », sous forme de couches poly moléculaires (multicouche) recouvrant partiellement la surface du substrat sec. Bien qu'elle soit aussi disponible tant comme solvant que réactif, elle est moyennement réactive.
- ✚ La troisième zone ou $a_w > 0.7$: correspond à l'eau « libre » ou « eau liquide » qui n'est retenue à la surface du substrat sec que par des forces capillaires. Cette eau est disponible tant comme solvant que réactif. C'est uniquement sous cette forme que l'eau est utilisée par les microorganismes et peut permettre les réactions enzymatiques.

On distingue deux types d'isothermes de sorption :

- ✚ Isotherme d'adsorption si elle a été déterminée expérimentalement en partant d'un produit sec.
- ✚ Isotherme de désorption si elle a été déterminée expérimentalement en partant d'un produit saturé en eau.

Les deux courbes sont en général différentes car le séchage d'un produit entraîne des modifications de structure et de porosité irréversibles.

1.2.6.2. Différents Modèles De Représentation Des Courbes De Sorption

L'évaluation d'humidité absolue d'un aliment au cours de séchage peut être représentée par un modèle mathématique qui décrit le comportement des courbes de sorption et la désorption qui est déterminé pratiquement ou expérimentalement.

Tableau I.1 : Les modèles les plus courants dans le domaine agroalimentaire est le modèle de Brunau Eremmt Teller (BET) et le modèle Guggenheim Anderson de Boer (GAB).

Tableau I. 1 Modèles de sorption

Auteurs	Équation du modèle	Références
BET	$X_{eq} = (A+BT)(C aw) / (1-aw)(1-aw+C.aw)$	[84][85][83]
LANGMUIR	$X_{eq} = 1 / [A+B.aw C-1]$	[86]
PELEG	$X_{eq} = A.awk1+B.awk2$	[87]
GAB	$X_{eq} = A.B.C.aw / [1-B.aw][1- B.aw+B.C.aw]$	[85][87][83]
CHUNG PFOST	$aw = \exp [(-A/(T+B)) \exp(-CX_{eq})]$	[88]
HENDERSON	$1-aw = \exp [-K.(T+n).X_{eq} C]$	[85][87]
OSWIN	$X_{eq} = (A+BT) (aw /1-aw) C$	[85]
Halsey	$X_{eq} = \exp [-\exp(A+BT)/ X_{eq}C]$	[85]

1.2.7. Différentes Courbes De Séchage

Le séchage est schématisé par des courbes obtenues expérimentalement qui représentent la variation de l'humidité absolue (X) des aliments en fonction de temps ou en fonction de la vitesse de séchage (-dX /dt). Cette évaluation du teneur en eau est la cinétique de séchage.

1.2.7.1 Cinétique De Séchage

L'évaluation de la cinétique de séchage des produits agroalimentaire par des courbes représentant la variation de leur teneur en eau en fonction de temps est influence par beaucoup de facteurs, à savoir la température du séchage, la charge , les caractéristiques de l'aire asséchant ainsi que le mode de séchage, ces courbes sont caractérisés essentiellement par trois périodes (Figure I. 10) , la première

période est courte, est la période de mise en condition de séchage (température), relié au pression partielle P_s et température de surface des aliments T_s suivi d'une période caractérisé par une allure de vitesse constante correspond à l'évaporation de liquide superficiel, la phase finale de séchage est une période auxquelles la surface du produit n'est plus saturée en vapeur, la vitesse de séchage est décroissante, expliquer par plusieurs phénomènes [28];

- ✚ L'épaisseur du produit.
- ✚ La résistance mécanique des parois cellulaires.
- ✚ Le croutage.
- ✚ La diffusivité de l'eau dans le produit.

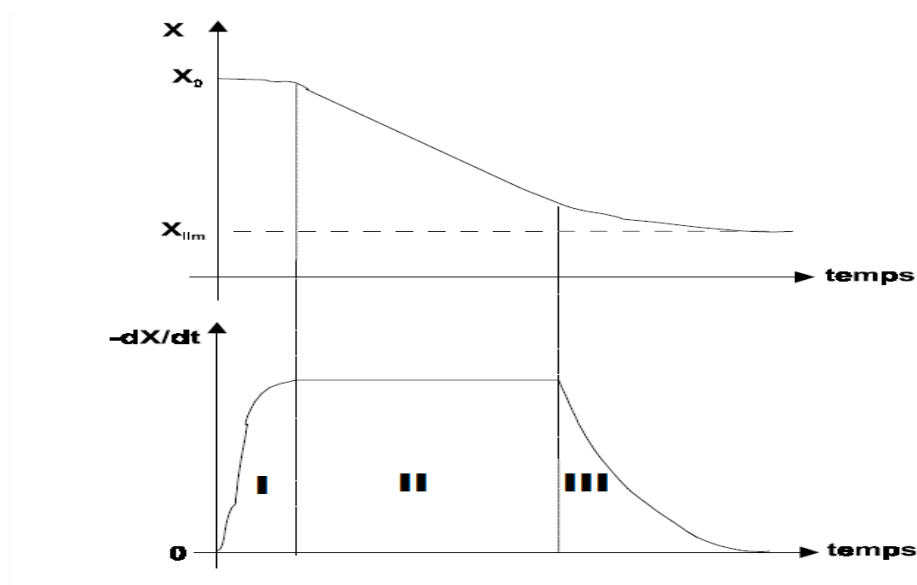


Figure I. 10. Périodes de la cinétique de séchage [28]

1.2.7.2 Modèles Mathématique Des Courbes D'humidité

Les modèles mathématiques qui sont utilisé pour prédire l'évaluation de l'humidité absolue réduite d'un produit agroalimentaire déposé en couche mince en fonction de temps de séchage (eq. 12) [28], sont décrit par plusieurs chercheurs, les plus fréquent sont représentés dans le tableau (tableau I.2).

$$Xr = \frac{x}{x_0} \quad (\text{Eq.I.7})$$

Tableau I. 2 Modèles mathématiques de l'humidité réduite

Nom du modèle mathématique	Équation mathématique	Références
Two - terme	$X_t = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	[89]-[91]
Page	$X_t = \exp(-kt)^n$	[90] [92]-[95]
Page modifié	$X_t = \exp(-kt) + C$	[90] [91] [96] [97]
Logarithmique	$X_t = a \exp(-kt) + c$	[90] [94]
Verna et all	$X_t = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	[90] [98]
Midilli et all	$X_t = a \exp(-kt^n) + bt$	[90] [98] [99]
Approximation et diffusion	$X_t = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	[90] [97]
Henderson et Pabis	$X_t = a \exp(-kt)$	[90] [93] [97]
Lewis	$X_t = \exp(-kt)$	[90] [93]
Two- termeexponential	$X_t = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	[90][98]

Les paramètres statistiques suivants, sont indispensable pour le choix d'un modèle approprié descriptive d'une allure de la cinétique de séchage exprimé par l'humidité absolue réduite ;

a : le Coefficient de corrélation (R^2) élevé ; b : Ki-carrée (x^2) minimale.

Avec :

$X_{\text{exp},i}^*$: représente la i^{eme} humidité absolue réduite expérimentale.

$X_{\text{pre},i}^*$ représente la i^{eme} humidité prédite selon le modèle approprié.

N : c'est le nombre de points expérimentaux.

n : c'est le nombre de constante de chaque modèle.

CHAPITRE I.3 :

Qualité Physicochimique Des Produits Agroalimentaires

I.3. 1. Paramètres De Qualité Des Produits Agroalimentaires Séchés

De nombreux paramètres sont à respecter pour conserver et assurer la bonne qualité du produit, les paramètres physiques tels que la couleur et la texture des aliments séchés , considérés comme les caractéristiques les plus importantes [100], la porosité et la densité qui sont des caractéristiques spécifiques en fonction de la teneur en eau et des conditions de l'opération de séchage , la capacité de réhydratation , et le retrait du produit séché [101].

Les paramètres chimiques sélectionnés pour la qualité des aliments séchés sont très importants ; la saveur des aliments séchés est un signe de haute qualité, car le produit exposé aux conditions de séchage peut perdre sa saveur caractéristique [102], l'activité de l'eau contribue à la stabilité chimique et physique , Les paramètres microbiologiques sont des indicateurs de sécurité pour la santé humaine ; les aliments séchés doivent être sains du point de vue microbiologique , les valeurs nutritionnelles doivent être contrôlées au cours du séchage des aliments [103], [104].

I.3.1.1. Qualité Physicochimique

En raison de leur composition chimique et de leurs caractéristiques physicochimiques, la plupart des aliments sont très périssables et sont facilement altérés par des agents physiques, chimiques et biologiques. Pour augmenter leur durée de vie et permettre ainsi leur transport et leur stockage, il est nécessaire d'effectuer des traitements technologiques spécifiques qui les protègent des agents de détérioration. Dans d'autres cas, les traitements technologiques sont appliqués dans un but d'assainissement, en détruisant les agents pathogènes, ou dans un but de diversification, en cherchant à obtenir à partir d'une matière première concrète une large gamme de produits différents afin de satisfaire les divers besoins et demandes des consommateurs. Dans tous les cas, les traitements d'assainissement ou de diversification s'accompagnent presque toujours d'une augmentation de la durée de conservation. Les traitements peuvent également être destinés à conditionner les aliments, les rendant ainsi plus aptes à la consommation. Le traitement des aliments est donc une activité courante et nécessaire pour obtenir la large gamme d'aliments que nous connaissons, sûrs et avec leurs divers profils sensoriels et nutritionnels. Cependant, ces processus ont parfois des effets négatifs qui se traduisent par une diminution de la valeur nutritionnelle ou par l'altération des propriétés sensorielles. Il arrive même que des composés négatifs pour la santé du consommateur soient générés. Il est donc nécessaire de rassembler le plus de connaissances possibles sur les effets des traitements technologiques sur les composants alimentaires afin d'optimiser ces traitements et de minimiser leurs effets négatifs et d'obtenir des aliments de la plus haute qualité et salubrité.

En raison de leur composition chimique et de leurs caractéristiques physicochimiques, la plupart des aliments sont très périssables et facilement altérés par des agents physiques, chimiques et biologiques [105], [106]. Pour augmenter leur durée de vie et permettre ainsi leur transport et leur stockage, il est nécessaire d'effectuer des traitements technologiques spécifiques qui les protègent des agents de détérioration [107]. Dans d'autres cas, les traitements technologiques sont appliqués dans un but d'assainissement, en détruisant les agents pathogènes, ou dans un but de diversification, en cherchant à obtenir à partir d'une matière première donnée une large gamme de produits différents afin de satisfaire les divers besoins et demandes des consommateurs [108]. Dans tous les cas, les traitements d'assainissement ou de diversification s'accompagnent presque toujours d'une augmentation de la durée de conservation [108]-[110]. Les traitements peuvent également être destinés à conditionner les aliments, les rendant ainsi plus aptes à la consommation. Le traitement des aliments est donc une activité courante et nécessaire pour obtenir la large gamme d'aliments que nous connaissons, sûrs et avec leurs divers profils sensoriels et nutritionnels. Cependant, ces processus ont parfois des effets négatifs qui se traduisent par une diminution de la valeur nutritionnelle ou par l'altération des propriétés sensorielles. Il arrive même que des composés négatifs pour la santé du consommateur soient générés. Il est donc nécessaire de rassembler le plus de connaissances possible sur les effets des traitements technologiques sur les composants alimentaires afin d'optimiser ces traitements et de minimiser leurs effets négatifs, et d'obtenir des aliments de la plus haute qualité et salubrité [111].

1.3.1.2. Qualité Physique

La définition des propriétés physiques des aliments par le Dr Alina Szczesniak les décrit comme "les propriétés qui peuvent être décrites et quantifiées par des moyens physiques plutôt que chimiques. Cette distinction entre propriétés physiques et chimiques est révélatrice d'un fait historique intéressant : jusqu'aux années 1960, la recherche alimentaire se concentrait principalement sur la chimie et la biochimie des aliments. L'étude systématique des propriétés physiques des aliments, considérée comme une discipline scientifique distincte sous le nom de "physique alimentaire" ou de "chimie physique des aliments", est relativement récente. Les propriétés physiques des aliments sont d'un grand intérêt pour les ingénieurs alimentaires pour de nombreuses raisons. En effet, de nombreuses caractéristiques déterminant la qualité (comme la texture, la structure et l'apparence) et la stabilité (comme l'activité de l'eau) des produits alimentaires sont liées à leurs propriétés physiques [112], [113].

1.3.1.3. Qualité Nutritionnelle

La qualité nutritionnelle est définie comme la valeur du produit pour la santé physique, la croissance, le développement, la reproduction et le bien-être psychologique ou émotionnel du consommateur. Cette définition étendue de la qualité nutritionnelle peut être divisée en deux termes. Le premier terme concerne les effets des aliments déterminés par leur substance, c'est-à-dire la somme de tous les ingrédients, des composés bénéfiques et nocifs et de leurs aspects nutritionnels (ou biologiques). En fonction des incohérences inhérentes allant des différences de sol et de climat aux effets des cultivars, des saisons et des pratiques agricoles, les différences entre les ingrédients souhaitables sont moins prononcées par rapport aux ingrédients indésirables. Lorsque des différences sont détectées, la qualité supérieure du produit se retrouve le plus souvent dans les produits biologiques. Un avantage potentiel de l'agriculture biologique dans la production d'aliments sains repose sur les concentrations plus élevées de substances végétales secondaires bénéfiques dans les cultures biologiques par rapport aux cultures non biologiques. Le second terme de qualité nutritionnelle couvre les sentiments de bien-être (ou d'indisposition) que certains aliments peuvent induire chez les consommateurs. Il a été confirmé que l'agriculture biologique est respectueuse de l'environnement et plus durable que l'agriculture conventionnelle. En rapport avec cette connaissance, le bien-être du consommateur repose sur l'indulgence et la certitude qu'en achetant, en mangeant et en appréciant des aliments biologiques, on a contribué à un avenir meilleur et à un environnement amélioré. Ces effets, avec leurs implications sociales et l'amélioration du bien-être des animaux, peuvent, en fin de compte, être plus importants que toute contribution mesurable des régimes occidentaux équilibrés à la santé nutritionnelle individuelle.

1.3.1.4. Qualité Microbiologique

Les programmes de contrôle de la qualité microbiologique sont nécessaires tout au long de la chaîne de production alimentaire afin de minimiser les risques pour la sécurité des consommateurs [114]. Les méthodes microbiologiques classiques dans les aliments impliquent, en général, l'enrichissement et l'isolement de colonies présumées de bactéries sur des milieux solides, et la confirmation finale par identification biochimique ou sérologique [114], [115]. Elles sont donc laborieuses, prennent du temps et ne sont pas toujours fiables [116]. Par conséquent, le développement et l'optimisation de nouvelles alternatives pour la surveillance, la caractérisation et le dénombrement des agents pathogènes d'origine alimentaire est l'un des aspects clés de la microbiologie alimentaire, et cela est devenu de plus en plus important dans l'industrie agricole et alimentaire [117].

1.3.1.5. Qualité Organoleptique

La saveur, la texture et la couleur sont les trois attributs de qualité les plus importants des aliments car le consommateur peut facilement les évaluer [118] . Lorsqu'un aliment présente une saveur ou une couleur désagréable ou une texture médiocre, il n'est ni acheté ni consommé [119]. La saveur est la somme totale des impressions sensorielles formées lorsque nous mangeons un aliment. Elle comprend l'arôme, le goût, le toucher et implique tous nos sens [120]. La saveur d'un aliment résulte de l'interaction entre le goût et l'odeur/l'arôme, qui confère au consommateur une expérience sensorielle agréable ou désagréable [121]-[123]. C'est la saveur des aliments qui détermine leur acceptation ou leur rejet par le consommateur [124].

1.3.2. Conclusion

En conclusion, l'analyse des paramètres physicochimiques, microbiologiques, organoleptiques et nutritionnels d'un aliment permet de mieux comprendre sa composition, ses propriétés et ses qualités. Les connaissances acquises à travers cette analyse peuvent être utilisées pour optimiser les processus de production et de conservation des aliments, pour améliorer leur qualité et leur sécurité, ainsi que pour répondre aux besoins nutritionnels des consommateurs. Il est donc important de réaliser des analyses régulières pour garantir la qualité des aliments et assurer leur conformité aux normes et réglementations en vigueur.

PARTIE II.
Matériels Et Méthodes

CHAPITRES II. 1 :

Matières Premières

PARTIE II

Dans ce travail de thèse, nous avons étudié deux aliments ayant une grande importance dans le régime alimentaire humain : la viande de chameau et les raisins secs. Il est en effet essentiel de connaître les caractéristiques de qualité de ces matières premières utilisées.

La viande de chameau est consommée dans de nombreux pays d'Afrique et du Moyen-Orient. Elle constitue une source majeure de protéines et de fer dans l'alimentation des populations de ces régions. Sa qualité dépend de facteurs comme l'âge de l'animal, le muscle considéré, les conditions d'élevage en milieu désertique et les techniques d'abattage traditionnelles. Nous nous sommes intéressés à des critères comme le pH, la couleur, la tendreté et la composition biochimique qui influencent les qualités nutritionnelles et organoleptiques de cette viande particulière.

Les raisins secs sont obtenus par déshydratation des raisins frais. Ils sont riches en fibres, minéraux comme le potassium, et en antioxydants. Leur qualité dépend du procédé de séchage employé et des conditions de stockage. Nous avons étudié l'impact de ces facteurs sur des paramètres critiques comme l'humidité résiduelle, la teneur en sucres, la texture et la capacité de réhydratation des raisins secs qui conditionnent leur usage alimentaire.

L'analyse approfondie des qualités physico-chimiques, sensorielles et nutritionnelles de la viande de chameau et des raisins secs dans le cadre de ce travail vise à optimiser leur valorisation alimentaire par des procédés adaptés, au bénéfice des consommateurs et producteurs de ces régions.

II. 1 .1. Viande Cameline

II. 1.1.1. Description

Le dromadaire (*CAMELUS DROMEDARIUS*) (Figure.II-1) est une espèce de mammifère domestique de la famille des camélidés et du genre Camelus [1], il est élevé dans un environnement difficile , ou les ressources rares et les possibilité l'investissement et de développement limitées, sont L'exploitation du potentiel productif du secteur de l'élevage repose sur plusieurs filières dont les principales sont la viande et le lait et ses dérivés [2], une carcasse d'un dromadaire adulte arrive jusqu'à 200 kg .



Figure II. 1. Photo d'un dromadaire élevage naturel

II.1.1.2 Production

La production de chameau cheptel (*CAMELS DROMEDARIUS*) en Algérie à évaluer au cours de la dernière décennie (2010-2020) et nous nous référons aux statistiques de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) 2019, le nombre de têtes estimé en 2010 est de 313990 têtes et gras dans la politique algérienne d'aide aux éleveurs le nombre de têtes a atteint 416519 têtes, un taux d'augmentation de 32. 65%, et nous trouvons cette augmentation, la plus élevée par rapport à la bovine et la caprine (Figure.II-2.).

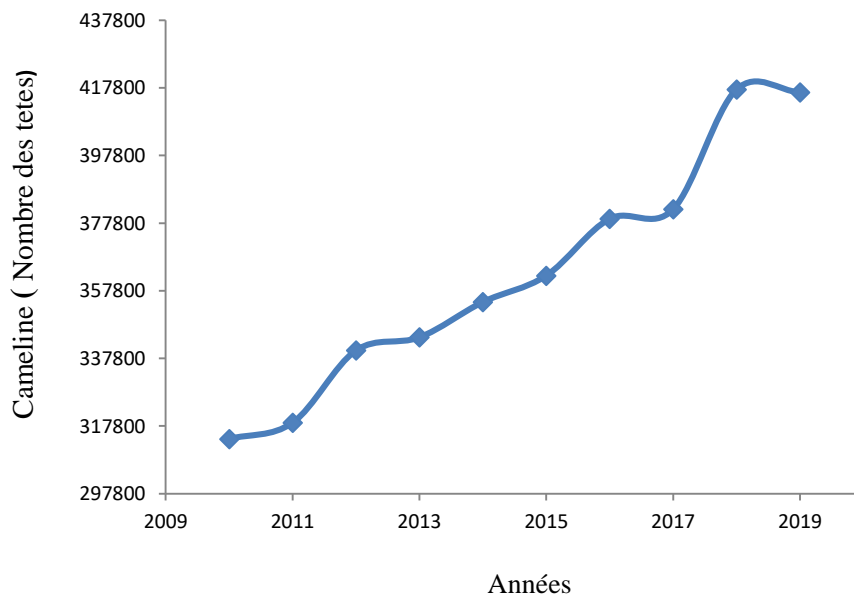


Figure II. 2 Évaluation de la production de dromadaire

II.1.1.3 Consommation De La Viande Cameline

La consommation de la viande cameline dans les régions arides provient des dromadaires de différents âges, des dromadaire âgés et de chameçons (nom local HACHI) qui veut dire un chameau moins de 4 ans , le consommateur local préfère la consommation de la viande de jeunes chameau en raison de sa qualité physique (tendreté), le taux de consommation est connu une forte demande dans la région de Ouargla d'après les statistiques de l'abatage dans l'abattoir régional de Ouargla qui ont été faites par la direction des services agricoles de la wilaya de Ouargla, le nombre de têtes abattues a passé de 1328 en 2010 à 2967 en 2019 (Figure. II-3).

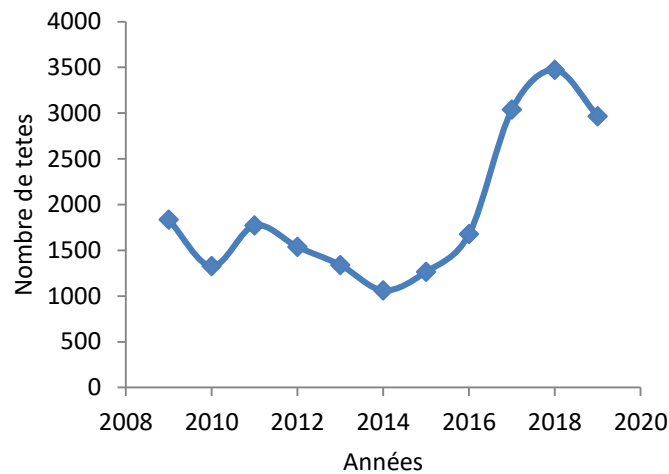


Figure II. 3 Évaluation de l'abatage de dromadaire de l'abattoir de Ouargla (DSA2020.)

II.1.1.4 Propriétés Nutritives De La Viande Cameline

La viande cameline est un aliment composé d'environ de 77% d'eau [125], elle est classée comme un aliment facilement périssable à cause de son activité enzymatique et microbiologique, la matière sèche de cet aliment a une grande teneur en protéine (20 à 23%) et une faible teneur en cholestérols (50 mg/100 g), riche également en minéraux et oligoéléments (Figure.II- 4), riche en vitamine hydrosoluble (Figure.II-5) [126].

PARTIE II

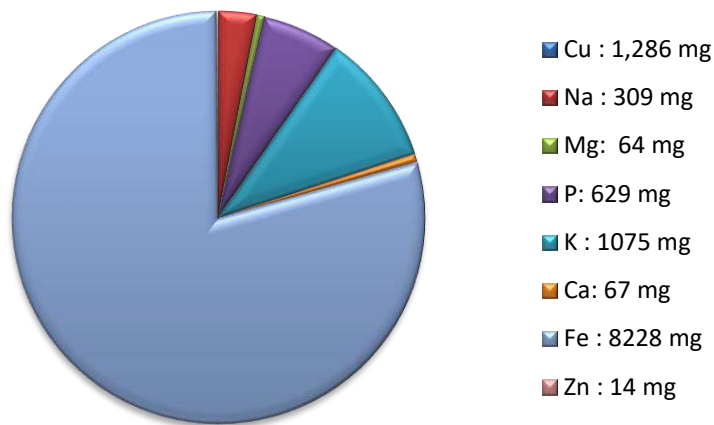


Figure II. 4 Teneur en minéraux et oligoélément de la viande cameline

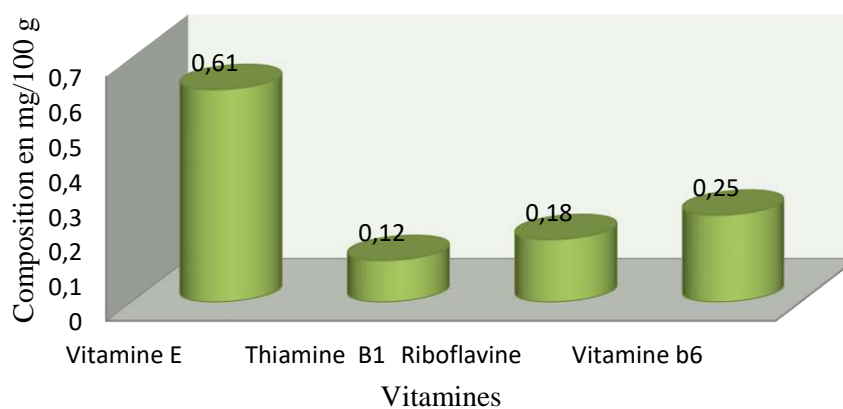


Figure II. 5 Teneur en vitamines hydrosolubles de la viande cameline

II.1.2. Raisins

II. 1.2.1. Description

Le raisin, fruit de la vigne vitis appartenant à la famille des vitacées, présente plusieurs espèces, parmi lesquelles les plus couramment cultivées sont le vitisvinifera, vitislabrusca, vitiscoignetiae et la vitisamurensis. Il se compose d'un péricarpe charnu et peut être avec ou sans pépins, prenant la forme d'une baie constituée de pulpe, pellicule et pépins (Figure II.6). Il est généralement consommé de juillet à octobre. Pour cette étude, la variété régal seedless sans pépins de l'espèce vitisvinifera a été utilisée comme matière première dans toutes les expériences réalisées.

PARTIE II

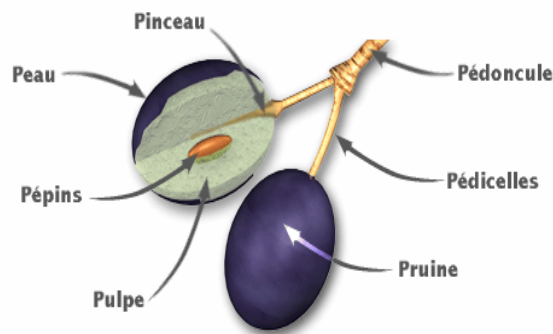


Figure II. 6 Schéma représentatif de la composition d'une baie de raisin

II. 1.2.2. Production

La production totale de raisin en Algérie atteint 5665787 quintaux sur une superficie totale de vignoble de 69642 ha, en 55 variétés, 31 variétés de transformation, 5 variétés de séchage et 10 variétés de porte-greffes (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2021), l'évaluation de la production a augmenté de 73192023 quintaux en 2012 à 74678585 quintaux en 2021 selon les statistiques présentées par l'organisation FAO 2021 (Figure II.7) [127].

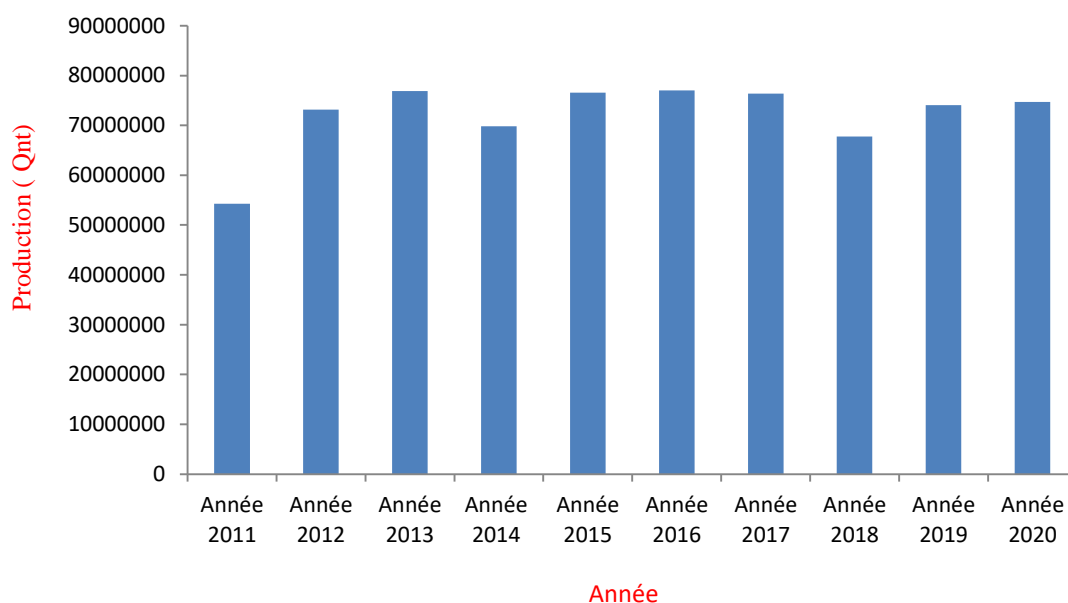


Figure II. 7 Production des raisins en Algérie dans période 2011.2020 (FAOSTAT-2021)

II.1.2.3 Consommation De Raisin

Les raisins sont consommés à l'état frais et séché, consommés comme fruit saisonnier et exploités dans les industries comme matières premières de fabrications des jus, des recettes pâtisseries, dans les

PARTIE II

traditions algériennes. Il s'agit également, d'un fruit trouvé dans les recettes des plats spécialement ramadhan, et aussi consommé après réhydratation (Figure II.8).



Figure II. 8 Consommation de raisin dans différentes recettes

II.1.2.4 Propriétés Nutritives

Les raisins sont une source riche en antioxydants, grâce à leur composition en plusieurs phénols qui confèrent à ce fruit sa spécificité. Les composants exceptionnels des raisins les rendent très efficaces contre les maladies cardiovasculaires. En effet, leur teneur en resvératrol a le pouvoir de prévenir et de traiter le cancer grâce à l'activation du gène P53. Les raisins blancs sont principalement composés d'eau (environ 80%), de protéines (0.75%), de glucides (16.6%), d'acides gras et de fibres (Tableau II.01).

Tableau II. 1 Composition physicochimique essentielle des raisins sec par rapport à la matière sèche [128][129]

Constituants	Teneur moyenne	Constituants	Teneur moyenne
Eau (g/100g)	80.5	Cuivre (mg/100g)	0.13
Protéines (g/100g)	0.72	Fer (mg/100g)	0.36
Glucide (g/100g)	20 %	Iode (µg/100g)	0.75
Lipides (g/100g)	0.16	Magnésium (mg/100g)	7
Fibres alimentaires (g/100g)	0.9	Manganèse (mg/100g)	0.071
Polyols totaux (g/100g)	0.2	Phosphore (mg/100g)	20
Cendres (g/100g)	0.48	Potassium (mg/100g)	191
Acides gras saturés (g/100g)	0.054	Sélénium (µg/100g)	0.8
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0.005	Sodium (mg/100g)	2
Calcium (mg/100g)	10	Zinc (mg/100g)	0.07

PARTIE II

Les raisins sont aussi une source de plusieurs vitamines, on trouve la vitamine c avec 3.2 mg/100 g (Tableau .II. 2).

Tableau II. 2. Teneur en vitamines principaux des raisins [130][131]

Constituants par 100 grs / matière sèche	Teneur moyenne
Vitamine E	0.190 mg
Vitamine K1	14.600 ug
VitamineC	3.200 mg
VitamineB1	0.069 mg
Vitamine B2	0.07 mg
Vitamine B3	0.190 mg
Vitamine B5	0.050 mg
VitamineB6	0.086 mg

CHAPITRE II. 2 :
Protocoles De Prétraitement

Dans les travaux de cette thèse, les expériences de séchage sont réalisées avec de la viande cameline et des raisins de tables (régal seedless). Les produits sont analysés et caractérisés avant et après séchage afin d'étudier les effets des différentes conditions opératoires sur leurs qualités physicochimiques, des protocoles de prétraitement sont appliqués avant séchage et seront décrits ci-dessous.

II.2.1. Protocole De Prétraitement De La Viande Cameline

Les expériences de séchage réalisées avec la viande cameline sont réalisées en couches minces, la viande a été coupée en tranches d'une forme rectangulaire de dimension de 8mm d'épaisseur, 100 mm de longueur et 20 mm de largeur (8 mm x 100 mm x 20 mm). Une deuxième dimension de 4 mm d'épaisseur, 100 mm de longueur et 20 mm de largeur pour l'étude de l'effet de l'épaisseur (20 mm x 100 mm x 20 mm), suivi d'un traitement de salage dans une solution de chlorure de sodium d'une concentration de 19% à une température de 4 degrés Celsius pendant 30 minutes et 90 minutes. Les échantillons obtenus sont ensuite séchés par microonde, séchage statique et séchage au soleil pour étudier l'effet de mode de séchage sur la qualité physicochimique de la viande cameline (Figure.II.9).

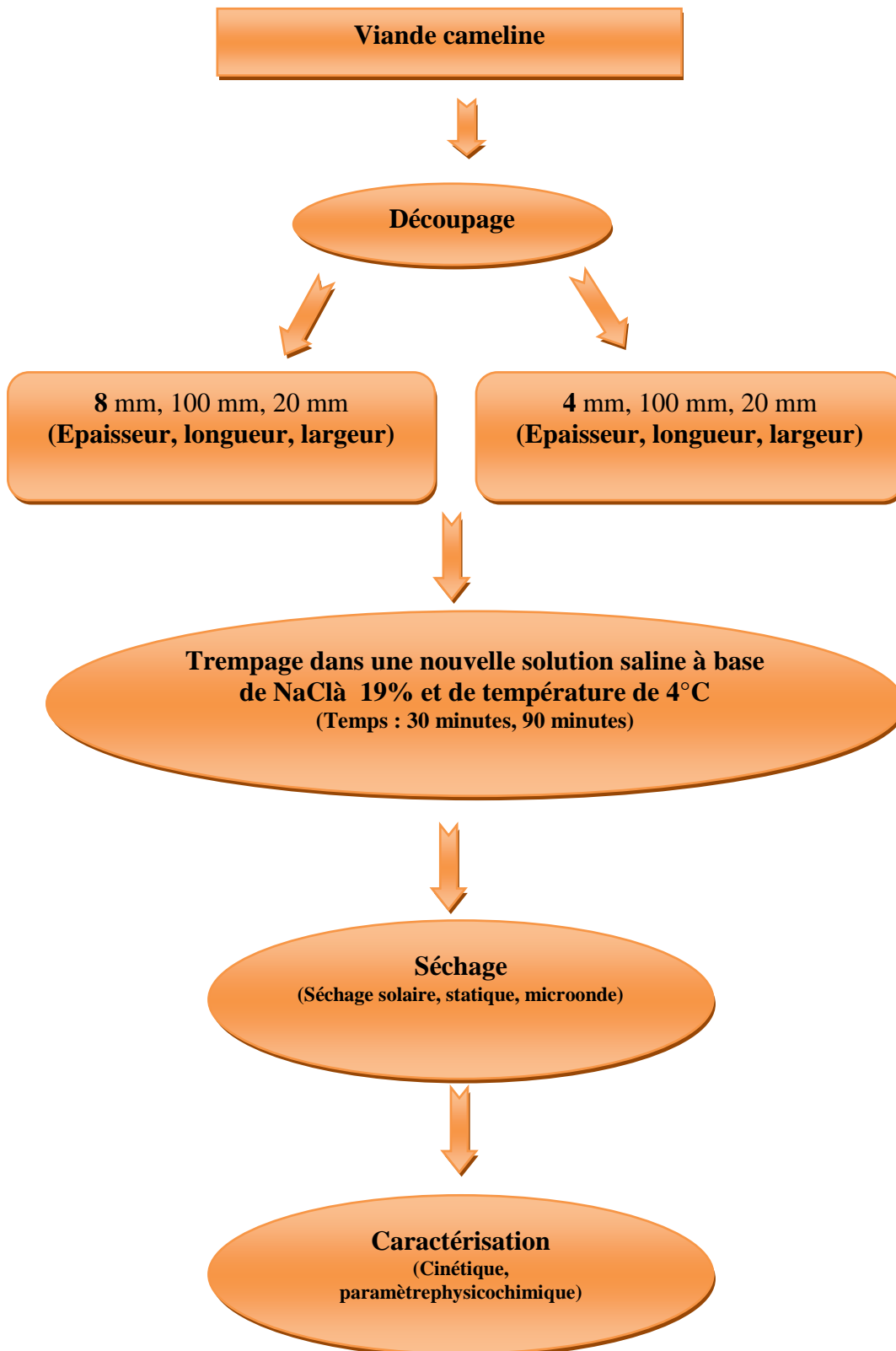


Figure II. 9 Protocole de prétraitement de la viande cameline

II.2.2. Protocole De Prétraitement Des Raisins

Dans ce travail de recherche, la qualité physico-chimique et le comportement cinétique de séchage des raisins "Regal Seedless" dans un séchoir solaire indirect et le séchage solaire direct ont été étudiés. Les produits ont subi un prétraitement avant le séchage dans une nouvelle solution développée dans le laboratoire, composée d'huile d'olive 2% (V/V), carbonate de sodium 2% (V/V) et 96 % de l'eau distillée, les temps de séjour des échantillons sont de 2, 4 et 6 minutes et à une température de 60 et 80 minutes, dans la solution de prétraitement. La figure II.10. illustre le protocole de retraitement utilisé.

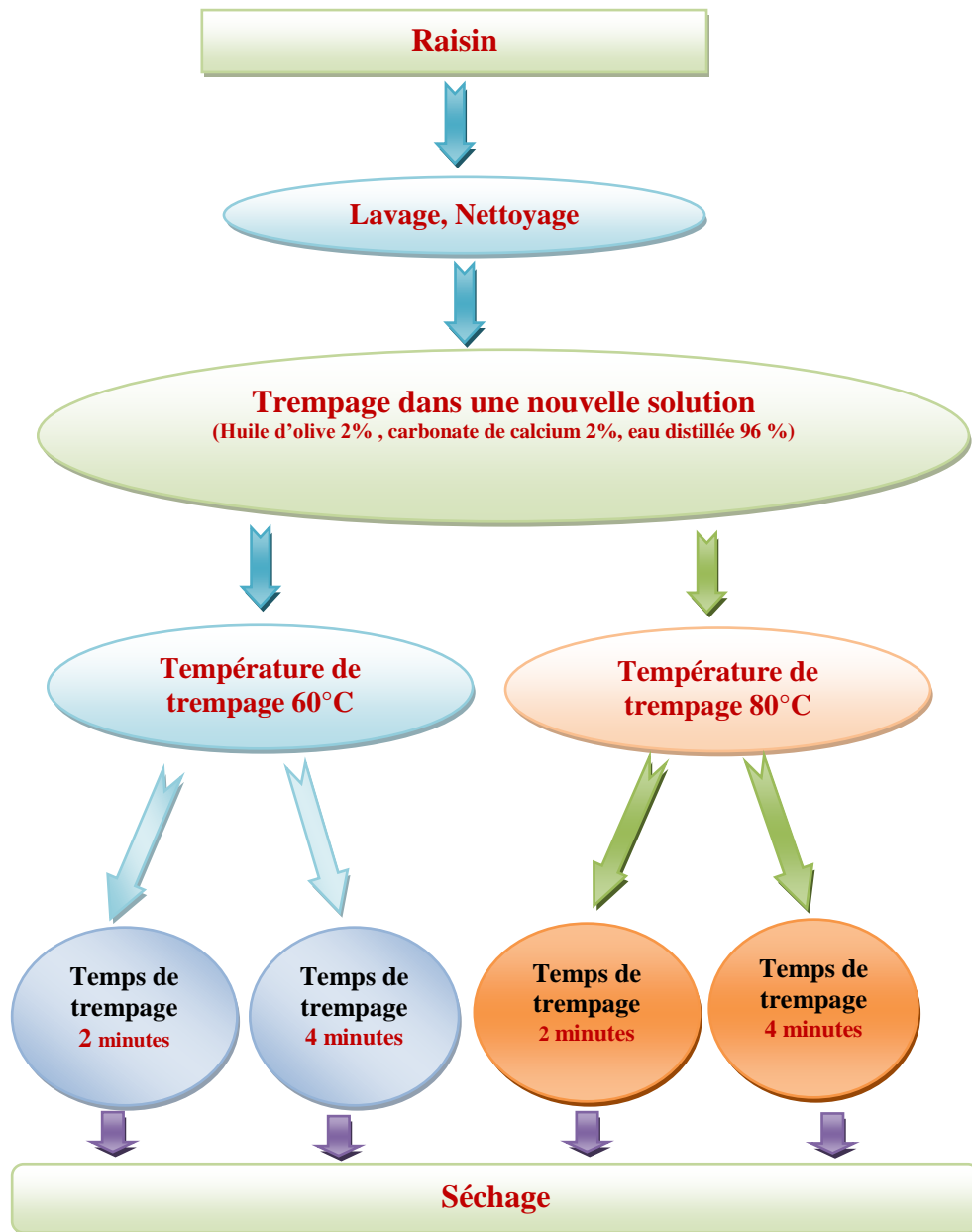


Figure II. 10 Protocole de prétraitement des raisins avant séchage

CHAPITRE II. 3 :
MODES DE SÉCHAGE

II.3.1. Séchage Par Microondes

Le séchage des tranches de viande de caméline (*Camelusdromedarius*) a été effectué dans un four à micro-ondes de marque IRIS (IR-MO30EL) (annexe 01) avec des dimensions de cavité interne de 240 mm (hauteur), 354 mm (largeur) et 358 mm (longueur), qui est caractérisé par une tension nominale de 230 V à 240 V, une fréquence de 50 Hz et une puissance d'entrée de 1400 W et 900 W de puissance de sortie, avec une fréquence de micro-ondes de 2450 MHz. Le four à micro-ondes était le four standard qui a la capacité de fonctionner à dix niveaux de puissance différents, à savoir 90, 180, 270, 360, 450, 540, 630, 720, 810 et 900 W. avec une plaque de verre de 310 mm de diamètre tournant à la base du four (Figure II-11). Le réglage du temps de traitement et de la puissance de travail est effectué au moyen d'une commande automatique. Pendant les expériences de séchage, chaque échantillon a été placé sur un verre de montre. Le taux de perte d'humidité a été mesuré périodiquement en retirant le verre de montre et en le pesant rapidement sur la balance numérique ohaus adventurer avec une précision de 0,0001g. Trois essais ont été réalisés pour chaque expérience pour chaque puissance choisie et les données fournies sont une moyenne de ces résultats.

II.3.2. Séchage Statique

Le séchage statique des tranches de viande de caméline (*Camelusdromedarius*) a été effectué dans un four universel Memmert (UN55 - Allemagne) en acier inoxydable avec des dimensions de cavité interne de 400 mm (hauteur), 400 mm (largeur) et 330 mm (longueur) avec un volume interne total de 53 litres (ANNEXE 1) . Les températures de travail (45°C et 65°C) étaient régulées au moyen d'un contrôle externe. Pendant les expériences de séchage, chaque échantillon était placé sur une grille. Le taux de perte d'humidité a été mesuré périodiquement en retirant rapidement les claies et pesé sur la balance numérique ohaus adventure avec une précision de 0,0001 g. Trois tests ont été effectués pour chaque expérience pour chaque température sélectionnée et les données fournies sont une moyenne de ces résultats.

II.3.3. Séchage Au Soleil (Naturelle)

Le séchage solaire des produits est réalisé en plein air dans la région de Ouargla pendant la période de janvier. Durant cette période, les températures ambiantes ainsi que la vitesse du vent et l'humidité relative sont soigneusement enregistrées.



Figure II. 11 Séchage au soleil de la viande cameline [56]

II.3.4. Séchoir solaire indirect

Les expériences de séchage réalisées dans un séchoir solaire indirect, implanté dans le laboratoire en plein air de la faculté des sciences de la matière à l'université de Ouargla (Latitude : $31^{\circ} 56' 57''$ N - Longitude : $5^{\circ} 19' 30''$ E - Altitude : 138 m), il a été réalisé par Khama [132] (Figure II-15), il se composait principalement de deux compartiments, un capteur solaire plat (A) et une chambre de séchage (B), les dimensions de capteur solaire est de 1.14 m de largeur et 1.90 m de longueur et orienté vers l'équateur, vers le sud dans le but de maximiser le rayonnement solaire incident. Aussi incliné à un angle de 32° . Une feuille de verre a été utilisée comme couverture transparente (a1) pour éviter les pertes de chaleur par la haute supérieure. Une feuille de cuivre peinte en noir (non réfléchissante) a été utilisée comme plaque d'absorption (a1). Comme plaque d'absorption (a2) pour absorber le rayonnement solaire incident. Une isolation en laine de verre de 7 cm d'épaisseur (a3) a été de 7 cm d'épaisseur (a3) a été utilisée sur les côtés et le fond du les pertes de chaleur de ces zones. L'air a été aspiré entre le couvercle et la plaque absorbante. La chambre de séchage (B) avec des dimensions totales de $1.14 \times 1.14 \times 1.66 \text{ m}^3$, a été construite avec des parois en fer galvanisé isolées et bien isolée avec de la laine de verre de 7 cm d'épaisseur. Elle se terminait par une cheminée (b1) évacuant l'air humide de façon naturelle ou grâce à un ventilateur (b2) de 75 W de puissance, dans le cas d'une ventilation forcée l'air chauffé entrainé dans la chambre de séchage par le bas du plateau (b1). Chambre de séchage par le bas du plateau (b3) et s'écoule vers le haut à travers le produit et ensuite à travers la cheminée et l'humidité relative ont été mesurées par un thermo hygromètre avec une précision de $\pm 2\%$ de la lecture $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ et de $\pm 1\%$ de la lecture $\pm 1,5\%$. Le rayonnement solaire a été mesuré par un pyromètre Kipp et Zonen avec une

PARTIE II

précision de 0.1 W m^{-2} . Les températures d'entrée et de sortie de l'air dans le capteur solaire capteur solaire ont été mesurées par des thermocouples de type K en chrome-aluminium étalonnés avec une précision de $\pm 0.01^\circ\text{C}$. La température et l'humidité relative de l'air dans le collecteur solaire température et l'humidité relative de l'air dans la chambre de séchage chambre de séchage ont été mesurées par un thermo-hygromètre avec précision de $\pm 2 \%$ de la lecture $\pm 0.1^\circ\text{C}$ et $\pm 1 \%$ de la lecture $\pm 1.5\% \text{ HR}$. Les pertes d'humidité de la masse de raisins ont été enregistrées à l'aide d'une balance numérique (balance KERN).

L'enregistrement des températures des différent endroit (entre de capteur, sortie de capteur, entre dans la chambre de séchage, sortie de la chambre de séchage) dans le séchoir solaire effectuer par un enregistreur national instruments, relier avec l'ordinateur et gère avec un logiciel national instrument, l'humidité de l'aire est mesurée par thermo hygromètre (Figure II-16).

CHAPITRE II.4 :
CARACTÉRISATIONS DE LA QUALITÉ
DES PRODUITS APRÈS SÉCHAGE

PARTIE II

La caractérisation des aliments séchés par différentes méthodes et sous plusieurs conditions est effectuée en terme physicochimique à savoir nutritionnel, physique et organoleptique, ainsi qu'en terme d'aptitude au séchage. L'objectif principal est une comparaison, bien entendu !

II.4.1. Teneur En Eau

Le mesure de la teneur en eau de la viande est déterminé suivant le protocole déterminé dans la norme internationale ISO 1442-1997 base sur le principe de séchage d'un mélange homogène de la prise d'essai avec de sable à $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante, le sable doit être propre, lavé avec de l'acide et tamise dans un tamis de 1.4 mm et retenu dans un tamis de 250 um d'ouverture de maille séché a une température de 160°C et conserver dans des flacons hermétiquement fermés.

L'expression des résultats est en pourcentage en masse, à l'aide de l'équation suivante [72]:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (\text{Eg.II.1})$$

Où :

m_0 : est la masse de la capsule de séchage avec du sable

m_1 : est la masse de la capsule avec la prise d'essai

m_2 : est la masse de la capsule et le sable après le séchage.

la mesure de la teneur en eau pour les fruit et les légume est déterminé suivant le protocole détaillé dans la norme ISO 1026 relative aux produits dérivés des fruits et légumes basé sur la détermination de la teneur en matières sèche par dessiccation sous pression réduite à 700 millibars et une température de 70°C . la prise d'essai est mélangé avec de sable lavé et séché a 160°C .

II.4.2 Teneur En Protéines

La teneur en protéines des tranches fraîches et séchées de viande de caméline a été calculée en déterminant la quantité d'azote total dans les échantillons en utilisant la méthode Kjeldahl (ANNEXE .02), Le dosage de l'azote total par la méthode Kjeldahl repose sur la minéralisation d'une prise d'essai par de l'acide sulfurique concentré en présence de sulfate de cuivre (II) comme catalyseur, ce qui conduit à la transformation de l'azote organique en ions ammonium. Après cette étape de minéralisation, un traitement alcalin est réalisé pour libérer sous forme gazeuse l'ammoniac produit. Cet ammoniac est ensuite distillé et piégé dans un excès de solution d'acide borique. La quantité d'ammoniac ayant réagi avec l'acide borique est alors dosée par titrage à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique. Connaissant ainsi la teneur en ammoniac formé lors de la minéralisation, il est possible de remonter à la concentration initiale en azote total dans l'échantillon analysé, en utilisant un facteur de conversion de 6,25 comme suggéré dans la littérature scientifique [133], trois tests de mesure ont été effectués pour chaque échantillon, puis le pourcentage de protéines est calculé selon l'équation suivante [134].

PARTIE II

$$N (\%) = \frac{V_1 - V_0}{W} * 0.14 * F \quad (\text{Eq.II.2})$$

V_0 : est le volume, en mL, de la solution d'acide chlorhydrique 0,1 N utilisée pour l'essai à blanc.

V_1 : est le volume, en mL, de la solution d'acide chlorhydrique 0,1 N utilisée pour le dosage.

W : est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

F : Facteur de conversion de l'azote en protéine (6.25 pour la viande).

II.4.3 Teneur En Azote Basique Total Volatile (Tbv-N)

La teneur en azote de la viande de caméline est la quantité d'azote correspondant à l'ammoniac produit et déterminée dans les conditions spécifiées décrites dans la norme ISO 0937, de la teneur en azote de l'échantillon. La teneur en azote, exprimée en pourcentage de la masse selon l'équation :

$$N (\%) = \frac{V_1 - V_0}{W} * 0.14 \quad (\text{Eq.II.3})$$

V_0 : est le volume, en mL, de la solution d'acide chlorhydrique 0,1 N utilisée pour l'essai à blanc.

V_1 : est le volume, en mL, de la solution d'acide chlorhydrique 0,1 N utilisée pour le dosage.

W : est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

II.4.4 Teneur En Cendres

Les cendres d'aliments représentent la teneur en minéraux total de la matière première, son obtenu après incinération des échantillons à une température de 550 ± 25 °C suivant la norme ISO 936, une prise d'essai de 2 g est mise dans un creuset en porcelaine préalablement séché et pesé. Les résultats sont exprimés suivant la relation mathématique suivante [83]:

$$\text{Cendre } (\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100 \quad (\text{Eq.II.4})$$

Avec :

*Cendre (%) : est la teneur en cendre en pourcent de l'échantillon.

* m_0 : la masse en gramme de creuset vide.

* m_1 : la masse en gramme de creuset avant l'échantillon avant incinération.

* m_2 ; la masse de creuset en gramme après incinération.

II.4.5. Dosage Des Polyphénols Totaux

Le polyphénol du raisin est extrait par macération de 5.10^{-3} kg de fruits lyophilisés et broyés dans un broyeur à billes à température de base dans 30.10^{-6} m³ de solvant organique (méthanol 70%), à température ambiante pendant une période de 24 heures, on procède à une deuxième et troisième extraction identique sur le culot pour une extraction supplémentaire et ainsi obtenir un dosage plus

PARTIE II

exhaustif, les surnageant sont recueillis avant d'être concentrés à sec sous vide et le dosage du polyphénol total par le réactif de Folin-Ciocalteu en utilisant l'acide gallique comme étalon pour tracer la courbe d'étalonnage par la lecture de l'absorbance des différentes concentration dans un uv-visible Cary 100 (Figure II-20 , annexe 1).

II.4.6. Teneur En Lipide (Matière Grasse Totale)

La teneur en lipides des tranches devian de séchée est déterminée par la méthode d'extraction liquide-solide utilisant l'appareil Soxhlet 06 postes de marque Baiher (Figure II-21), le solvant n-hexane a été utilisé comme solvant d'extraction , après hydrolyse des échantillons dans un acide, l'expression des résultats est la différence entre la masse des ballons d'extraction selon l'équation mathématique suivante (Pérez-Palacios 2008, Xiao 2010, Rahmani Y et Khama R 2021) [135].

$$\text{Lipid (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} * 100 \quad (\text{Eq.II.5})$$

Avec :

W_0 : est la masse, en grammes, de l'échantillon d'essai.

W_1 : est la masse, en grammes, du ballon et des régulateurs d'ébullition.

W_2 : est la masse, en grammes, du ballon des régulateurs d'ébullition et de la graisse après séchage.

II.4.7. Dosage De L'acidité Titrable

L'acidité titrable est un facteur de qualité de raisin sec, la détermination de la quantité d'acide exprimée en acide malique dans les raisins sec est détaillée dans la norme ISO 750 relatif à la détermination de l'acidité titrable des produits dérivés des fruits et légumes, son principe est le coupage des fruits en petit morceaux et les broyer dans un mortier pour rendre bien homogène, une prise d'essai de 25 g de l'échantillon pesé à 0.01 g près est met dans une fiole de 250 mL avec 50 mL d'eau distillée chaude, bien mélanger jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène, puis le chauffer pendant 30 minute et le remplir jusqu'à trait de jauge (250mL) par l'eau distillée .

Le titrage de l'échantillon préparé par la solution d'hydroxyde de sodium en présence d'un indicateur colore (phénolphtaléine) et l'expression des résultats suivant la formule ci-après :

$$\text{Acidite (\%)} = \frac{250}{m} \times V_1 \times C \times \frac{100}{V_0} \quad (\text{Eq.II.6})$$

Où :

V_0, V_1 : sont les volumes de hydroxyde de sodium utilisés pour le titrage du témoin et de l'échantillon.

M : est la masse en gramme de la prise d'essai.

C : la concertation en mole par litre d'hydroxyde de sodium utilisé.

II.4.8. Mesure De La Couleur

La couleur des aliments fait objet de cette études ont été déterminée avant et après le séchage sur la surface des échantillons à l'aide d'un Chroma-mètre (CR-13, KONICA MINOLTA, Tokyo, Japon)(Figure II-22), et l'évaluation de la couleur était basée sur la détermination des valeurs de Hunter L*(blanc/foncé), a*(rouge/vert) et b*(jaune/bleu), la valeur totale de la différence de couleur (ΔE) des tranches de viande caméline a été calculée selon l'équation suivante[85][136].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (\text{Eq.II.7})$$

II.4.9. Capacité De Réhydratation

La majorité des aliments séché ou déshydraté se consomment après la réhydratation, ce processus vise à la restauration partielle des propriétés initiale de la matière fraîche, les processus de ce phénomène commence par l'imbibition par l'eau de la matière sèche, suivi d'un gonflement et la fuite de soluté (référence), pendant ce processus de réhydratation, le produit peut subir plusieurs modification, à savoir la porosité, la texture, le volume d'où l'importance de développement des produits qui réponds au propriétés technologique avec des qualités ciblées suivantes :

- ✚ Les propriétés structurales (porosité, volume, taille des pores).
- ✚ Les propriétés optiques (apparence et couleur).
- ✚ Les propriétés nutritionnelles (lipides, vitamines, sucres, protéines,etc.).
- ✚ Les propriétés organoleptiques (saveur,goût, odeur).
- ✚ Les propriétés mécaniques (état caoutchouteux, cristallin, ou vitreux).
- ✚ Les propriétés rhéologiques (résistance à la traction et la compression).

La capacité de réhydratation est influencée par plusieurs facteurs (Liwicki 1998), reliev à la structure de l'échantillon, la taille des pores après séchage, les cavités qui sont proches de la surface des aliments ainsi que les réseaux capillaires qui sont reliés avec la profondeurjouer un rôle positive dans le processus de réhydratation, la présence des bulles de gaz qui peuvent être piégées est un obstacle de transfert d'eau à l'intérieur de la matière.

Les expériences de capacité de réhydratation sont réalisées dans un incubateur thermostatique réglable de 10 à 40 degréCelsiusde marque WTW série TS-1008-I.Le principe est de tremper une masse connue de matière séché dans un volume d'eau distillée a une température de 25°C, après 4 heure, on mesure la masse de l'échantillon.

L'expression des résultats peuvent être exprime par plusieurs façons, mais indice est le même, le rapport est la masse après le trempage sur la masse initiale de la matière première utilisée.

$$\text{Taux de réhydratation (TR)} = \frac{\text{Masse apres réhydratation}}{\text{Masse initiale de la prise d'essai}} \quad (\text{Eq.II.8})$$

PARTIE II

Ce rapport est nommé différemment, on le trouve capacité de réhydratation (Levi et al.1988), le taux de réhydratation (Quintero-Ramos et al. 1992) et même coefficient d'hydratation (OgwalDavis 1994).

L'expression de ce rapport par rapport à la matière sèche est :

$$\text{Taux de réhydratation } \frac{(TR)}{MS} = \frac{\text{Masse apres réhydratation}}{\text{Masse initiale} * \% \text{ Matière seche}} \quad (\text{Eq.II.9})$$

Le rapport aussi peut être exprimé en pourcentage de réhydratation comme suit [137]:

$$\text{Pourcentage de réhydratation (TR)} = \frac{\text{Masse apres réhydratation}}{\text{Masse initiale de la prise d'essai}} \times 100 \quad (\text{Eq.II.10})$$

La capacité de réhydratation dans ce présent travail a été évaluée suivant la formule [138] :

$$\text{Capacite de réhydratation} = \frac{M_0 - M_d}{M_d} \quad (\text{Eq.II.11})$$

Avec :

M_0 : représente la masse de l'échantillon après la réhydratation à temps final (g).

M_d : la masse de la matière utilisée avant la réhydratation.

II.4.10. Taux De Rétrécissement

La perte d'humidité des échantillons sèches provoque un changement dans la surface des tranches et même en effondrant les structures des pores, dans la viande, le retrait est anisotrope, Le retrait des tranches de viande cameline déterminé par une méthode directe en mesurant les dimensions des échantillons à l'aide d'un pied d'emballage numérique Powerfix (Figure.II-23), avant et après chaque méthode de séchage, et le taux final de retrait calculé selon l'équation mathématique [98] :

$$\text{Taux de retriissement} = \frac{\text{surface des echantillon a l'instant (t)}}{\text{surface de l'echantillon initiale}} \quad (\text{Eq.II.12})$$

II.4.11. Calcul de la diffusivité effective

Le séchage des produits biologiques tels que viande caractérisé par la diffusion de l'eau de l'intérieur des cellules vers l'extérieur, ce phénomène peut être décrit par la loi de diffusion de Fick, malgré cette équation n'est pas vraiment l'équation idéale adaptable expérimentalement aux données du phénomène de séchage mais elle nous informe et nous donne approximativement l'aspect du transfert d'humidité, la préparation d'échantillons d'oignons sous forme cylindrique nous permet de décrire le coefficient de diffusion au cours du processus de séchage par micro-ondes représenté par une valeur moyenne. La détermination de la diffusivité est généralement calculée par la courbe

PARTIE II

obtenue après séchage qui représente les deux termes, le logarithme naturel (ln) de la teneur en humidité (MR) en fonction du temps de séchage (t) [13].

$$\text{slope} = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4l^2} \quad (\text{Eq.II.13})$$

Où :

D_{eff} : est le coefficient de diffusion ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

l : est l'épaisseur des tranches de viande (m).

II.4.12. Observation Microscopique

L'objectif de l'observation microscopique à balayage électronique (Figure II-27) consiste à obtenir le maximum d'informations sur la surface des échantillons afin de caractériser leur état de surface, leur topographie et de détecter les éventuelles défauts telles que les fissurations, les fractures, les dommages et les impuretés de certains matériaux. Le principe de fonctionnement repose sur la comparaison du déplacement d'un faisceau d'électrons focalisé sur un échantillon avec celui d'un autre faisceau sur un écran cathodique. Cette caractérisation est indispensable pour prévoir le comportement d'un matériau [139]. Lorsqu'un faisceau d'électrons d'énergie E_0 traverse un échantillon solide, il subit diverses interactions, à la fois élastiques et inélastiques. Les interactions élastiques, principalement avec le noyau, provoquent des variations plus ou moins brutales de la direction des électrons incidents, ce qui se traduit par une diffusion. Pour chaque électron, ces interactions produisent une trajectoire électronique aléatoire de longueur finie. Les interactions inélastiques entraînent une perte progressive d'énergie pour l'électron, principalement par transfert aux électrons des orbitales atomiques, ce qui provoque l'excitation et l'ionisation des atomes présents. Une petite partie de cette perte d'énergie se fait également par rayonnement de freinage lors de l'interaction avec le noyau, également appelé Bremsstrahlung. Les interactions d'un faisceau d'électrons avec un échantillon produisent une vaste gamme de signaux, parmi lesquels on peut distinguer les principales émissions électroniques et électromagnétiques. [140] :

- ✚ Les électrons secondaires qui sont issus de l'interaction inélastique des électrons primaires avec les électrons orbitaux (en particulier les électrons de valence). Les électrons secondaires possèdent en moyenne une énergie de l'ordre de quelques électrons-volts (Figure I)
- ✚ Les électrons rétrodiffusés qui proviennent du faisceau primaire et qui ont une énergie comprise entre 0 et E_0 , la plupart n'ayant subi qu'un nombre limité de chocs élastiques ou quasi élastiques (Figure II)

Les électrons Auger, une variété de photons tels que X, visibles, UV, et IR, ainsi que les paires électrons-trous dans les semi-conducteurs sont tous des éléments en jeu. La luminosité de la tache

PARTIE II

sur l'écran est proportionnelle au courant provenant d'un capteur spécifique, qui peut être généré par n'importe lequel des signaux résultant de l'interaction du faisceau primaire avec le matériau, que ce soit des électrons secondaires, des rétrodiffusions de photons, ou autres. Cependant, il convient de noter que l'utilisation de ces signaux pour former une image est soumise à trois conditions limitantes :

- ✚ Signal assez intense pour sortir du bruit (détecteur approprié...),
- ✚ Signal produit ou enregistré dans un temps assez court (par rapport à la vitesse de balayage)
- ✚ Signal traduisant une caractéristique utilisable et identifiable du point bombardé.

CHAPITRE II.5 :
MÉTHODE DES PLANS D'EXPÉRIENCES

II.5.1. Intérêt d'application Des Plans D'expériences

Dans le domaine de la transformation alimentaire et l'industrie pharmaceutique et différentes industries, notamment dans le séchage des aliments comme cas particulier, les plans d'expériences sont utilisés dans l'objectif de :

- ✚ Optimisation des conditions ou de réglages d'un procédé de fabrication.
- ✚ Détermination des facteurs clés dans le procédé industriel.
- ✚ Modélisation de comportement d'une évaluation d'un composé dans un aliment.
- ✚ Obtenir un maximum d'information et des réponses d'un système avec un minimum d'expérience.
- ✚ Economiser le coût d'études en utilisant le minimum des produits et de matériels.

Avec le plan d'expériences, les modèles statistiques qui seront obtenus sont reliés directement aux données d'entre et de sortie (réponse) sans connaître les phénomènes internes qui restent une boîte noire.

II.5.2. Grandeurs Dépendants Et Indépendants Dans Le Plan D'expériences

Dans la terminologie des plans d'expériences, on distingue deux grands types, la grandeur d'intérêt est une grandeur qu'on cherche à mesurer notée (y), considérée comme étant une réponse de système à étudier, et les facteurs qui sont des variables qui peuvent influencer les grandeurs d'intérêts, donc on a des facteurs qui influencent la réponse, on distinguera parmi les facteurs :

- ✚ Les facteurs dépendant directement du choix de procédé (produit, température, vitesse de l'airetc.)
- ✚ Les facteurs indépendamment du choix des procédés non contrôlables (conditions climatiques).
- ✚ Les facteurs d'entrée dont on cherche leur influence (épaisseur, temps de trempage, température de trempage).

Par mesure des réponses obtenue à chaque expérience, on détermine les facteurs influençant et leur évolution.

II.5.3. Étapes D'application Des Plans D'expériences Pour Une Étude D'un Procédé

Pour l'études des effets des différents facteurs sur les paramètres recherchés dans un procédé (facteurs- réponses), on doit suivre les étapes suivantes :

II.5.3.1. Détermination De La Réponse Et Les Facteurs D'études

L'objectif est d'avoir le maximum d'information pour désigner et sélectionner les facteurs qui influencent d'une manière significative la réponse, et avoir des informations essentielles sur :

- ✚ Choix du domaine d'études des facteurs.
- ✚ Choix de la réponse la plus intéressante.
- ✚ Choix des facteurs les plus influençant.

Le domaine d'étude est très important et le défi pour chaque facteur et réponses électionner, les valeurs des facteurs doivent couvrir le domaine réel d'utilisation, il n'est pas consigne d'avoir des informations pour un produit volatile a des températures très élevée.

II.5.3.2. Détermination D'un Modèle Mathématique

Il convient de préciser que le principe des plans d'expériences Taguchi ne repose pas sur des différents niveaux de facteurs, mais plutôt sur une approche appelée "robuste". Cette approche cherche à identifier les niveaux optimaux des facteurs pour lesquels la qualité du produit est la moins sensible aux variations des conditions de production. Le modèle mathématique utilisé est également différent d'un modèle polynomial. Il s'agit généralement d'un modèle linéaire, qui permet d'analyser l'effet des facteurs sur la réponse et de déterminer les niveaux optimaux pour chaque facteur. Le but est d'optimiser la qualité du produit tout en minimisant les coûts et en maximisant l'efficacité de la production.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + \sum_{i,j=1}^n \sum_{i \neq j} a_{i,j} x_i x_j + \sum_{i,j,k=1}^n \sum_{i \neq j \neq k} a_{i,j,k} x_i x_j x_k + \dots$$

$a_0, a_1, a_2 \dots$: sont des coefficients du polynôme.

$a_{ij} x_i x_j$: sont des interactions entre les facteurs.

II.5.3.3. Choix Des Expériences À Réaliser

La méthode de Taguchi est une approche statistique pour l'optimisation des processus qui vise à minimiser les effets des variations des facteurs de conception sur la qualité du produit. Pour choisir les expériences à réaliser dans un plan Taguchi, il est important de suivre les étapes suivantes :

- ✚ Identifier les facteurs de conception : les facteurs qui ont un impact sur la qualité du produit doivent être identifiés et choisis pour l'expérience. Ces facteurs peuvent être des variables opérationnelles telles que la température, la pression, le temps, etc.
- ✚ Déterminer les niveaux des facteurs : pour chaque facteur, les niveaux à tester doivent être déterminés. Il est important de s'assurer que les niveaux choisis couvrent toute la plage des valeurs possibles et sont suffisamment espacés pour détecter les effets significatifs.

PARTIE II

- ✚ Sélectionner le plan d'expérience : le plan Taguchi le plus approprié doit être choisi en fonction du nombre de facteurs de conception et de leurs niveaux. Les plans Taguchi couramment utilisés sont le L4, L9, L16 et L25.
- ✚ Réaliser les expériences : les expériences doivent être réalisées selon le plan Taguchi choisi. Il est important de s'assurer que les expériences sont effectuées dans des conditions constantes pour minimiser les effets des facteurs extérieurs.
- ✚ Analyser les résultats : les données collectées doivent être analysées à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA) pour déterminer les effets significatifs des facteurs de conception et leurs niveaux optimaux.

En résumé, pour choisir les expériences à réaliser dans un plan Taguchi, il est important d'identifier les facteurs de conception, de déterminer leurs niveaux, de sélectionner le plan d'expérience approprié, de réaliser les expériences et d'analyser les résultats.

II.5.3.4 Notion Signal Bruit (S/N)

La méthode de Taguchi, utilise une mesure statistique de performance appelée rapport signal/bruit noté S/N pour l'analyse des résultats expérimentaux, la relation qui permet d'optimiser les valeurs mesurées des différentes réponses, pour minimiser une valeur on utilise l'option "lower-the-better" ou pour maximiser "high-the-better". Dans cette étude, il s'agit de maximiser quelques paramètres de qualité et minimiser les paramètres on fonction de la représentation dans les résultats expérimentaux, comme la teneur en polyphénol des raisins secs par séchage solaire indirect à convection forcée, la relation S/N qui permet de déterminer l'optimum correspondant à la valeur maximale de la réponse (highest-the-better) dans le but de garder le maximum des polyphénols, le rapport S/N est calculer selon la formule mathématique suivante est Eg.(1) [15,16] :

$$[S/N] = -10 \times \text{Log} [1/n \sum_{j=1}^n (1/y_{ij})] \quad (\text{Eq.II.14})$$

Y_{ij} : valeur de la réponse obtenue.

N : nombre des répétitions de test.

II.5.3.5 Analyses Statistiques

L'analyse des résultats a été effectué par le plan d'expériences à l'aide du logiciel 'Minitab 19 Statistical Software', le choix de ce logiciel est basé sur :

- ✚ Exploitation des résultats et les représentations par différente formes.
- ✚ Possession d'un design of experiment (DOE) Taguchi method.
- ✚ Interface adéquate et permet la gestion facile des données.

Le logiciel Minitab permet de présenter les résultats sous les formes suivantes :

- ✚ Des diagrammes de Pareto pour visualiser d'une manière très claire les paramètres significatifs
- ✚ Représentations graphiques des niveaux des facteurs avec la variance des réponses
- ✚ Représentation des effets d'interaction entre facteurs
- ✚ Tableau des moyennes des niveaux de chaque facteur : ce tableau permet de visualiser les moyennes de chaque niveau des facteurs et de déterminer les niveaux optimaux pour chaque facteur.
- ✚ Graphique de l'effet principal : ce graphique permet de visualiser l'effet de chaque facteur sur la réponse. Il met en évidence le niveau optimal de chaque facteur et permet de comparer les effets des différents facteurs.
- ✚ Graphique de l'interaction : ce graphique permet de visualiser l'interaction entre deux facteurs et de déterminer si l'effet d'un facteur dépend du niveau de l'autre facteur.
- ✚ Tableau ANOVA : ce tableau présente les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) et permet de déterminer si les différences entre les moyennes sont statistiquement significatives.
- ✚ Graphique des résidus : ce graphique permet de vérifier les hypothèses de l'ANOVA en visualisant la distribution des résidus.
- ✚ Prévisions et optimisation : le logiciel Minitab permet également de faire des prévisions et d'optimiser les paramètres en utilisant les résultats de l'analyse de plan Taguchi.

II.5.4. Plans D'expériences Pour Le Séchage Solaire

Pour déterminer l'effet des paramètres de prétraitement dans le séchage solaire et les optimiser afin d'avoir des paramètres de réponse de haute qualité des denrées séchées, le plan Taguchi appliqué à deux facteurs et deux niveaux. Dans cette étude, deux paramètres opératoires de prétraitement ont été étudiés, pour la viande cameline, l'épaisseur et le temps de trempage dans une solution saline à une température fixe (4°C) et une salinité de 19% de Na Cl (tableau II.5),

PARTIE II

Tableau II. 3. Domaines de variation des paramètres du prétraitement de la viande cameline

Produit	Epaisseur de tranche de la viande (mm)		Temps de trempage (minutes)	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Viande cameline	4	8	30	90

Quant aux raisins, la température de la solution de trempage et le temps de trempage (tableau II.6) :

Tableau II. 4. Domaine de variation de températures des prétraitements du raisin

Prouit	Température de la solution de trempage (°C)		Temps de trempage (secondes)	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Raisin	60	80	120	240

Le plan orthogonal L8 a été suivi dans la réalisation des expériences de séchage de la viande cameline et des raisins, en utilisant le séchoir solaire indirect et le procédé de séchage au soleil (naturel).

Tableau II. 5. Plan d'expériences orthogonal L.8

Numéro d'essai	Facteurs 01 (temperature de trempage)	Facteur 02 (temps de trempage)
01	-1	-1
02	-1	-1
03	-1	+1
04	-1	+1
05	+1	-1
06	+1	-1
07	+1	+1
08	+1	+1
Niveau -1	60 °C	120 minutes
Niveau +1	80 °C	240 minutes

PARTIE III.

Résultats Et Discussion

III.1 Introduction

Le séchage et le contrôle de la qualité des produits agroalimentaires sont des enjeux importants pour l'industrie alimentaire, qui cherche à développer des produits sains et durables tout en optimisant les processus de production. Cette thèse se concentre sur l'étude de ces enjeux, en explorant les différentes techniques de séchage et les méthodes de contrôle de la qualité des produits agroalimentaires, dans le but d'améliorer leur qualité et leur durée de conservation. Les résultats présentés dans ce chapitre ont été obtenus à partir d'une analyse rigoureuse et complète des données collectées, ainsi que d'une série de publications scientifiques, notamment des articles et des présentations lors de séminaires et de conférences. Ces publications ont permis de diffuser les résultats de cette étude auprès d'un public plus large, contribuant ainsi à la communauté scientifique en fournissant des informations utiles et des perspectives novatrices. Ce chapitre a pour but de synthétiser et d'interpréter les résultats présentés dans ces publications, en les reliant aux travaux précédents sur le sujet, ainsi qu'en fournissant des explications claires et concises pour les conclusions tirées. En outre, cette section examine les implications pratiques et théoriques des résultats, tout en offrant des suggestions pour les recherches futures. Ce chapitre est donc crucial pour la compréhension de l'étude menée, ainsi que pour la contribution qu'elle apporte à l'industrie alimentaire dans le domaine du séchage et du contrôle de la qualité des produits agroalimentaires.

III- I – Résultats de Séchage de Viande Cameline

III- I – Séchage de Viande Cameline

Le séchage de la viande cameline est réalisé selon trois modes, le séchage direct au soleil, le séchage par la technique de microondes et le séchage statique.

III- I- 1 séchage au soleil

Les résultats du séchage de la viande de chameau au soleil seront présentés. Le séchage a été effectué dans la vallée de Ouargla. Les échantillons de viande cameline ont subi un prétraitement préliminaire par découpage en deux catégories. Le premier groupe a une épaisseur de 4 mm, une longueur de 100 mm et une largeur de 20 mm. Le deuxième groupe a une épaisseur de 8 mm, une longueur de 100 mm et une largeur de 20 mm. Ils ont été trempés dans une solution saline à 19% de chlorure de sodium, maintenue à une température froide (4°C). Afin d'étudier l'effet de l'épaisseur et le temps de trempage dans une solution saline, Le tableau suivant montre le prétraitement des échantillons de la viande cameline :

Tableau III. 1 .Condition de prétraitement des tranches de viande cameline au séchage au soleil

N°	Epaisseur	Temps de trempage
01	4 mm	30 minutes
02	4 mm	90 minutes
03	8 mm	30 minutes
04	8 mm	90 minutes

III-1.1.1 Condition Climatique De Séchage Au Soleil

Pendant le processus de séchage au soleil des tranches de viande cameline, nous enregistrons avec précision les conditions dans lesquelles le séchage est effectué. La température de l'air, l'humidité relative de l'air, la vitesse de l'air et le rayonnement solaire sont scrupuleusement mesurés et représentés graphiquement dans la figure (Figure III.1)

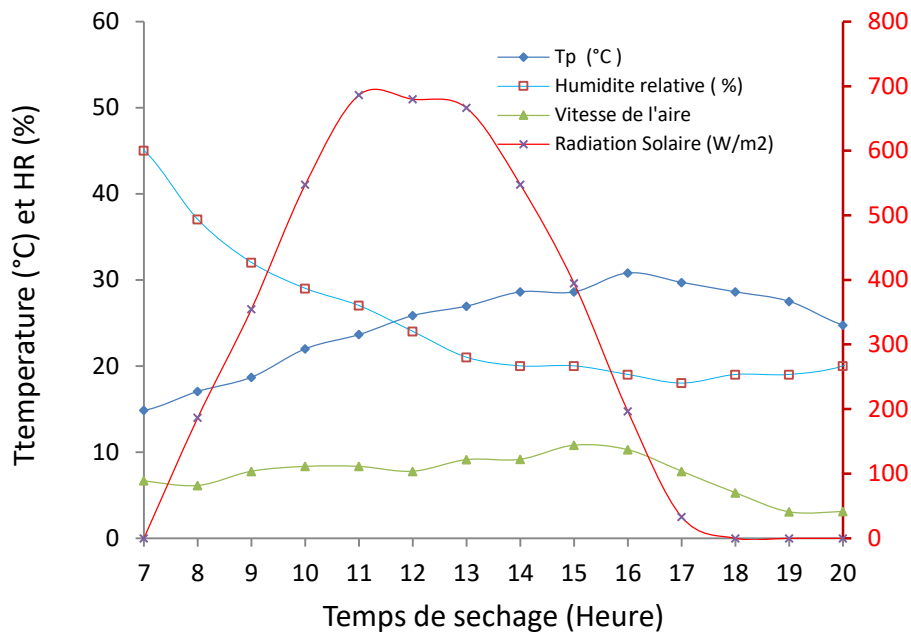


Figure III. 1. Evaluation des conditions climatiques durant le séchage de viande au soleil

III-1.1.2 : Cinétique et courbe de séchage au soleil :

L'évaluation de la masse des échantillons de la viande cameline est représenté dans les courbe suivante en fonction de temps de séchage. Les tranche de viande ont subi une augmentation de du poids après le trempage dans la solution saline , leur poids on variée de 6.5069 g a 9.0531g pour les tranche de 4 mm d'épaisseur et 30 minute de trempage , les tranche de 4 mm et 90 minute de trempage ont été varié de 6.7008 g a 9.8201 grs , les tranche de la viande cameline de l'épaisseur de 8 mm ayant un poids initiale de 13.2562 grs leur poids a été augmenté à 16.3750 grs durant un temps de trempage de 30 minutes, par contre celle qui ont subi un temps de trempage de 90 minute leur poids a augmenté à 17.0909 grs .

La figure (Figure III.2) représente la variation de masse des tranches en fonction de temps de séchage.

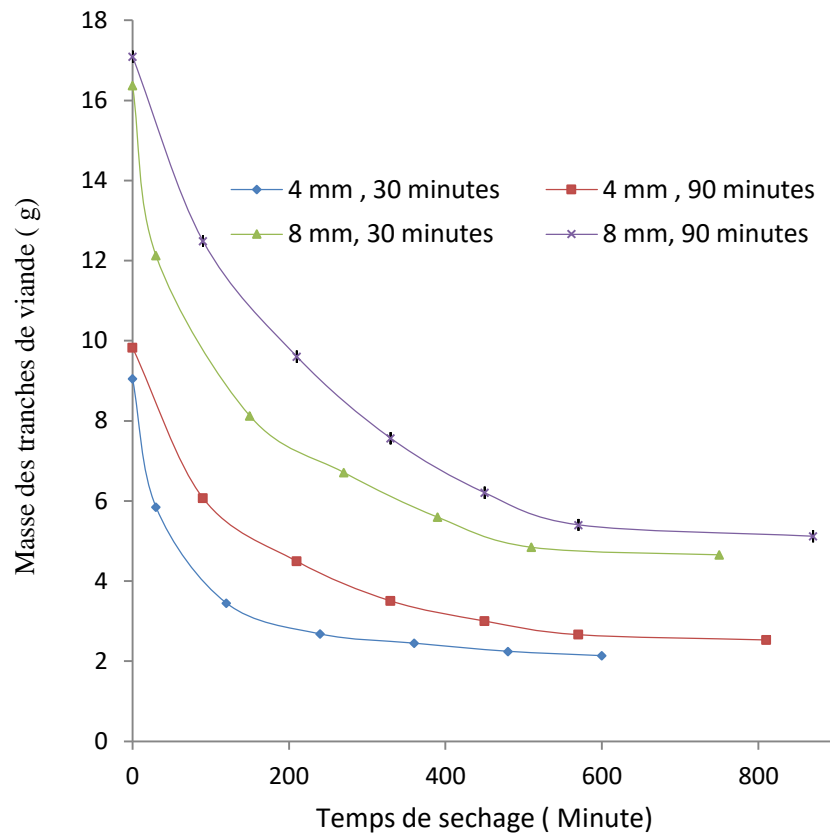


Figure III. 2. Evaluation de la masse des tranches de viande au séchage au soleil

L'évaluation de la teneur en eau (X), exprimée en kilogrammes d'eau par kilogramme de matière sèche en fonction du temps de séchage, est réalisée et représentée dans la Figure III.3.

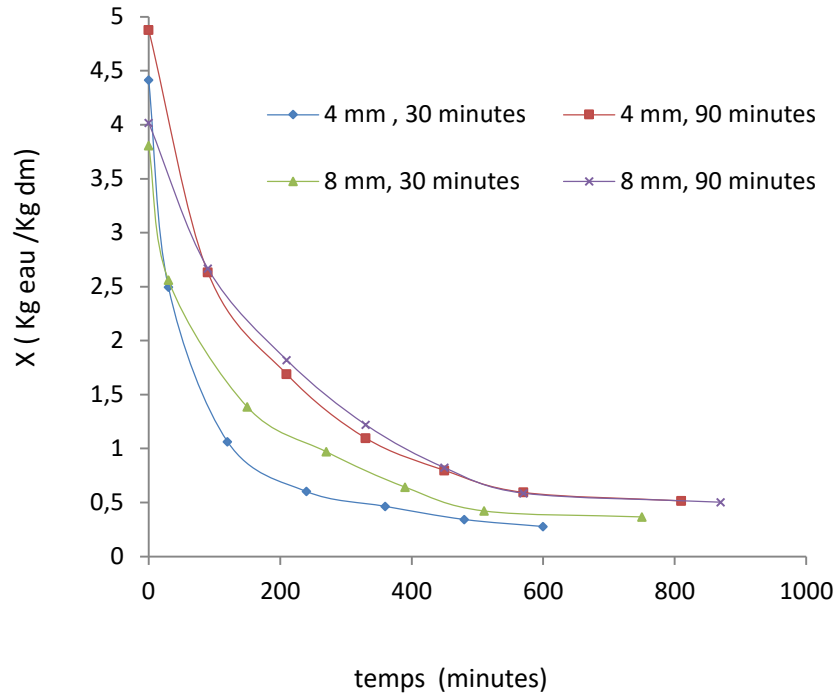


Figure III. 3. Evaluation de la teneur en eau (X) des tranches séchées au soleil

Les évaluations de la surface des tranches en fonction du temps de séchage sont représentées dans la figure suivante (Figure III.4). Elle illustre l'évolution de la surface des tranches de viande cameline pendant le processus de séchage au soleil

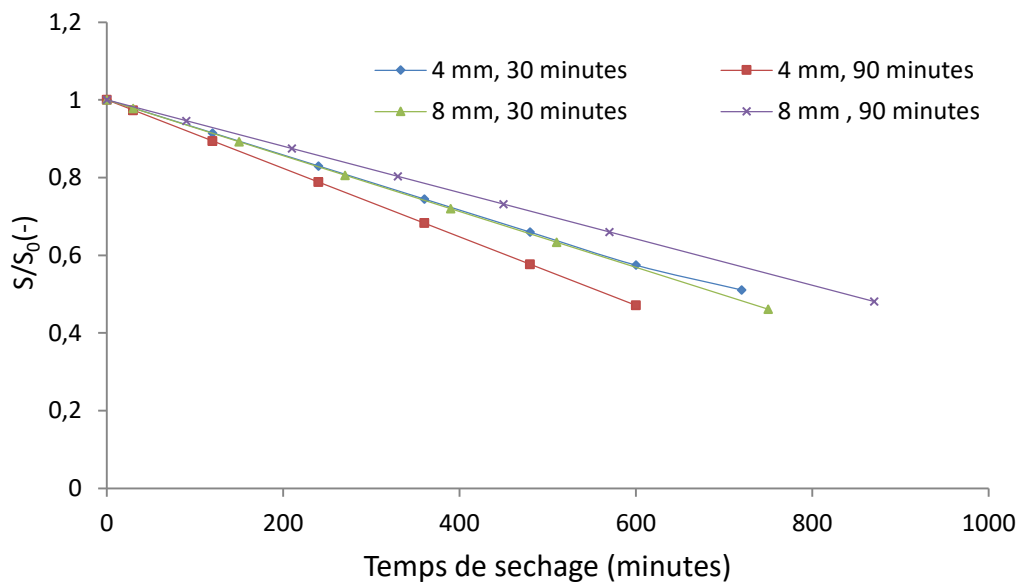


Figure III. 4. Evaluation de la surface des tranches de viande séchée au soleil

Le volume des tranches de la viande cameline est évalué au cours de séchage au soleil, la figure III.5 illustre l'évaluation linéaire de rapport (V/V_0) en fonction de temps de séchage.

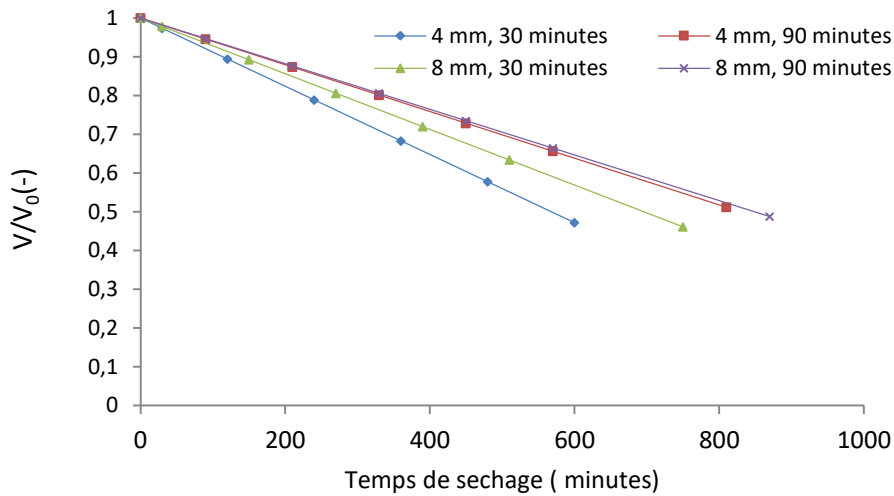


Figure III. 5. Evaluation de volume des tranches de viande séchée au soleil

Les courbes de la figure (Figure III.6.) Montrent le rapport (V/V_0) en fonction de (S/S_0) durant le séchage au soleil des tranches de viande.

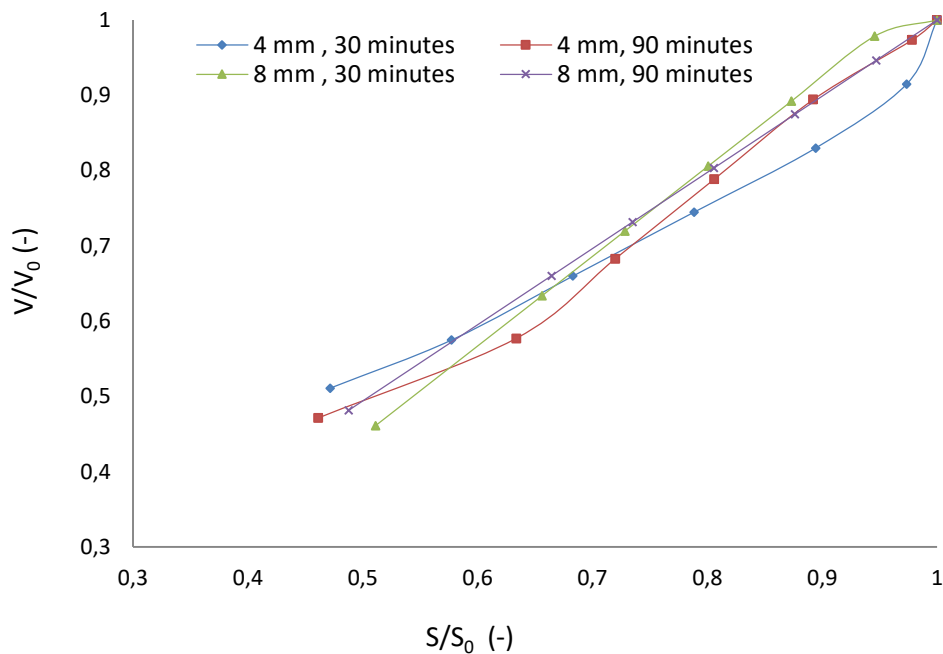


Figure III. 6. Evaluation de (V/V_0) en fonction de temps des tranches séchées au soleil

L'évaluation des courbe (Figure III.7) de séchage de volume (V/V_0) en fonction de teneur en eau (X/X_0).

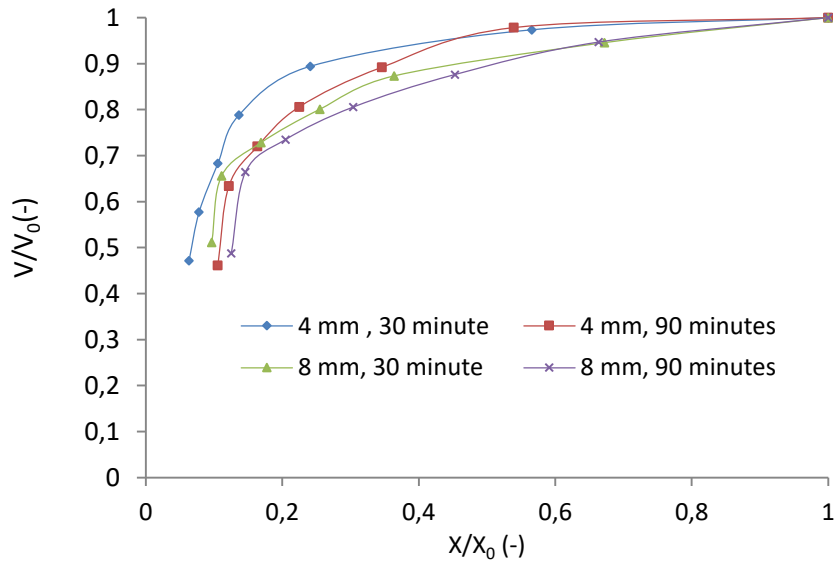


Figure III. 7. Evaluation de rapport (V/V_0) en fonction de (X/X_0)

La vitesse de séchage $((-dX/dt)/S)$ temps des tranches de viande de chameau séchées au soleil est évaluée. La figure III montre une allure décroissante des vitesses de séchage tout au long du temps de séchage

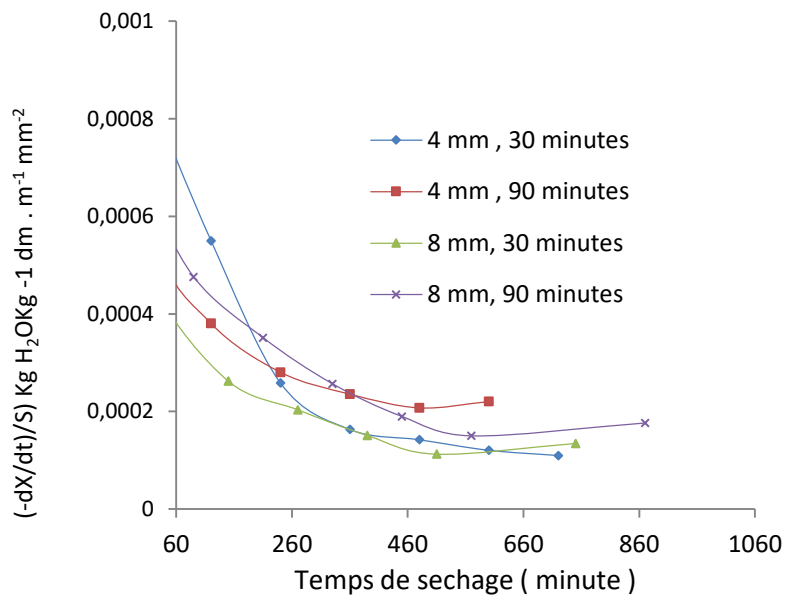


Figure III. 8. Vitesse de séchage $(-dX/dt) / S$ durant le séchage au soleil

L'évaluation du rapport de la teneur en eau en fonction de la teneur initiale (X/X_0) pendant le séchage des tranches de viande de chameau est représentée dans la figure (Figure III.9.).

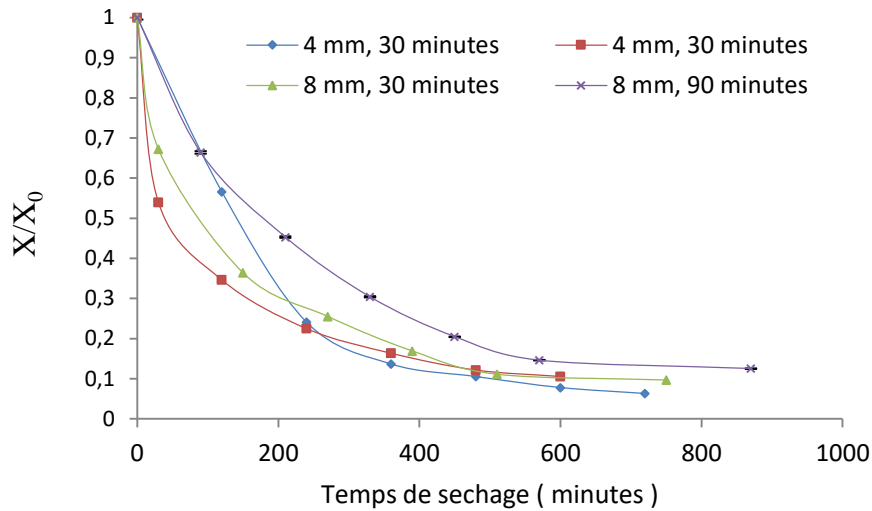


Figure III. 9. Evaluation du (X/X_0) des tranches séchées au soleil

III.1.1.3. Evaluation De Qualité Physicochimique Des Tranches De La Viande Cameline Séchée Au Soleil

La Figure III.10 présente de manière graphique les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur les tranches de viande cameline tout au long du processus de séchage au soleil. Les données recueillies sont comparées à celles de la viande cameline fraîche, utilisée comme référence pour les expériences de séchage. Les paramètres analysés comprennent la teneur en eau, la matière sèche, le taux de cendres, le taux de protéines brutes, l'azote basique volatile total, les lipides et la salinité. Ces évaluations fournissent un aperçu détaillé des changements physicochimiques qui se produisent dans les tranches de viande cameline tout au long du processus de séchage, enrichissant ainsi notre compréhension des caractéristiques de la viande séchée au soleil.

PARTIE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

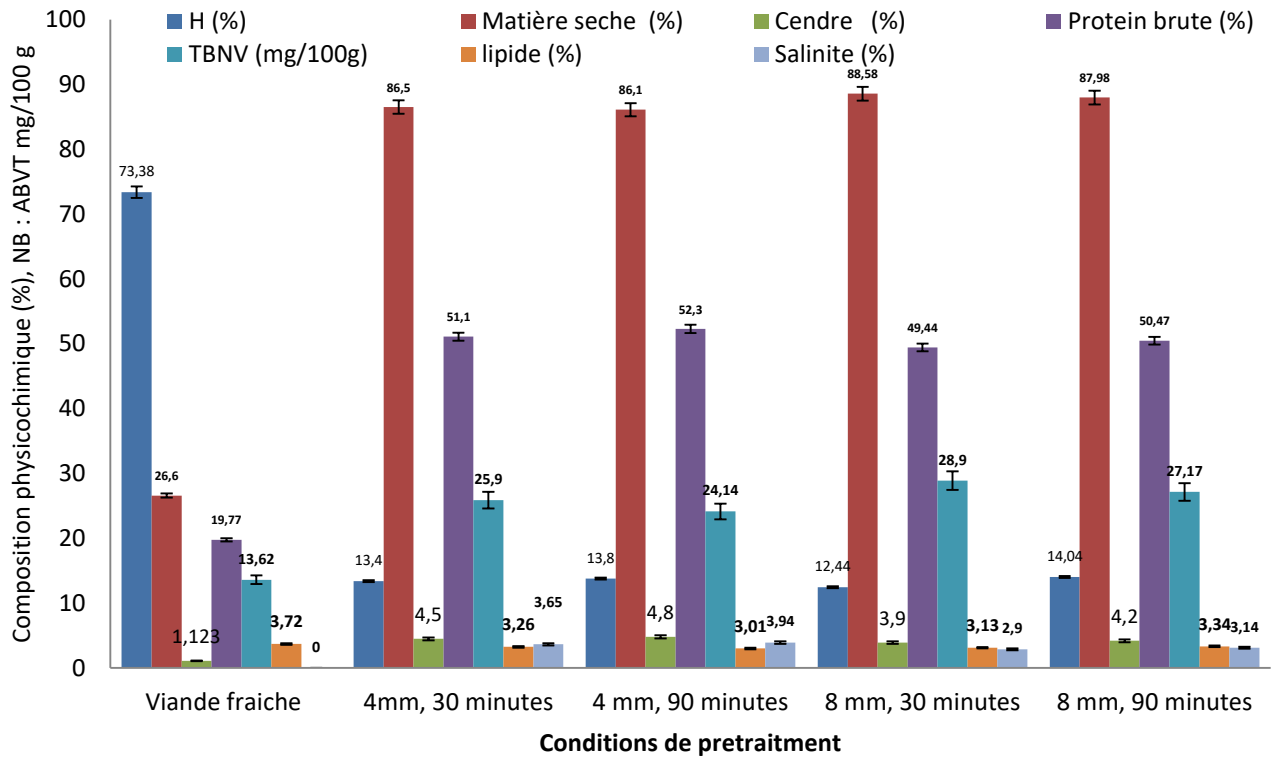


Figure III. 10. Evaluation de la composition physicochimique des tranches de viande séchées au soleil

La mesure du potentiel d'hydrogène (pH) des échantillons de viande cameline, soumis à différents prétraitements, est présentée sur la figure III.11. Le pH des échantillons séchés se situe à proximité de 5.96, tandis que le pH après séchage varie de 6.23 à 6.25 pour les tranches d'une épaisseur de 4 mm, et de 6.13 à 6.23 pour les tranches d'une épaisseur de 8 mm.

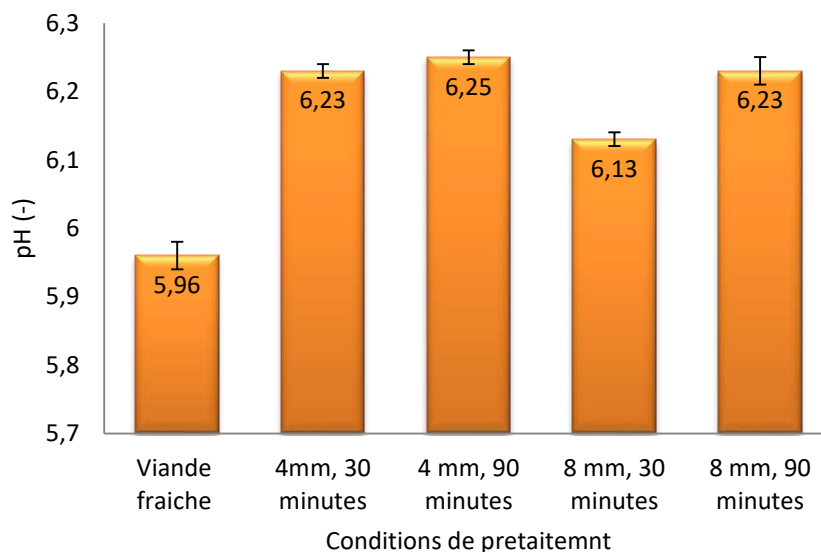


Figure III. 11. Evaluation de pH des tranches de viande séchées au soleil

La variation des paramètres de couleur des tranche de viande séché au soleil, a savoir L* (luminosité) , a* (vert-rouge) et b* (bleu-jaune) sont représenté dans la figure III.12 en fonction de condition de prétraitement pour chaque expérience réalisée.

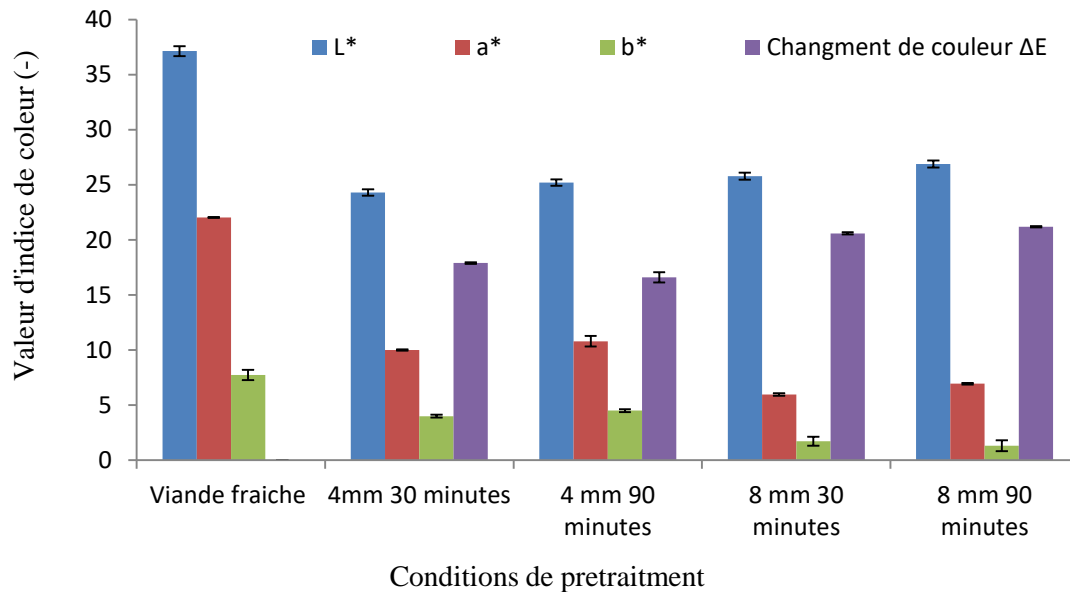


Figure III. 12. Evaluation de couleur des tranches de viande séchée au soleil

La Figure III.13 représente l'évaluation des taux de rétrécissement des tranches de viande sèche exposées au soleil après divers prétraitements. Les résultats des expériences indiquent une augmentation du taux de rétrécissement en fonction de la durée de trempage. Notamment, il est observé que les tranches d'une épaisseur de 8 mm présentent un rétrécissement moins prononcé par rapport aux tranches de 4 mm.

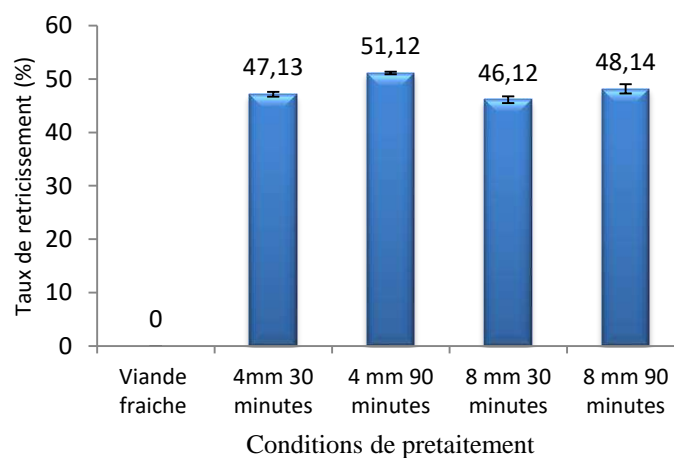


Figure III. 13. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches de viande séchées au soleil

Le **tableau III.2** résume les résultats de la caractérisation physico-chimique des tranches de viande de cameline séchée au soleil, incluant la teneur en eau, la matière sèche, le taux de cendres, les protéines totales, l'azote basique volatil total, les indices de couleur (a^* , b^* , L^*), les lipides, le pH, la variation totale de couleur et le taux de rétrécissement.

Tableau III. 2. Composition physicochimique des tranches de viande séchées au soleil

Paramètres (%)	Tranche de viande fraîche	4 mm 30 minutes	4 mm 90 minutes	8 mm 30 minutes	8 mm 90 minutes	
H (%)	73.38 ± 0.13	13.4±0.38	13.8±0.23	12.44 ± 0.06	14.04 ± 0.16	
Matière sèche	26.58 ± 0.13	86.5±0.45	86.1±0.34	88.58 ± 0.09	87.98 ± 0.23	
Cendre	1.123 ± 0.009	4.5±0.04	4.8±0.03	3.90 ± 0.07	4.20 ± 0.08	
Protein brute	19.77 ± 0.05	51.1±0.44	52.3±0.11	49.44 ± 0.21	50.47 ± 0.33	
TBNV	13.62 ± 0.03	25.90 ± 0.08	24.14± 0.12	28.90 ± 0.09	27.17 ± 0.07	
Lipide	3.72 ± 0.05	3.26±0.09	3.01±0.07	3.13 ± 0.06	3.34 ± 0.12	
Salinite	-	3.65±0.02	3.94±0.03	2.90 ± 0.06	3.14 ± 0.08	
pH	5.96 ± 0.02	6.23±0.01	6.25±0.01	6.13 ± 0.01	6.23 ± 0.02	
Color	L^*	37.13 ± 2.11	24.3±0.04	25.2±0.02	25.78 ± 0.90	26.88 ± 0.87
	a^*	22.03 ± 2.15	10.0±0.11	10.8±0.14	5.97 ± 1.08	6.94 ± 1.12
	b^*	7.73 ± 0.47	4.0±0.13	4.5±0.14	1.72 ± 0.40	1.32 ± 0.50
Total color change ΔE	-	17.9 ±0.07	16.6 ±0.09	20.59 ± 0.48	21.19 ± 0.07	
Rétrécissement	-	47.13 ± 0.44	51.12 ± 0.23	46.12 ± 0.65	48.14 ± 0.87	

Le tableau III.3 résume les résultats de dosage des minéraux essentiels des tranches de viande de cameline séchée au soleil, incluant la teneur calcium, phosphore, magnésium, le sodium, le potassium, le zinc, le fer et le cuivre.

Tableau III. 3. Composition en minéraux des tranches de la viande fraîche séchée au soleil

Eléments	Viande fraîche	4 mm, 30 minutes	4 mm, 90 minutes	8 mm, 30 minutes	8 mm, 90 minutes
Ca (mg/ 100 g)	58.53±0.43	57.24±0.92	56.12±0.14	58.21±0.13	57.54±0.21
P (mg/ 100 g)	675.47±2.23	670.28±1.42	675.11±1.78	680.14±4.25	601.20±3.12
Mg (mg/ 100 g)	917.45±4.12	921.16±12.74	925.31±4.12	933.20±15.12	950.21±6.18
Na (mg/ 100 g)	260.47±1.46	1704.48±7.16	1714.89±4.18	1755.21±9.21	1784.20±7.44
K (mg/ 100 g)	70.31±0.45	65.24±0.63	70.41±0.70	61.71±0.14	73.12±0.22
Zn (µg /100 g)	12830±27	11983±33	12026±41	12101±34	12050±44
Fe (µg /100 g)	6647±11	6833±08	6875±13	6901±33	6999±55
Cu (µg /100 g)	1025±04	1048±09	1088±07	1104±20	1124±42

Les résultats de cette partie du séchage des tranches de viande cameline au soleil montrent l'effet du temps de trempage et de l'épaisseur des tranches sur le temps de séchage. Le temps le plus élevé (870 minutes) est enregistré pour les tranches ayant une épaisseur de 8 mm et un temps de trempage de 90 minutes. Le temps de séchage pour les tranches de 4 mm avec 90 minutes de trempage est de 810 minutes, tandis que le temps de séchage pour les tranches de 8 mm avec 30

minutes de trempage est de 750 minutes. Enfin, le temps de séchage pour les tranches de 4 mm avec 30 minutes de trempage est de 600 minutes, La teneur eau (Kg H₂O/Kg ms) final des tranches est diminué de 2.75 kg H₂O/kg ms au voisinage 0.142 kg H₂O/kg ms avec l'augmentation de l'épaisseur des tranches et du temps de trempage. Inversement, la matière sèche présente une tendance opposée, avec une diminution plus marquée dans les tranches de 4 mm ayant subi un trempage de 90 minutes (86.1%) par rapport à la viande fraîche (26.58 %). Les cendres, reflétant la concentration minérale, augmentent progressivement, atteignant 4.8% pour les tranches de 4 mm avec 90 minutes de trempage. Les protéines brutes montrent une légère diminution avec l'augmentation de l'épaisseur et du temps de trempage, tandis que le TBNV augmente de manière complexe, atteignant 28.90% pour les tranches de 8 mm avec 30 minutes de trempage. Les lipides restent relativement constants, indiquant une stabilité de la composition lipidique. Le pH de la viande connaît une légère augmentation, passant de 5.96 à 6.25, tandis que les mesures de couleur révèlent des changements visuels significatifs, notamment un ΔE (Total color change) plus élevé pour les tranches de 8 mm avec 90 minutes de trempage (21.19). Enfin, le pourcentage de rétrécissement augmente, atteignant 51.12% pour les tranches de 4 mm avec 90 minutes de trempage. Ces résultats détaillés offrent une perspective approfondie sur les effets spécifiques de l'épaisseur des tranches et du temps de trempage sur les propriétés physico-chimiques de la viande de viande séchée.

L'analyse de la composition des éléments nutritifs de la viande des tranches de viande cameline soumise à diverses conditions de séchage au soleil révèle des tendances intéressantes. Le calcium demeure constant, avec des valeurs oscillantes entre 56.12 mg/100 g et 58.53 mg/100 g, tandis que le phosphore maintient une stabilité entre 601.20 mg/100 g et 680.14 mg/100 g. Le magnésium varie légèrement dans une fourchette étroite entre 917.45 mg/100 g et 950.21 mg/100 g. En revanche, le sodium présente une variation significative, atteignant son niveau le plus élevé (1784.20 mg/100 g) dans les tranches de 8 mm avec 90 minutes de trempage. La teneur en potassium montre une légère diminution générale avec l'augmentation de l'épaisseur des tranches et du temps de trempage. Les minéraux tels que le zinc, le fer et le cuivre restent relativement constants, avec des fluctuations limitées. Ces résultats offrent un aperçu des implications nutritionnelles du processus de séchage sur la viande de chameau, mettant en évidence des variations spécifiques dans la concentration de certains minéraux en fonction des conditions de séchage.

III- I- 2 séchage aux Microondes

Le séchage des tranches de la viande cameline effectuer dans une microonde ; le tableau suivant illustre les expériences réalisées,

Tableau III. 4. Condition de séchage des tranches de viande cameline aux microondes

Puissance Watts	Epaisseur (mm)	Temps de trempages (minute)
180 Watts	4	30
	4	90
	8	30
	8	90
270 Watts	4	30
	4	90
	8	30
	8	90

III- I- 2 .A : Séchage au microonde a 180 Watts

III- I- 2. A.1. Cinétique et courbe de séchage des tranches de viande à 180 Watts

La figure III.14. Montre l'évaluation de teneur en eau (X) en fonction de temps de séchage des tranches de viande cameline à 180 Watts.

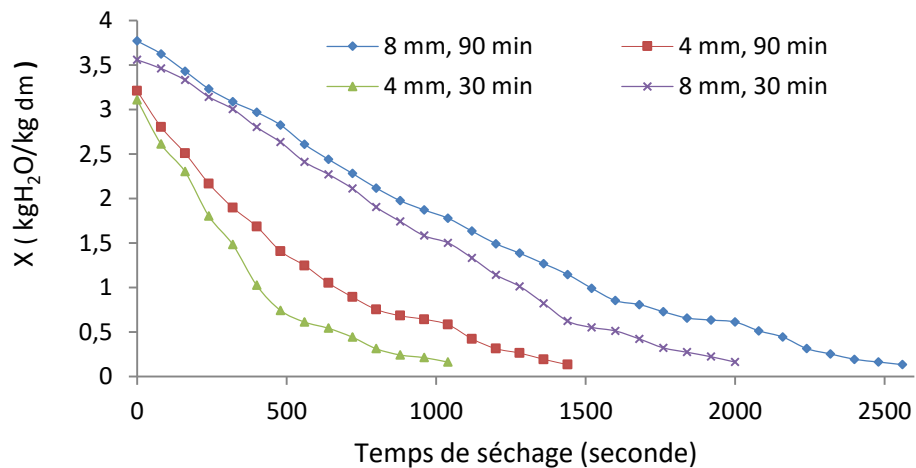


Figure III. 14. Evaluation de la teneur en eau (X) des tranches séchées à 180 Watts

La figure III.15. Représente l'évaluation de rapport (X/X_0) en fonction de temps de séchage des tranches de viande cameline séchées à 180 Watts.

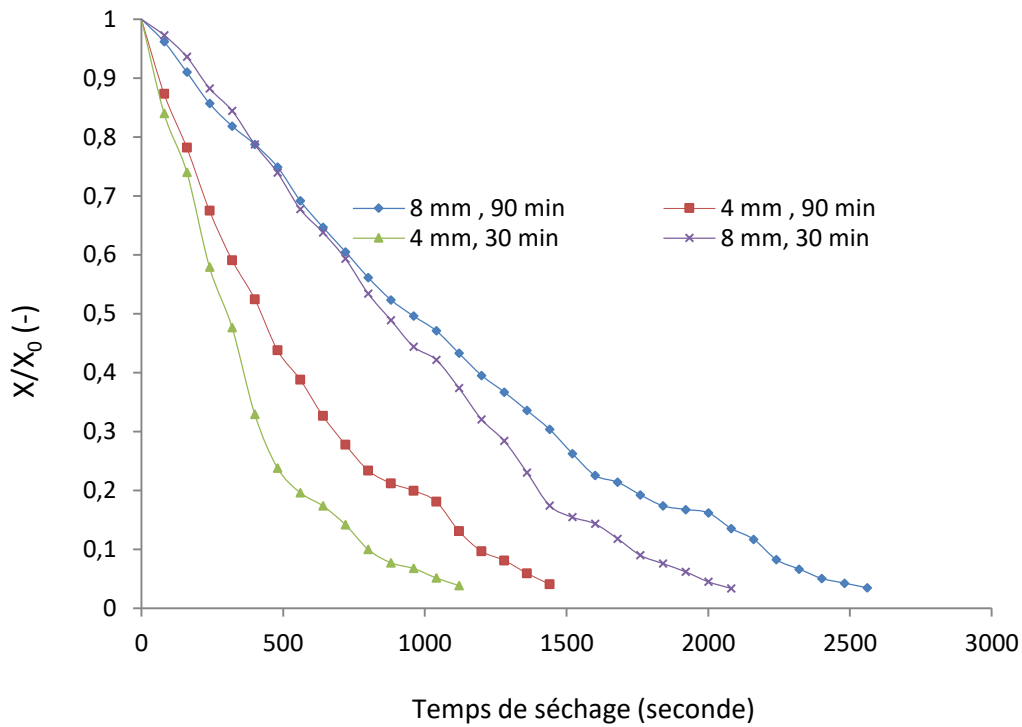


Figure III. 15. Evaluation de (X/X_0) des tranches de viande séchées à 180 Watts

La variation de volume des tranches de viande pendant le processus de séchage a été calculé et est représentée graphiquement dans la Figure III.16.

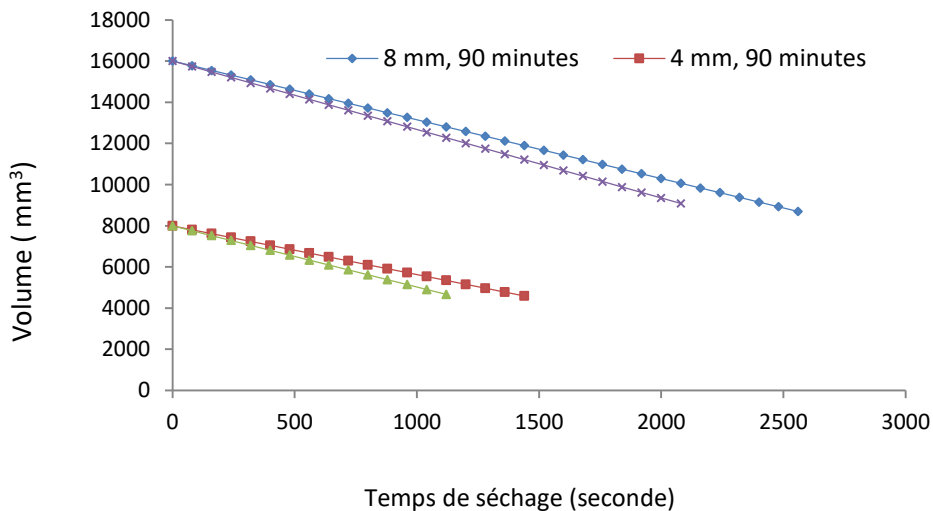


Figure III. 16. Evaluation de volume des tranches séchées à 180 Watts

PARTIE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

La variation de surface des tranches de viande pendant le processus de séchage a été calculé et est représentée graphiquement dans la Figure III.17.

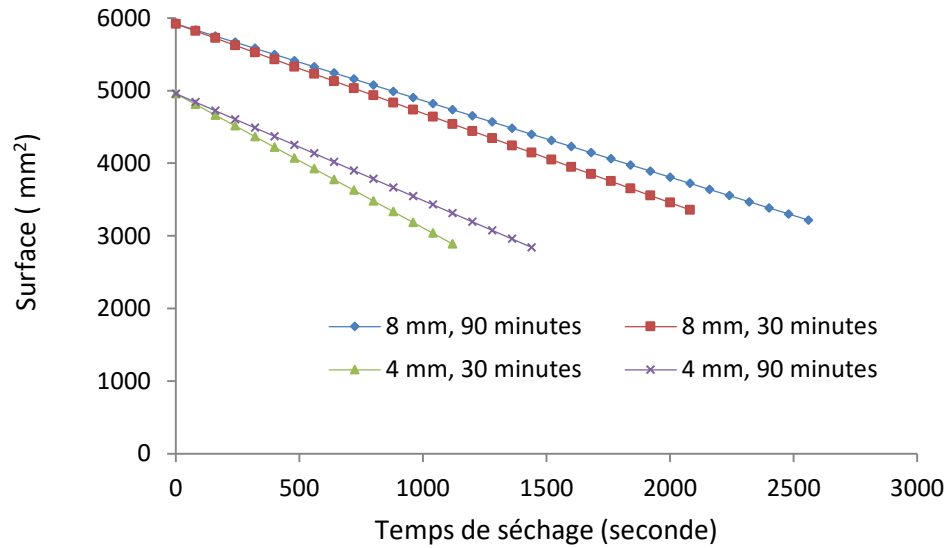


Figure III. 17. Evaluation de surface des tranche séchées à 180 Watts

La Figure III.18 représente l'évaluation de rapport S/S_0 des tranches de viande en fonction de temps de séchage.

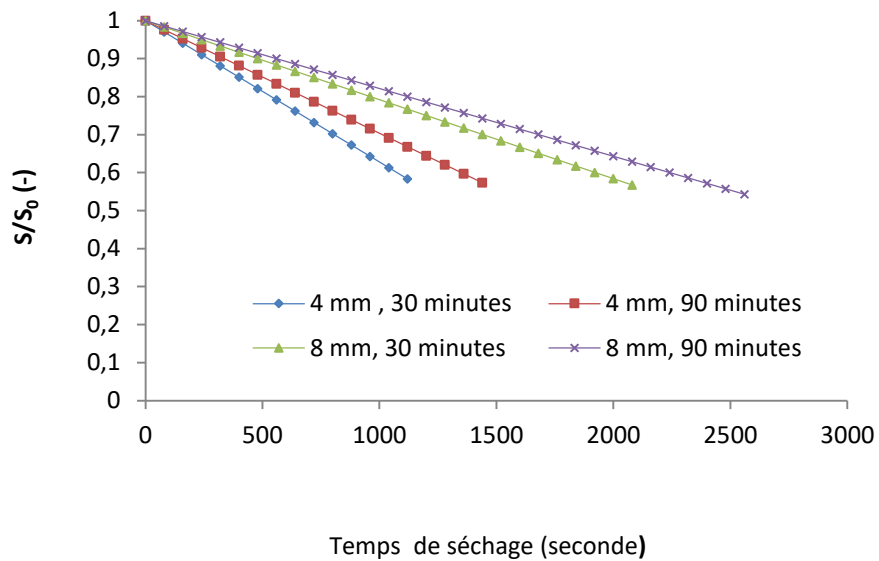


Figure III. 18. Evaluation de rapport (S/S₀) des tranches séchées à 180 Watts

La Figure III.19), représente l'évaluation de la surface (S/S_0) des tranches de viande en fonction de (X/X_0) à 180 Watts.

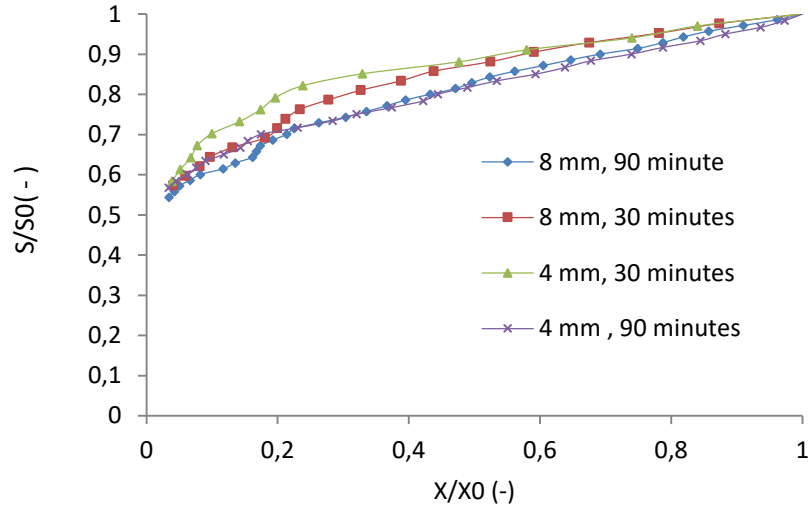


Figure III. 19. Evaluation de (S/S_0) en fonction de (X/X_0) des tranches séchées a 180 Watts

La figure (Figure III.20), représente l'évaluation de $(-dX/dt) / S$ / temps en fonction de temps de séchage des tranches de viande cameline séché par la technique de microonde à 180 Watts.

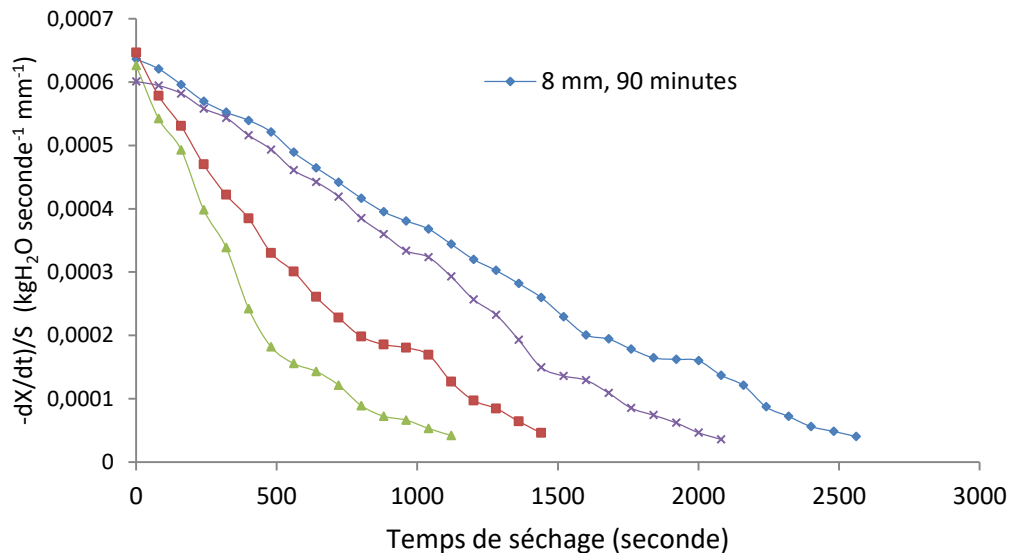


Figure III. 20. Evaluation de la vitesse de séchage $(-dX/dt) / S$ des tranches à 180 Watts

Les tranches de viande cameline, soumises au processus de séchage à 180 Watts et représentées dans les figures précédentes, mettent en évidence une corrélation directe entre l'augmentation de

l'épaisseur des tranches et la prolongation du temps de trempage avec une augmentation concomitante du temps de séchage. En particulier, les tranches de 8 mm, ayant subi 90 minutes de trempage, affichent un temps de séchage de 2560 secondes, tandis que celles de même épaisseur mais avec un trempage de 30 minutes nécessitent 2080 secondes pour atteindre un état de séchage similaire. De manière similaire, les tranches de 4 mm, traitées pendant 90 minutes, demandent 1440 secondes de séchage, alors que celles trempées pendant 30 minutes nécessitent seulement 1120 secondes. Cette tendance suggère que des tranches plus épaisses et un temps de trempage prolongé conduisent à une vitesse de séchage plus lente, nécessitant ainsi un temps de séchage supérieur. Ces résultats soulignent l'impact significatif des paramètres d'épaisseur des tranches et de temps de trempage sur l'efficacité du processus de séchage de la viande cameline, offrant des indications pratiques pour l'optimisation de cette méthode.

III- I- 2. A.2. Qualité Physico-chimique Des Tranches De Viande Séchées Par Technique De Microondes à 180 Watts

La Figure III.21 présente de manière graphique les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur les tranches de viande cameline tout au long du processus aux microondes à une puissance de 180 Watts. Les données recueillies sont comparées à celles de la viande cameline fraîche, utilisée comme référence pour les expériences de séchage. Les paramètres analysés comprennent la teneur en eau, la matière sèche, le taux de cendres, le taux de protéines brutes, l'azote basique volatile total, les lipides et la salinité. Ces évaluations fournissent un aperçu détaillé des changements physicochimiques qui se produisent dans les tranches de viande cameline après la fin de séchage des tranches de viande cameline à 180 Watts, la variation de ces paramètres de qualité nous permet d'évaluer ces changements.

PARTIE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

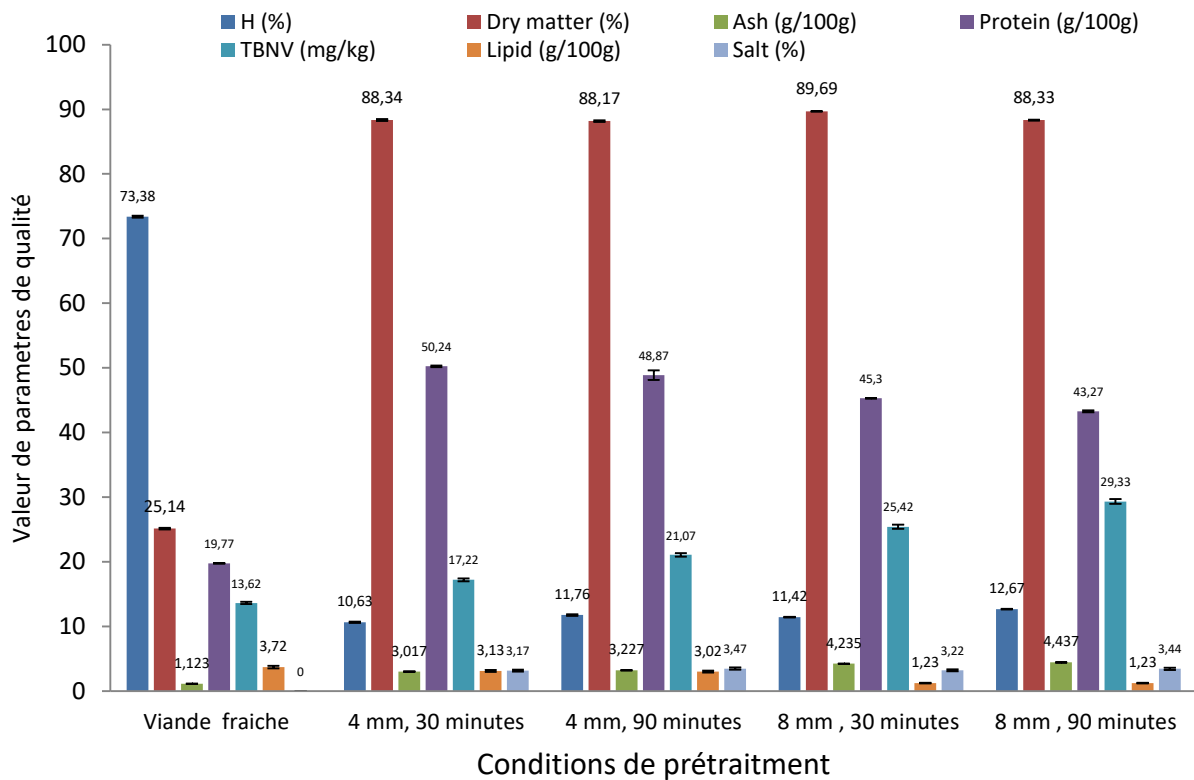


Figure III. 21. Evaluation de qualité des tranches de viande séchées a 180 watts

Le pH des tranches de viande (180 Watts), est représenté dans la figure III.22, une augmentation des pH en fonction de l'épaisseur et le temps de trempage varie de 6.04 à 6.21.

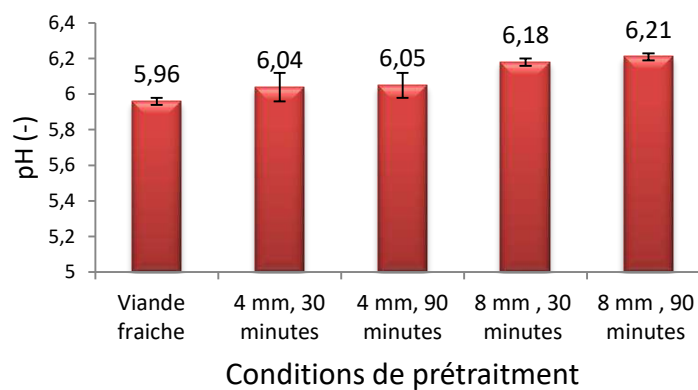


Figure III. 22. Evaluation de pH des tranches de viande séchées à 180 watts

L'évaluation des paramètres de couleur (a^* , b^* , L^* et ΔE) des tranches de viande cameline séchée à 180 Watts est représenté dans la figure suivante (Figure III.23.) ;

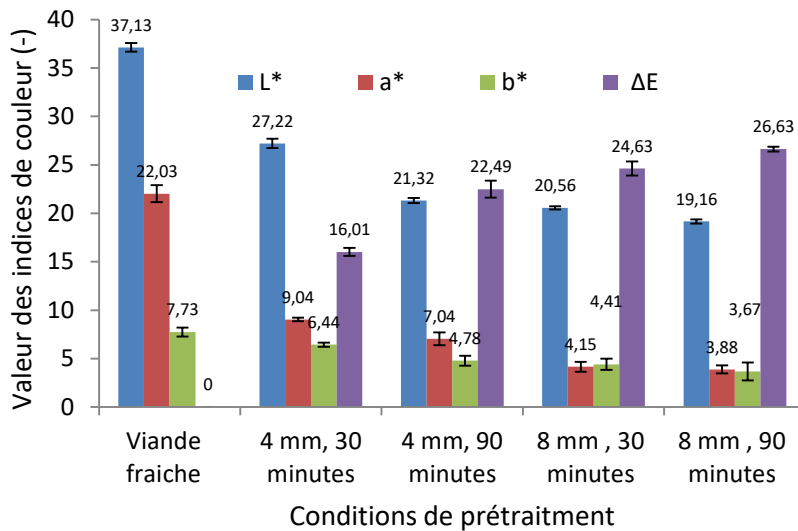


Figure III. 23. Evaluation de la couleur des tranches de viande cameline séchées à 180 Watts

La variation de surface des tranches représentée par le taux de rétrécissement est représenté dans la figure III.24. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches de viande séchées à 180 Watts

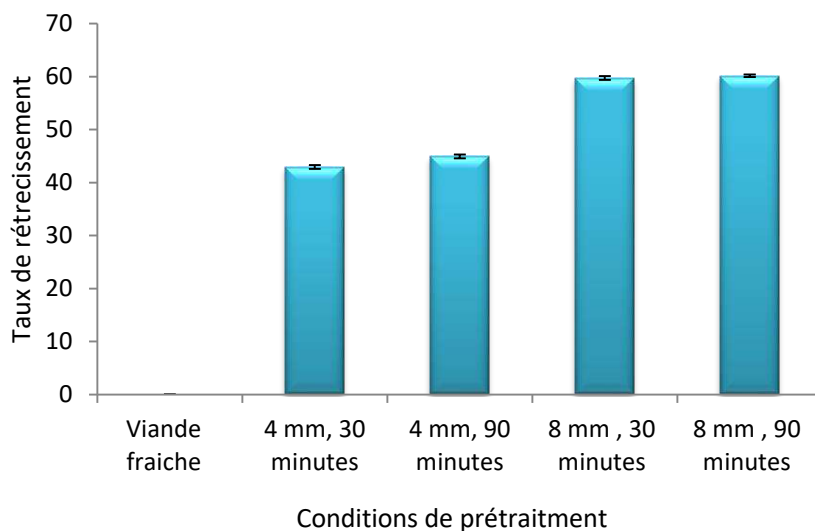


Figure III. 24. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches à 180 Watts

Les résultats du séchage des tranches de viande de cameline à 180 Watts, présentés dans le tableau III.5, révèlent une augmentation significative de la teneur en cendres. Cette augmentation est principalement attribuable à la pénétration des ions sodium de la solution de trempage dans les tissus cellulaires de la viande, entraînant simultanément une dégradation des protéines qui diminuent proportionnellement à l'augmentation de la salinité des tranches de viande. Cette augmentation de la salinité contribue également à l'élévation des niveaux d'azote volatil dans les tranches. Par ailleurs, les lipides des tranches de viande subissent une diminution due à

l'augmentation du temps de séchage. Il est également observé que dans les tranches de viande d'une épaisseur plus importante, on note une augmentation du changement total de couleur en fonction de l'augmentation du temps de séchage.

Tableau III. 5. Résultats d'analyses physicochimiques des tranches de viande séchée a 180 watts

Parameters	Viande fraîche	4 mm 30 minutes	4 mm 90 minutes	8 mm 30 minutes	8 mm 90 minutes	
H (%)	73.38 ± 0.13	10.63 ± 0.11	11.76 ± 0.11	11.42 ± 0.05	12.67 ± 0.05	
Dry matter (%)	26.58 ± 0.21	88.34 ± 0.14	88.17 ± 0.14	89.69 ± 0.05	88.33 ± 0.08	
Ash (g/100g)	1.123 ± 0.009	3.017 ± 0.027	3.227 ± 0.041	4.235 ± 0.015	4.437 ± 0.021	
Protein (g/100g)	19.77 ± 0.05	50.24 ± 0.14	48.87 ± 0.74	45.30 ± 0.02	43.27 ± 0.16	
TBNV (mg/kg)	13.62 ± 0.03	17.22 ± 0.41	21.07 ± 0.20	25.42 ± 0.61	29.33 ± 0.30	
Lipid (g/100g)	3.72 ± 0.05	3.13 ± 0.04	3.02 ± 0.12	1.67 ± 0.11	1.23 ± 0.17	
Salt (%)	-	3.17 ± 0.07	3.47 ± 0.12	3.22 ± 0.07	3.44 ± 0.05	
Ph	5.96 ± 0.02	6.04 ± 0.08	6.05 ± 0.07	6.18 ± 0.02	6.18 ± 0.02	
Color	l*	37.13 ± 2.11	27.22 ± 2.51	21.32 ± 2.42	20.56 ± 16	19.16 ± 20
	a*	22.03 ± 2.15	9.04 ± 2.65	07.04 ± 2.11	4.15 ± 0.52	3.88 ± 0.41
	b*	7.73 ± 0.47	6.44 ± 0.21	4.78 ± 0.51	4.41 ± 0.57	3.67 ± 0.91
Total color change ΔE	-	16.01 ± 0.41	22.49 ± 0.87	24.63 ± 0.73	26.63 ± 0.24	
Shrinkage	-	42.96 ± 0.36	44.96 ± 0.36	59.75 ± 0.36	60.16 ± 0.25	

L'évaluation des minéraux et oligo-éléments des tranches de viande cameline fraîche, ainsi que des tranches séchées à 180 watts, est présentée dans le Tableau III.6. Les quantités de phosphore (P), magnésium (Mg), sodium (Na), potassium (K), zinc (Zn), fer (Fe), et cuivre (Cu) ont été mesurées pour la viande fraîche ainsi que pour les tranches séchées traitées pendant 30 minutes, 90 minutes, avec une épaisseur de 4 mm et 8 mm.

Tableau III. 6. Teneur en minéraux et oligo-éléments de viande cameline séchée a 180 watts

Eléments	Viande fraîche	4 mm, 30 minutes	4 mm, 90 minutes	8 mm, 30 minutes	8 mm, 90 minutes
Ca(mg/ 100 g)	58.53±0.43	57.66±0.13	57.23±1.14	58.09±0.24	57.31±0.45
P (mg/ 100 g)	675.47±2.2	670.14±1.55	669.88±1.47	672.22±4.41	669.87±5.6
Mg (mg/ 100 g)	917.45±4.1	914.25±7.42	910.18±7.14	915.17±12.07	912.01±3.11
Na (mg/ 100 g)	260.47±1.4	1675.12±14.19	1723.47±7.14	1728.27±10	1711.12±2.21
K (mg/ 100 g)	70.31±0.45	68.25±0.55	67.74±1.02	68.13±0.52	68.03±0.14
Zn (µg /100 g)	12830±27	11842±60	11802±35	12508±17	12485±26
Fe (µg /100 g)	6647±11	6607±37	6589±29	6620±25	6611±15
Cu (µg /100 g)	1025±04	986±25	972±21	992±16	1005±03

III- I- 2. B : Séchage Aux Microondes à 270 Watts

III- I- 2. B.1. Cinétique et courbe de séchage des tranches de viande à 270 Watts

La cinétique de séchage et les différentes courbes seront présentées dans cette section. Les échantillons de tranches de viande ont été traités pendant 30 minutes et 90 minutes dans une solution saline à 19%. Les tranches avaient une épaisseur de 4 millimètres et 8 millimètres.

La figure III.25 représente la variation de la teneur en eau des tranches de viande cameline X (kg H₂O/kg ms) en fonction de temps de séchage en seconde à une puissance fixe de 270 Watts.

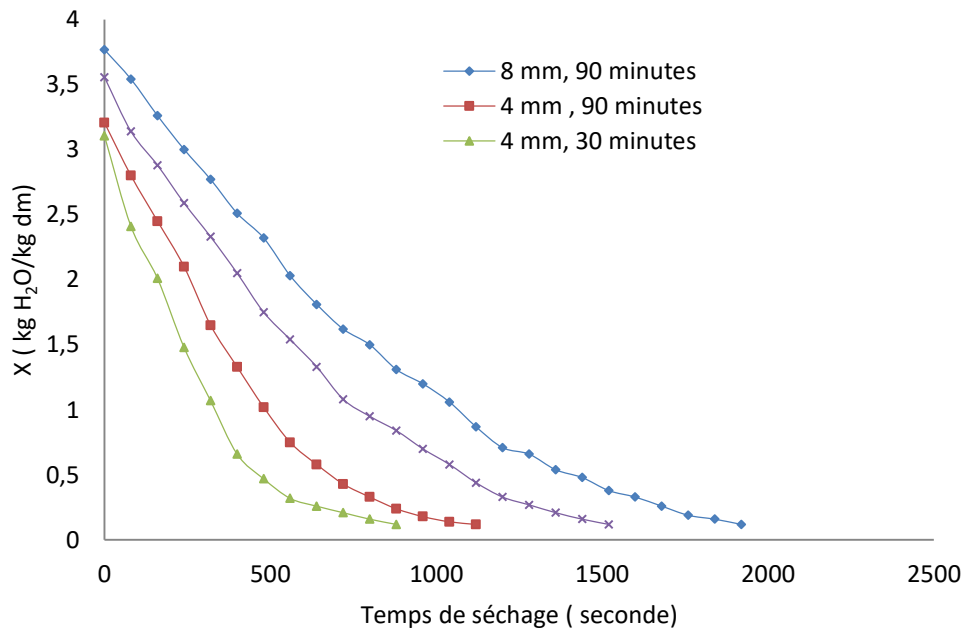


Figure III. 25. Evaluation de la teneur en eau (X) à 270 Watts

Les surfaces des tranches de viande cameline séchées sont représentées en fonction du temps de séchage dans la figure (Figure III.26). L'évaluation est linéaire, avec des pentes plus prononcées pour les tranches d'une épaisseur de 4 mm et un temps de trempage de 30 minutes par rapport aux tranches de 8 mm et de 90 minutes de traitement.

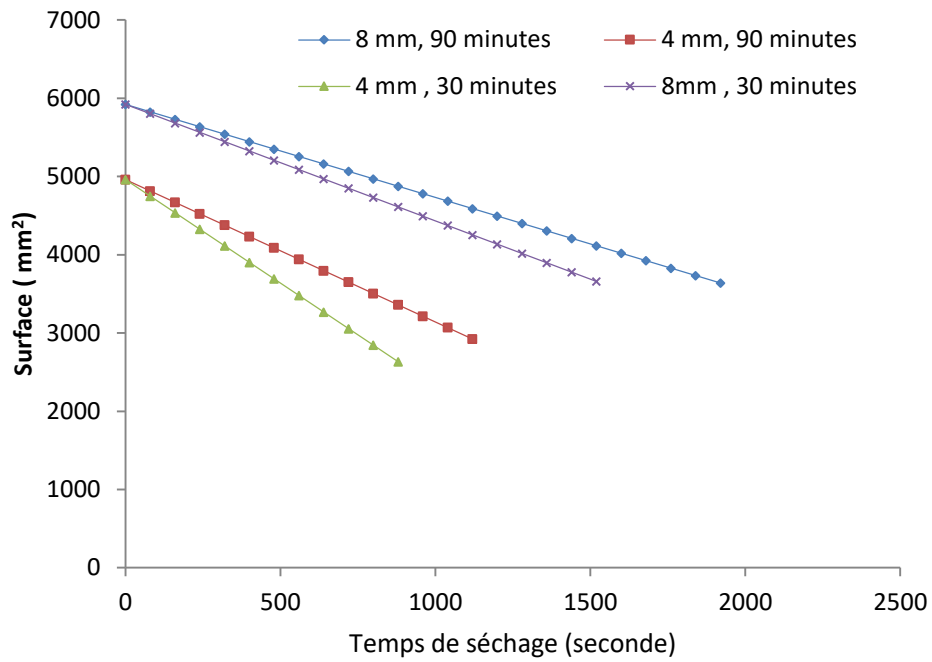


Figure III. 26. Evaluation des surfaces des tranches séchées à 270 Watts

Les rapports (S/S_0) des tranches de viande cameline séchées sont représentées en fonction du temps de séchage dans la figure (Figure III.27) à 270 Watts. L'évaluation est linéaire, avec des pentes plus prononcées pour les tranches d'une épaisseur de 4 mm et un temps de trempage de 30 minutes par rapport aux tranches de 8 mm et de 90 minutes de traitement.

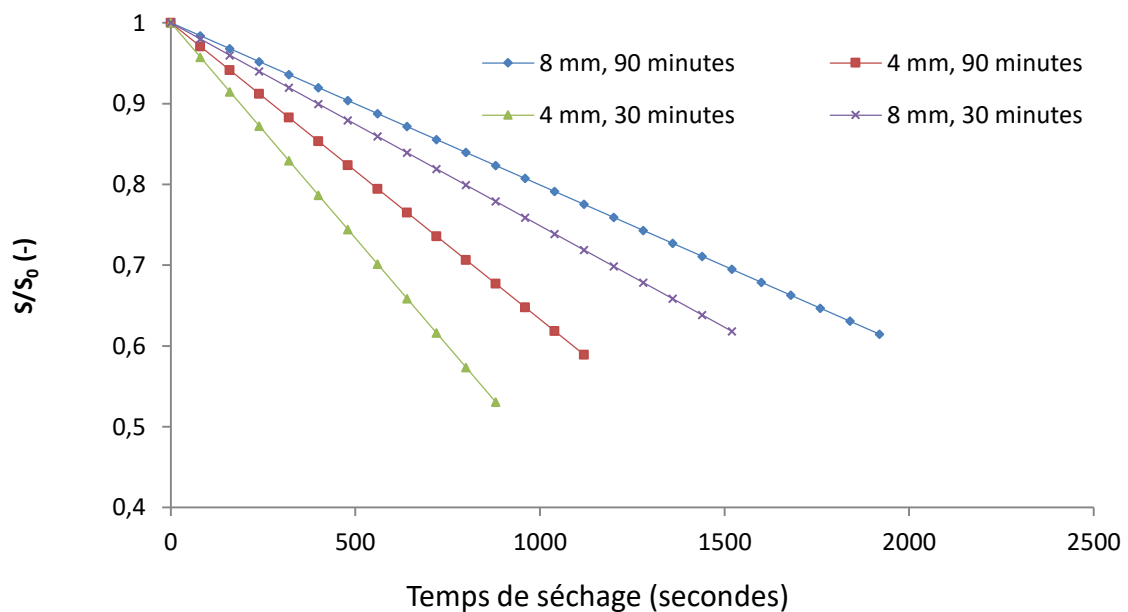


Figure III. 27. Evaluation de (S/S_0) en fonction du temps à 270 Watts

L'évaluation des volumes des tranches de viande cameline en fonction du temps de séchage à 270 watts est représentée dans la figure III.28. Les courbes sont linéaires, avec des pentes négatives plus sévères proportionnelles au temps de séchage.

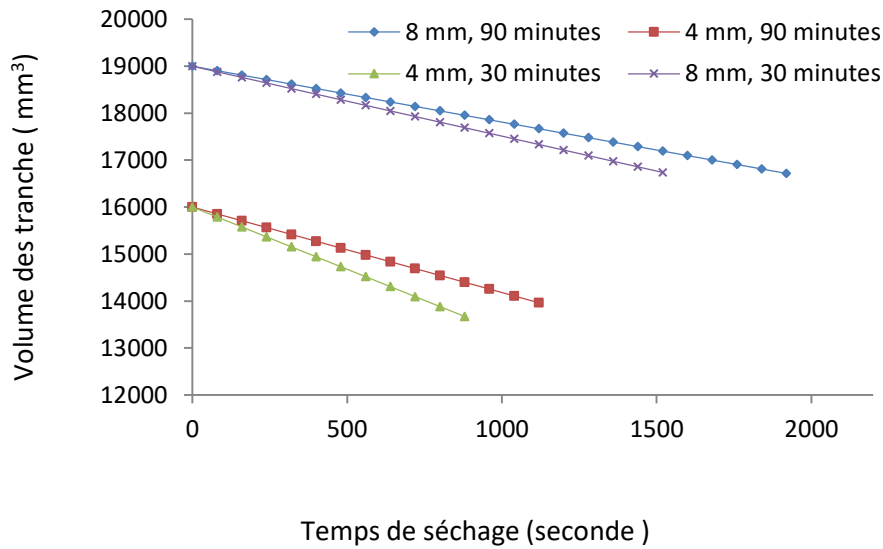


Figure III. 28. Evaluation de volume des tranches de viandes à 270 Watts

L'évaluation des variations du (V/V_0) en fonction du (X/X_0) à 270 watts est représenté dans la figure III.29.

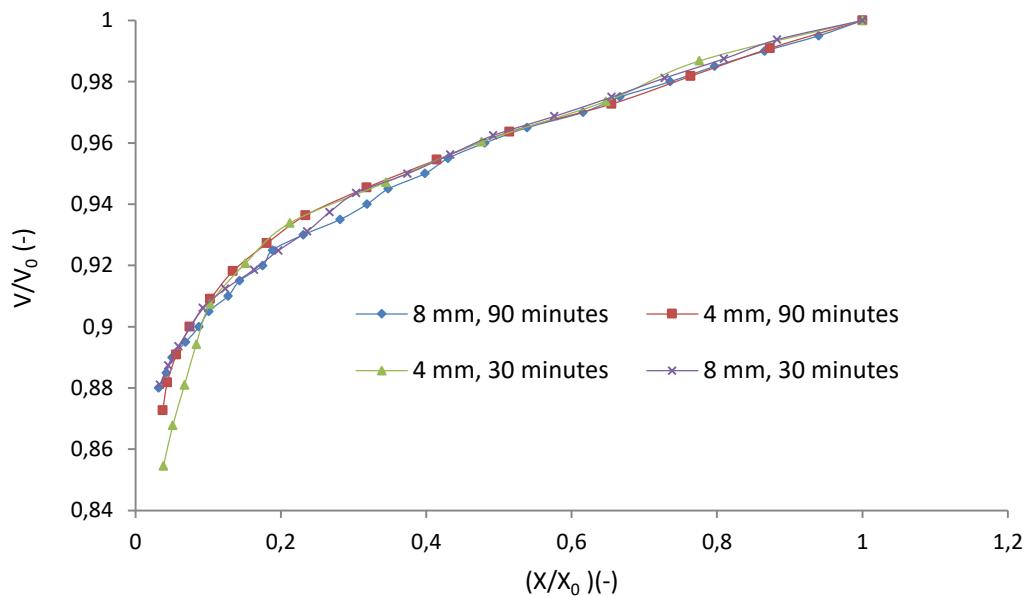


Figure III. 29. Evaluation de rapport (V/V_0) en fonction (X/X_0) à 270 Watts

L'analyse physicochimique des tranches de viande cameline, représentée dans le tableau (Tableau III.6), inclut les conditions de prétraitement et les résultats de la teneur en eau, du taux de cendres, des protéines, de l'activité de l'eau (a_w), des lipides, de la salinité et du pH. La variation des paramètres de couleur (a^* , b^* , et L^*), le changement total de couleur et le taux de

rétrécissement sont également inclus. Ces paramètres nous permettent d'évaluer la qualité physicochimique des tranches de viande cameline séchées à 270 Watts.

Tableau III. 7. Résultats d'analyse physicochimiques des tranches de viande séchées a 270 watts

Paramètres (%)	Viande fraîche	4 mm 30 minutes	8 mm 90 minutes	8 mm, 30 minutes	8 mm, 90 minutes	
H (%)	73.38 ± 0.13	10.21 ± 0.31	10.31 ± 0.08	11.28 ± 0.21	11.65 ± 0.88	
Matiere seche	26.62 ± 0.42	89.33 ± 0.14	89.21 ± 0.19	88.54± 0.24	86.21 ± 0.08	
Cendre	1.123 ± 0.009	3.012 ± 0.015	4.266 ± 0.037	3.556 ± 0.014	4.107 ± 0.034	
Protéine	19.77 ± 0.05	46.33 ± 0.20	40.64 ± 0.17	47.37 ± 0.29	44.34 ± 0.38	
TBNV	13.62 ± 0.03	22.11 ± 0.51	27.33 ± 0.17	21.14 ± 0.11	25.19 ± 0.18	
Lipide	3.72 ± 0.05	0.90 ± 0.14	0.81 ± 0.10	0.86 ± 0.13	0.82 ± 0.12	
Salinité	-	3.020 ± 0.15	3.30 ± 0.10	3.34 ± 0.11	3.46 ± 0.14	
pH	5.96 ± 0.02	6.08 ± 0.01	6.17 ± 0.01	6.22± 0.02	6.23± 0.01	
color	l*	37.13 ± 2.11	22.01 ± 2.01	24.01 ± 1.58	20.01 ± 1.58	19.01 ± 1.58
	a*	22.03 ± 2.15	3.88 ± 0.60	3.47 ± 0.40	2.88 ± 0.80	3.08 ± 0.50
	b*	7.73 ± 0.47	4.04 ± 0.10	3.73 ± 0.10	2.04 ± 0.04	1.22 ± 0.09
Total color	-	23.10 ± 0.70	23.10 ± 0.70	24.18± 0.18	25.34± 0.22	
Rétrécissement	-	55.21 ± 1.20	57.65 ± 0.32	60.41±1.24	61.47±1.48	

L'évaluation de la couleur des tranches séchées à 270 Watts, est développée dans la figure III. 30, l'indice L* (Luminosité) des tranches de viande cameline fraîche a une valeur initiale de 37.13, tandis que les tranches de 4 mm après 30 minutes de prétraitement présentent une valeur plus faible (22.01). Cela indique une réduction de la luminosité avec le traitement.

a* (Composante de couleur rouge-vert) :* On observe une diminution significative de la valeur de a* avec le temps de prétraitement. La viande fraîche a une valeur de 22.03, qui diminue à 3.88 pour les tranches de 8 mm après 90 minutes de prétraitement, montrant un changement vers des tons moins rouges.

b* (Composante de couleur jaune-bleu) :* La valeur de b* diminue également avec le temps de prétraitement. La viande fraîche a une valeur initiale de 7.73, qui diminue à 1.22 pour les tranches de 8 mm après 90 minutes de prétraitement. Cela suggère une diminution des tons jaunes.

Changement total de couleur (ΔE) : La variation totale de couleur (ΔE) indique le changement global dans la couleur. On observe une augmentation progressive du ΔE avec le temps de prétraitement, atteignant la valeur la plus élevée (25.34) pour les tranches de 8 mm après 90 minutes de prétraitement. Ceci suggère une altération significative de la couleur avec des conditions de prétraitement plus longues.

PARTIE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

En résumé, les résultats suggèrent que les conditions de prétraitement, en particulier le temps, ont un impact significatif sur les propriétés de couleur de la viande cameline séchée à 270 Watts. Les valeurs plus basses de L*, a*, et b* ainsi que l'augmentation de ΔE indiquent des modifications importantes de la couleur en fonction des différentes conditions expérimentales.

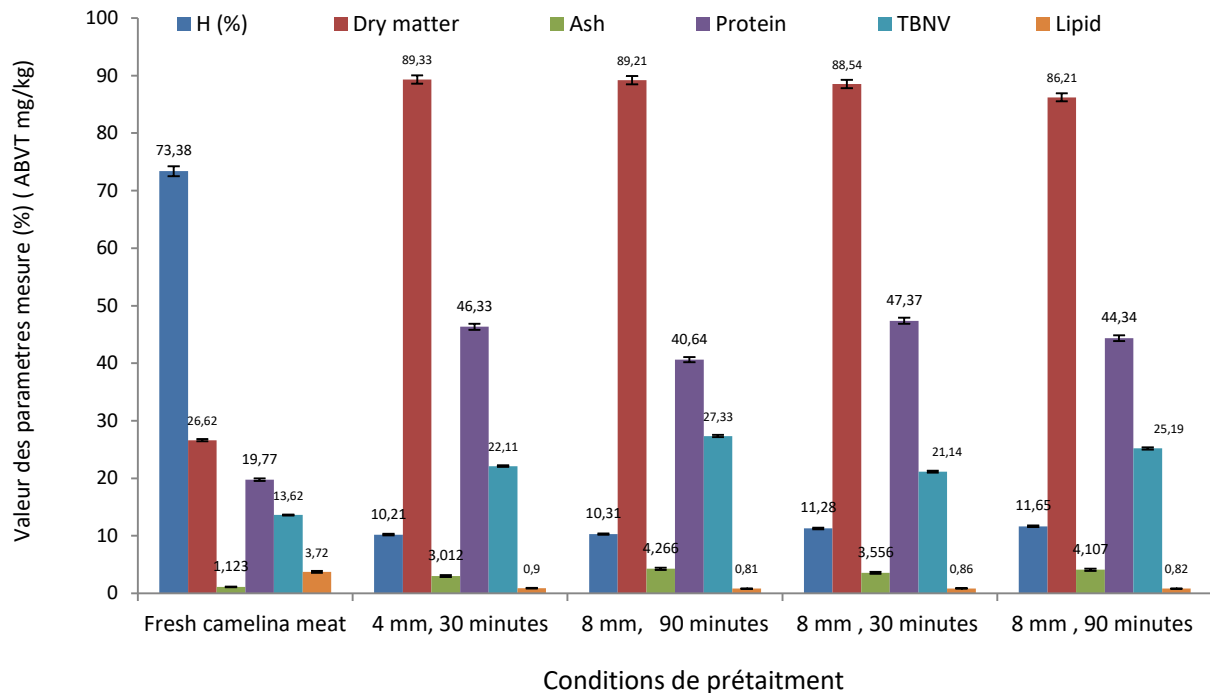


Figure III. 30. Evaluation de qualité physicochimique des tranches de viande à 270 watts

Le pH des tranches de viande cameline séché à 270 Watts, représente dans la figure III.31. Montre une augmentation de pH en fonction de l'épaisseur et le temps de trempage, varie de 5.96 pour la viande fraîche, à 6.08 et 6.17 pour des tranches de 4 mm traitées durant 30 minutes et 90 minutes successivement, le pH a augmenté pour l'épaisseur de 8 mm de 5.96 à 6.22 et 6.23 pour le temps de traitement de 30 et 90 minutes successivement.

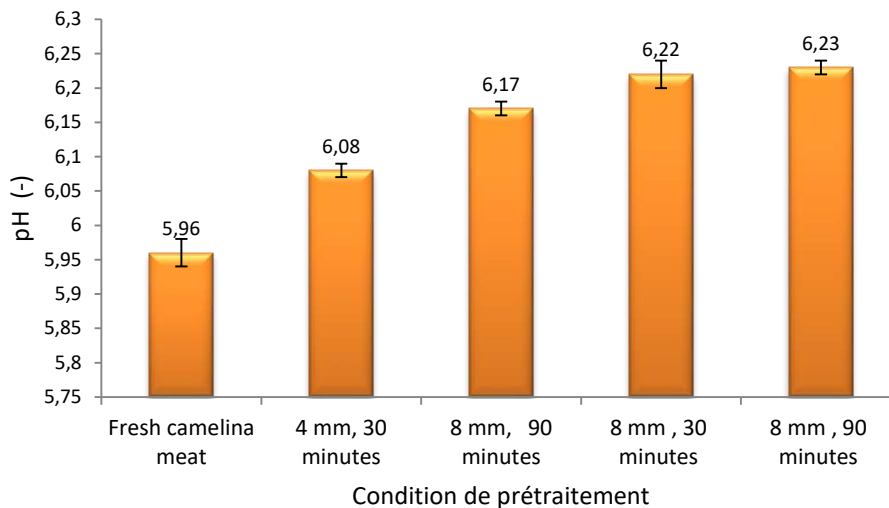


Figure III. 31. Evaluation de pH des tranches séchées à 270 Watts

L'évaluation de la couleur des tranches séchées a 270 Watts, est développer dans la [Figure III. 32](#), l'indice L^* (Luminosité) des tranches de viande cameline fraîche a une valeur initiale de 37.13, tandis que les tranches de 4 mm après 30 minutes de prétraitement présentent une valeur plus faible (22.01). Cela indique une réduction de la luminosité avec le traitement.

a^* (Composante de couleur rouge-vert) :* On observe une diminution significative de la valeur de a^* avec le temps de prétraitement. La viande fraîche a une valeur de 22.03, qui diminue à 3.88 pour les tranches de 8 mm après 90 minutes de prétraitement, montrant un changement vers des tons moins rouges.

b^* (Composante de couleur jaune-bleu) :* La valeur de b^* diminue également avec le temps de prétraitement. La viande fraîche a une valeur initiale de 7.73, qui diminue à 1.22 pour les tranches de 8 mm après 90 minutes de prétraitement. Cela suggère une diminution des tons jaunes.

Changement total de couleur (ΔE) : La variation totale de couleur (ΔE) indique le changement global dans la couleur. On observe une augmentation progressive du ΔE avec le temps de prétraitement, atteignant la valeur la plus élevée (25.34) pour les tranches de 8 mm après 90 minutes de prétraitement. Ceci suggère une altération significative de la couleur avec des conditions de prétraitement plus longues.

En résumé, les résultats suggèrent que les conditions de prétraitement, en particulier le temps, ont un impact significatif sur les propriétés de couleur de la viande cameline séchée à 270 Watts. Les valeurs plus basses de L^* , a^* , et b^* ainsi que l'augmentation de ΔE indiquent des modifications importantes de la couleur en fonction des différentes conditions expérimentales.

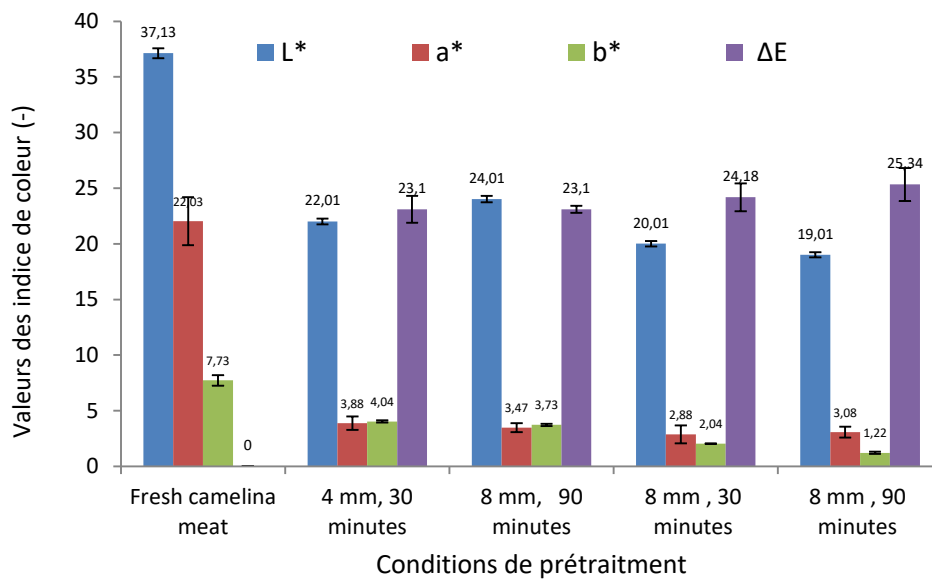


Figure III. 32. Evaluation de couleur de viande séchée à 270 Watts

Evaluation de rétrécissement des tranches de viande cameline séchée à 270 Watts

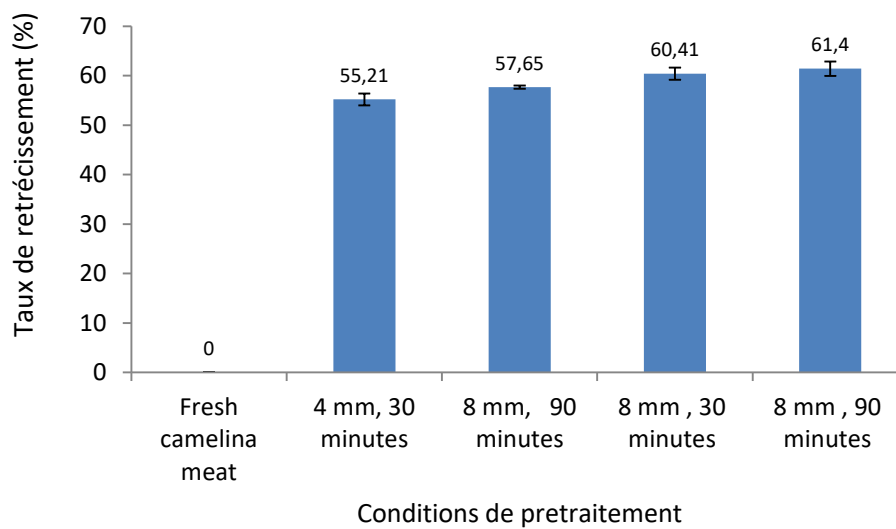


Figure III. 33. Evaluation de taux de rétrécissement des tranches de viande séchées à 270 Watts

Analyse des éléments nutritifs des tranches de viande cameline séchée à 270 Watts

Tableau III. 8. Composition nutritionnelle des tranches de viande à 270 Watts

Elements	Viande fraîche	4 mm, 30 minutes	4 mm, 90 minutes	8 mm, 30 minutes	8 mm, 90 minutes
Ca(mg/ 100 g)	58.53±0.43	58.43±0.42	57.19±1.02	57.11±0.15	56.78±0.01
P (mg/ 100 g)	675.47±2.2	679.84±1.10	672.14±1.12	671.17±3.11	672.27±4.3
Mg (mg/ 100 g)	917.45±4.1	927.21±9.14	911.14±4.42	902.11±11.14	910.31±5.74
Na (mg/ 100 g)	260.47±1.4	1675.47±14.17	1689±4.21	1712.14±6.12	1755.34±7.78
K (mg/ 100 g)	70.31±0.45	69.20±0.84	68.44±0.80	64.81±0.13	69.12±0.16
Zn (µg /100 g)	12830±27	11789±75	12055±47	12401±34	12566±67
Fe (µg /100 g)	6647±11	6612±01	6601±17	6602±12	6601±12
Cu (µg /100 g)	1025±04	1001±14	997±14	989±21	965±14

La comparaison des teneurs en minéraux entre la viande cameline fraîche et les échantillons séchés montre que le procédé de séchage incluant le trempage dans une solution saline permet une bonne préservation de la plupart des éléments minéraux. En effet, les concentrations en calcium, magnésium, phosphore et potassium ne diminuent que très faiblement pendant le traitement, avec des pertes maximales de l'ordre de 5% par rapport à la viande fraîche. Seuls les oligoéléments zinc, fer et cuivre accusent une baisse plus marquée de 8 à 15%. Cette légère diminution peut être attribuée à la perte en eau des échantillons lors du séchage et le trempage dans la solution saline. À l'inverse, le sodium présente des teneurs jusqu'à 7 fois plus importantes suite à l'imprégnation du chlorure de sodium. D'autre part, le temps de séchage et l'épaisseur des tranches semblent avoir peu d'influence sur les concentrations minérales dans les plages de variations étudiées. On peut donc en conclure que de façon générale, excepté l'augmentation en sel, la qualité nutritionnelle liée aux minéraux est bien conservée dans la viande cameline séchée par ce procédé de microonde à 270 Watts.

III- I- 3 Séchage Statique (à l'étuve)

Dans cette partie, le séchage des tranches de viande cameline a été effectué dans une étuve à deux températures différentes : 45 et 65°C. Les premières tranches de viande ont une épaisseur de 4 mm, une largeur de 20 mm, et une longueur de 100 mm. Les secondes tranches ont une épaisseur de 8 mm, 20 mm de largeur, et 100 mm de longueur. Le tableau suivant (Tableau III.09.) illustre toutes les expériences réalisées et leurs conditions opératoires.

Tableau III. 9. Condition de prétraitement de séchage à l'étuve des tranches de viande

N°	Epaisseur	Temps de trempage	Température
01	4 mm	30 minutes	45 °C
02	4 mm	90 minutes	45 °C
03	8 mm	30 minutes	45 °C
04	8 mm	90 minutes	45 °C
05	4 mm	30 minutes	65 °C
06	4 mm	90 minutes	65 °C
07	8 mm	30 minutes	65 °C
08	8 mm	90 minutes	65 °C

III- I- 3-A. Séchage Statique à 45°C

III.I.3-A.1 cinétique et courbe de séchage statique à 45°C

La cinétique de séchage à 45°C et les différentes courbes seront présentées dans cette section. Les échantillons de tranches de viande ont été traités pendant 30 minutes et 90 minutes dans une solution saline à 19%. Les tranches avaient une épaisseur de 4 millimètres et 8 millimètres.

L'évaluation de teneur en eau (X) en fonction de temps de séchage des tranches de viande à 45°C est représenté dans la figure suivante (Figure III.34), le temps de séchage à 45 °C varie de 2640 minutes pour les tranches de 8 mm d'épaisseur avec 30 minutes de trempage dans une solution saline à 19%. Le temps de séchage pour les tranches de 4 mm d'épaisseur avec 90 minutes de trempage est de 1650 minutes. Pour les tranches de 8 mm d'épaisseur avec 90 minutes de trempage dans la solution saline, le temps de séchage est de 1822 minutes. Enfin, la dernière expérience avec des tranches de 4 mm d'épaisseur et 30 minutes de trempage a un temps de séchage de 1800 minutes. Lors du séchage, l'eau contenue à l'intérieur de la tranche de viande doit migrer vers la surface pour pouvoir s'évaporer. Plus l'épaisseur de la tranche est importante, plus les molécules d'eau ont une distance importante à parcourir au sein de la matrice des tissus musculaires.

Cette migration de l'eau s'effectue grâce à deux mécanismes physiques principaux :

✚ La diffusion : transfert de proche en proche des molécules d'eau des couches internes de la viande vers la surface. Ce phénomène suit la première loi de Fick, le flux de diffusion étant inversement proportionnel à l'épaisseur de diffusion.

✚ La capillarité : effets de tension superficielle permettant le mouvement de l'eau le long des fascicules musculaires et des espaces intercellulaires fibrillaires. Ces effets capillaires diminuent quand l'épaisseur augmente.

Ainsi, l'augmentation de l'épaisseur des tranches de viande caméline réduit à la fois la cinétique de diffusion d'après la loi de Fick et les effets capillaires facilitant le déplacement de l'eau. La migration de l'humidité vers la surface est donc ralentie, d'où des temps de séchage prolongés pour atteindre la stabilité de masse finale.

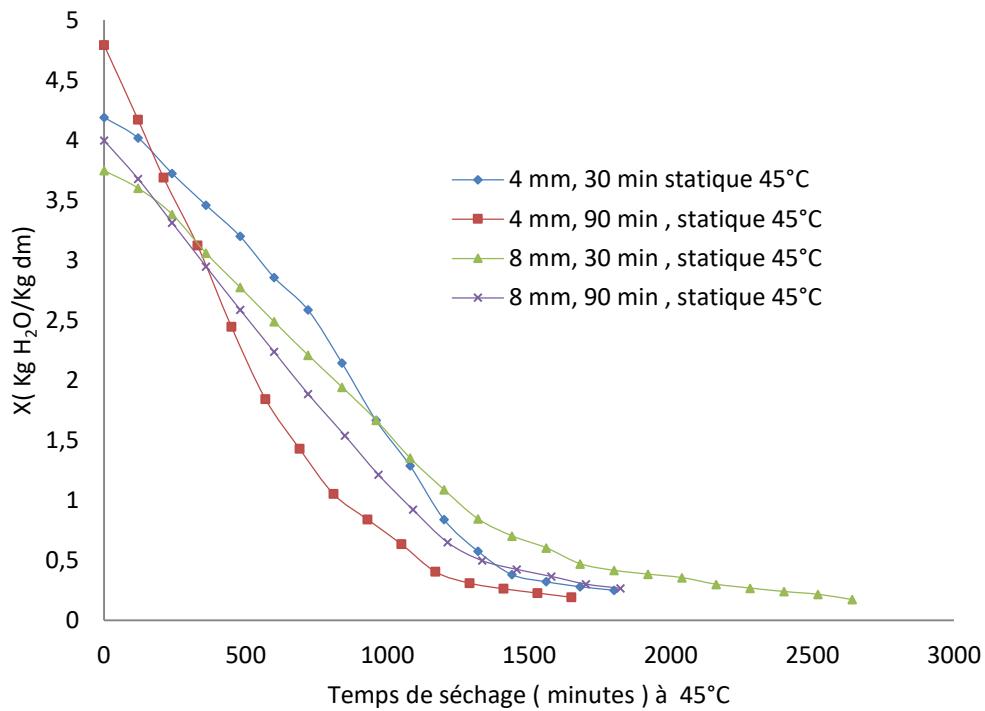


Figure III. 34. Evaluation de la teneur en eau (X) des tranches à 45°C

L'évaluation de rapport (X/X_0) en fonction de temps de séchage des tranches de viande à 45°C
 Figure III. 35.

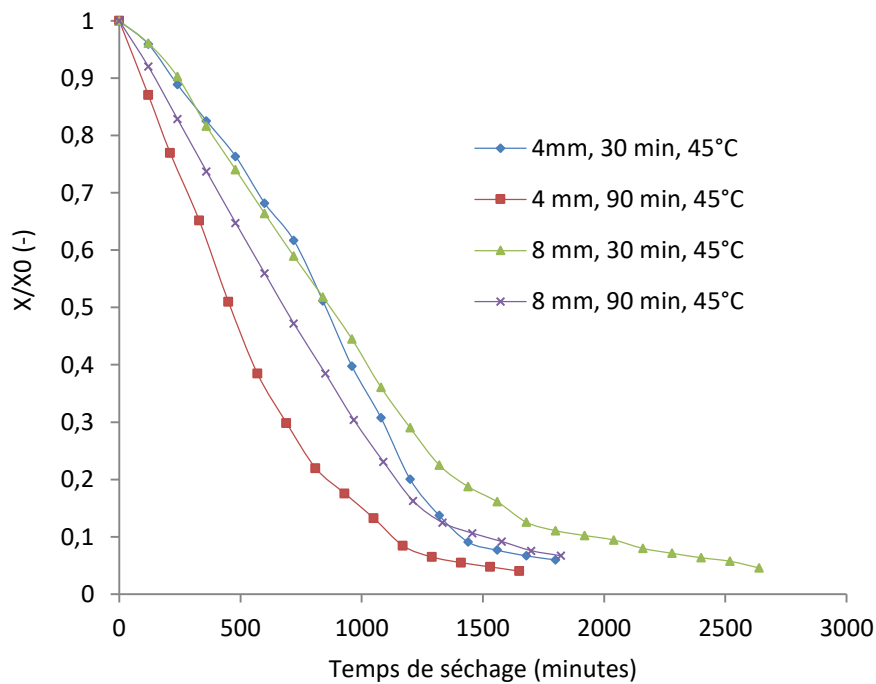


Figure III. 35. Evaluation du rapport (X/X_0) en fonction de temps de séchage des tranches séchées à 45°C

L'évaluation de volume des tranches de viande cameline sèche a l'étuve à 45°C est évalué en fonction de volume initiale V_0 des tranches, la (figure III.36.) Représente la variation linéaire (V/V_0) en fonction de temps de séchage en minutes.

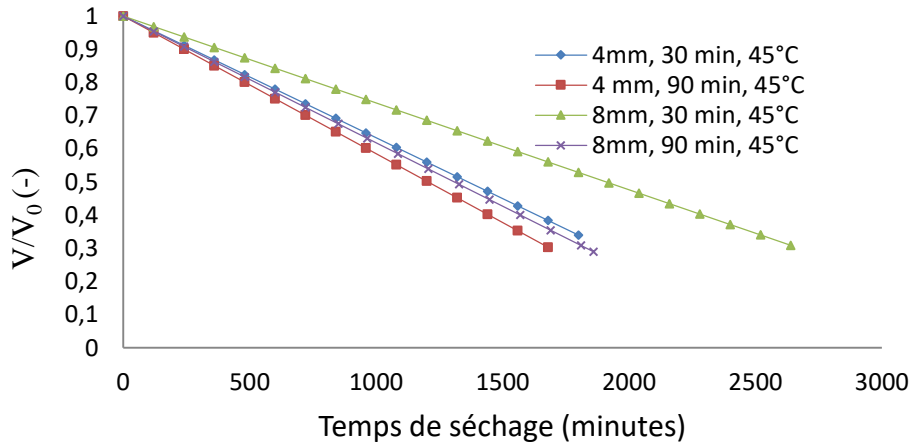


Figure III. 36. Evaluation de (V/V_0) des tranches séchées à 45°C

La variation de rapport la surface (S/S_0) des tranches de viande cameline séché a l'étuve a une température fixe de 45°C est évalué en fonction de temps de séchage en minute (figure III.37.). Les résultats indiquent que, pour des tranches d'une épaisseur de 4 mm, le temps de trempage de 90 minutes conduit à une augmentation du rapport de la surface initiale sur la surface finale (S/S_0) (0.3114) par rapport à un trempage de 30 minutes (0.3037). Cependant, pour des tranches d'une épaisseur de 8 mm, le temps de trempage de 90 minutes entraîne une réduction du rapport S/S_0 (0.2899) par rapport au trempage de 30 minutes (0.31).

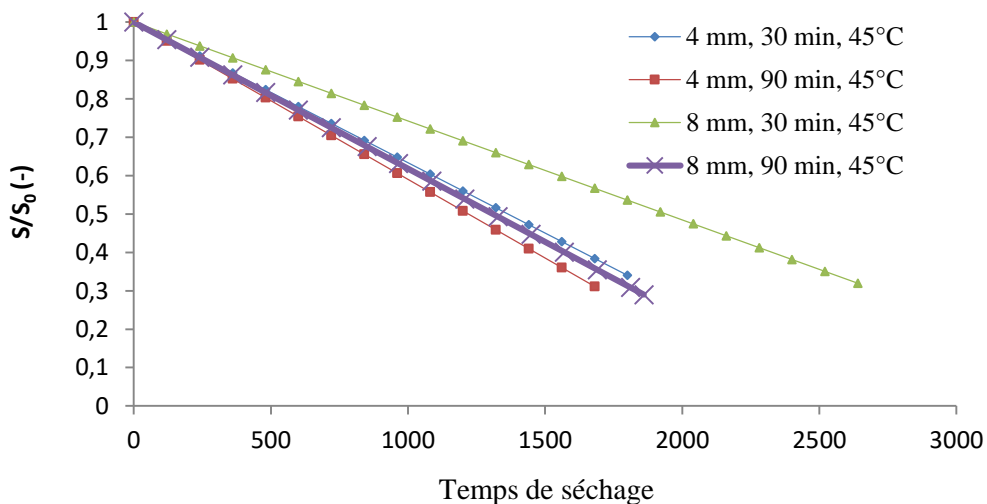


Figure III. 37. Evaluation du rapport (S/S_0) des tranches séchées à 45°C

L'évaluation du rapport (S/S_0) en fonction de (X/X_0) des tranches de viande séchées à 45 °C (Figure III.38.) montre une allure linéaire dans la phase de vitesse de séchage constante, avec un changement d'allure du graphe dans la deuxième phase où la vitesse de séchage décroît. La pente de la courbe est plus grande dans cette deuxième phase.

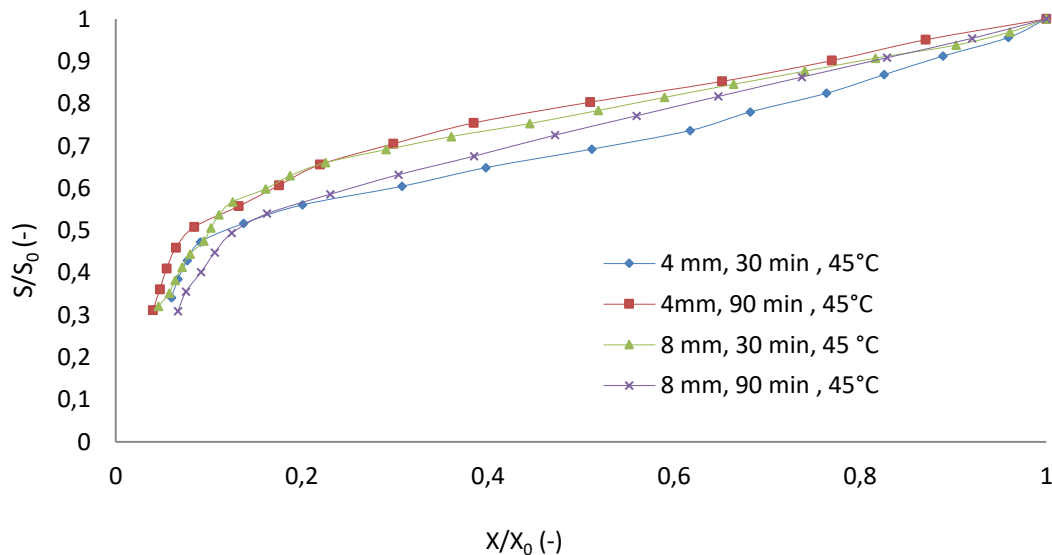


Figure III. 38. Evaluation de rapport (S/S_0) en fonction de (X/X_0) des tranches à 45°C

III.1.3-A.2. Evaluation de qualité physicochimique des tranches de viande cameline séché à 45°C

Le tableau (Tableau III.09) représente l'évaluation des paramètres de qualité physicochimique des tranches de viande cameline séché à l'étuve à une température de 45°C. Pendant le processus de séchage à l'étuve à 45°C, le contenu en humidité des tranches de viande de caméline subit une très forte diminution passant de 73.94% dans la viande fraîche à une teneur moyenne de 13%. Cette perte d'eau conduit à une amplification de tous les composants secs retenus : matières minérales (cendres), protéines, lipides et sel ajoutés (NaCl). Les taux de protéines sont de l'ordre de 48% sur poids sec, indiquant une bonne teneur en rétention (environ 2.5 fois plus concentrée que la viande fraîche). La teneur en lipides totaux diminue sensiblement d'environ 25%, ce qui traduit une légère perte ou une légère oxydation des lipides, lors du séchage. La légère augmentation des ΔE montre une dégradation de la couleur rouge durant le processus de séchage intensifiée pour les tranches de 4mm / 90min.

Tableau III. 10. Paramètres de qualité physicochimique des tranches séchées à 45°C

Composition	Viande fraîche	Viande cameline séchée à l'étuve (à 45 °C)			
		Ep = 4 mm, T= 30 min	Th = 4 mm, T = 90min	Th = 8 mm, T= 30 min	Th = 8 mm, T = 90 min
Moisture content %	73.94± 0.31	13.12±0.18	12.65±0.23	13.41±0.36	13.19±0.24
Dry matter %	26.06±0.22	85.55±0.21	87.51±0.34	86.64±0.53	86.54±0.21
Ash %	1.13±0.03	4.45±0.37	4.65±0.12	4.35±0.24	4.67±0.01
Protein %	19.72±0.23	47.11±0.14	48.14±0.18	48.16±0.31	49.11±0.17
Lipid %	3.74±0.06	3.11±0.14	2.88±0.07	2.78±0.14	2.89±0.42
Salt(NaCl) %	-	3.47±0.14	3.65±0.11	3.51±0.14	3.87±0.24
pH	5.95±0.05	6.22±0.02	6.29±0.04	6.24±0.03	6.31±0.02
Color					
L*	37.1 ±0.14	22.4±0.23	25.7±0.15	22.5±0.11	23.1±0.22
a*	22.0± 0.16	9.7±0.11	9.8±0.08	7.8±0.16	7.1±0.14
b*	7.7± 0.18	3.4±0.08	3.3±0.04	2.9±0.08	2.4±0.17
ΔE	-	20.51±0.18	23.14±0.45	20.7±0.18	22.1±0.11

La composition de la viande en matière minérale (Tableau III.10) montre une conservation des minéraux de la viande, démontrant l'efficacité de la solution de prétraitement utilisée. Cependant, on observe une augmentation de la teneur en sodium en raison de l'effet du trempage dans la solution saline.

Tableau III. 11. Teneur en minéraux des tranches de viande a 45°C

Elements	Viande fraîche	4 mm, 30 minutes	4 mm, 90 minutes	8 mm, 30 minutes	8 mm, 90 minutes
Ca (mg/ 100 g)	58.53±0.43	57.42±0.61	56.33±1.15	57.60±0.19	57.33±0.21
P (mg/ 100 g)	675.47±2.2	671.20±1.2	665.14±4.17	672.16±2.18	672.01±1.3
Mg (mg/ 100 g)	917.45±4.1	901.13±4.52	885.54±7.21	912.02±7.21	907.22± 4.11
Na (mg/ 100 g)	260.47±1.4	1689.41±18.16	1623±7.31	1775.24±4.74	1794.21±2.79
K (mg/ 100 g)	70.31±0.45	64.24±0.41	60.11±0.18	62.41±1.04	60.14±0.42
Zn (µg /100 g)	12830±27	11775±89	11511±56	11643±51	11621±11
Fe (µg /100 g)	6647±11	6548±30	6519±21	6615±04	6607±05
Cu (µg /100 g)	1025±04	921±34	897±41	998±10	1002±08

III- I- 3-B. Séchage Statique à 65°C

III.I.3-B.1 Cinétique et courbe de séchage statique à 65°C

Les cinétiques de séchage des échantillons de viande à 65°C, présentées dans la figure III.39, permettent de suivre l'évolution des teneurs en eau (X) en fonction du temps. Ces courbes mettent en évidence une influence prépondérante de deux paramètres opératoires :

Premièrement, l'épaisseur des tranches conditionne la rapidité du processus. Ainsi, le séchage des tranches de 4 mm d'épaisseur s'effectue significativement plus vite que celui des pièces de 8 mm. Ceci peut s'expliquer par une distance de diffusion de l'humidité plus courte, conformément à la loi de Fick.

Deuxièmement, on constate un accroissement du temps nécessaire pour atteindre une teneur minimale d'eau / matière sèche avec l'augmentation de la durée de trempage préalable dans la saumure. En effet, lors de cette imprégnation saline, les tissus musculaires absorbent d'autant plus d'eau que le trempage est long, allongeant ainsi le séchage ultérieur.

Par conséquent, il est clairement établi que l'épaisseur des tranches ainsi que la durée de leur immersion dans la solution de chlorure de sodium conditionnent fortement la cinétique de séchage de la viande à 65°C.

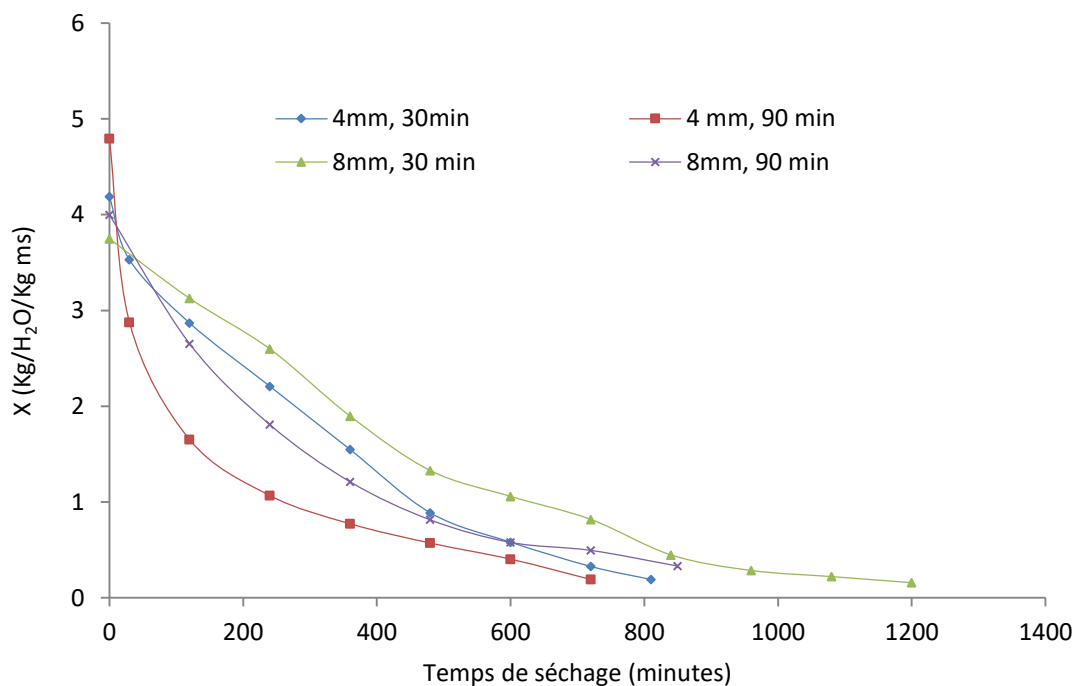


Figure III. 39. Evaluation de teneur en eau (X) des tranches séchées à 65°C

L'évaluation du rapport (X/X_0) en fonction du temps de séchage à 65°C, montre une valeur de 0.046 à la fin du séchage pour les tranches de 4 mm d'épaisseur et 30 minutes de trempage ; et une valeur de 0.0398 pour les tranches de 4 mm d'épaisseur et 90 minutes de trempage.

Concernant les échantillons de 8 mm d'épaisseur, le rapport (X/X_0) final est de 0.041 après 30 minutes de trempage, et il est de 0.083 après 90 minutes de trempage (Figure III.40.)

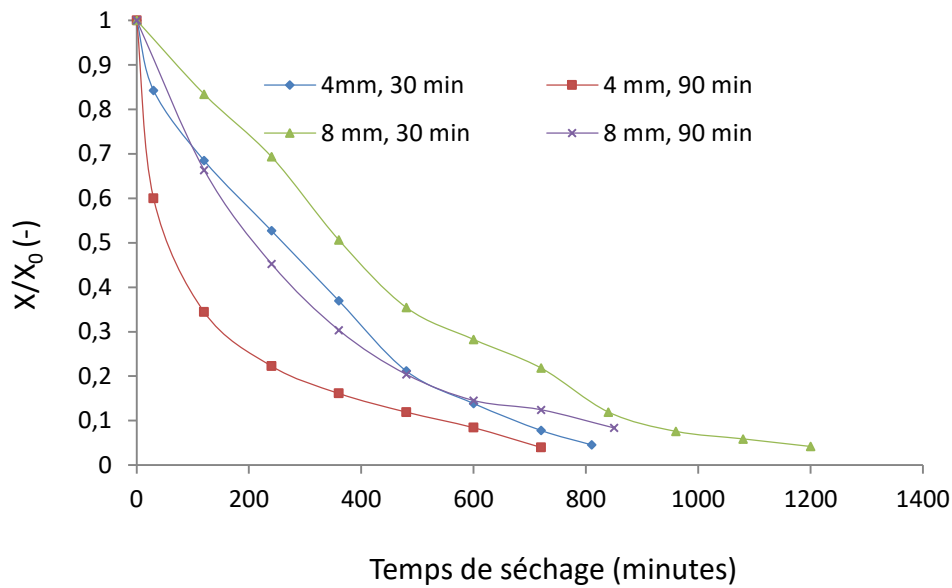


Figure III. 40. Evaluation de (X/X_0) des tranches séchées à 65°C

Evaluation de volume (V/V_0) des tranches des viandes séchées dans l'étuve à 65°C est illustrée dans la (figure III.41.)

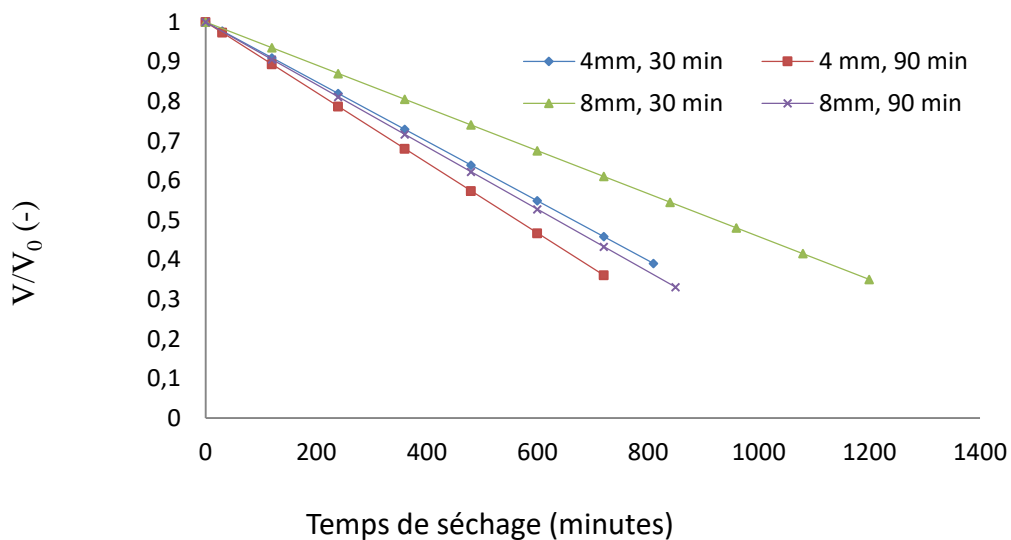


Figure III. 41. Evaluation du rapport (V/V_0) des tranches à 65°C

La figure III.42. Montre l'évaluation de rapport de volume (V/V_0) par rapport au taux de séchage X/X_0 dans les tranches de viande séchées à 65°C.

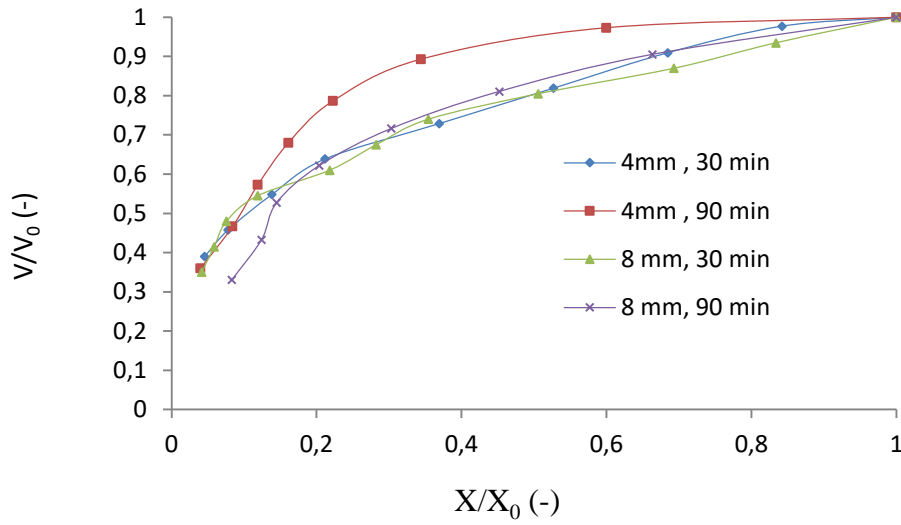


Figure III. 42. Evaluation de (V/V_0) en fonction de (X/X_0) des tranches séchées à 65°C

L'évaluation de la surface (S/S_0) des tranches des viandes cameline en fonction de temps de séchage à 65°C est représentée dans la figure suivante.

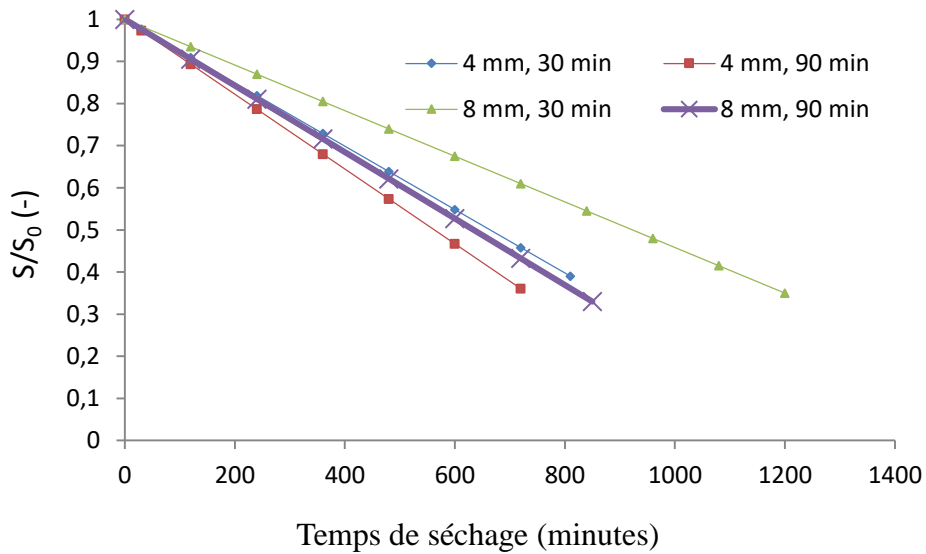


Figure III. 43. Evaluation de rapport (S/S_0) des tranches à 65°C

La figure suivante évalue le rapport (S/S_0) en fonction de (X/X_0) des tranches de viande sèche à 65°C.

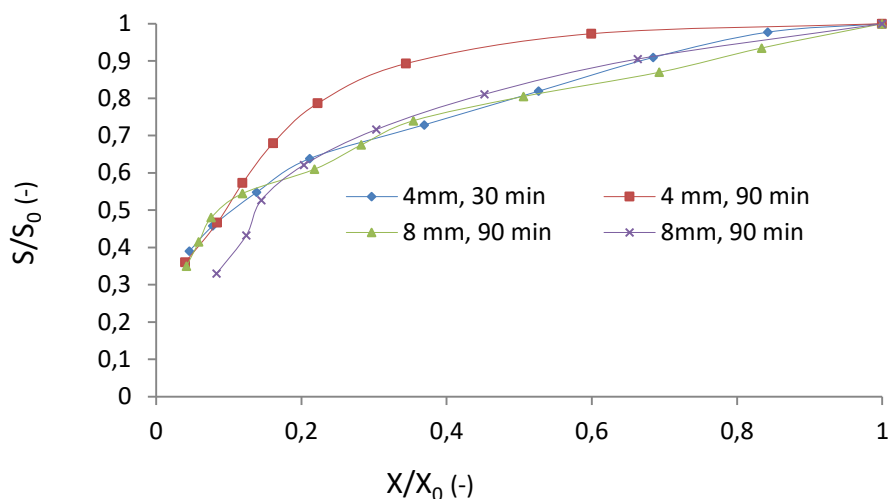


Figure III. 44. Evaluation de (S/S_0) en fonction de (X/X_0) des tranches à 65°C

Le tableau III.12, représente la qualité physicochimique des tranches de viande cameline séchée à 65°C .

Tableau III. 12. Evaluation de la qualité de la viande cameline séchée à 65°C

Composition	Viande fraîche	Oven-dried camel meat (at 65°C)			
		Th = 4 mm, ST= 30 min	Th = 4 mm, ST = 90 min	Th = 8 mm, ST= 30 min	Th = 8 mm, ST = 90 min
Teneur en eau %	73.94± 0.31	13.33±0.15	13.45±0.42	14.12±0.22	14.22±0.42
Matiere seche %	26.06±0.22	86.67±0.19	86.55±0.08	85.42±0.16	85.31±0.17
Cendre %	1.13±0.03	4.78±0.12	4.87±0.09	4.25±0.21	4.98±0.07
Protein %	19.72±0.23	50.97±0.14	48.97±0.16	52.44±0.24	55.48±0.45
Lipide %	3.74±0.06	3.19±0.04	3.09±0.02	3.12±0.08	2.87±0.12
Salt(NaCl) %	-	3.63±0.01	4.01±0.01	3.68±0.08	4.12±0.14
pH	5.95±0.05	6.20±0.01	6.35±0.01	6.22±0.01	6.38±0.01
Color					
L*	37.1 ±0.14	25.5±0.18	27.8±0.17	23.7±0.17	25.8±0.21
a*	22.0± 0.16	9.4±0.08	9.4±0.07	8.6±0.16	7.3±0.11
b*	7.7± 0.18	3.7±0.02	4.1±0.03	3.2±0.02	2.9±0.14
ΔE	-	17.5±0.11	16.0±0.13	19.4±0.11	21.0±0.24

Le tableau III.13 représente la composition minérale des tranches de viande cameline séchée à l'étuve à 65°C .

Tableau III. 13. Teneur en minéraux de viande cameline séchée à 65°C

Elements	Viande fraîche	4 mm, 30 minutes	4 mm, 90 minutes	8 mm, 30 minutes	8 mm, 90 minutes
Ca(mg/ 100 g)	58.53±0.43	57.15±0.16	56.24±1.13	56.77±0.11	57.33±0.05
P (mg/ 100 g)	675.47±2.2	673.14±1.14	672.74±1.42	672.18±3.41	671.45±4.5
Mg (mg/ 100 g)	917.45±4.1	910.14±8.01	901.75±2.33	916.11±3.51	913.31±6.14
Na (mg/ 100 g)	260.47±1.4	1742.47±18.42	1792±4.54	1717.23±4.21	1734.37±6.42
K (mg/ 100 g)	70.31±0.45	69.41±0.11	68.47±0.27	66.88±0.74	69.44±0.47
Zn (µg /100 g)	12830±27	12367±55	12255±48	12601±42	12578±74
Fe (µg /100 g)	6647±11	6560±13	6520±12	6575±10	6597±14
Cu (µg /100 g)	1025±04	945±11	920±01	974±14	967±31

Dans cette partie sur le séchage de viande cameline par trois techniques (séchage au soleil, par micro-ondes et à l'étuve), les échantillons ont montré un temps de séchage plus élevé avec l'augmentation de l'épaisseur des tranches. L'effet est également relevé par l'augmentation du temps de trempage, la teneur en sel augmentant avec la durée de trempage dans la solution saline pour tous les essais réalisés. La qualité de la viande étant basée sur une teneur importante en protéines, l'objectif premier de cette étude est de préserver au maximum ces nutriments dans le produit final. La sélection de la meilleure méthode parmi les trois procédés testés s'appuiera donc sur ce facteur déterminant.

La couleur de viande cameline est influencée par l'augmentation de la concentration en sel (NaCl) entraîne une dénaturation des protéines musculaires de la viande, modifiant leur structure et interactions. Il en résulte une diminution de la capacité de rétention d'eau qui concentre alors la myoglobine (protéine responsable de la couleur rouge). Ce phénomène accentue la couleur sombre et brune de la viande séchée (Toldrá et Aristoy, 2010), de plus, en milieu salin, il peut se produire une oxydation de la myoglobine et des lipides, à l'origine également d'un brunissement indésirable (Zhou et al., 2016) ce qui montre les expériences sur le test de couleur,

La comparaison de ces résultats avec les études ultérieures réalisées sur le séchage de viande cameline montre un changement total de couleur de viande séchée à 40°C est de ΔE 14.8 pour la viande de buffle, étude réalisée par (Nath et al., 2022), pour la viande de chèvre arrive à ΔE 29.1 le changement total, la viande de bœuf sèche réalisée par (Villada et al., 2022), atteint les $\Delta E = 31,2$ la viande avec des caractéristiques nutritionnelles proches de celle de viande cameline.

La teneur en protéines et en lipides de la viande séchée varie selon la méthode de séchage utilisée. Le séchage statique à l'étuve à 65°C s'est révélé être la méthode permettant de mieux préserver ces composants, comme le montre notre étude. Les tranches traitées pendant 90 minutes avec une épaisseur de 8 mm ont conservé 55.5% de leur teneur initiale en protéines et 2.87% de lipides totaux, ce qui représente une perte de seulement 23.26% comparé à la viande

fraîche. D'autres chercheurs ont rapporté des taux de 52% et 37% de protéines résiduelles (base de données Ciquel - ANSES). Avec le séchage solaire, le taux de protéines varie entre 51,3 et 50,47% selon l'épaisseur des tranches et la durée du procédé ; les lipides se maintenant entre 3,01 et 3,34%. Le séchage aux micro-ondes abaisse davantage les teneurs en protéines (43 à 50%) et lipides, qui diminuent progressivement avec l'augmentation de la puissance de chauffage. La comparaison entre méthodes demeure complexe étant donné la grande variabilité de composition de la viande en fonction de l'animal et du muscle considérés.

Après avoir démontré la bonne conservation des éléments nutritifs par les trois méthodes, on constate que la solution froide utilisée (salinité 19%, température 4°C) limite leur migration, de sorte que le mode de séchage n'influence pas de manière significative ces composés. De manière générale, on constate que les teneurs en minéraux sont relativement bien préservées après séchage, quelle que soit la durée ou l'épaisseur des tranches. Cependant, on note quelques variations selon les conditions, Le sodium (Na) augmente fortement lors du séchage du fait de l'ajout de sel du a l'effet de la solution saline de sodium, Le potassium (K) et le calcium (Ca) diminuent légèrement mais de façon non significative pendant le séchage. Le magnésium (Mg) et le phosphore (P) restent très stables. Concernant les oligoéléments, on observe une faible diminution des teneurs en zinc (Zn), fer (Fe) et cuivre (Cu) qui semble liée à la perte par effet de migration vers la solution utilisée pour le prétraitement.

Pour comparer ces résultats avec ceux d'autres chercheurs, quelques études de référence sur la composition minérale de viande séchée rapportent les données suivantes : Sodium (Na), les teneurs en sodium de 1700-1800 mg/100g obtenues ici sont du même ordre de grandeur que les 1500-2000 mg/100g mesurés par Lombardi-Boccia et al. (2005), Magnésium (Mg), Les valeurs comprises entre 900 et 920 mg/100g sont légèrement supérieures aux 830 mg/100g cités par Pereira et Vicente (2013) pour de la viande séchée. Potassium (K), avec des teneurs de l'ordre de 65 à 70 mg/100g, nos résultats sont aussi dans la gamme de 50 à 90 mg/100g rapportée par Bertram et al. (2003). Zinc (Zn) : Nos valeurs allant de 12000 à 13000 µg/100g sont similaires aux 10000 à 14000 µg/100g mesurés par Dia et al. (2014) sur du jerky de bœuf.

Le trempage des tranches de viande dans une solution saline froide à 4°C avant séchage limite la diffusion des minéraux et la perte de la composition de viande grâce à la faible perméabilité des membranes cellulaires à basse température, tout en permettant l'intégration efficace du sodium par imprégnation salière, celui-ci restant bien soluble dans l'eau froide.

III- II - Résultats de Séchage de raisin Régál Seedless

III-II. Séchage De Raisin Régal Seedless

Des raisins Regal Seedless de bonne qualité sont achetés au marché alimentaire local de la ville d'Ouargla, Algérie. Les échantillons utilisés pèsent $9 \pm 0.5 \times 10^{-3}$ kg en moyenne, et contiennent $79.76 \pm 0.45\%$ d'eau en poids.

Après avoir été lavés et égouttés, les échantillons sont trempés dans une nouvelle solution de prétraitement composée d'huile d'olive (2%), de carbonate de calcium (2%) et d'eau distillée (96%), et chauffés à deux températures différentes (333.15 et 353.15 K), et deux temps de trempage différents (120 et 240 secondes).

1. Séchoir solaire indirect (SSI)

Les expériences de séchage solaire ont été menées, durant le mois d'octobre, au Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Université de Ouargla, Algérie (Latitude : $31^{\circ} 56' 57''$ N - Longitude : $5^{\circ} 19' 30''$ E - Altitude : 138 m). Le séchage solaire des raisins a été réalisé dans un séchoir solaire indirect avec une vitesse d'air constante de 4 m.s⁻¹. Ce dispositif thermique a été réalisé par Khama et al. [132] et il est représenté sur la Figure II. 12 .

2. Conditions environnementales pendant le processus de séchage

La figure. III.45 représente les conditions climatiques de la zone de séchage à l'extérieur du séchoir solaire, le rayonnement solaire arrive au maximum à 670 W/m^2 à 12:15, et la température ambiante de la zone au début du séchage (8 heures) est proche de 18 degrés Celsius, elle arrive à la température maximale de 28 degrés à 15:00 heures, et diminue progressivement jusqu'à 22 degrés environ de 18 heures PM Pour l'humidité relative, le taux diminue de 42% à 8 heures du matin au minimum à 14 heures du soir à 25% et augmente pour atteindre 32% à 18 heures du soir, dans les mêmes conditions, le séchage indirect dans le séchoir solaire est réalisé, la Figure.III.46. Montre l'évaluation de la température de la zone de séchage à l'entrée du séchoir et à la sortie du capteur solaire, ainsi que la température de la zone sortant du séchoir solaire.

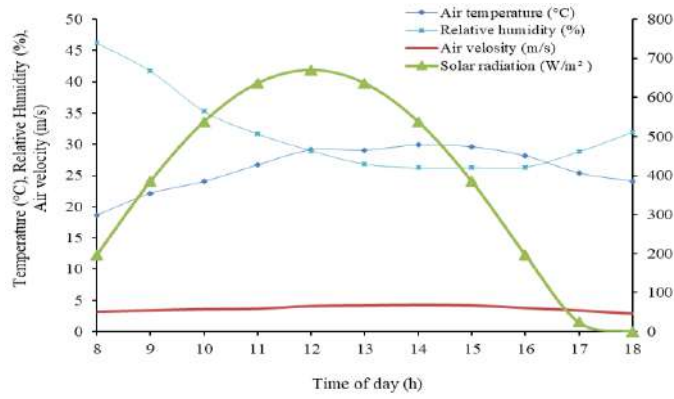


Figure III. 45. Evaluation des conditions climatiques de séchage des raisins

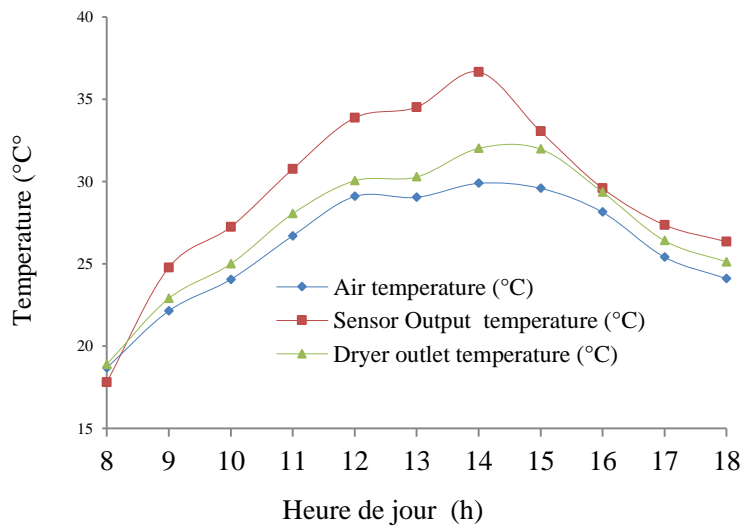


Figure III. 46. Evaluation des températures de l'air à l'entrée et à la sortie du séchoir

3. Observation au MEB

La peau des échantillons de fruits est pliée pendant le processus de séchage. L'épaisseur et la profondeur des plis dépendent du taux de rétraction. En effet, l'épaisseur des plis augmente lorsque leur profondeur diminue.

Les images obtenues dans le séchage solaire indirect (Figure. III.47. b) montrent la différence dans l'épaisseur des plis ; l'augmentation du taux de rétraction diminue l'épaisseur. Indépendamment des conditions expérimentales choisies dans cette étude, l'épaisseur mesure 331 μm pour les échantillons non traités et varie entre 437 μm et 700 μm pour les échantillons traités.

Le même phénomène est observé lors du séchage au soleil (Figure. III.47.). En effet, l'épaisseur est très faible dans les échantillons séchés non traités avec 327 μm et 68% de retrait alors que, pour les échantillons prétraités, l'épaisseur varie entre 471 μm et 1,4 mm.

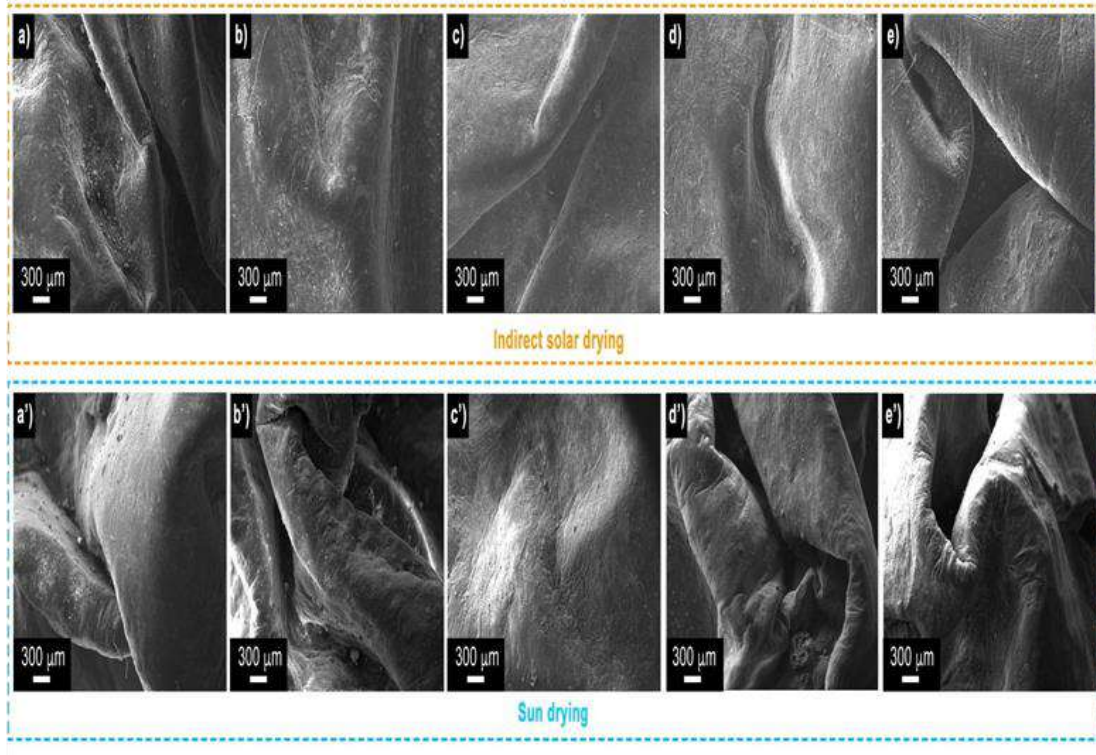


Figure III. 47. Balayage électronique des couches des raisins a) séchées au soleil, b) séchées au séchoir

4. Le rétrécissement

Au cours du processus de séchage des produits alimentaires, le phénomène de rétraction apparaît, il consiste en la diminution du volume et de la surface des produits qui peut atteindre dans certains produits plus de 90% par rapport au volume initial [141], la mesure de la variation dimensionnelle a été réalisée par les pieds de parcelle (Maxwell parcel mark) avec une précision de 0,01mm, les résultats du séchage des raisins montre une diminution du volume (Figure .III.49.) et de la surface des baies de raisin dans les deux modes de séchage. Dans le cas du séchage au soleil, le taux de rétraction varie de 53% à 63% pour les échantillons traités, et 72% pour les échantillons non traités, et l'évaluation du rapport entre la surface et la teneur en eau (Figure .III.48.) des échantillons de raisin pendant le séchage à deux températures différentes de la solution de prétraitement (333.15 et 353.15 K) et à deux temps de trempage différents (120 et 240 secondes), les courbes montrent une tendance linéaire différente, ainsi, nous observons l'influence de la température et du temps de prétraitement sur le rétrécissement des baies de

raisin, la surface a rétréci de 72% dans les échantillons qui n'ont subi aucun prétraitement et entre environ 53 et 63% pour l'échantillon traité. En revanche, pour les échantillons ayant subi le même prétraitement et séchés dans un séchoir solaire indirect, on a observé un taux de rétrécissement compris entre 53 et 57% pour l'échantillon traité, et 60% pour l'échantillon non traité. L'étude réalisée par [142] montre une récupération élevée des raisins traités avec de l'oléate d'éthyle et séchés à une vitesse d'air de 2.3 m s^{-1} atteint 85%.

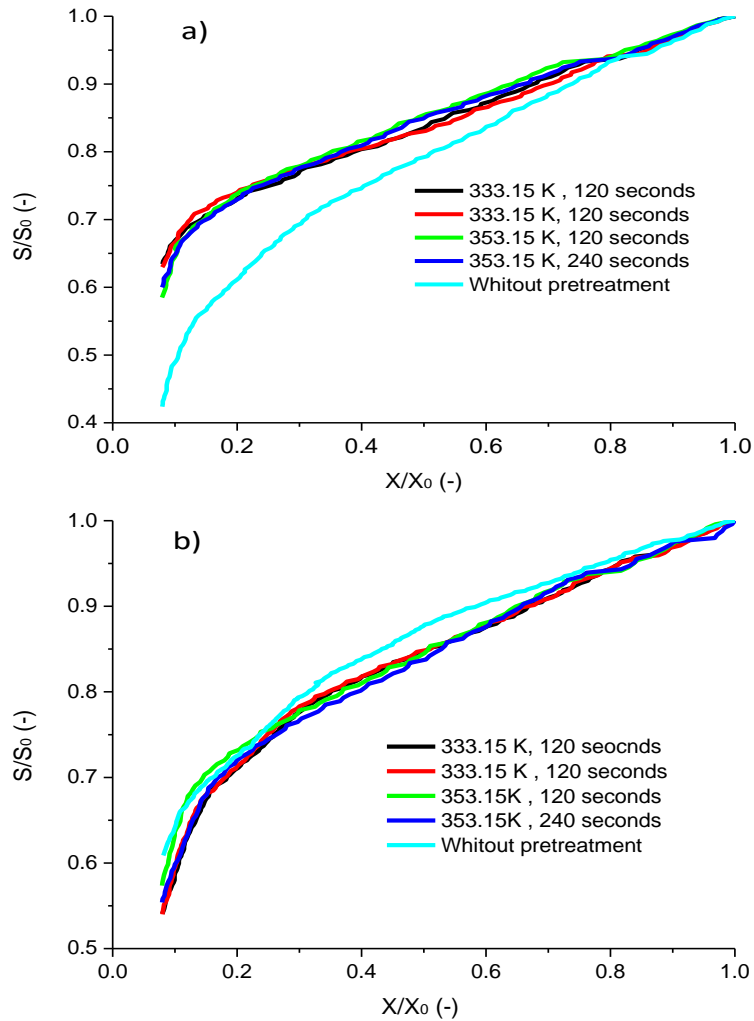


Figure III. 48. Evaluation de surface (S/S_0) en fonction de (X/X_0) des raisins a) séchage au soleil
b) séchage au séchoir

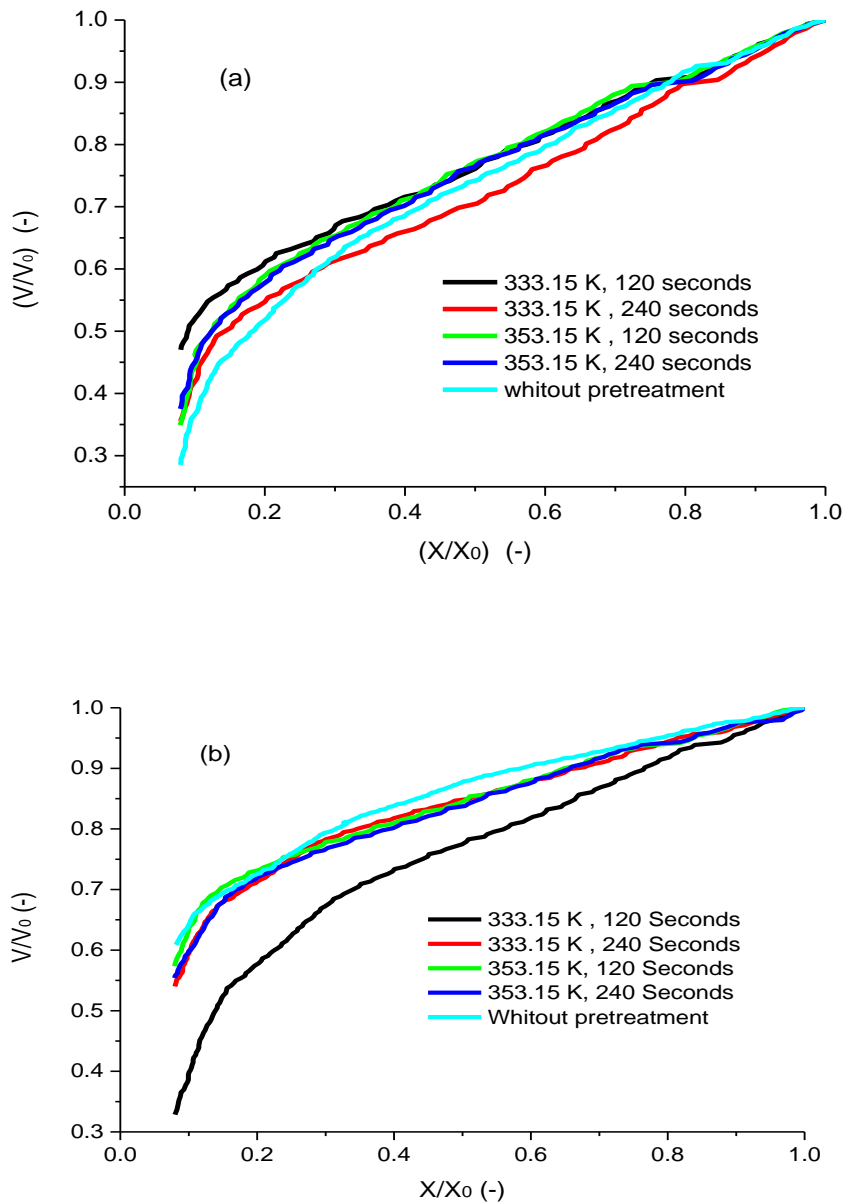


Figure III. 49. Evaluation de volume des raisins a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir

5. Cinétique du séchage

Dans les deux procédés de séchage du raisin regal sans pépins utilisés, le prétraitement est un facteur très intéressant car il influence directement le temps de séchage, la figure 9 montre la courbe de la teneur en eau en fonction du temps de séchage pour les échantillons traités dans la solution de carbonate de calcium et l'huile d'olive séchés dans le séchoir solaire indirect et le séchage solaire, Il est évident que la teneur en eau diminue continuellement en fonction du temps

de séchage des échantillons, dans ces expériences, aucune période de séchage à un taux constant n'a été enregistrée, dans les deux processus de séchage (direct et indirect), le séchage des raisins regal sans pépins se produit dans la période de taux décroissant, Cela montre la dominance du phénomène de diffusion, ce phénomène est obtenu par plusieurs auteurs sur le séchage de différents fruits [143], [144] , le temps de séchage pour les échantillons traités est plus court par rapport aux échantillons non traités, ainsi que la température de la solution de prétraitement affecte le temps de séchage, les échantillons immergés dans une solution plus chaude ayant un temps de séchage plus court, Temps de séchage en fonction de temps et température de trempage de la solution, séchage solaire indirect et séchage au soleil, qui passe dans le cas du séchage en séchoir de 500 heures pour l'échantillon sans prétraitement à 200 et 340 heures pour les échantillons traités à 353.15 K et 333.15 K successivement (Figure.III.50b.), la diminution du temps de séchage atteint 60% à la température de prétraitement de 353.15 K et 32% à la seconde température de 333.15 K, dans le cas du séchage au soleil, le temps de séchage pour l'échantillon n'ayant subi aucun prétraitement est de 290 heures, pour les deux températures de prétraitement de 333.15 et 353.15 K, les temps de séchage sont de 164 heures et 188 heures successivement (Figure .III.50a.), le taux de diminution du temps de séchage est estimé à 43%, et 35% pour les deux températures dans le séchage au soleil, ceci est dû à l'élimination de l'augmentation de la perméabilité de la peau, un effet similaire a été observé par l'utilisation de potasse et d'oléate d'éthyle dans le produit agricole. Une amélioration significative du temps de séchage par rapport aux travaux précédents, le temps varie entre 176 et 228 heures en utilisant une fraction différente de la solution de prétraitement [145].

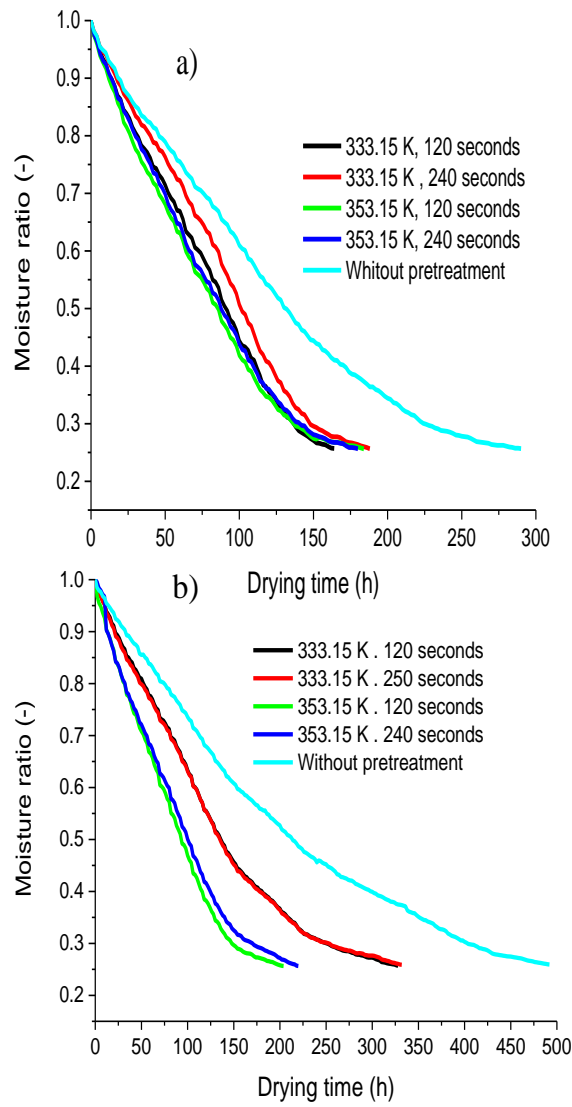


Figure III. 50. Evaluation de teneur en eau des raisins a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir

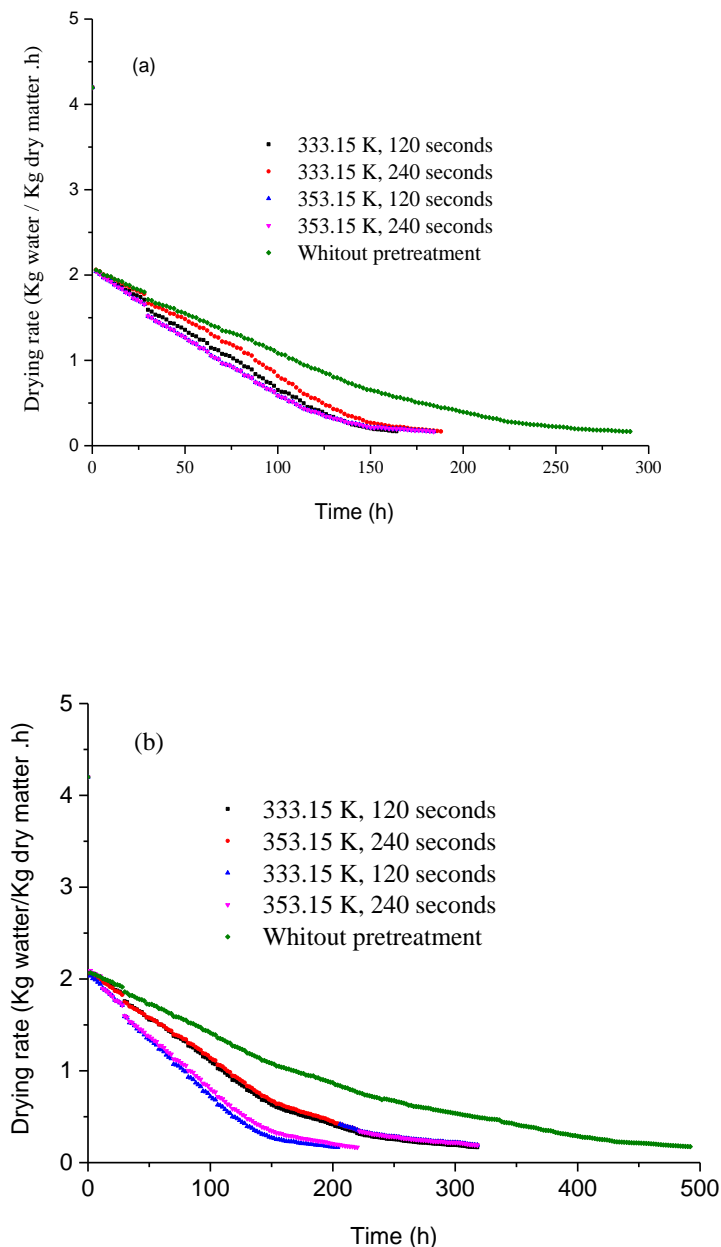


Figure III. 51. Taux de séchage en fonction de temps a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir

6. Diffusion effective de l'humidité

Sur la base de l'équation 4, les résultats expérimentaux pour deux températures de la solution de prétraitement (333.15 et 353.15 K) et deux temps de trempage (120 et 240 s) dans les quatre cas étudiés (séchage naturel au soleil avec et sans prétraitement, et séchage solaire indirect avec et sans prétraitement), sont présentés dans le tableau 1. Les courbes des résultats expérimentaux sous forme de $\ln(MR)$ en fonction du temps, pour différentes conditions, sont présentées à la Figure .III.52. Comme indiqué par les valeurs rapportées dans le tableau 1, pendant les deux méthodes de séchage (soleil naturel et séchage solaire indirect), le coefficient de diffusion de

l'humidité effective (D_{eff}) diminue avec la température de la solution de prétraitement mais augmente avec le temps de trempage, comme l'ont trouvé plusieurs chercheurs comme [146], [147]. Par exemple, pendant le séchage au soleil, à 333.15 K comme température de la solution de prétraitement et 240 s comme temps de trempage, $D_{\text{eff}} = 5.700 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, cependant, à 353.15 K comme température de la solution de prétraitement et 240 s comme temps de trempage, $D_{\text{eff}} = 1.250 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Un deuxième exemple peut être examiné : pendant le séchage solaire indirect, à 333.15 K comme température de la solution de prétraitement et 120 s comme temps de trempage, $D_{\text{eff}} = 1.250 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. $D_{\text{eff}} = 2.090 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, cependant, à 353.15 K comme température de la solution de prétraitement et 120 s comme temps de trempage, $D_{\text{eff}} = 0.316 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. En ce qui concerne le temps de trempage, il est clairement remarquable que pendant le séchage solaire indirect, par exemple, D_{eff} (353.15 K comme température de la solution de prétraitement et 240 s comme temps de trempage) $\approx 3 \times D_{\text{eff}}$ (353.15 K comme température de la solution de prétraitement et 120 s comme temps de trempage).

Les résultats montrent également que le coefficient de diffusion de l'humidité est beaucoup plus élevé si les raisins Regal Seedless sont prétraités. Cependant, les valeurs moins importantes de ce coefficient reflètent bien la résistance des fruits non traités pendant le processus de séchage. Par exemple, pendant le séchage solaire, à 333.15 K comme température de la solution de prétraitement et 240 s comme temps de trempage, $D_{\text{eff}} \approx 15 \times D_{\text{eff}}$ (Sans prétraitement) et pendant le séchage solaire indirect, à 333.15 K comme température de la solution de prétraitement et 240 s comme temps de trempage, $D_{\text{eff}} \approx 10.67 \times D_{\text{eff}}$ (Sans prétraitement).

Il s'avère que les échantillons traités ont une diffusivité effective de l'humidité supérieure à celle des échantillons non traités car, d'une part, la porosité de la pellicule imperméable du raisin augmente par l'effet du prétraitement qui l'a provoquée, et les très fines déchirures qui ont lieu sur cette peau facilitent la diffusion de l'eau de l'intérieur du fruit vers l'extérieur, d'autre part. Selon [56], les valeurs des coefficients de diffusivité effective déterminées expérimentalement pour les raisins prétraités ($2.34 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ pour les raisins séchés au soleil et $4.08 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ pour les raisins séchés au soleil) étaient inférieures aux valeurs de ce travail.

L'influence des traitements de congélation sur la cinétique du séchage convectif à l'air dans un séchoir tunnel et la qualité des raisins séchés ont été étudiés dans le travail [145]. La diffusivité effective de l'humidité des échantillons de raisins séchés s'est avérée être de 3×10^{-11} , 6×10^{-11} et 7×10^{-9} à des températures de 60, 70 et 80°C, respectivement.

Par conséquent, l'effet du prétraitement, la température de la nouvelle solution préparée et utilisée et le temps de trempage sont mis en évidence

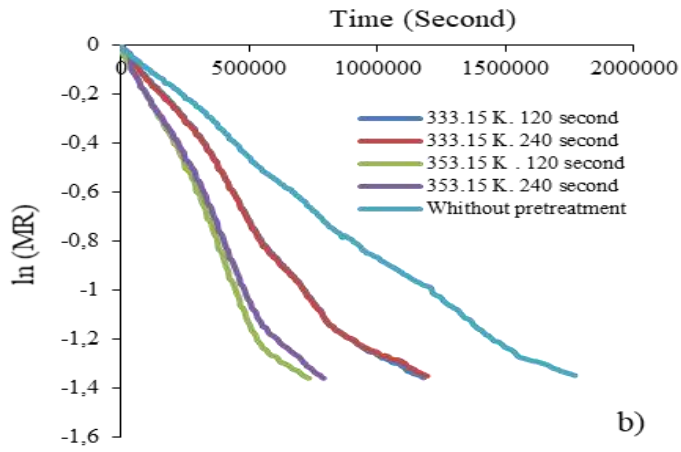
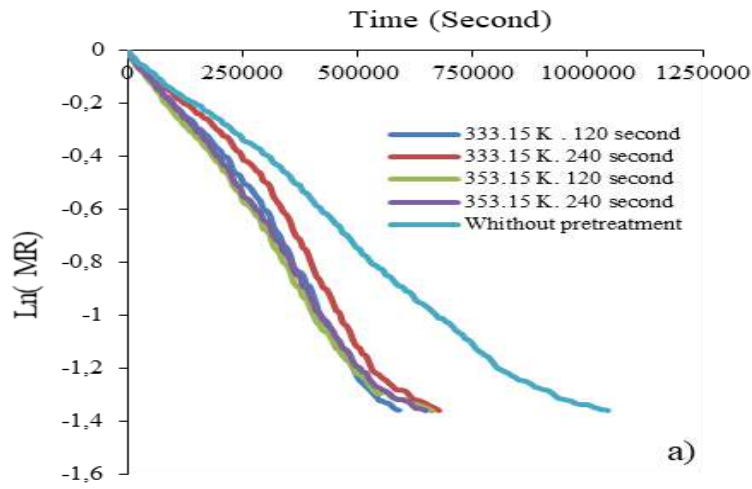


Figure III. 52. Evaluation du coefficient de diffusion a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir

Tableau III. 14. Diffusion, coefficients et corrélation et le temps de séchage des raisins

Mode de séchage	Temperature (K)	Temps de trempage (Seconde)	Temps de séchage (heures)	r^2	$D_{\text{eff}} \times 10^{-6}$ (m^2/s)
Séchage solaire	333.15	120	164	0.988	4.310
	333.15	240	188	0.982	5.700
	353.15	120	184	0.985	0.706
	353.15	240	180	0.992	1.250
	Sans pretreatment		290	0.991	0.380
Séchage indirect au séchoir	333.15	120	328	0.979	2.090
	333.15	240	332	0.974	3.030
	353.15	120	204	0.982	0.316
	353.15	240	220	0.984	0.949
	Sans pretreatment		492	0.993	0.284

7. Paramètres physico-chimiques

7.1. Couleur

La Figure .III.53. montre les valeurs des paramètres de couleur des raisins frais et séchés par les deux méthodes de séchage avec différents prétraitements. Par rapport aux valeurs des échantillons frais (brillance (l^*) = 34.14 ± 1.66 , indice de rougeur (a^*) = $- 11.06 \pm 1.39$ et yellownes (b^*) = 9.36 ± 2.75), montre une augmentation de l'indice de rougeur (a^*) de $- 11.06 \pm 1.39$ pour les échantillons frais à 0.83 ± 1.11 pour le séchage solaire sans prétraitement et 1.19 ± 0.14 pour le séchage solaire sans prétraitement, les échantillons traités montrent un indice de rougeur variant entre 2.18 ± 0.12 à 6.24 ± 1.34 pour le séchage solaire direct, et $- 0.20 \pm 0.06$ à 0.41 ± 0.07 pour le séchage solaire indirect, la couleur des raisins est essentiellement due à la présence de polyphénol, de pigments et de co-pigments (flavonoïdes et tanins), la couleur rouge augmente avec l'augmentation du taux de flavonoïdes sous forme hétérosidique qui sont des feuilles de flavonoïdes reliées au sucre présent dans le raisin pour créer une molécule d'anthocyanes qui est de couleur rouge, et aussi la présence d'ions de fer et de magnésium, toutes ces réactions dépendent de l'acidité du produit. Et d'après les phénomènes biochimiques cités, nous constatons que la formation des anthocyanes en séchage indirect est supérieure à celle du séchage au soleil, ce phénomène est observé dans le travail effectué par [30] où les échantillons sont traités avec du carbonate de calcium et de l'huile d'olive. Une diminution de la couleur jaune

des raisins traités et non traités séchés par les deux modes de séchage de 9.36 ± 2.75 au voisinage de 4.62 pour le séchage solaire et de 4.56 pour le séchage indirect, le prétraitement n'a pas d'influence significative sur le paramètre (jaune/bleu) b^* [129], le prétraitement utilisé montre une meilleure conservation du paramètre (rougeur/vert) en séchage indirect.

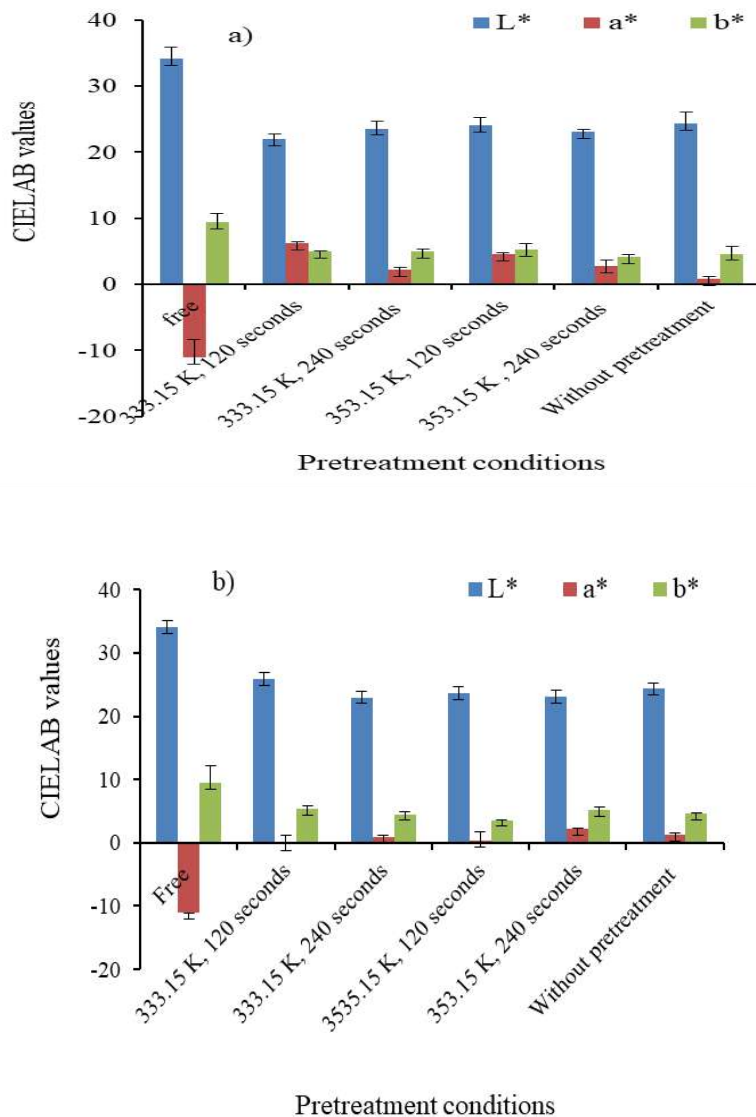


Figure III. 53. Evaluation des paramètres de couleur a) séchage au soleil, b) séchage au séchoir

7.2 Capacité de réhydratation

La Figure .III.54 montre l'effet du prétraitement appliqué aux raisins Regal Seedless sur la capacité de réhydratation, dans les conditions d'expérimentation de cette étude. Un effet positif est observé, en particulier dans le cas du séchage solaire indirect où une valeur maximale de 49.39 ± 1.02 % et 25.60 ± 1.08 % pour le séchage solaire à la même température de prétraitement, lorsque la matrice visco-élastique se contracte dans les fruits et légumes.

Cependant, les échantillons non traités présentent une capacité de réhydratation plus faible ($24.04 \pm 1.07\%$, en séchage solaire indirect et $9.59 \pm 0.14\%$, en séchage solaire naturel) en raison de la structure fermée et rétractée des raisins. La cause en est le temps de séchage prolongé, empêchant ainsi la pénétration des molécules d'eau dans les pores du fruit.

L'étude de [148] réalisée sur des raisins Red Globe, qui ont subi un prétraitement abrasif avec de l'éthylolate, a montré que la capacité de réhydratation ne dépassait pas 31.63%, en raison des fissures dans les parois provoquées par le prétraitement et facilitant l'absorption d'eau. Ces raisins traités ont été séchés par convection à 40-70 °C et à 2.3 m s^{-1} pour améliorer le taux de séchage et préserver les échantillons. Les auteurs de [142] ont utilisé un prétraitement thermique (prétraitement par congélation) pendant le séchage convectif à l'air des raisins. La capacité de réhydratation obtenue était d'environ 1.3%. Cette technique a provoqué la destruction des voies capillaires des pores de la structure du fruit.

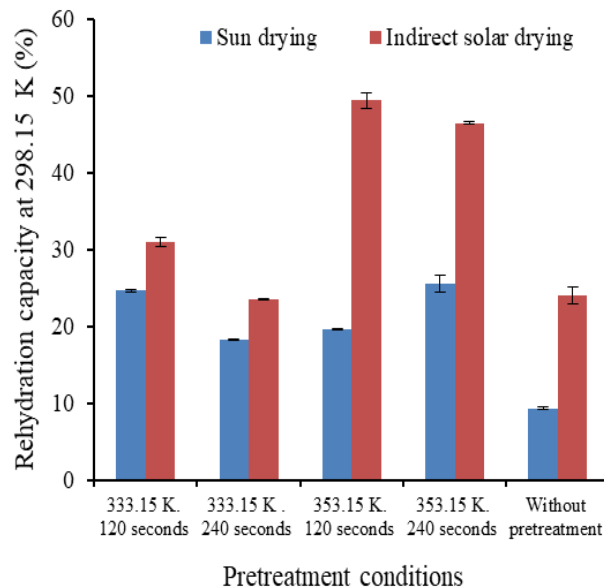


Figure III. 54. Evaluation de capacité de réhydratation des raisins séchés au soleil et au séchoir

7.3 Acidité titrable

Les échantillons de raisins frais (avant séchage) ont une acidité titrable moyenne de 1.623 ± 0.231 mg d'acide tartrique/100 g. Indépendamment de la température de la solution de prétraitement, du temps de trempage et de la méthode de séchage, la valeur initiale dépasse toujours les valeurs d'acidité titrable obtenues lors des expériences de séchage.

La Figure.III.55. montre que : (i) l'acidité des échantillons séchés au soleil non traités a les valeurs les plus élevées (1.533 ± 0.031 mg d'acide tartrique/100 g) par rapport aux valeurs

d'acidité des échantillons séchés au soleil non traités (1.105 ± 0.051 mg d'acide tartrique/100 g) ;
 (ii) aucun effet significatif n'a été noté pour la température de la solution de prétraitement et le temps de trempage pour les deux méthodes de séchage.

L'étude réalisée par [149] a montré une acidité titrable de 4,3 mg d'acide tartrique/100g, 5,49 mg d'acide tartrique/100 g et 5.3 mg d'acide tartrique/100 g.

d'acide tartrique/100g pour des raisins traités avec de l'huile d'olive (1:1) et de l'huile de clou de girofle (1:1) à une température de 336.55 K. Comme pour le papier [150], où un séchoir à air chaud convectif (60°C , 1 m/s) a été utilisé pour le séchage raisins prétraités à l'huile d'olive, l'analyse a montré une acidité titrable d'environ 3.09 mg d'acide tartrique /100 g. Selon [141], de faibles niveaux d'acide tartrique aident à ralentir les réactions de fermentation des raisins pendant le stockage, à éliminer la saveur croquante et à permettre un vieillissement gracieux d'où les résultats obtenus dans ce travail, en termes d'acidité, sont satisfaisants et encourageants, d'autant plus qu'ils sont meilleurs que les résultats trouvés par d'autres chercheurs

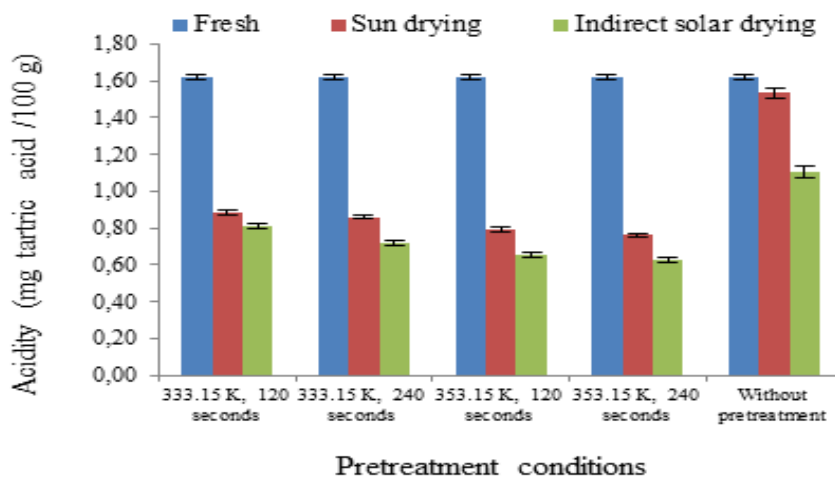


Figure III. 55. Evaluation de l'acidité des raisins pendant le séchage au soleil et au séchoir

7.4 Mesure du pH

Les échantillons de raisin frais (avant séchage) ont un pH moyen de 2.89 ± 0.024 . Au cours des expériences, les valeurs de pH obtenues dans les différentes conditions sont résumées dans le tableau 2. Elles montrent une faible influence de la méthode de séchage sur la qualité finale des raisins. La majorité des échantillons séchés au soleil ont un pH légèrement inférieur au pH des échantillons séchés au soleil, ce qui est prouvé par l'acidité titrable (**Figure.III.55.**), due à la perte de composition des produits basiques volatils par la prolongation du temps de séchage.

En termes de pH, les résultats montrent également la faible influence du prétraitement des échantillons de fruits, quelle que soit la température ou le temps de trempage de la solution de prétraitement. En effet, les valeurs de pH varient de 4.037 ± 0.034 à 4.390 ± 0.011 pour les raisins non traités, et de 4.124 ± 0.011 à 4.437 ± 0.001 pour les raisins traités.

Les auteurs du travail [144] ont examiné la variation du pH de raisins séchés dans un four à des températures de 303.15 ; 313.15 ; 323.15 et 333.15 K. Les valeurs de pH étaient respectivement de 5.60 ± 0.01 ; 5.62 ± 0.02 ; 5.54 ± 0.04 et 5.31 ± 0.17 . Quant aux auteurs de l'article [145], ils ont présenté un travail sur le séchage de cinq cépages : Jakubské (JA), Beauty seedless (BT), Vrboska (VR), Bezsemenné (BS) et Perlette (PE). Les valeurs de pH mesurées étaient respectivement de 3.21 ± 0.03 ; 3.36 ± 0.01 ; 3.37 ± 0.01 ; 3.14 ± 0.01 et 3.42 ± 0.01 .

Dans tous les cas, toutes les valeurs de pH trouvées dans ce travail sont améliorées par le processus de séchage, surtout lorsque le fruit est prétraité, et sont en bon accord avec la norme internationale appliquée aux raisins secs ($3.4 \leq \text{pH} \leq 4.5$) [142].

Tableau III. 15. Evaluation du pH des raisins pendant le séchage au soleil et le séchage indirect

Conditions de prétraitement			pH
Température de la solution	Temps de trempage	Mode de séchage	
333.15 K	120 secondes	Séchage au soleil	4.124 ± 0.011
		Séchage solaire indirect	4.390 ± 0.001
	240 secondes	Séchage au soleil	4.377 ± 0.052
		Séchage solaire indirect	4.167 ± 0.001
353.15 K	120 secondes	Séchage au soleil	4.390 ± 0.003
		Séchage solaire indirect	4.437 ± 0.001
	240 secondes	Séchage au soleil	4.384 ± 0.001
		Séchage solaire indirect	4.186 ± 0.012
Sans prétraitement		Séchage au soleil	4.390 ± 0.001
		séchagesolaire indirect	4.073 ± 0.034

7.5 Teneur En Polyphénols

L'évaluation de la teneur en polyphénols des raisins traités, en utilisant une nouvelle solution de prétraitement, et différentes conditions de temps et de température de trempage, montre clairement une différence dans la teneur des échantillons séchés au soleil et des échantillons séchés dans un séchoir solaire indirect, la rétention des polyphénols est plus importante dans le mode de séchage indirect, pour l'échantillon non traité, la teneur en polyphénols est d'environ 555.68 ± 31.46 mg GEA/100 g pour l'échantillon séché dans un séchoir solaire indirect, et 201.01 ± 3.71 mg GEA/100 g pour l'échantillon non traité séché au soleil, les résultats résumés dans la

figure (Figure.III.56.) montre l'effet du mode de séchage sur la teneur en polyphénols des raisins pour les échantillons prétraités, tous les échantillons séchés dans le séchoir indirect ont une meilleure conservation de leur teneur en polyphénols par rapport aux échantillons séchés directement au soleil, les résultats montrent également l'effet positif de la température de la solution de prétraitement, les échantillons traités à 353.15 K ont mieux conservé leur contenu en polyphénols pour les deux modes de séchage utilisés, l'étude menée par d'autres chercheurs, montre une diminution du contenu en polyphénols de 20 à 10.76 mg/g pendant le séchage au soleil [146]. En utilisant le séchoir à pompe à chaleur, le contenu en polyphénols à différentes vitesses (1.5, 2 et 2.5 m/s) est de 30.6 mg GEA/g (DW), 38.1 mg GEA/g(DW) et 28.3 mg GAE/g (dm) respectivement à 318.15 K [147] .

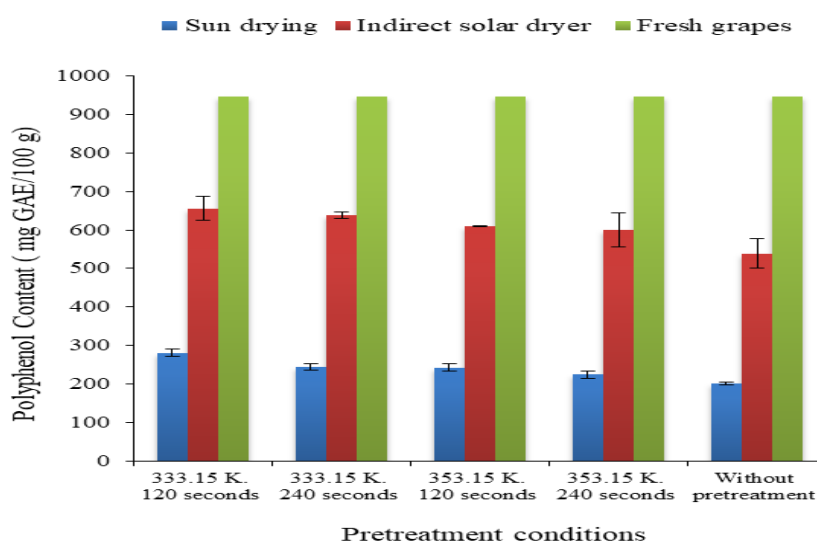


Figure III. 56. Evaluation de teneur en polyphénol des raisins

8. Conclusions

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du prétraitement sur la qualité physicochimique des raisins Régal Seedless séchés au soleil et par séchage solaire indirect. Les principales conclusions de cette étude peuvent être résumées comme suit :

Le temps de séchage est inversement proportionnel à la température et au temps de trempage dans les deux méthodes de séchage.

Le coefficient de diffusion diminue lorsque le temps de séchage diminue.

L'augmentation de la température de la solution de prétraitement est un facteur positif pour le séchage solaire, contrairement au séchage solaire.

La méthode de séchage indirect préserve la qualité nutritionnelle étudiée.

La méthode de séchage solaire accélère le temps de séchage avec moins de paramètres de qualité.

Le séchage par le séchoir indirect, est une méthode la plus adéquate pour le séchage des raisins,

La conservation des polyphénols est meilleure dans les expériences de séchage indirect.

L'application d'un plan d'expérience a permis de déterminer les facteurs optimaux pour une meilleure préservation de la qualité physico-chimique des raisins

III-III Optimisation des conditions du séchage par le plan d'expérience Taguchi

A- Optimisation des conditions de séchage pour la viande cameline

Le tableau (Tableau III.16) représente un plan d'expérience Tachi L8 résumant les expériences réalisées afin d'étudier l'effet de l'épaisseur et du temps de trempage utilisée pour le prétraitement des tranches de la viande cameline avant le séchage par différentes technique, séchage soleil, microonde et statique.

Tableau III.16. Les essais du plan d'expériences Taguchi L8 (viande cameline)

Numéro d'expérience	Facteur 1 Epaisseur (mm)	Facteur 2 Temps de trempage (minute)
1	4	30
2	4	30
3	4	90
4	4	90
5	8	30
6	8	30
7	8	90
8	8	90

A- Optimisation des conditions de séchage au soleil de viande cameline

1- Étude de la variation de teneur en protéines de la viande cameline

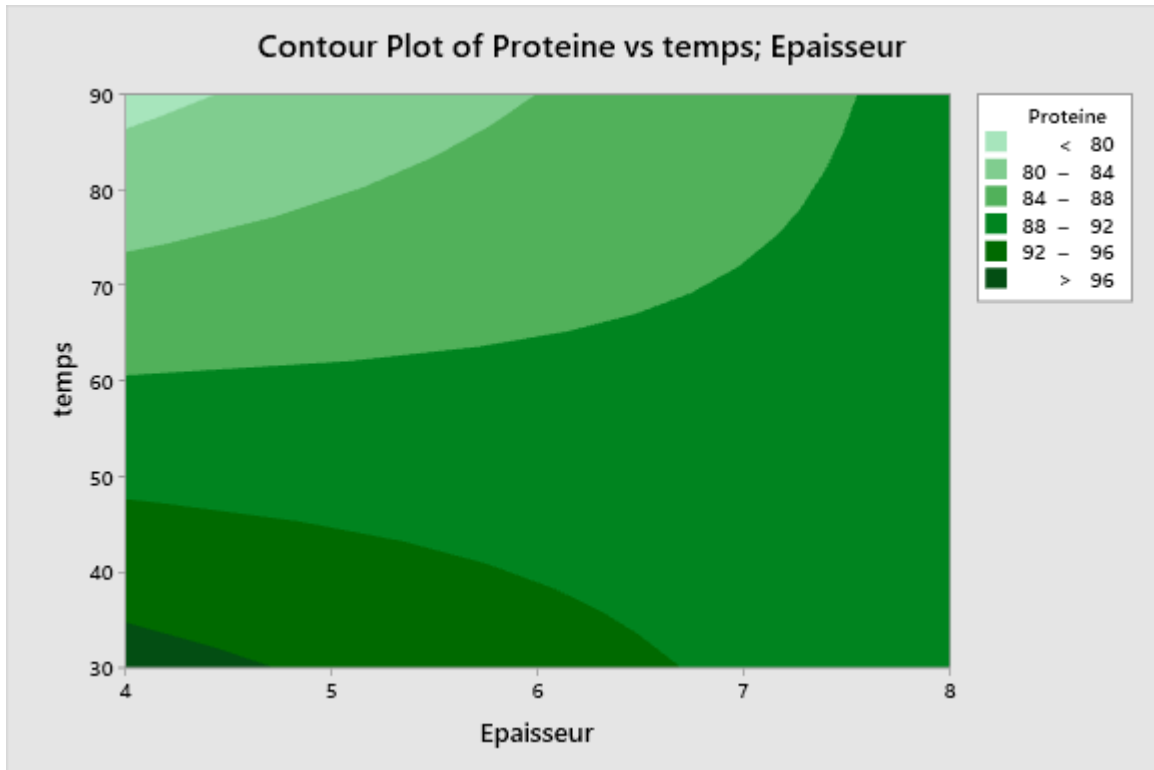


Figure III.57. Contour plot de changement de teneur en protéine en fonction de temps de trempage et épaisseur des tranches de viande cameline dans le séchage au soleil ($T_p = 4\text{ }^\circ\text{C}$)

La figure (Figure III. 57). Montre l'évaluation de taux de protéine dans les tranches de viande cameline séché au soleil, en fonction de l'épaisseur des tranches et temps de trempage dans les solutions salines.

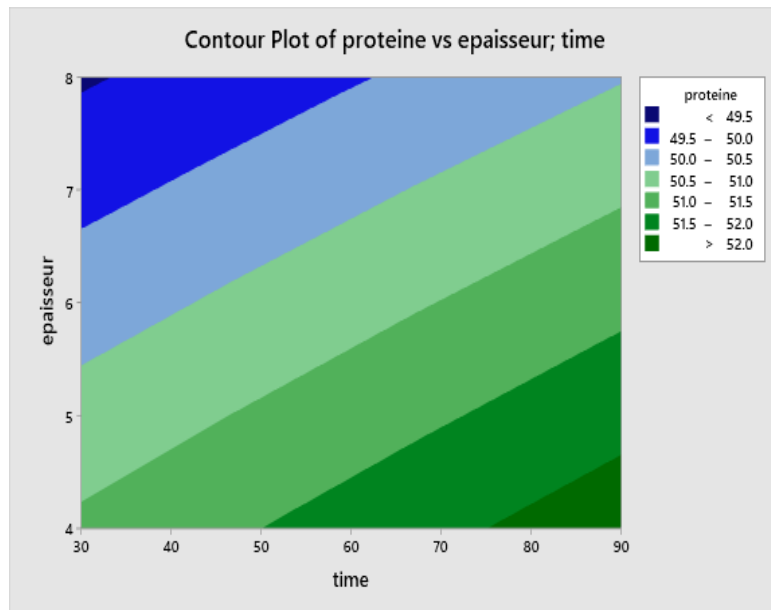


Figure III. 57. Evaluation de taux des protéines en fonction de l'épaisseur et temps de trempage

Vu la teneur en protéines qui est le facteur qualitatif le plus important dans la viande rouge, les paramètres d'optimisation du procédé de séchage sont basés sur la rétention de ce taux de protéines. Le plan d'expérience de Taguchi réalisé fait varier deux paramètres opératoires : l'épaisseur des tranches de viande et le temps de trempage dans la saumure. Les résultats montrent que le taux de protéines retenues après séchage peut être exprimé en fonction de ces deux facteurs selon l'équation de régression suivante :

$$\text{Protéines \%} = 52.33 \times \text{Temps de trempage} - 0.4363 \times \text{épaisseurs de tranche}$$

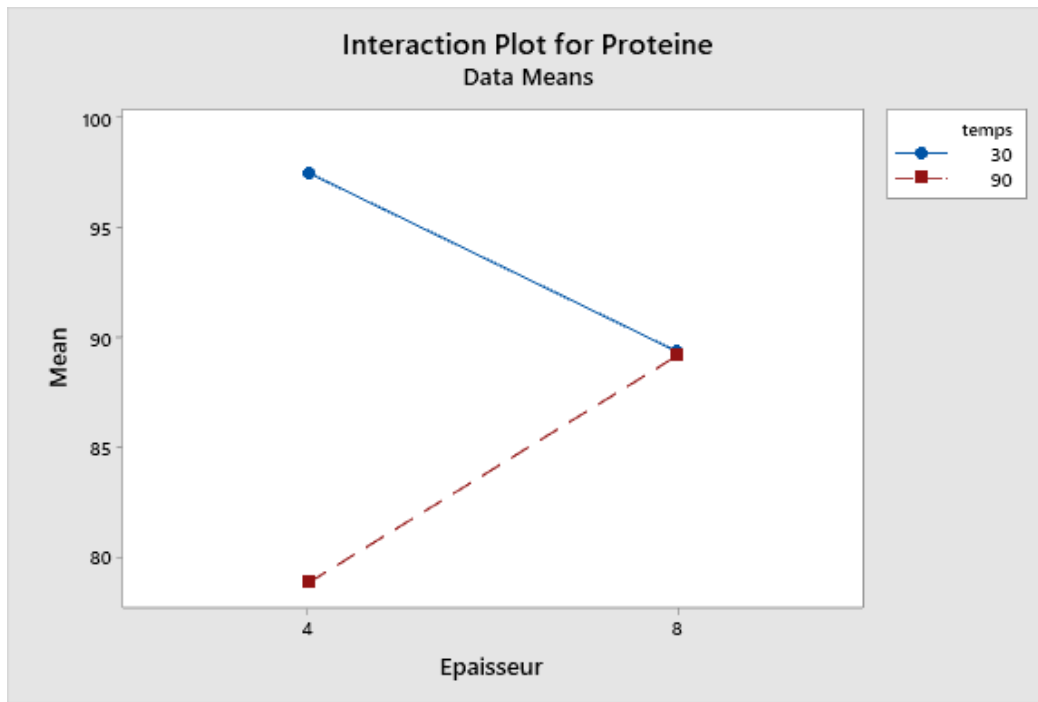


Figure III.59. Interaction des paramètres de prétraitement (temps et températures)

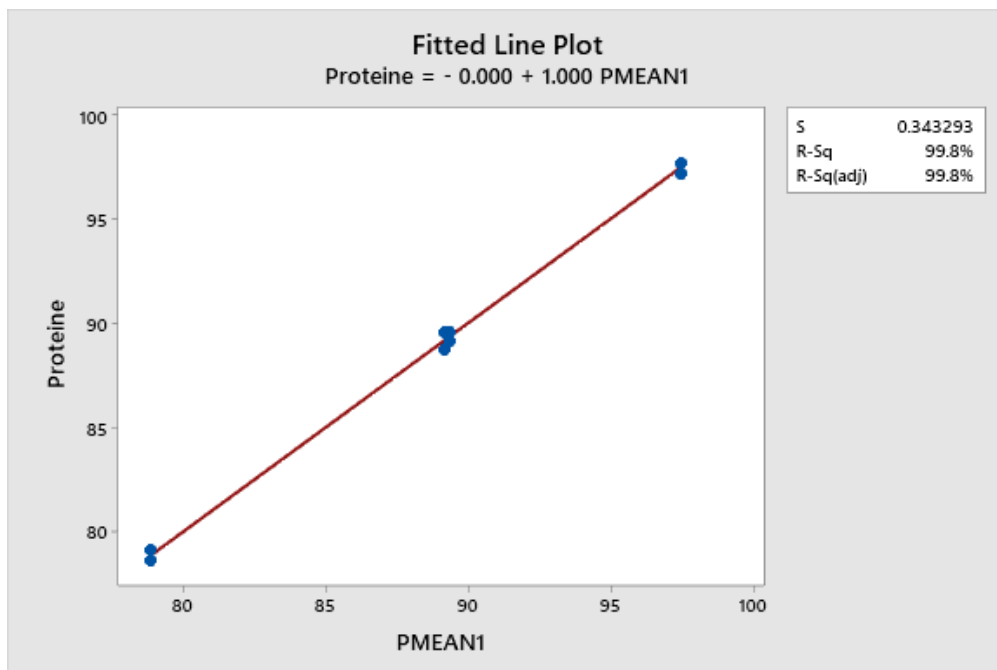


Figure III.60. Représentation graphique entre valeur prédites et valeurs réelles.

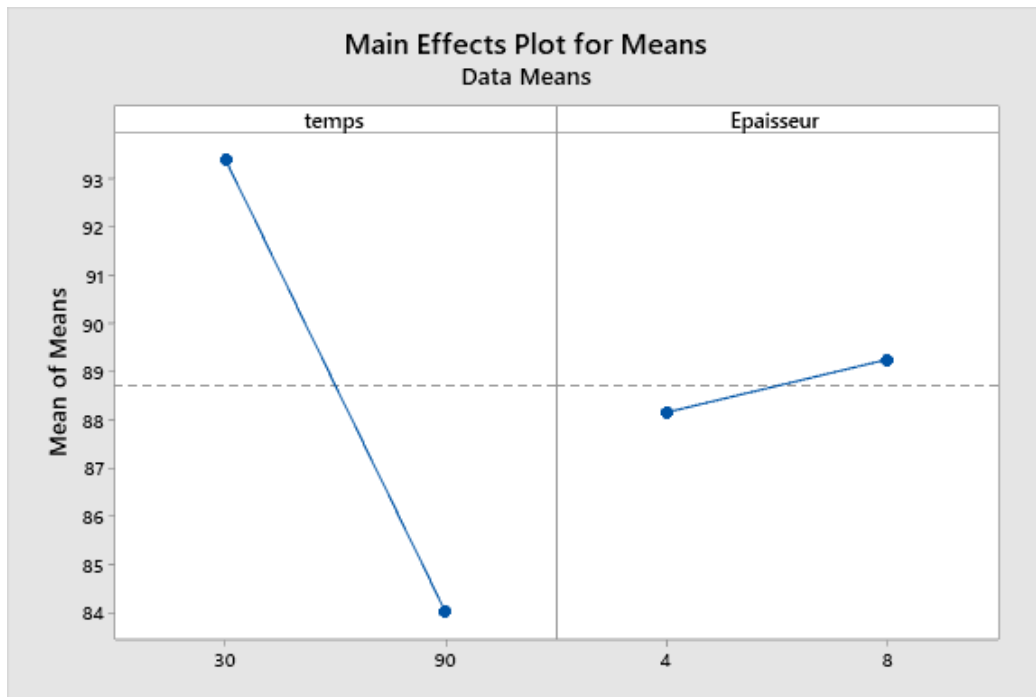


Figure.III.61. Effet de temps et l'épaisseur sur la teneur en protéine dans le séchage au soleil des tranches de viande cameline

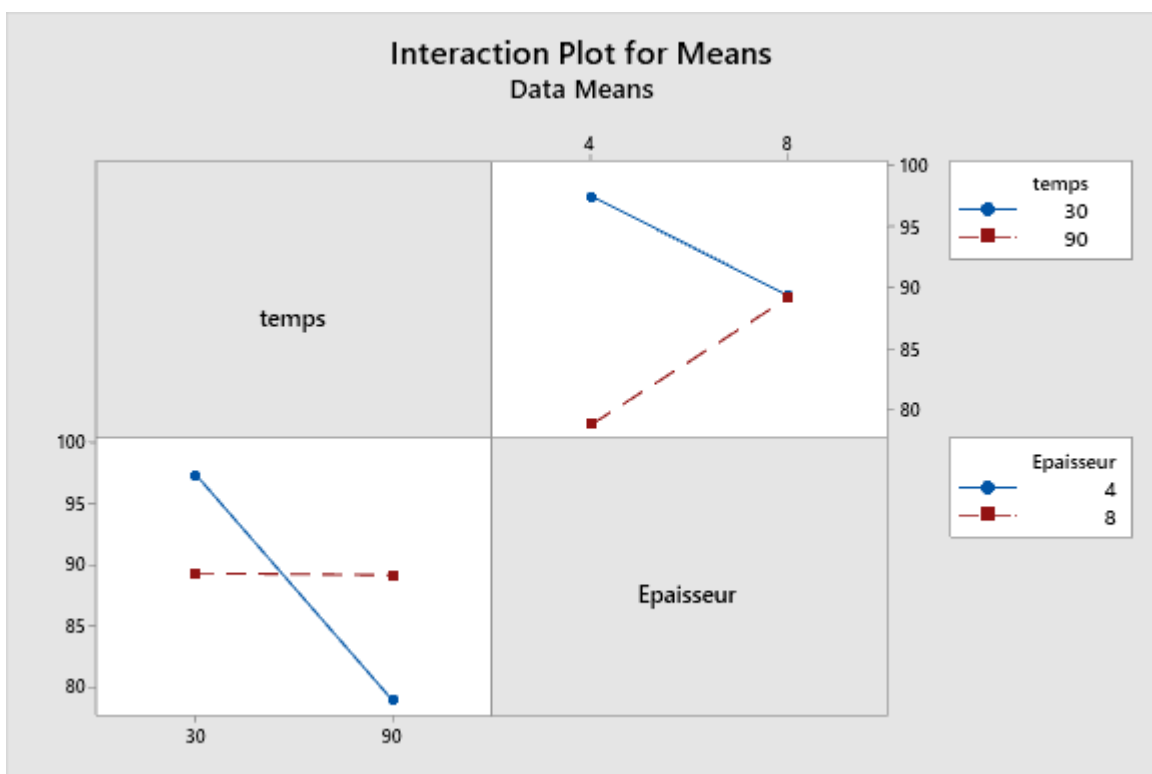


Figure III.62. Effet de l'interaction de temps l'épaisseur sur la teneur en protéine des tranches des viandes cameline séchage au soleil

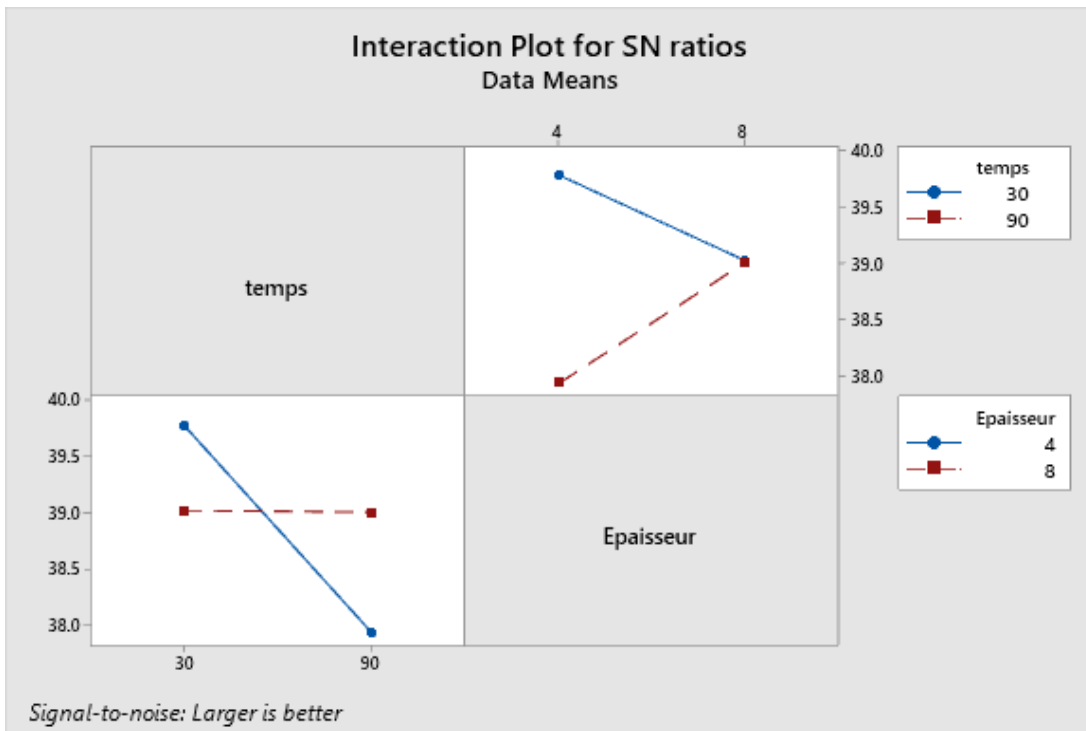


Figure III.63. Effet de l'interaction de temps de trempage et l'épaisseur des tranches de viande cameline sur le rapport bruit/signal

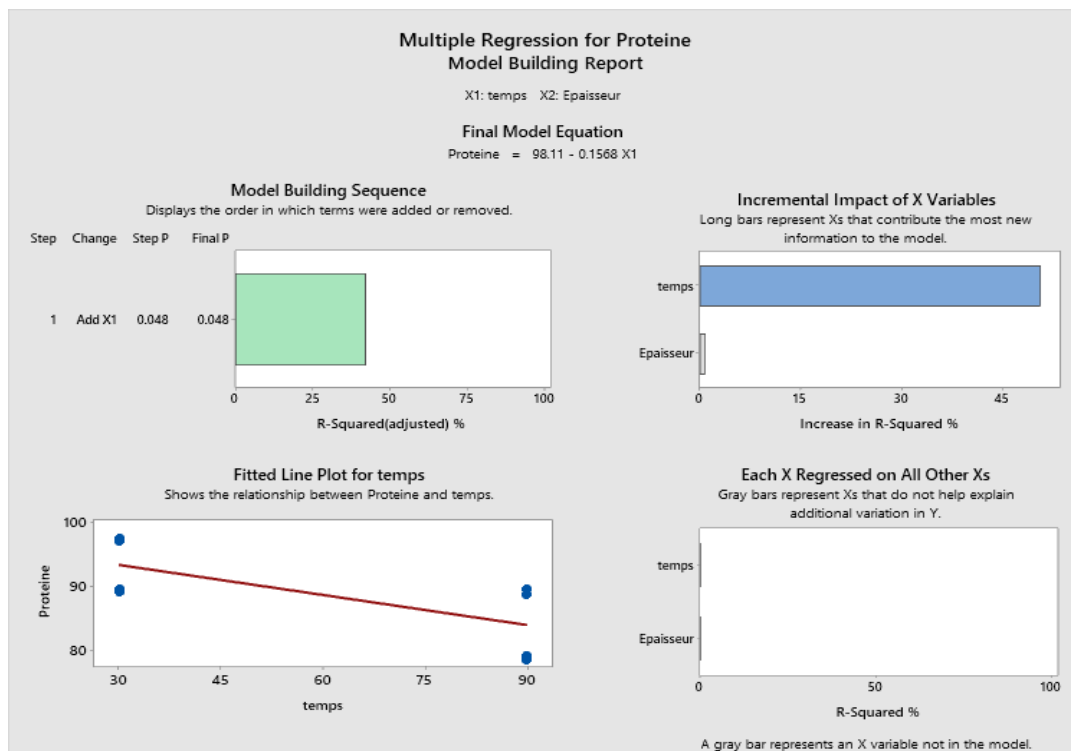


Figure III. 64. Optimisation de taux des protéines dans le séchage au soleil

Model de progression de taux des protéines en fonction de temps de trempage et le d'épaisseur est l'effet est très négligeable de l'épaisseur dans cette étude.

$$\text{Protéine (\%)} / \text{MS} = 98.11 - 0.1568 X1$$

2. Effet des conditions du prétraitement sur le rétrécissement des tranches de viande cameline

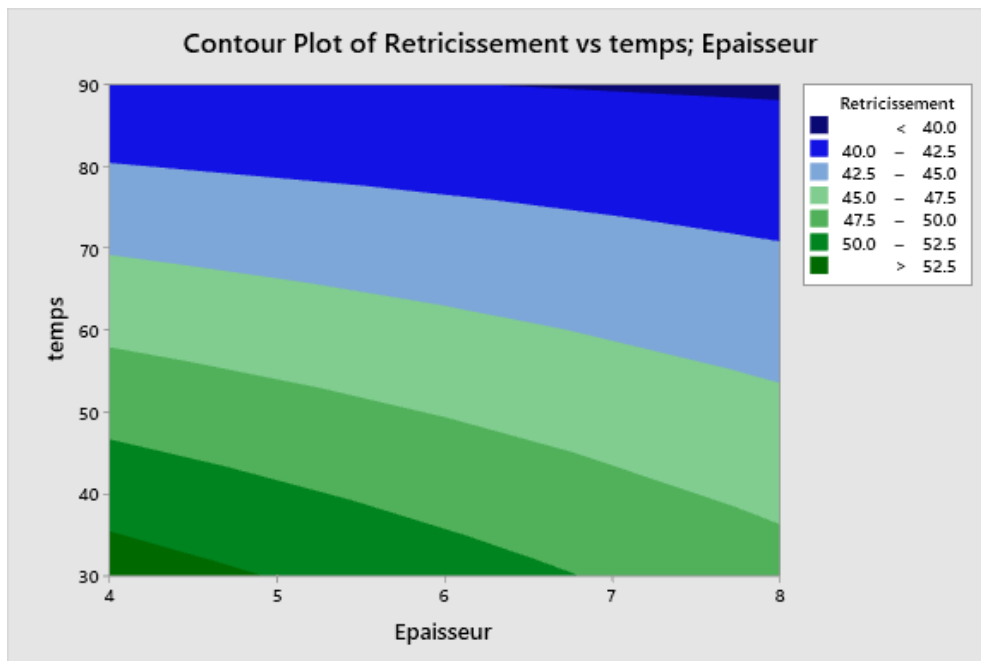


Figure III.65.. Effet de temps et de l'épaisseur sur le rétrécissement de la viande cameline dans le séchage au soleil

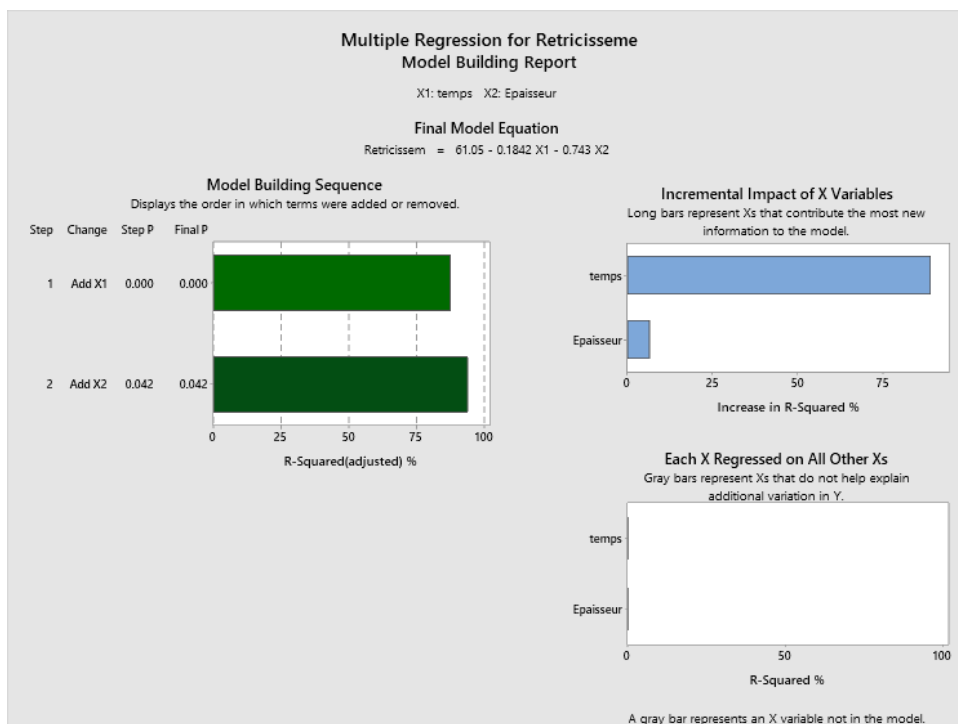


Figure III.66. Effet du temps et de l'épaisseur sur le taux de rétrécissement.

Le model de rétrécissement :

$$\text{Rétrécissement} = 61.05 - 0.1842X_1 - 0.743X_2$$

X_1 : valeur réduite de temps, X_2 ; valeur réduite de l'épaisseur

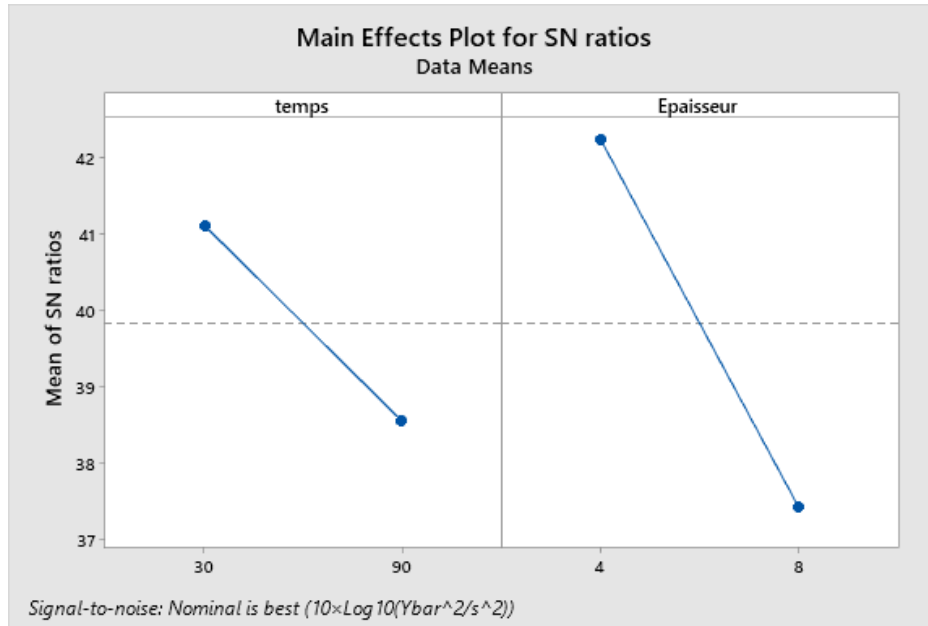


Figure III.67. Effet du temps et de l'épaisseur sur le rapport signal /bruit.

3. Effet des conditions du prétraitement sur la salinité des tranches de viande cameline

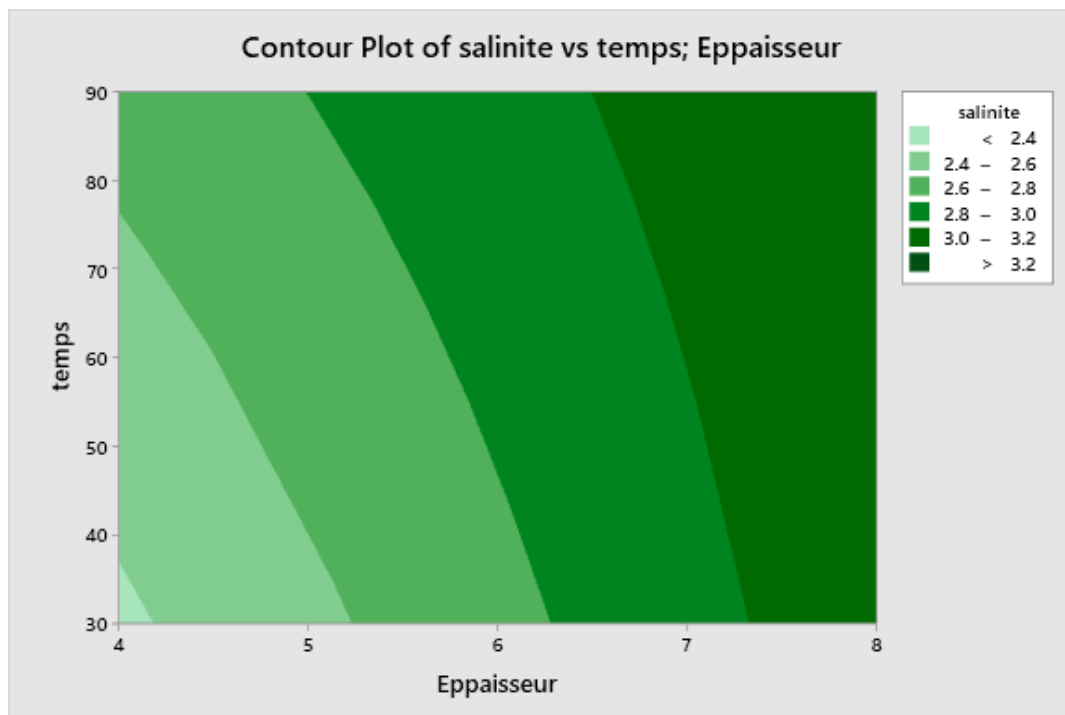


Figure III.68. Évaluation de la salinité des tranches de viande.



Figure III.69. Effet du temps et de l'épaisseur sur la salinité des tranches de viande.

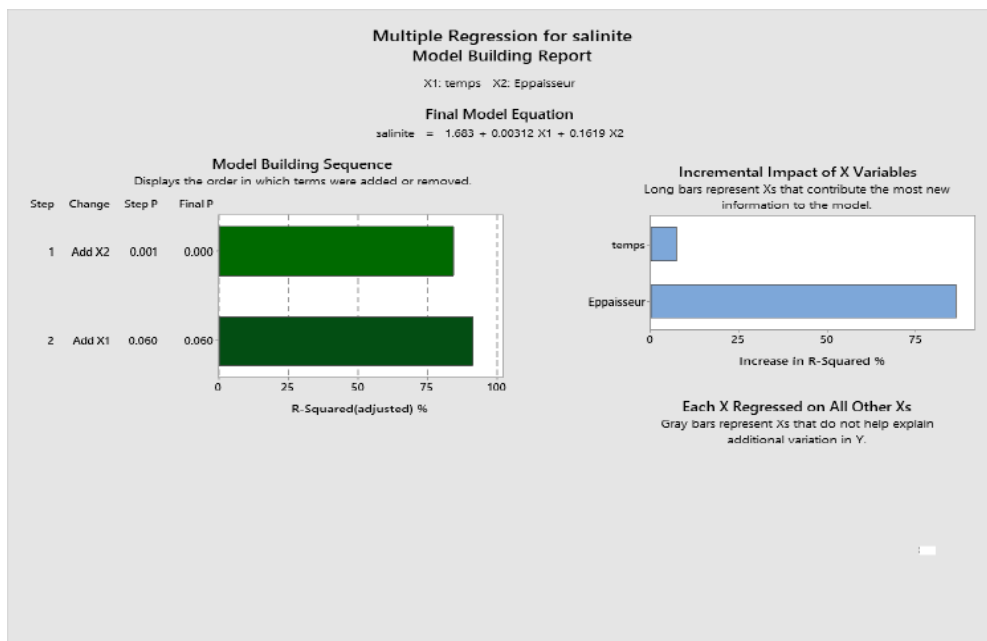


Figure III.70. Effet du temps et de l'épaisseur des prétraitements sur la salinité des tranches de viande cameline

Le modèle linéaire de variation de la salinité en fonction de deux paramètres de prétraitement (temps de trempage et épaisseur des tranches de viande de cameline) est présenté dans le modèle suivant :

$$\text{Salinité} = 1.683 + 0.00312 X_1 + 0.1619 X_2$$

Avec X_1 et X_2 des valeurs réduites de temps de trempage et l'épaisseur des tranches de viande cameline successivement.

B- Optimisation des conditions de séchage aux microondes de la viande cameline

Le tableau (Tableau III.17.) représente les expériences réalisées dans le séchage aux microondes, la puissance du microonde, l'épaisseur des tranches de viande cameline et le temps de trempage sont des facteurs variables.

Tableau III.17. Essais du plan d'expériences Taguchi L8 au microonde (viande cameline)

Numéro d'expérience	Facteur 1 Epaisseur (mm)	Facteur 2 Temps de trempage (minutes)	Puissance (Watts)
1	4	30	180
2	4	30	270
3	4	90	180
4	4	90	270
5	8	30	180
6	8	30	270
7	8	90	180
8	8	90	270

La figure (Figure III.70) montre l'évaluation de taux de protéine dans les tranches de viande cameline séché aux microondes, en fonction de l'épaisseur des tranches a demi épaisseur (6 mm) et temps de trempage dans les solutions saline ainsi que la puissance de séchage.

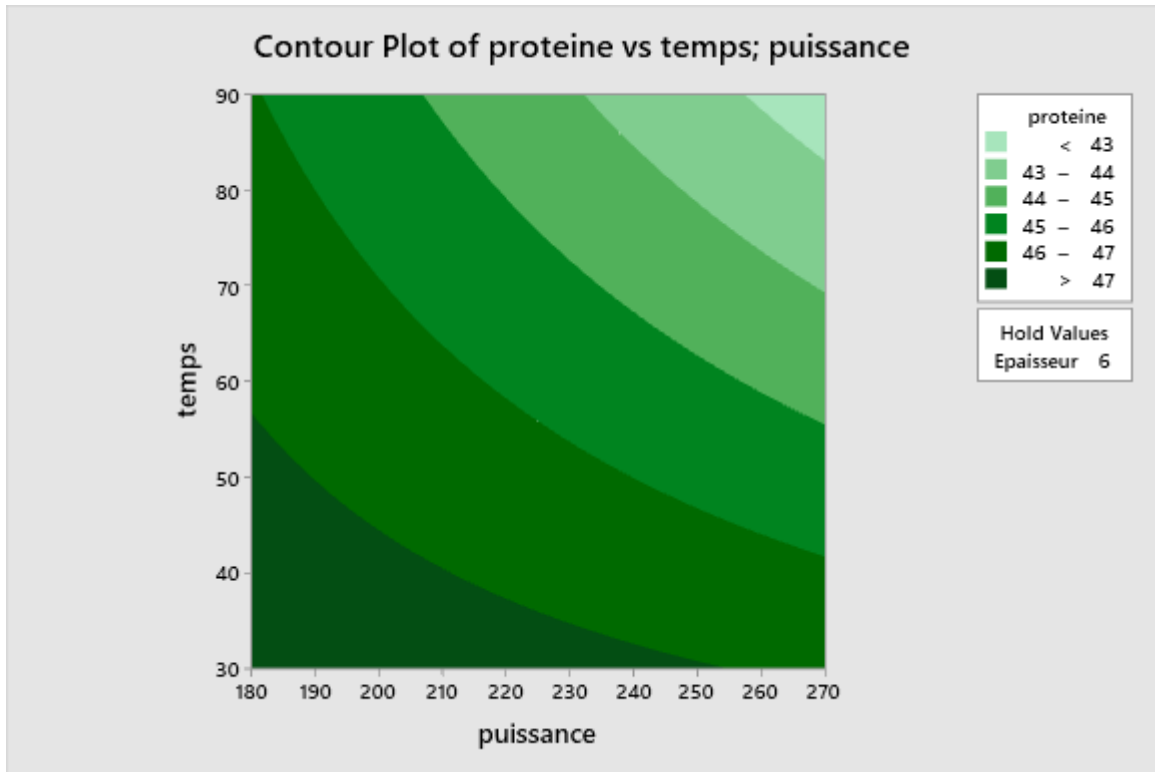


Figure III. 71. Effet de puissance et temps de trempage sur la teneur en protéine

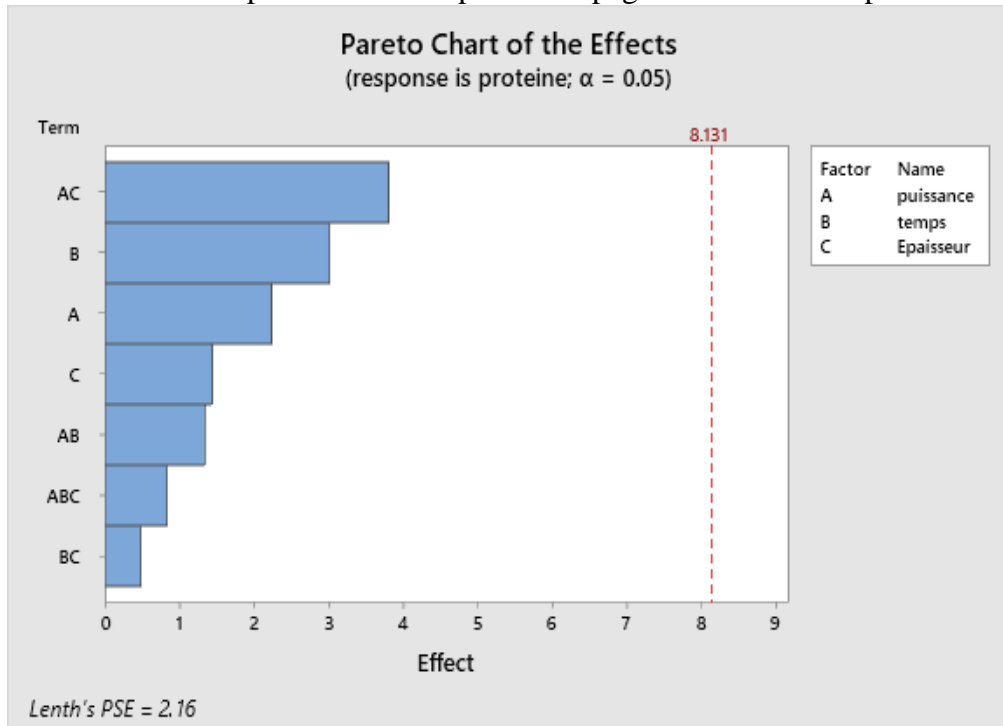


Figure III. 72. Effet d'interaction entre les puissances, temps et épaisseur des tranches de viande

Les résultats de séchage aux microondes montrent que le taux de protéines retenues après séchage peut être exprimé en fonction de ces trois facteurs selon l'équation de régression suivante :

$$\text{Protéine \%} = 67.32 - 0.06611 P + 0.2468 t - 3.268 E - 0.001430 P*t + 0.01183 P*E - 0.03092 t*E + 0.000156 p*t*E$$

2.1. Étude de la variation du taux de conservation des protéines

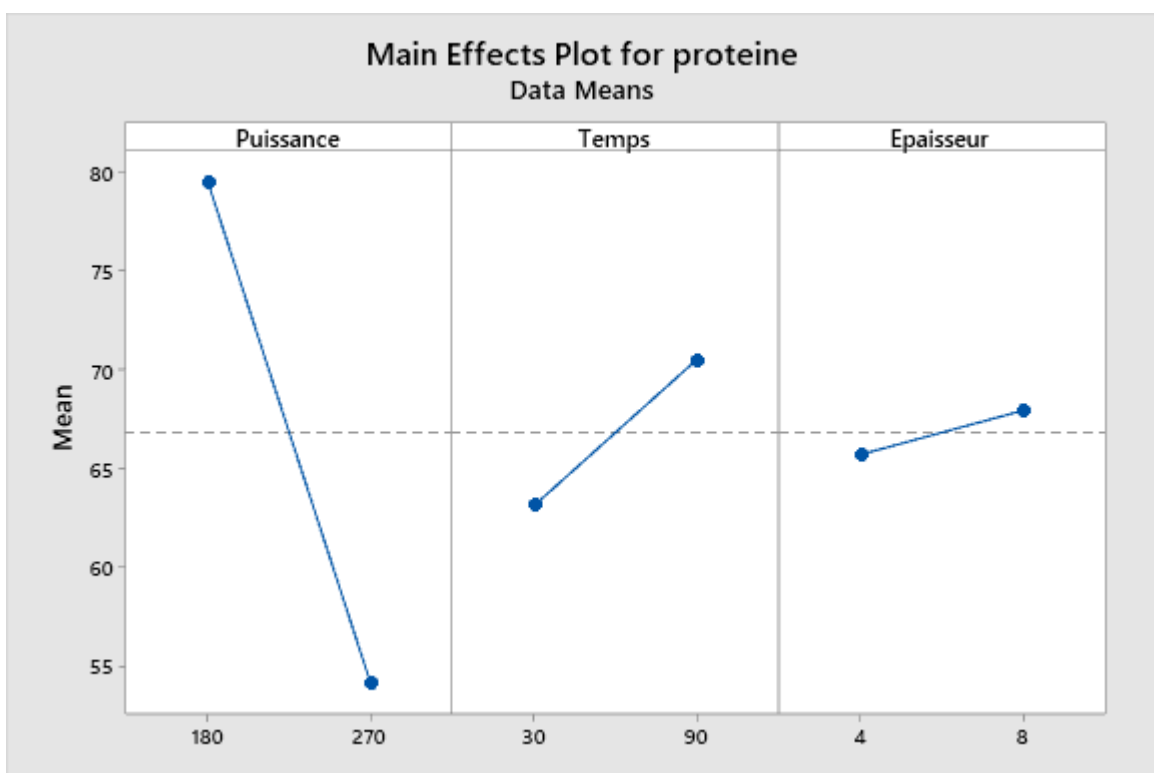


Figure III.73. Mean effet des conditions de séchage sur la teneur en protéines (microondes)

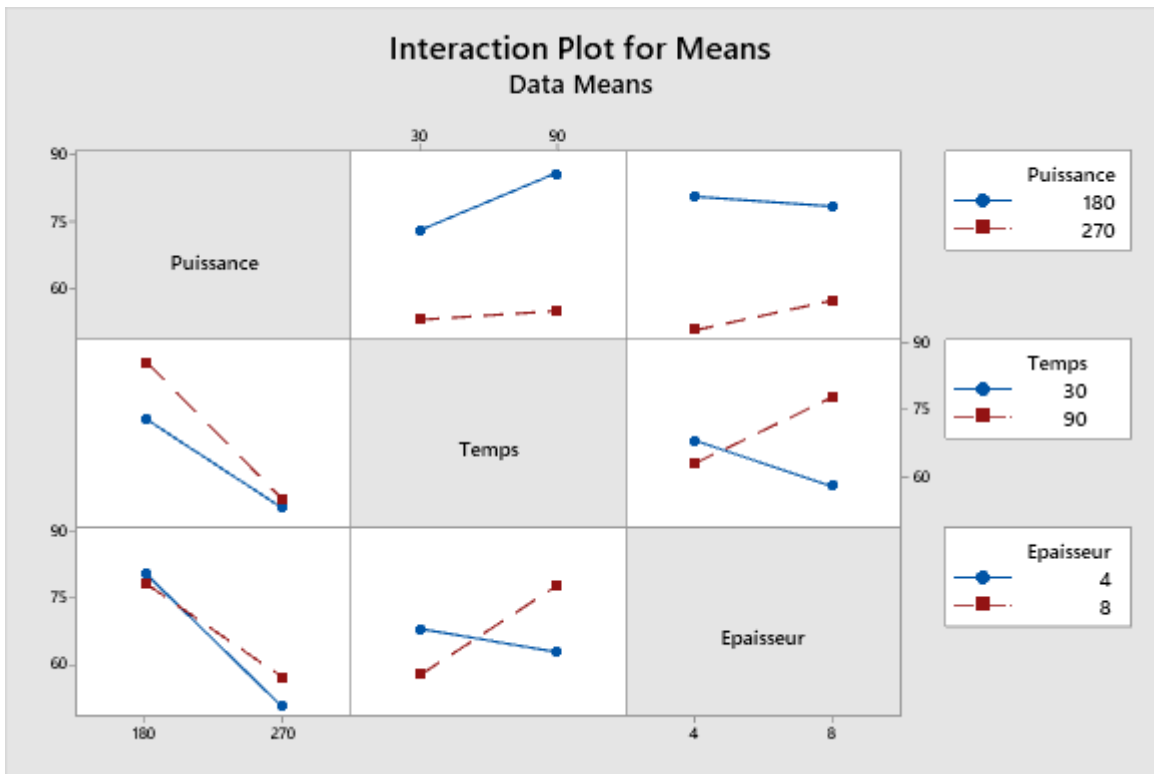


Figure III.74. Effet de l'interaction des facteurs sur la teneur en protéines.

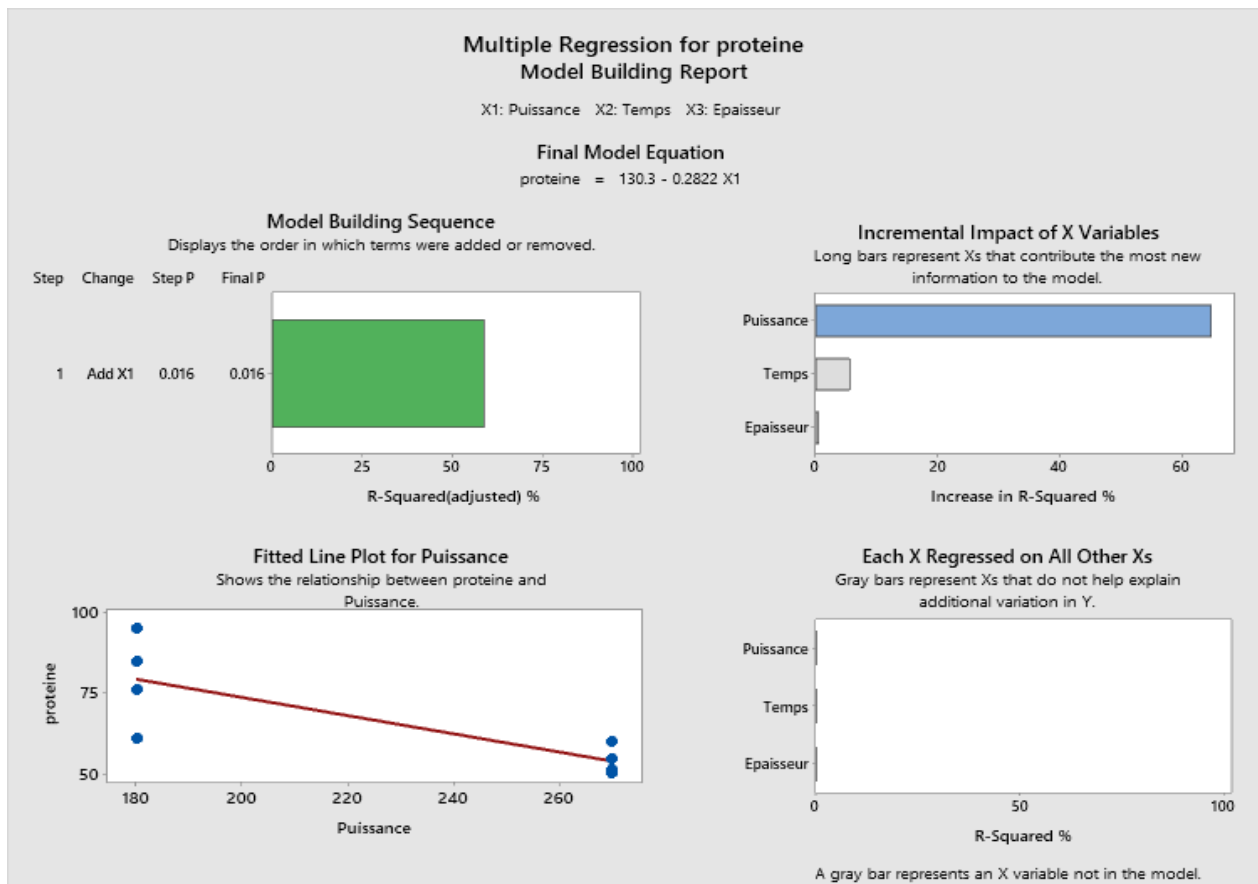


Figure III.75. Optimisation des conditions et effet de facteur sur la teneur on protéine

Le modèle de séchage par microondes, en fonction de trois facteur, puissance de microonde, temps de trempage et l'épaisseur des tranches de viande est le suivant :

$$\text{Protéine} = 130.3 - 0.2822 X_1$$

Avec négligence de l'effet des deux facteur (temps de trempage et épaisseur) qui ne sont pas significatif devant la puissance de microonde.

c- optimisation de séchage de viande cameline au séchage statique (étuve)

La figure (Figure III. 75.) montre l'évaluation de taux de protéine dans les tranches de viande cameline séché dans l'étuve, en fonction de l'épaisseur des tranches a demi épaisseur (6 mm) et temps de trempage dans les solutions saline ainsi que la puissance de séchage.

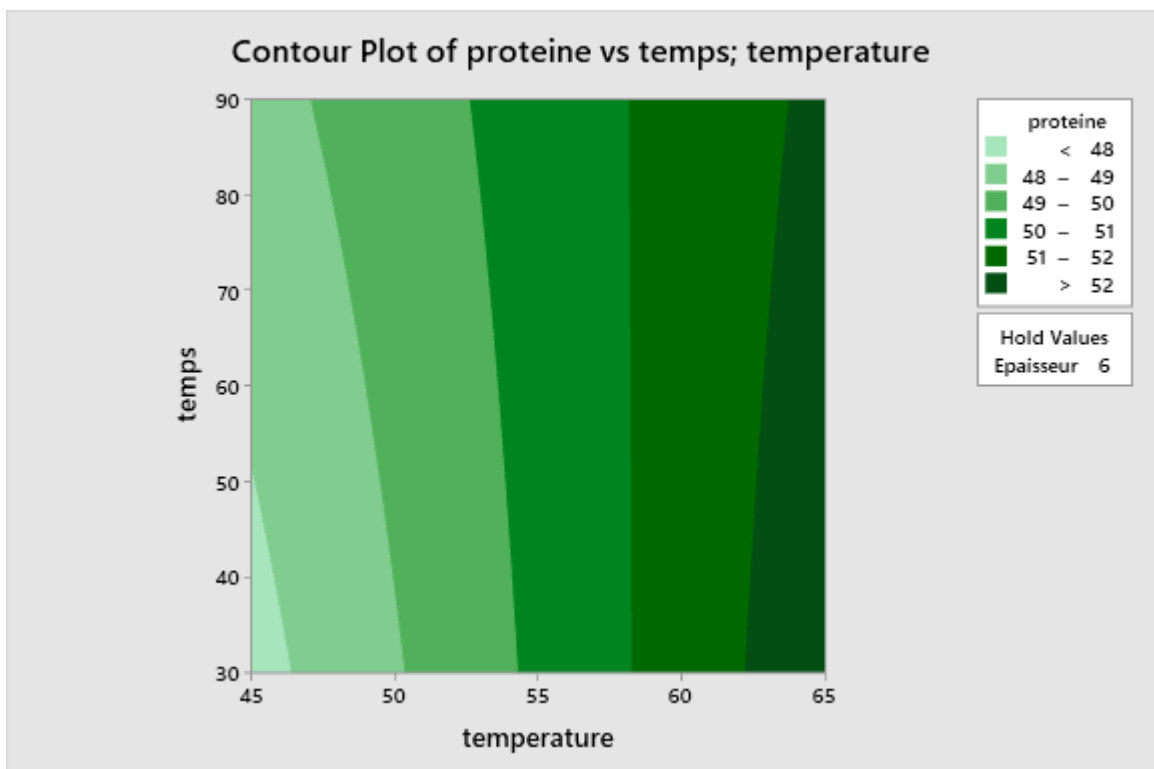


Figure III. 76. Effet de temperature et temps de trempage sur la teneur en protéine

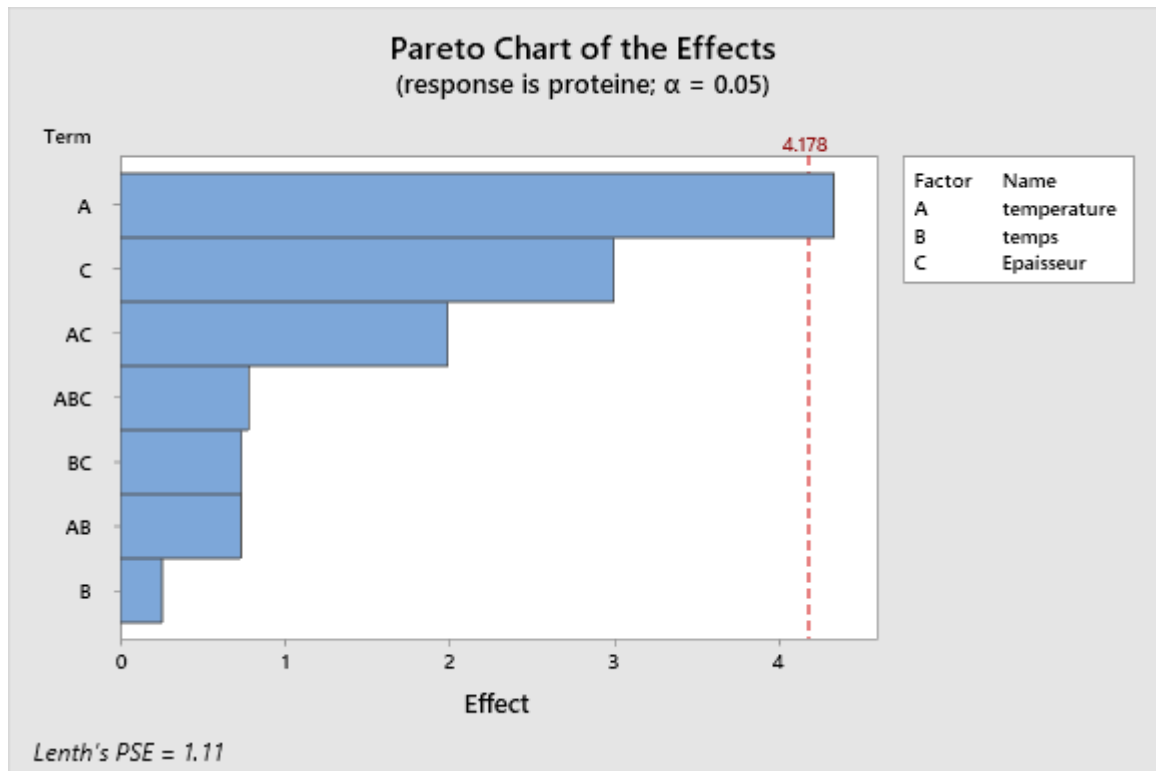


Figure III. 77. Effet d'interaction entre la température, temps et épaisseur des tranches de viande

L'équation de variation de taux de protéine dans les tranche de viande sèche au mode statique (étuve) est exprimé dans la formule mathématique avec les différente interaction.

$$\begin{aligned} \text{Protéine \%} = & 35.35 + 0.2257 \text{ temperature} + 0.2491 \text{ temps} - 0.2113 \text{ Epaisseur} \\ & - 0.005125 \text{ temperature*temps} + 0.01075 \text{ temperature*Epaisseur} \\ & - 0.02958 \text{ temps*Epaisseur} + 0.000650 \text{ temperature*temps*Epaisseur} \end{aligned}$$

Les expériences de séchage de viande cameline montrent la variation de la qualité de la viande en fonction des différentes conditions opératoires testées. La teneur la plus élevée en protéines pour le séchage solaire est de 52.3%, obtenue avec une épaisseur de tranches de 4 mm et un temps de trempage de 90 minutes. Pour le séchage par micro-ondes, le taux maximal de protéines retenues est de 50.20%, avec une puissance de 180 Watts, une épaisseur de tranche de 4 mm et un temps de trempage de 30 minutes. Enfin, concernant le séchage à l'étuve, la teneur maximale en protéines est de 55.48%, pour une température de séchage de 65°C, une épaisseur de tranches de 8 mm et un temps de trempage de 90 minutes.

B- OPTIMISATION DES CONDITIONS DE SECHAGE POUR LES RAISINS

Le tableau (tableau III.18) représente un plan d'expérience Taguchi L8 résumant les expériences réalisées afin d'étudier l'effet de la température de la solution innovante et le temps de trempage utilisée pour le prétraitement des raisins avant le séchage solaire et le séchage dans un séchoir à convection forcée.

Tableau III.18 : Plan d'expériences Taguchi orthogonal 18 (raisin)

Numéro d'expérience	FACTEUR 1 Température de la solution de trempage	FACTEUR 2 Temps de trempage
01	-1	-1
02	-1	-1
03	-1	+1
04	-1	+1
05	+1	-1
06	+1	-1
07	+1	+1
08	+1	+1
Niveau -1	60 °C	120 secondes
Niveau +1	80 °C	240 secondes

1. Séchage au séchoir solaire indirect à convection forcée (vitesse = 2 m s⁻¹) :

Le tableau suivant représente les résultats de la teneur en polyphénol des raisins séchés par séchoir solaire indirect à convection forcée, issus des différentes expériences réalisées selon le plan Taguchi L8.

Tableau III.19. Résultats de la teneur en polyphénol de raisins.

Numéro d'expérience	Facteur 1 Température (°C)	Facteur 2 Temps de trempage (seconde)	Teneur en polyphénol mgEAG/ 100 grs
1	60	120	571.23
2	60	120	572.64
3	60	240	601.42
4	60	240	600.69
5	80	120	598.07
6	80	120	601.07
7	80	240	645.02
8	80	240	660.5

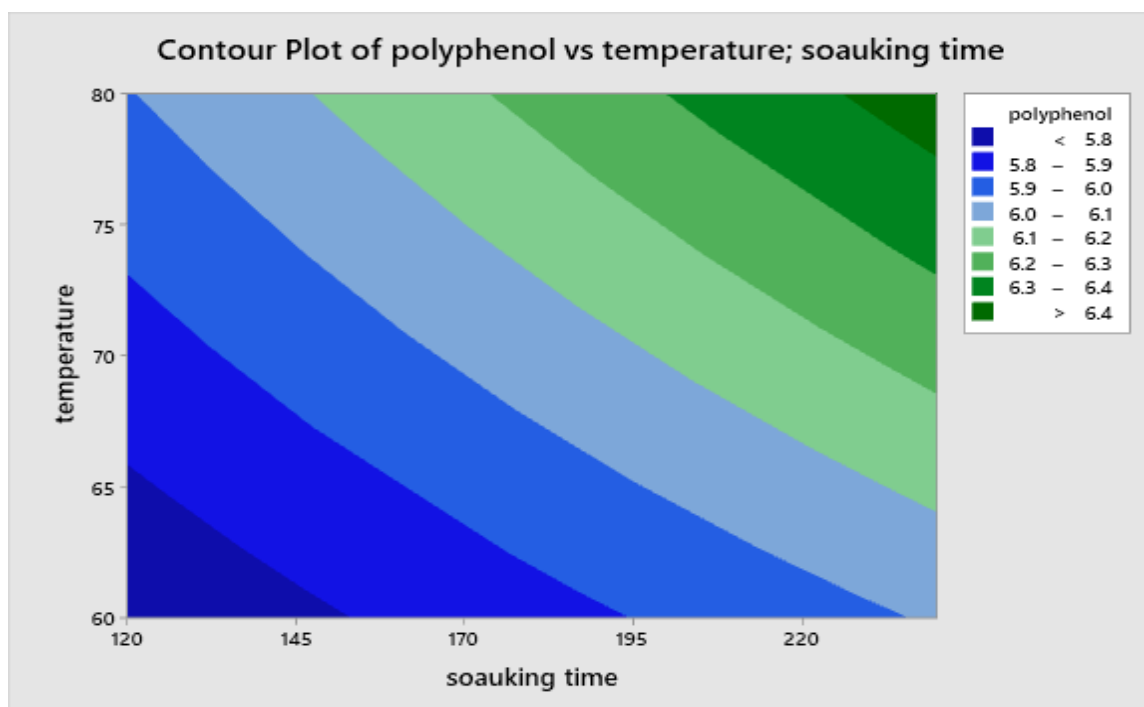


Figure III.78. Variation de teneur en polyphénol en fonction de la température Et du temps de trempage

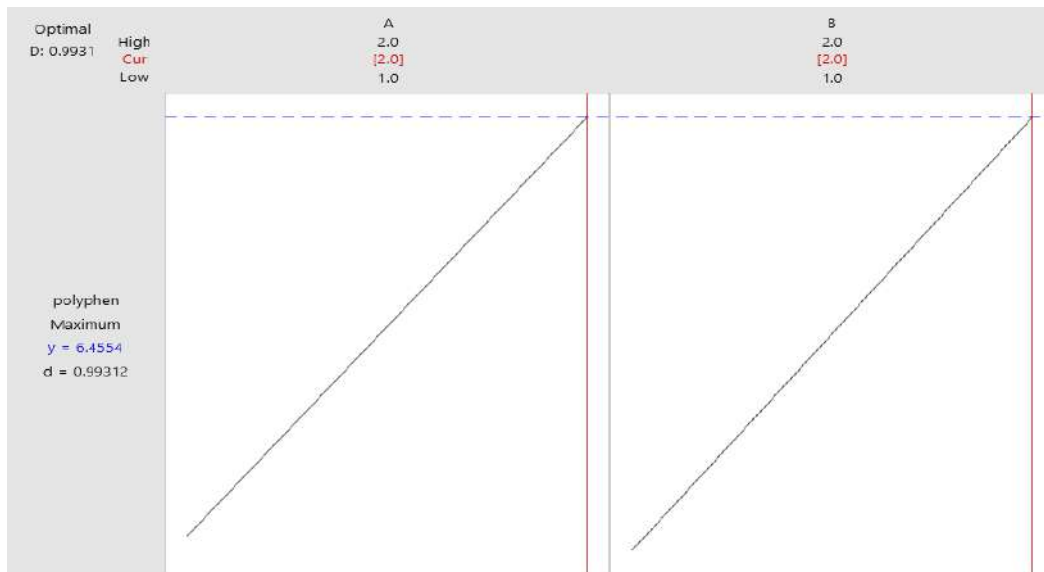


Figure III.79. Optimisation des conditions de prétraitement.

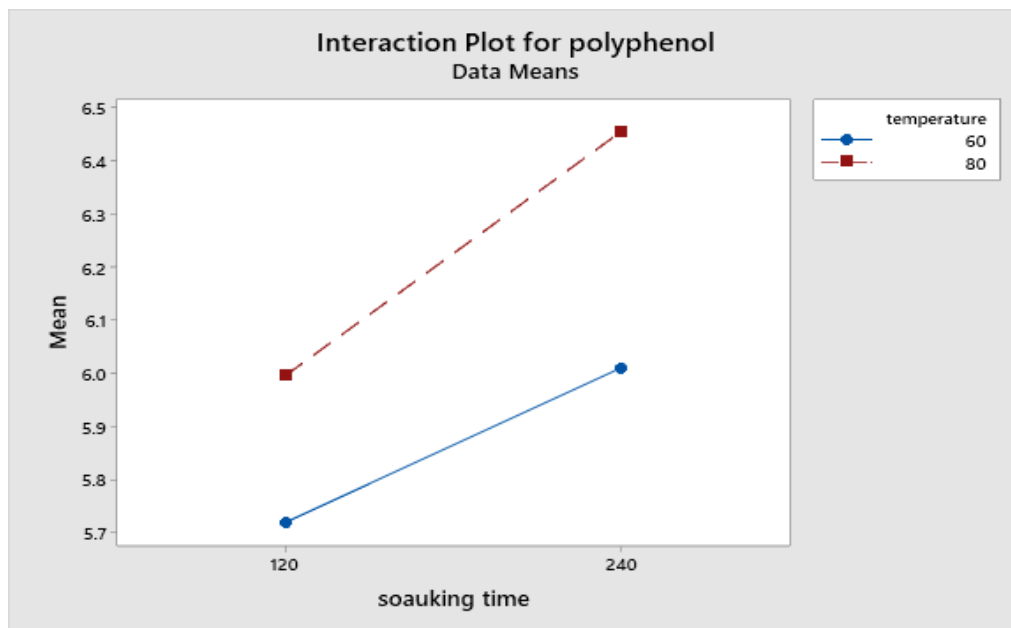


Figure III.80. Interaction température vs temps de trempage sur la teneur en polyphénol.

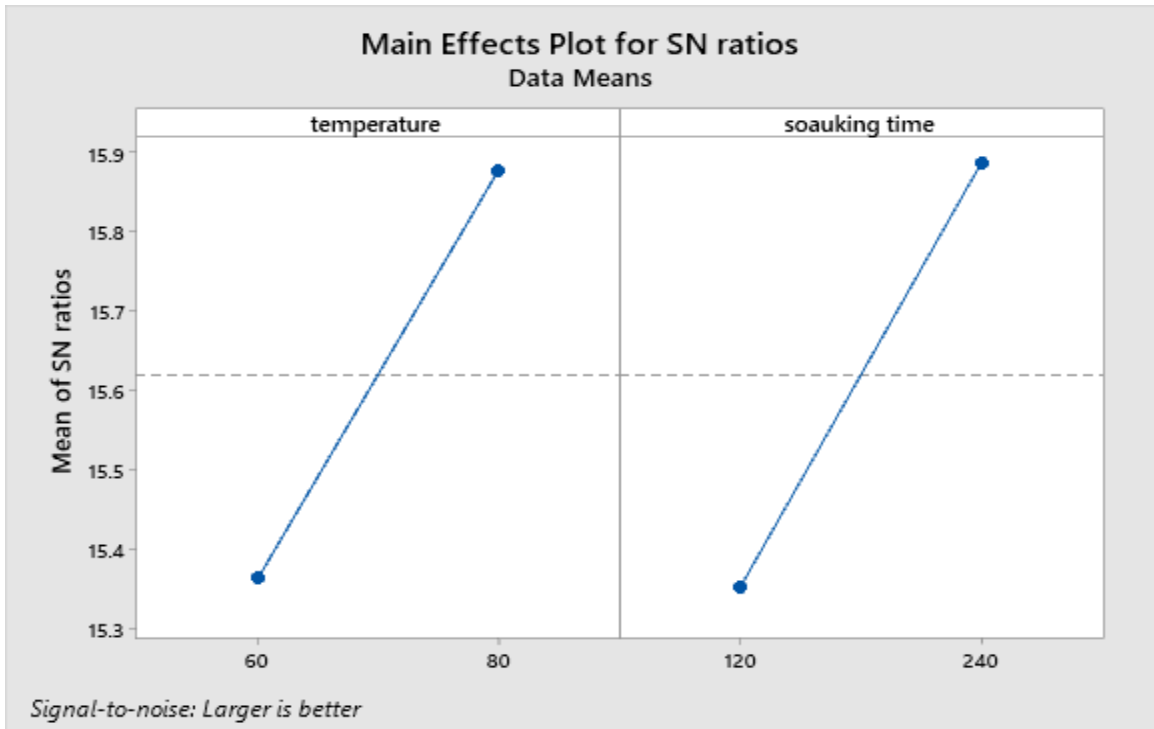


Figure III.81. Effets de la température et du temps de trempage sur la teneur en polyphénol.

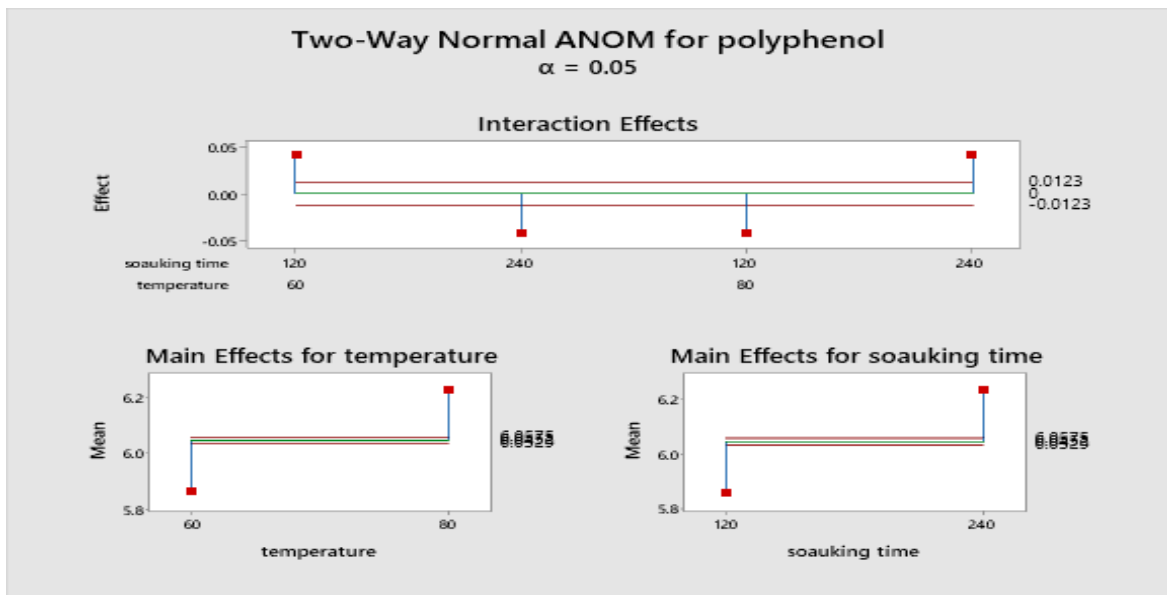


Figure III.82. Test de l'intervalle de confiance.

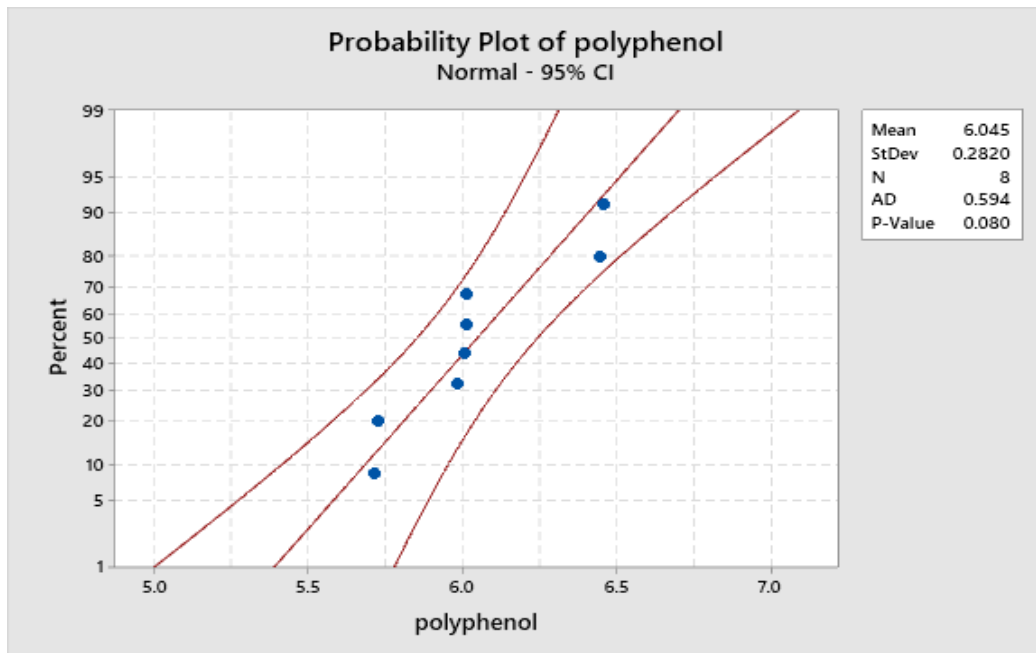


Figure III.83. Test de compteur de probabilité.

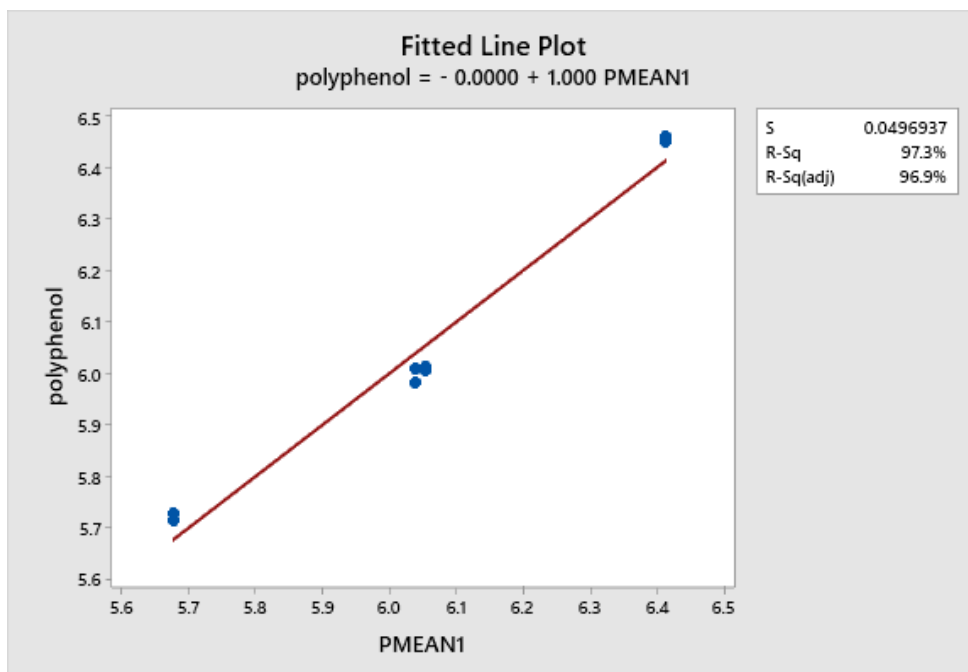


Figure III.84. Rapport signal en fonction de bruit prédicat.

Équation de régression de la teneur en polyphénol en fonction de température et temps de séjour.

Polyphenol (mg GEA)/100g= **5.1045 + 0.00539 X₁ - 0.001785 X₂ + 0.000070 X₁*X₂**

Avec X₁ : Valeur code de température, X₂ : valeur code de temps de trempage

2. Séchage au soleil direct (naturel)

Le tableau (Tableau VII.4.) représente les résultats de la teneur en polyphénol des raisins séchés directement au soleil (Sun-drying), issus des différentes expériences réalisées selon le plan Taguchi L8.

Tableau VII.4. Résultats de la teneur en polyphénol des expérience Taguchi L8.

Numéro d'expérience	Facteur 1 Température (°C)	Facteur 2 Temps de trempage (seconde)	Teneur en polyphenol mgEAG/ 100 g
1	60	120	190.41
2	60	120	190.88
3	60	240	200.475
4	60	240	200.23
5	80	120	200.359
6	80	120	200.359
7	80	240	215.008
8	80	240	215.008

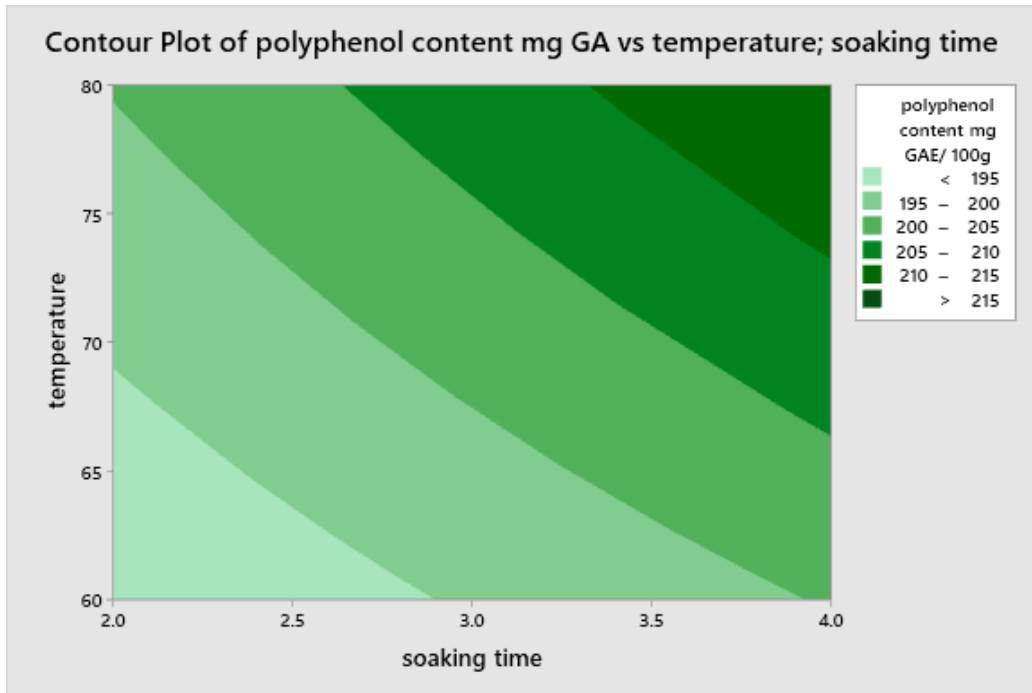


Figure III.85. Conteur plot de variation de teneur en polyphénol en fonction des conditions de prétraitement dans le séchage au soleil.

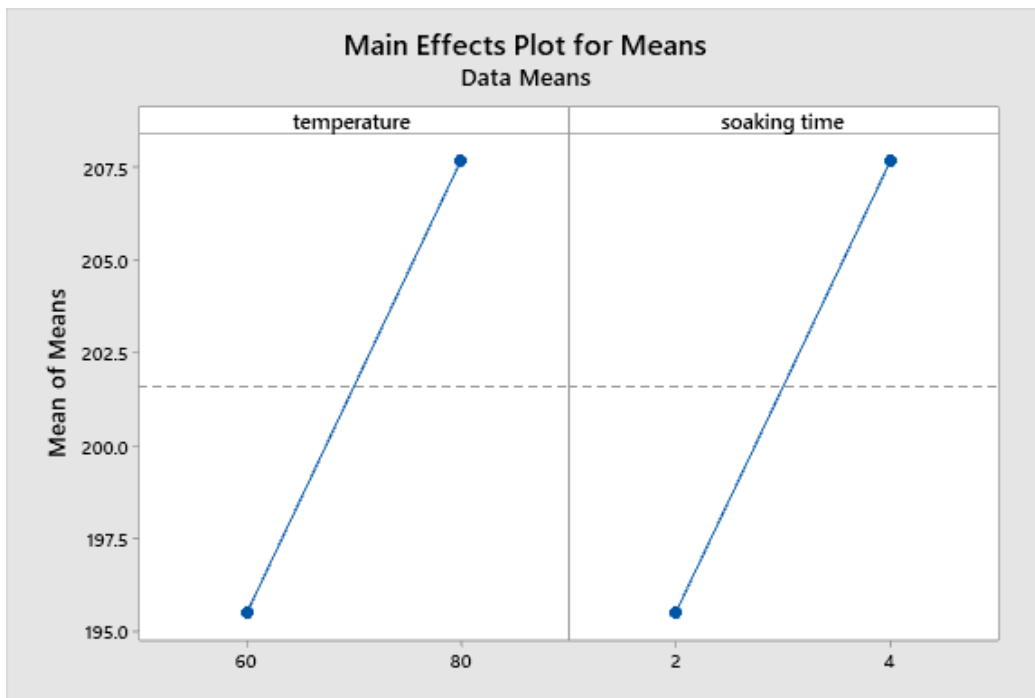


Figure III.86. Effet de la température et du temps de trempage sur la teneur en polyphénol.

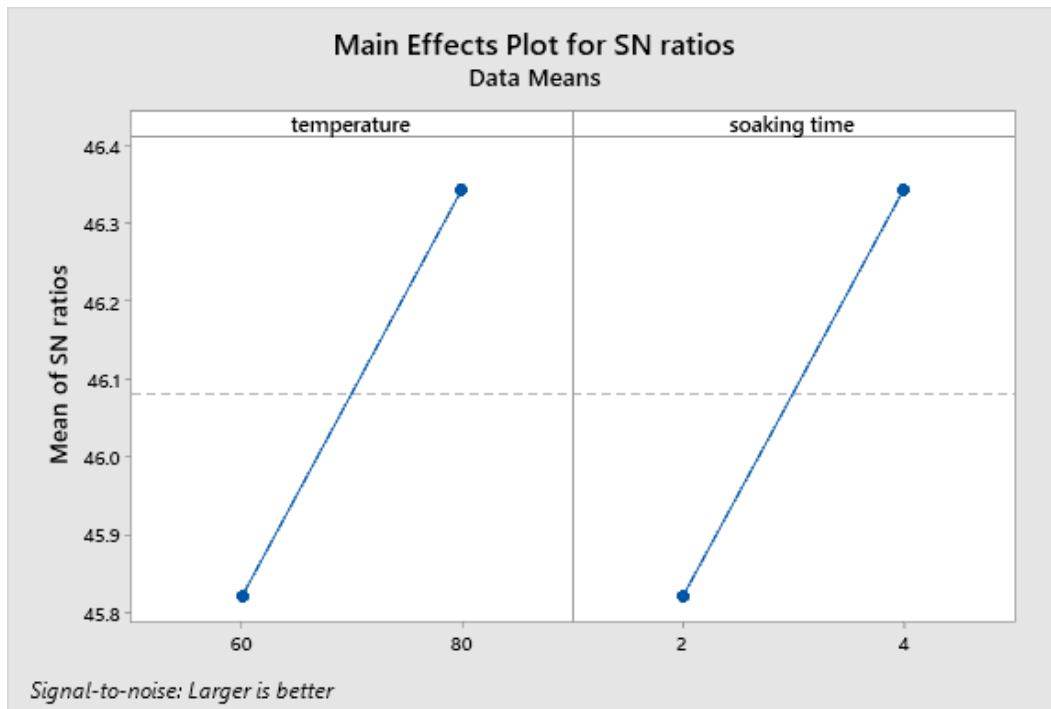


Figure III.87. Effet de la température et du temps de trempage sur le rapport S/N.

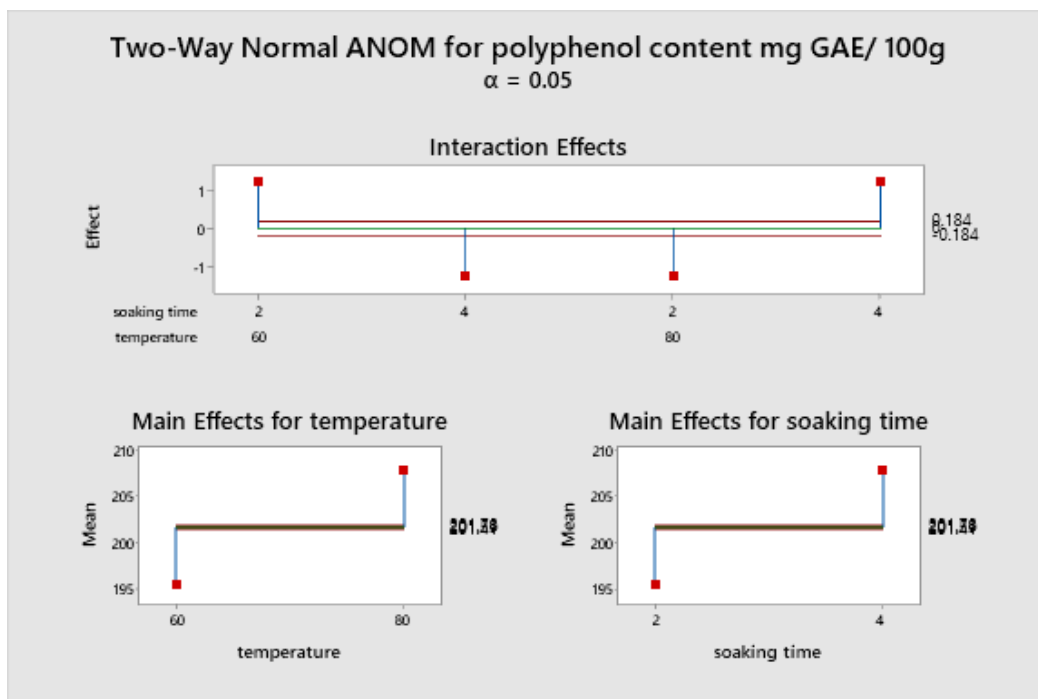


Figure III.88. Test de l'intervalle de confiance - séchage au soleil

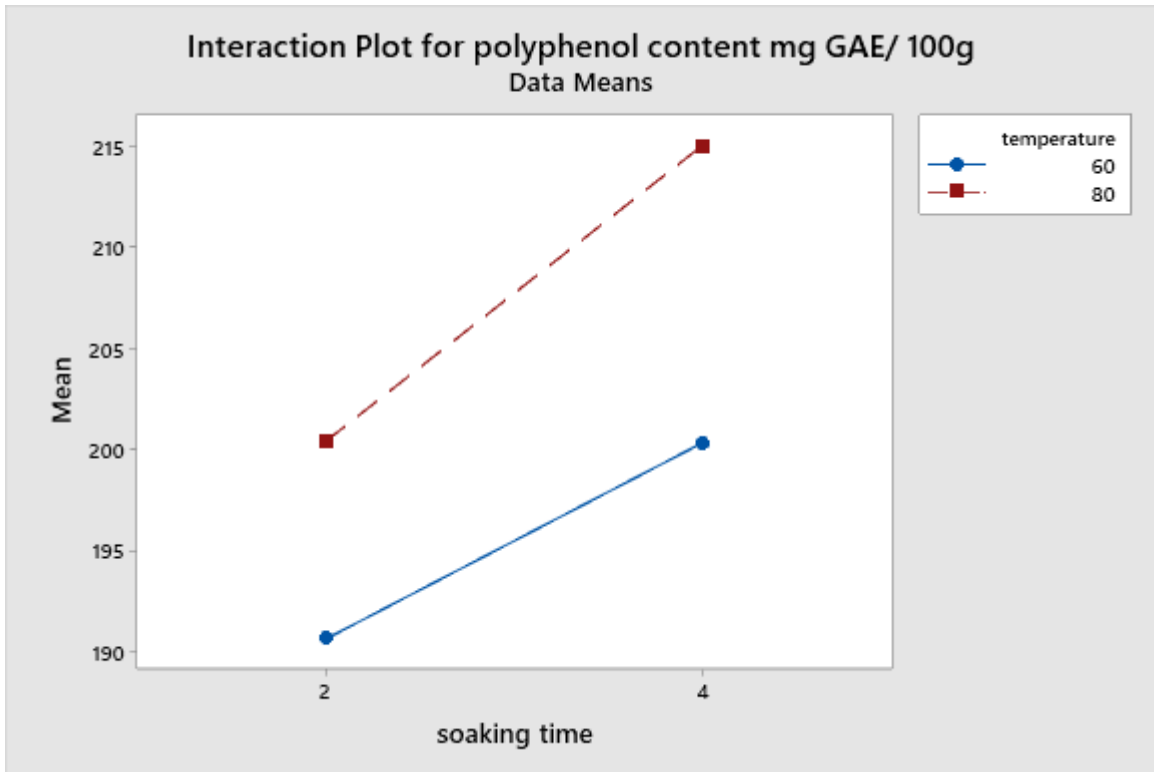


Figure III.89. Interaction de facteur température et temps de séjour.

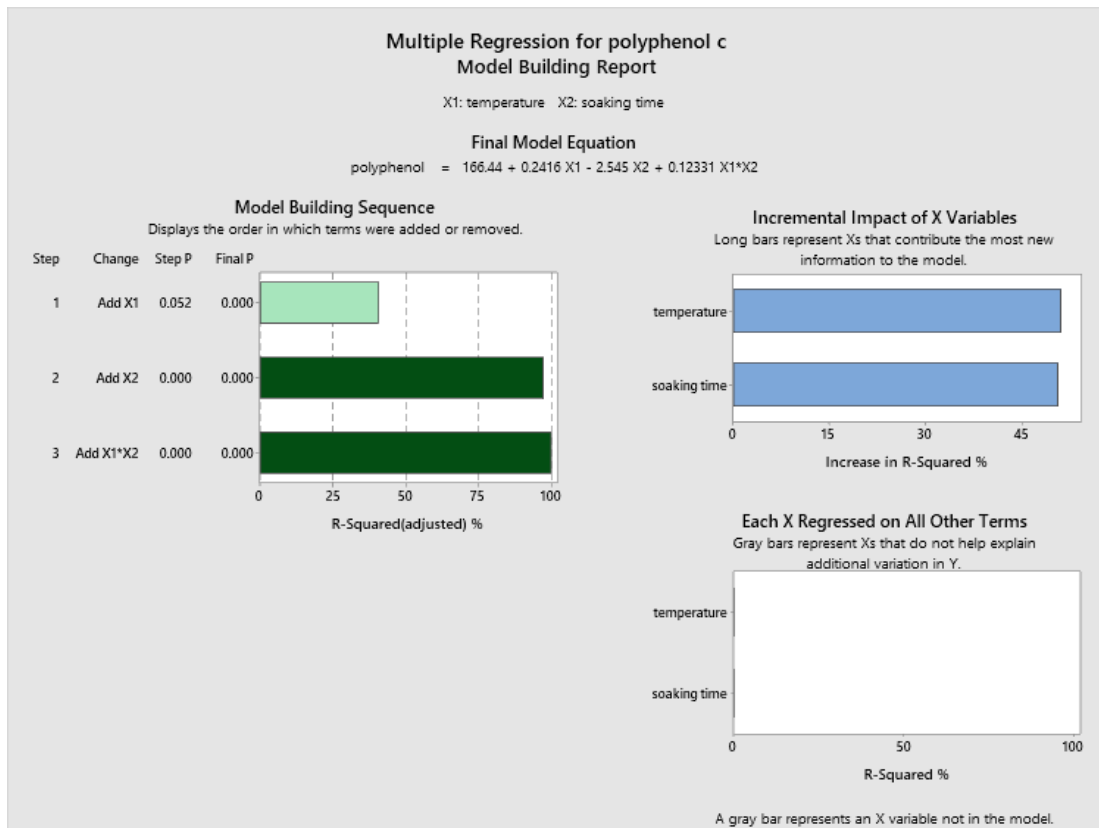


Figure III.90. Optimisation des conditions et effet de facteur sur la teneur on polyphénol.

Les tranches de viande d'épaisseur 4 mm et 8 mm, trempées dans une solution saline à 19% de chlorure de sodium maintenue à une température froide de 4°C pendant une durée de 30 minutes et 90 minutes, puis séchées par différentes techniques, relèvent les points suivants :

- ✚ Le temps de séchage augmente avec l'augmentation de l'épaisseur des tranches.
- ✚ Le temps de séchage augmente avec l'augmentation du temps de trempage dans la solution saline.
- ✚ Le séchage au soleil est la technique la moins coûteuse économiquement et présente une qualité physicochimique acceptable.
- ✚ Le séchage par technique micro-onde présente l'inconvénient d'une perte importante des lipides totaux.
- ✚ L'augmentation de la puissance des micro-ondes diminue le temps de séchage.
- ✚ On observe une dégradation de la couleur avec l'augmentation de la puissance de séchage.
- ✚ Le taux de rétrécissement augmente avec l'augmentation de la puissance de séchage.
- ✚ Le séchage par technique d'étuvage appliqué avec des conditions spécifiques de température, durée et épaisseur des tranches permet d'obtenir la meilleure qualité physicochimique.
- ✚ L'utilisation de la solution saline froide limite la perte des minéraux de la viande de caméline.
- ✚ La teneur en protéines dans les échantillons séchés à l'étuve reste la plus élevée.

En conclusion, la sélection de la méthode la plus adéquate pour le séchage des viandes demeure la technique de séchage à l'étuve dont les paramètres (température, épaisseur, temps de trempage) sont définis dans les protocoles de séchage de cette étude.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette thèse avait pour objectif d'étudier l'influence des paramètres de prétraitement et de séchage sur la qualité de produits agroalimentaires d'origine animale et végétale, la viande cameline (*CAMELIUS DRAMADRUS*) est raisin (*REGAL SEEDLESS*) et utilise comme model dans cette thèse. Les techniques de séchage utilise sont le séchage au soleil direct, le séchage au séchoir solaire indirect, le séchage au microonde (180 et 270 Watts) et séchage à l'étuve (45 et 65°C). Les prétraitements des échantillons sont une étape très importante dans les procédés de séchage, dans cette étude, une solution saline à 19% de chlorure de sodium réglée à une température de 4°C est utilisé pour traitement des tranches de viande, une solution compose d'huile d'olive a 2% m/m, 2% de carbonate de calcium m/m et 98% de d'eau distillée réglé à des températures de 60 et 80°C pour traitement des raisins (*REGAL SEEDLESS*).

Les résultats de séchage de la viande cameline, le temps de séchage des tranches de viande on montre une réduction de temps de séchage voisinage de 13.19 % et la qualité de viande bien conservé, préservation des paramètre de couleur et minimiser le brunissement, notamment dans la technique de l'étuvage à 65°, la teneur en protéine qui représente la partie essentielle dans la viande est bien préservé dans le mode de séchage à l'étuve 65° arrive à 73.33 %, le prétraitement utilisé à jouer un très grand rôle dans la préservation des nutriments, avec la concentration et température de cette solution les éléments sont retenu dans les tranche et leur migration dans la solution est freiné compare à des étude ultérieur , le taux de salinité de viande sèche est voisinage de 3 g/kg, ce qui est acceptable par rapport au norme international qui fixe les sel a 5g/kg. Les plans d'expérience réalisé Taguchi, permet de définir les modèles mathématiques de variation de taux des éléments nutritif et la salinité en fonction des conditions des prétraitements utilisés.

PARTIE IV : CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Les résultats de séchage des raisins (régal seedless) par les deux techniques, séchage au soleil et séchage au séchoir solaire indirect, avec et sans traitement, ont montré l'efficacité des prétraitements utilisés, l'augmentation du temps de trempage et la température de la solution accélèrent la vitesse de séchage. La réduction du temps de séchage arrive à 53% pour les échantillons traités à 80 degrés pendant une durée de 240 secondes, l'effet de la solution est de provoquer des fissures observées au microscope sur la pellicule ce qui augmente la vitesse d'évaporation d'eau, avec une teneur en polyphénol la plus élevée dans les séchages au séchoir solaire, notamment le prétraitement (80°C, 240 secondes) avec une préservation de plus de 71.77% de polyphénol des raisins.

Ce travail nous a permis de sélectionner les conditions de prétraitement et le mode de séchage plus convenable pour le séchage des tranches de viande cameline, la technique de séchage à l'étuve sous 65°C et les dimensions des tranches de 8 mm d'épaisseur et 90 minutes de traitement dans une solution saline de 19% à 4°C. Le séchage des raisins d'après notre présente étude est de qualité nutritionnelle satisfaisante au séchoir solaire indirect et dans les conditions de prétraitement de 240 secondes dans la solution composée de 2% de carbonate de calcium, 2% de huile d'olive et de 98% de l'eau distillée).

PERSPECTIVES

- ✚ Valider l'applicabilité industrielle des conditions optimales de prétraitement et de séchage identifiées, par des tests en situation réelle sur une chaîne de production pilote.
- ✚ Élargir l'étude à d'autres produits agroalimentaires d'origine animale (poisson, volaille) et végétale (légumes, fruits rouges) afin de généraliser la démarche d'optimisation.
- ✚ Approfondir l'analyse de la rétention des micronutriments (vitamines, antioxydants) dans les aliments séchés et leur biodisponibilité.
- ✚ Coupler les procédés de séchage à d'autres techniques de prétraitement comme les ultrasons, les champs électriques pulsés, pour potentialiser les effets.
- ✚ Intégrer des modèles prévisionnels de qualité nutritionnelle en fonction des conditions opératoires dans un outil d'aide à la décision.
- ✚ Analyser l'impact économique et énergétique des procédés optimisés par des analyses de cycle de vie et de rentabilité.
- ✚ Caractériser la stabilité microbiologique et la sécurité sanitaire des produits séchés pendant le stockage.
- ✚ Développer de nouveaux emballages innovants adaptés aux produits séchés pour prolonger leur durée de conservation.

NOMENCLATURE

Nomenclature	Désignation	Unité de mesure
A	Surface effective d'échange entre le produit à sécher et l'air extérieur	m ²
aw	Activité d'eau	-
Bih	Nombre de Biot	-
cds	Chaleur spécifique du solide	kJ/kg K
Cp	Chaleur massique	kJ kg ⁻¹ K
CT	Constante concernant l'augmentation de température produite lorsque le solide adsorbe l'humidité	K
cw	Chaleur spécifique de l'eau	kJ/kg K
D	Coefficient de diffusion moléculaire	m ² s ⁻¹
Dch	Coefficient de diffusion de chaleur	m ² s ⁻¹
Do	Coefficient de diffusion de référence	m ² s ⁻¹
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	
Ea	Énergie d'activation	J W m ⁻²
k	Coefficient de transfert de matière	m/s
L	Demi-épaisseur de l'échantillon	m
ρint	Masse volumique réelle	kg m ⁻³
Lem	Nombre de Lewis modifié	-
Lv	Chaleur latente d'évaporation	J kg ⁻¹
m	Masse du matériau	Kg
mp	Masse de solide contenant l'unité de pore	kg m ⁻³
mv	Débit de vapeur d'eau	kg s ⁻¹
Mw	Masse molaire	kg mol ⁻¹
PT	Pression totale	Pa
pvsat	Pression partielle de la vapeur d'eau à saturation	Pa
Pw	Pression partielle de vapeur de l'eau	Pa
pwa	Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air au point considéré	Pa
pws	Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air au voisinage de la surface de la matière	Pa
pwT	Pression partielle de la vapeur d'eau à l'équilibre à la température	T Pa
qs	Chaleur de sorption	J kg ⁻¹
R	Constante des gaz parfaits	J kg ⁻¹ K ⁻¹
Rg	Constante universelle des gaz	J mol ⁻¹ K ⁻¹
t	Temps	S
T	Température	K, °C
W	Teneur en eau	% db
C	Concentration d'hydroxyde de sodium	mol L ⁻¹
F	Facteur de conversion en acide sulfurique (= 0.049)	-
GEA	Equivalent d'acide gallique	mg kg ⁻¹
M ₀	Teneur en eau initial	kg H ₂ O/kg ms
Deff	Effective moisture diffusivity	m ² s ⁻¹
Me	Teneur en eau à l'équilibre	kg H ₂ O/kg ms
MR	Taux d'humidite	-
R	Radius of samples Rayon des échantillons	m
π	constant d'archimède (≈3.14)	-

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] A. Khan, S. Khan, M. A. Khan, Z. Qamar, and M. Waqas, “The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 22, no. 18, 2015, doi: 10.1007/s11356-015-4881-0.
- [2] A. Kumari, A. K. Parida, J. Rangani, and A. Panda, “Antioxidant activities, metabolic profiling, proximate analysis, mineral nutrient composition of *Salvadora Persica* fruit unravel a potential functional food and a natural source of pharmaceuticals,” *Front. Pharmacol.*, vol. 8, no. FEB, 2017, doi: 10.3389/fphar.2017.00061.
- [3] I. Doymaz, “Sun drying of seedless and seeded grapes,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 49, no. 2, pp. 214–220, 2012, doi: 10.1007/s13197-011-0272-9.
- [4] W. B. Chaouch, A. Khellaf, A. Mediani, M. E. A. Slimani, A. Loumani, and A. Hamid, “Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment,” *Sol. Energy*, vol. 174, no. July, pp. 328–341, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.09.037.
- [5] L. C. Lievense and K. van’t Riet, “Convective Drying of Bacteria. I. The Drying Process,” *Adv. Biochem. Eng.*, vol. 50, 1993.
- [6] S. Keshani, W. R. W. Daud, M. M. Nourouzi, F. Namvar, and M. Ghasemi, “Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling,” *Journal of Food Engineering*, vol. 146, 2015. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.09.004.
- [7] R. Lufu, A. Ambaw, and U. L. Opara, “Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors,” *Scientia Horticulturae*, vol. 272, 2020. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109519.
- [8] M. R. I. Shishir and W. Chen, “Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices,” *Trends in Food Science and Technology*, vol. 65, 2017. doi: 10.1016/j.tifs.2017.05.006.
- [9] J. Chen, M. Zhang, B. Xu, J. Sun, and A. S. Mujumdar, “Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review,” *Trends in Food Science and Technology*, vol. 105, 2020. doi: 10.1016/j.tifs.2020.08.015.
- [10] B. Xu *et al.*, “Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review,” *Food Research International*, vol. 152, 2022. doi:

- 10.1016/j.foodres.2021.110744.
- [11] N. S. Chibuzo, U. F. Osinachi, M. T. James, O. F. Chigozie, B. Dereje, and C. E. Irene, “Technological advancements in the drying of fruits and vegetables: A review,” *African J. Food Sci.*, vol. 15, no. 12, 2021.
- [12] J. B. Gurtler, S. E. Keller, J. L. Kornacki, B. A. Annous, T. Jin, and X. Fan, “Challenges in recovering foodborne pathogens from low-water-activity foods,” *J. Food Prot.*, vol. 82, no. 6, 2019, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-18-204.
- [13] R. M. Morasi, V. L. M. Rall, S. T. A. Dantas, V. P. P. Alonso, and N. C. C. Silva, “Salmonella spp. in low water activity food: Occurrence, survival mechanisms, and thermoresistance,” *J. Food Sci.*, vol. 87, no. 6, 2022, doi: 10.1111/1750-3841.16152.
- [14] L. R. Beuchat *et al.*, “Low-water activity foods: Increased concern as vehicles of foodborne pathogens,” *J. Food Prot.*, vol. 76, no. 1, 2013, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-12-211.
- [15] G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, and T. P. Labuza, *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. 2020. doi: 10.1002/9781118765982.
- [16] J. I. N. Yuqiao *et al.*, “Thermal inactivation of salmonella agona in Low–Water activity foods: Predictive models for the combined effect of temperature, water activity, and food component,” *J. Food Prot.*, vol. 81, no. 9, 2018, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-18-041.
- [17] D. Santos, A. C. Maurício, V. Sencadas, J. D. Santos, M. H. Fernandes, and P. S. Gomes, “Spray Drying: An Overview,” in *Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition*, 2018. doi: 10.5772/intechopen.72247.
- [18] R. P. Patel, M. P. Patel, and A. M. Suthar, “Spray drying technology: An overview,” *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 10, 2009, doi: 10.17485/ijst/2009/v2i10/30719.
- [19] B. B. Eedara, W. Alabsi, D. Encinas-Basurto, R. Polt, and H. M. Mansour, “Spray-Dried Inhalable Powder Formulations of Therapeutic Proteins and Peptides,” *AAPS PharmSciTech*, vol. 22, no. 5. 2021. doi: 10.1208/s12249-021-02043-5.
- [20] S. H. Miraei Ashtiani, B. Sturm, and A. Nasirahmadi, “Effects of hot-air and hybrid hot air-microwave drying on drying kinetics and textural quality of nectarine slices,” *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, vol. 54, no. 4, 2018, doi: 10.1007/s00231-017-2187-0.
- [21] K. C. Santos, J. S. Guedes, M. L. Rojas, G. R. Carvalho, and P. E. D. Augusto, “Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and

- rehydration kinetics,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105304.
- [22] K. Fan, M. Zhang, and A. S. Mujumdar, “Application of airborne ultrasound in the convective drying of fruits and vegetables: A review,” *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 39, 2017. doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.04.001.
- [23] B. C. Marques, A. Plana-Fattori, D. Flick, and C. C. Tadini, “Convective drying of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) slices: A simple physical model including shrinkage,” *LWT*, vol. 159, 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113151.
- [24] Z. Stamenković *et al.*, “Convective drying of fresh and frozen raspberries and change of their physical and nutritive properties,” *Foods*, vol. 8, no. 7, 2019, doi: 10.3390/foods8070251.
- [25] M. A. M. Daza-Gómez, C. A. Gómez Velasco, J. C. Gómez Daza, and N. Ratkovich, “3D Computational Fluid Dynamics Analysis of a Convective Drying Chamber,” *Processes*, vol. 10, no. 12, 2022, doi: 10.3390/pr10122721.
- [26] D. Scarlet, “Journal of Life Sciences Volume 6,” vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [27] M. Amrani and A. Laglaoui, “QUALITE DES FRAISES MAROCAINES CONTRIBUTION OF FREEZE-DRYING PROCESS ON,” vol. VIII, no. 3, pp. 297–306, 2007.
- [28] E. Koller, “Aide-mémoire Génie chimique,” *L’usinenouvelle*, vol. 1, no. 1, 1951.
- [29] R. Khama, “Conception, réalisation et simulation d’un séchoir solaire opérant en mode convectif utilisé pour le séchage de produits agroalimentaires,” université Abderrahmane Mira Béjaia Algérie, 2016.
- [30] G. Bingol, J. S. Roberts, M. O. Balaban, and O. O. Devres, “Effect of dipping temperature and dipping time on drying rate and color change of grapes,” *Dry. Technol.*, vol. 30, no. 6, 2012, doi: 10.1080/07373937.2011.654020.
- [31] A. Benseddik, A. K. A. A. Azzi, and M. N. Zidoune, “Optimisation des conditions opératoires du séchage de la citrouille par sécheur à air chaud en utilisant la Méthode des Surfaces de Réponse (MSR),” no. Dic, pp. 1–7, 2016.
- [32] “Opérations unitaires : évaporation et séchage”.
- [33] A. Srivastava, A. Anand, A. Shukla, A. Kumar, D. Buddhi, and A. Sharma, “A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 47, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101513.

- [34] P. Mall and D. Singh, “Comparative Study of Performance of Indirect Mode with PCM and Mixed Mode Solar Dryer for Coriander Leaves,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 8, pp. 5909–5919, 2018.
- [35] J. H. Moon, M. J. Kim, D. H. Chung, C. H. Pan, and W. B. Yoon, “Drying characteristics of sea cucumber (*Stichopus Japonicas Selenka*) using far infrared radiation drying and hot air drying,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 38, no. 4, pp. 1534–1546, 2014, doi: 10.1111/jfpp.12113.
- [36] J. Saxena and K. K. Dash, “Drying kinetics and moisture diffusivity study of ripe jackfruit,” *Int. Food Res. J.*, vol. 22, no. 1, pp. 414–420, 2015.
- [37] V. Prosapio and I. Norton, “Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance,” *LWT*, vol. 80, 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.03.012.
- [38] F. A. N. Fernandes, F. E. Linhares, and S. Rodrigues, “Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 15, no. 6, 2008, doi: 10.1016/j.ultsonch.2008.03.009.
- [39] F. A. N. Fernandes and S. Rodrigues, “Ultrasound application as pre-treatment for drying of fruits,” *J. Food Eng.*, vol. 82, no. 2, 2007.
- [40] L. F. Siow and K. H. Lee, “Canned, frozen and dried pineapple,” in *Handbook of Pineapple Technology: Postharvest Science, Processing and Nutrition*, 2016. doi: 10.1002/9781118967355.ch7.
- [41] G. Pirasteh, R. Saidur, S. M. A. Rahman, and N. A. Rahim, “A review on development of solar drying applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, 2014. doi: 10.1016/j.rser.2013.11.052.
- [42] Z. Deng, M. Li, T. Xing, J. Zhang, Y. Wang, and Y. Zhang, “A literature research on the drying quality of agricultural products with using solar drying technologies,” *Sol. Energy*, vol. 229, 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.07.041.
- [43] P. K. Jangde, A. Singh, and T. V. Arjunan, “Efficient solar drying techniques: a review,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 34, 2022, doi: 10.1007/s11356-021-15792-4.
- [44] OmPrakash and AnilKumar, *Solar Drying Technology Concept, Design, Testing, Modeling, Economics, and Environment*, vol. 4, no. 1. 2012.
- [45] O. Prakash and A. Kumar, *Solar Drying Technology: Concept, Design, Testing, Modeling, Economics and Environment*, vol. 4, no. 1. 2012.
- [46] E. A. Kosasih, A. Zikri, and M. I. Dzaky, “Effects of drying temperature, airflow, and

- cut segment on drying rate and activation energy of elephant cassava,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 19, 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100633.
- [47] P. P. Lewicki, “Design of hot air drying for better foods,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 17, no. 4, pp. 153–163, 2006, doi: 10.1016/j.tifs.2005.10.012.
- [48] “No Title.” [Online]. Available: <https://www.directindustry.fr/prod/turatti/product-162310-1764357.html>
- [49] N. Bousbia, “Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires,” *These*, 2011.
- [50] S. Curet, “Procédés de chauffage par micro-ondes : approches expérimentales et numériques des interactions avec les produits alimentaires,” *Sci. Technol. des Aliment.*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.21494/iste.op.2021.0676.
- [51] B. BOCQUET, “Radiothermométrie micro-ondes,” *Mes. Phys.*, 2002, doi: 10.51257/a-v2-r3030.
- [52] “<https://mycfia.com/fr/produit/micro-onde-industriel-agroalimentaireo>.”
- [53] K. A. Gaidhani, M. Harwalkar, D. Bhambere, and P. S. Nirgude, “LYOPHILIZATION / FREEZE DRYING-A REVIEW,” *Kunal al. World J. Pharm. Res. World J. Pharm. Res. SJIF Impact Factor 5*, vol. 4, no. 8, 2015.
- [54] J. P. Brower, “Validation of Lyophilization,” in *Handbook of Validation in Pharmaceutical Processes: Fourth Edition*, 2021. doi: 10.1201/9781003163138-34.
- [55] H. Kawasaki, T. Shimanouchi, and Y. Kimura, “Recent Development of Optimization of Lyophilization Process,” *J. Chem.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/9502856.
- [56] RAHMANI YOUCEF ; KHAMA REDA, “STUDY THE EFFECT OF SUN AND MICROWAVE DRYING ON QUALITY OF CAMEL MEAT (*Camelus dromedarius*) SLICES,” vol. 12, no. 1, pp. 98–107, 2022.
- [57] S. Mounir, T. Allaf, A. S. Mujumdar, and K. Allaf, “Swell Drying: Coupling Instant Controlled Pressure Drop DIC to Standard Convection Drying Processes to Intensify Transfer Phenomena and Improve Quality-An Overview,” *Dry. Technol.*, vol. 30, no. 14, 2012, doi: 10.1080/07373937.2012.693145.
- [58] R. Rane, T. Marar, S. K. Sonawane, and A. Dabade, “A review on Instant Controlled Pressure Drop Technology (DIC) associated with Drying technology and effect on quality characteristics,” *Food Chemistry Advances*, vol. 1, 2022. doi: 10.1016/j.focha.2022.100114.
- [59] T. Allaf, V. Tomao, K. Ruiz, K. Bachari, M. ElMaataoui, and F. Chemat, “Deodorization by instant controlled pressure drop autovaporization of rosemary leaves

- prior to solvent extraction of antioxidants,” *LWT*, vol. 51, no. 1, 2013, doi: 10.1016/j.lwt.2012.11.007.
- [60] T. H. Nguyen, “Étude Expérimentale Et Modélisation Du Procédé De Séchage Des Végétaux,” *These, Univ. Bretagne-Sud*, 2015.
- [61] S. S. Tuly, M. U. H. Joardder, Z. G. Welsh, and A. Karim, “Mathematical Modelling of Heat and Mass Transfer during Jackfruit Drying Considering Shrinkage,” *Energies*, vol. 16, no. 11, 2023, doi: 10.3390/en16114461.
- [62] C. P. K. Helambage, W. Senadeera, R. J. Brown, and Y. T. Gu, “A meshfree model for plant tissue deformations during drying,” *ANZIAM J.*, vol. 54, 2014, doi: 10.21914/anziamj.v55i0.7857.
- [63] B. Bhandari, “Handbook of Industrial Drying, Fourth Edition Edited by A. S. Mujumdar,” *Dry. Technol.*, vol. 33, no. 1, 2015, doi: 10.1080/07373937.2014.983704.
- [64] S. Mizrahi, “Accelerated shelf life testing of foods,” in *Food and Beverage Stability and Shelf Life*, 2011. doi: 10.1533/9780857092540.2.482.
- [65] D. Kilcast and P. Subramaniam, *Food and beverage stability and shelf life*. 2011. doi: 10.1533/9780857092540.
- [66] Y. H. Roos, “Glass transition temperature and its relevance in food processing,” *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, 2010, doi: 10.1146/annurev.food.102308.124139.
- [67] T. Peter, C. Marcolli, P. Spichtinger, T. Corti, M. B. Baker, and T. Koop, “Atmosphere. When dry air is too humid,” *Science*, vol. 314, no. 5804, 2006, doi: 10.1126/science.1135199.
- [68] T. Peter, C. Marcolli, P. Spichtinger, T. Corti, M. B. Baker, and T. Koop, “When dry air is too humid,” *Science*, vol. 314, no. 5804. 2006. doi: 10.1126/science.1135199.
- [69] J. W. Dai *et al.*, “Process-Based Drying Temperature and Humidity Integration Control Enhances Drying Kinetics of Apricot Halves,” *Dry. Technol.*, vol. 33, no. 3, 2015, doi: 10.1080/07373937.2014.954667.
- [70] J. VASSEUR, “Séchage industriel : principes et calcul d’appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 2),” *Opérations unitaires. Génie la réaction Chim.*, 2010, doi: 10.51257/a-v1-j2452.
- [71] J. VASSEUR, “Séchage : principes et calcul d’appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 1),” *Opérations unitaires. Génie la réaction Chim.*, 2009, doi: 10.51257/a-v1-j2451.
- [72] M. J. Royen, A. W. Noori, and J. Haydary, “Experimental study and mathematical

- modeling of convective thin-layer drying of apple slices,” *Processes*, vol. 8, no. 12, 2020, doi: 10.3390/pr8121562.
- [73] H. D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle, *Food chemistry*. 2009. doi: 10.1007/978-3-540-69934-7.
- [74] J. A. Laub, “Assessing the servant organization; Development of the Organizational Leadership Assessment (OLA) model. Dissertation Abstracts International,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 1, no. 2, 1999.
- [75] M. Dadan *et al.*, “The evaluation of drying kinetics and water activity of radish sprouts processed by different drying methods,” *Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol.*, no. 598, 2020, doi: 10.22630/zppnr.2019.598.14.
- [76] M. Adams, M. O. Moss, and P. McClure, “Methods for the Microbiological Examination of Foods,” in *Food Microbiology*, 2023. doi: 10.1039/bk9781849739603-00413.
- [77] D. Donnarumma, G. Tomaiuolo, S. Caserta, Y. Gizaw, and S. Guido, “Water evaporation from porous media by Dynamic Vapor Sorption,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 480, 2015, doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.11.011.
- [78] J. S. Zeymer, P. C. Corrêa, G. H. H. Oliveira, F. M. Baptestini, and R. C. Campos, “Mathematical modeling and hysteresis of sorption isotherms for paddy rice grains,” *Eng. Agric.*, vol. 39, no. 4, 2019, doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p524-532/2019.
- [79] M. Włodarczyk-Stasiak and A. Mazurek, “The use of starch drying kinetics curves for experimental determination of its specific surface area,” *Molecules*, vol. 26, no. 18, 2021, doi: 10.3390/molecules26185508.
- [80] F. Jian, D. Divagar, J. Mhaiki, D. S. Jayas, P. G. Fields, and N. D. G. White, “Static and dynamic methods to determine adsorption isotherms of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) with different percentages of dockage,” *Food Sci. Nutr.*, vol. 6, no. 6, 2018, doi: 10.1002/fsn3.744.
- [81] F. Jian and D. S. Jayas, “Characterization of isotherms and thin-layer drying of red kidney beans, part i: Choosing appropriate empirical and semitheoretical models,” *Dry. Technol.*, vol. 36, no. 14, 2018, doi: 10.1080/07373937.2017.1422515.
- [82] A. Khouya and A. Draoui, “Contribution aux études expérimentale et numérique des isothermes de sorption de trois espèces du bois,” in *Journées Internationales de Thermique*, 2009.
- [83] A. Loumani *et al.*, “Experimental Measurement of Isothermal Sorption,

- Microbiological and Physicochemical Analysis of Dried Tomatoes Cultivated in Adrar, Algeria,” *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*, vol. 15, no. 5, 2020, doi: 10.18280/ijdne.150514.
- [84] I. Kiryakov, M. Georgieva, and D. Atanasov, “Equilibrium moisture content of pumpkin seeds,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/595/1/012052.
- [85] D. Engin, “Effect of drying temperature on color and desorption characteristics of oyster mushroom,” *Food Sci. Technol.*, vol. 40, no. 1, 2020, doi: 10.1590/fst.37118.
- [86] G. Giacobazzi *et al.*, “Water vapor sorption and diffusivity in bio-based poly(Ethylene vanillate)—pev,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 4, 2021, doi: 10.3390/polym13040524.
- [87] L. Hssaini *et al.*, “Hygroscopic proprieties of fig (*Ficus carica* L.): Mathematical modelling of moisture sorption isotherms and isosteric heat kinetics,” *South African J. Bot.*, vol. 145, 2022, doi: 10.1016/j.sajb.2020.11.026.
- [88] M. Habibiasr, M. N. Mokhtar, M. N. Ibrahim, K. F. M. Yunos, and N. A. Ibrahim, “Study on the effects of physical properties of tenera palm kernel during drying and its moisture sorption isotherms,” *Processes*, vol. 8, no. 12, 2020, doi: 10.3390/pr8121658.
- [89] A. M. Castro, E. Y. Mayorga, and F. L. Moreno, “Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review,” *J. Food Eng.*, vol. 223, pp. 152–167, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2017.12.012.
- [90] R. R. Mphahlele, P. B. Pathare, and U. L. Opara, “Drying kinetics of pomegranate fruit peel (cv. Wonderful),” *Sci. African*, vol. 5, 2019, doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00145.
- [91] W. Hao, H. Zhang, S. Liu, B. Mi, and Y. Lai, “Mathematical modeling and performance analysis of direct expansion heat pump assisted solar drying system,” *Renew. Energy*, vol. 165, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.11.008.
- [92] D. I. Onwude, N. Hashim, R. B. Janius, N. M. Nawi, and K. Abdan, “Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables : A Review,” no. January 2019, 2016, doi: 10.1111/1541-4337.12196.
- [93] Y. G. Keneni, A. K. (Trine. Hvoslef-Eide, and J. M. Marchetti, “Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* L. seeds,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 132, no. July 2018, pp. 12–20, 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.012.
- [94] N. Nasfi and M. Bagane, “Determination and Modeling of Drying Kenitics of *Capparis Spinosa* From South of Tunisia,” *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 19, no. 3, 2017.
- [95] G. H. Souza Silva, A. P. P. Bressani, and M. da Silva Junqueira, “Page optimization of

- the foam-mat drying process to soluble coffee production,” *Brazilian J. Food Technol.*, vol. 23, 2020, doi: 10.1590/1981-6723.14519.
- [96] L. E. S. Emes, J. Tunisiennes, S. U. R. Les, H. Oueslati, S. Ben, and A. Mami, “Modélisation et Commande du Séchage Convectif des Couches Minces de Pommes,” no. December, 2016.
- [97] P. Pornpraipech, M. Khusakul, R. Singklin, P. Sarabhorn, and C. Areeprasert, “Effect of temperature and shape on drying performance of cassava chips,” *Agric. Nat. Resour.*, vol. 51, no. 5, 2017, doi: 10.1016/j.anres.2017.12.004.
- [98] R. Khama, F. Aissani-Benissad, R. Alkama, L. Fraikin, and A. Léonard, “Modeling of drying thin layer of tomato slices using solar and convective driers,” *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, vol. 24, no. 1, pp. 287–298, 2022.
- [99] T. Hadibi, A. Boubekri, D. Mennouche, A. Benhamza, and N. Abdenouri, “3E analysis and mathematical modelling of garlic drying process in a hybrid solar-electric dryer,” *Renew. Energy*, vol. 170, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.02.029.
- [100] C. O. Perera, “Selected quality attributes of dried foods,” *Dry. Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 717–730, 2005, doi: 10.1081/DRT-200054180.
- [101] C. Contreras, M. E. Martín-Esparza, and N. Martínez-Navarrete, “Influence of drying method on the rehydration properties of apricot and apple,” *J. Food Process Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 178–190, 2012, doi: 10.1111/j.1745-4530.2010.00579.x.
- [102] J. W. M. and all Stephen W.Kisembe , Patrick S.Muliro, “An Evaluation of Nutritional Quality of Traditionally Processed Camel Meat (Nyirinyiri): Value Chain Assessment and Recommendations,” *Int. J. Nutr. Food Sci.*, vol. 6, no. 4, pp. 172–174, 2017, doi: 10.11648/j.ijnfs.20170604.14.
- [103] E. Horuz, H. Bozkurt, H. Karataş, and M. Maskan, “Comparison of quality , bioactive compounds , textural and sensorial properties of hybrid and convection-dried apricots,” *J. Food Meas. Charact.*, vol. 0, no. 0, p. 0, 2017, doi: 10.1007/s11694-017-9635-x.
- [104] V. A. S. Vidal, C. S. Paglarini, J. M. Lorenzo, P. E. S. Munekata, and M. A. R. Pollonio, “Salted Meat Products: Nutritional Characteristics, Processing and Strategies for Sodium Reduction,” *Food Reviews International*. 2021. doi: 10.1080/87559129.2021.1949342.
- [105] E. G. Dudley, “Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers, 5th Edition,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 28, no. 1, 2022, doi: 10.3201/eid2801.211862.
- [106] F. Baghi, A. Gharsallaoui, E. Dumas, and S. Ghnimi, “Advancements in Biodegradable

- Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation,” *Foods*, vol. 11, no. 5. 2022. doi: 10.3390/foods11050760.
- [107] R. P. Singh and D. R. Heldman, *Introduction to food engineering: Fifth edition*. 2014. doi: 10.1016/C2011-0-06101-X.
- [108] Ministério da Saúde, “Surto de Doenças Transmitidas por Alimentos no Brasil,” *Secr. Vigilância em Saúde*, 2019.
- [109] G. S. Mittal, “Food Processing—Principles and Applications,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 17, no. 7, 2006, doi: 10.1016/j.tifs.2006.01.002.
- [110] J. C. Laguerre and M. M. Hamoud-Agha, “Microwave food processing: Principles and applications,” in *Thermal Food Engineering Operations*, 2021. doi: 10.1002/9781119776437.ch11.
- [111] S. Bourdoux, D. Li, A. Rajkovic, F. Devlieghere, and M. Uyttendaele, “Performance of Drying Technologies to Ensure Microbial Safety of Dried Fruits and Vegetables,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 15, no. 6, 2016, doi: 10.1111/1541-4337.12224.
- [112] A. Bernstein and D. Nanongkai, “DISTRIBUTED EXACT WEIGHTED ALL-PAIRS SHORTEST PATHS IN RANDOMIZED NEAR-LINEAR TIME,” *SIAM J. Comput.*, vol. 52, no. 2, 2023, doi: 10.1137/20M1312782.
- [113] H. Jung, S. Cho, C. Pan, and W. B. Yoon, “Rheological and microstructural properties of noodle dough with purple-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) flours: grinding kinetics and effects of particle size,” *CyTA - J. Food*, vol. 16, no. 1, 2018, doi: 10.1080/19476337.2017.1366950.
- [114] *Modern Food Microbiology*. 2005. doi: 10.1007/b100840.
- [115] *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. 2015. doi: 10.2105/mbef.0222.
- [116] A. O. Wagner, C. Malin, B. A. Knapp, and P. Illmer, “Removal of free extracellular DNA from environmental samples by ethidium monoazide and propidium monoazide,” *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 74, no. 8, 2008, doi: 10.1128/AEM.02288-07.
- [117] V. Jasson, L. Jacxsens, P. Luning, A. Rajkovic, and M. Uyttendaele, “Alternative microbial methods: An overview and selection criteria,” *Food Microbiology*, vol. 27, no. 6. 2010. doi: 10.1016/j.fm.2010.04.008.
- [118] A. S. Szczesniak, “Texture is a sensory property,” *Food Qual. Prefer.*, vol. 13, no. 4, 2002, doi: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.
- [119] A. V. Cardello, “Consumer concerns and expectations about novel food processing technologies: Effects on product liking,” *Appetite*, vol. 40, no. 3. 2003. doi:

- 10.1016/S0195-6663(03)00008-4.
- [120] H. T. Lawless and H. Heymann, *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices, 2nd Ed.* 2010.
- [121] M. Auvray and C. Spence, “The multisensory perception of flavor,” *Consciousness and Cognition*, vol. 17, no. 3. 2008. doi: 10.1016/j.concog.2007.06.005.
- [122] C. Spence, “What is the relationship between the presence of volatile organic compounds in food and drink products and multisensory flavour perception?,” *Foods*, vol. 10, no. 7. 2021. doi: 10.3390/foods10071570.
- [123] C. Spence, “Multisensory Flavor Perception,” *Cell*, vol. 161, no. 1. 2015. doi: 10.1016/j.cell.2015.03.007.
- [124] E. Costell, A. Tárrega, and S. Bayarri, “Food acceptance: The role of consumer perception and attitudes,” *Chemosensory Perception*, vol. 3, no. 1. 2010. doi: 10.1007/s12078-009-9057-1.
- [125] G. A. Ibrahim and I. A. Nour, “Physical and chemical properties of camel meat burgers,” *J. Camelid Sci.*, vol. 3, no. May, 2010.
- [126] N. Sahraoui, N. Moula, S. Boudjenah, and J.-L. Hornick, “Teneur en minéraux principaux de la viande cameline en Algérie,” *Rev. d'élevage médecine vétérinaire des pays Trop.*, vol. 71, no. 4, p. 163, 2019, doi: 10.19182/remvt.31672.
- [127] “Site FAO, www.fao.org/faostat,” no. consulter de 2 mars au 20 mars 2022, 2022, [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- [128] R. Das and C. Bhattacharjee, “Grapes,” in *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, Elsevier, 2020, pp. 695–708. doi: 10.1016/B978-0-12-812780-3.00043-X.
- [129] R. Khiari, H. Zemni, and D. Mihoubi, “Raisin processing: physicochemical, nutritional and microbiological quality characteristics as affected by drying process,” *Food Rev. Int.*, vol. 35, no. 3, pp. 246–298, 2019, doi: 10.1080/87559129.2018.1517264.
- [130] Z. Xie, W. Peng, Q. Ma, Z. Wang, and P. Wu, “Research Progress on Nutrient Composition of Green Pepper,” vol. 02064, pp. 1–6, 2021.
- [131] Y. Wu *et al.*, “Study on the volatile composition of table grapes of three aroma types,” *LWT*, vol. 115, p. 108450, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108450.
- [132] R. Khama, F. Aissani, and R. Alkama, “Design and performance testing of an industrial-scale indirect solar dryer,” *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 9, pp. 1263–1281, 2016.
- [133] Q. Des, T. D. E. Viande, and C. Camelus, “STUDY THE EFFECT OF SUN AND

- MICROWAVE DRYING ON QUALITY OF CAMEL MEAT (*Camelus dromedarius*) SLICES,” vol. 11, pp. 98–107, 2022.
- [134] T. F. Barreira, G. X. de PAULA FILHO, S. E. Priore, R. H. S. Santos, and H. M. Pinheiro-Sant’ana, “Nutrient content in ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* mill.): Unconventional vegetable of the brazilian atlantic forest,” *Food Sci. Technol.*, vol. 41, 2021, doi: 10.1590/fst.07920.
- [135] souad zighmi, Y. RAHMANI, and M. B. GOUDJIL, “CLADOPHORA SP ALGA FOR THE PRODUCTION OF BIOETHANOL: THE PROMISING BIOFUEL,” *PONTE Int. Sci. Res. J.*, vol. 77, no. 8, 2021, doi: 10.21506/j.ponte.2021.8.1.
- [136] C.-N. Zhao *et al.*, “Fruits for Prevention and Treatment of Cardiovascular Diseases,” *Nutrients*, vol. 9, no. 6, p. 598, Jun. 2017, doi: 10.3390/nu9060598.
- [137] K. S. JAYARAMAN, D. K. D. GUPTA, and N. B. RAO, “Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower,” *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 25, no. 1, pp. 47–60, 1990, doi: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01058.x.
- [138] Y. Rahmani and R. Khama, “Effect of thickness and pretreatment on the physicochemical quality of sun-dried camelina meat,” *IEEE*, 2021, doi: 10.1109/SIENR50924.2021.9631887.
- [139] j. ruste H paqueton, *Microscopie electronique a balayage , principe et equipement*. 2006. doi: P685V2.
- [140] L. Reimer, “Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis, Second Edition,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 12, pp. 1826–1826, Dec. 2000, doi: 10.1088/0957-0233/11/12/703.
- [141] İ. Mazlum and N. M. Nizamlioğlu, “The effects of different drying methods on some physical and chemical properties of ‘Eksikara’ grape cultivar grown in Karaman region,” *J. Berry Res.*, vol. 11, no. 3, 2021, doi: 10.3233/JBR-210703.
- [142] M. Noshad and P. Ghasemi, “Influence of freezing pretreatments on kinetics of convective air-drying and quality of grapes,” *Food Biosci.*, vol. 38, p. 100763, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.FBIO.2020.100763.
- [143] İ. Doymaz, “Effect of pre-treatment and air temperature on drying kinetics and quality of jerusalem artichoke,” *Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.*, vol. 19, no. 4, pp. 395–409, 2018.
- [144] K. Sridhar and A. L. Charles, “In vitro antioxidant activity of Kyoho grape extracts in DPPH [rad] and ABTS [rad] assays: Estimation methods for EC 50 using advanced

- statistical programs,” *Food Chem.*, vol. 275, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.09.040.
- [145] R. Langová, M. Jůzl, O. Cwиковá, and I. Kos, “Effect of different method of drying of five varieties grapes (*Vitis vinifera* L.) on the bunch stem on physicochemical, microbiological, and sensory quality,” *Foods*, vol. 9, no. 9, 2020, doi: 10.3390/foods9091183.
- [146] H. Çoklar and M. Akbulut, “Effect of Sun, Oven and Freeze-Drying on Anthocyanins, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Black Grape (Ekşikara) (*Vitis vinifera* L.),” *South African J. Enol. Vitic.*, vol. 38, no. 2, pp. 264–272, 2017, doi: 10.21548/38-2-2127.
- [147] L. Taşeri, M. Aktaş, S. Şevik, M. Gülcü, G. Uysal Seçkin, and B. Aktekeli, “Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer,” *Food Chem.*, vol. 260, pp. 152–159, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.03.122.
- [148] G. Adiletta, P. Russo, W. Senadeera, and M. Di Matteo, “Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment,” *J. Food Eng.*, vol. 172, pp. 9–18, 2016, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.06.031.
- [149] G. Singh, N. Kaushal, O. Tokusoglu, and A. Singh, “Optimization of process parameters for drying of red Grapes (*Vitis vinifera*) to raisin: A design expert laden approach,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 46, no. 5, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1111/jfpp.15248.
- [150] C. Olivati *et al.*, “Effect of the pre-treatment and the drying process on the phenolic composition of raisins produced with a seedless Brazilian grape cultivar,” *Food Res. Int.*, vol. 116, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2018.08.012.

ANNEXES

ANNEXE 01
MATÉRIELS UTILISÉS



Figure .1. Microondes IRIS type IR-MOOEL

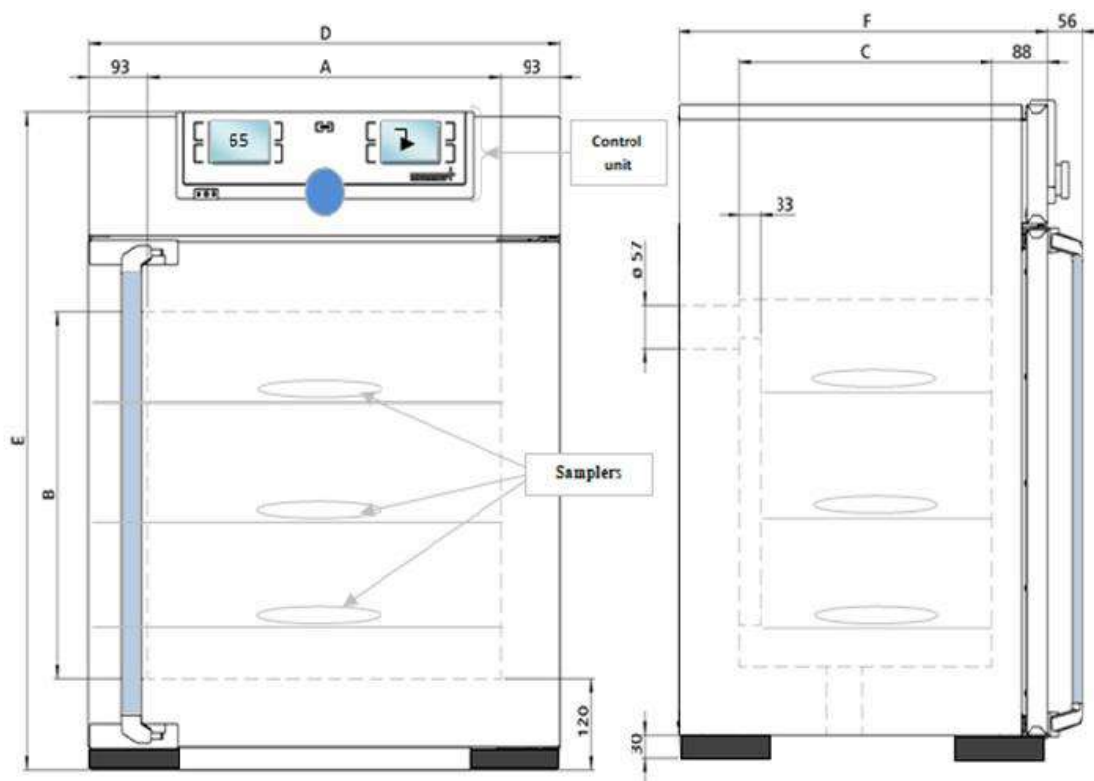


Figure . 2. Etuve de laboratoire Memmert UN55

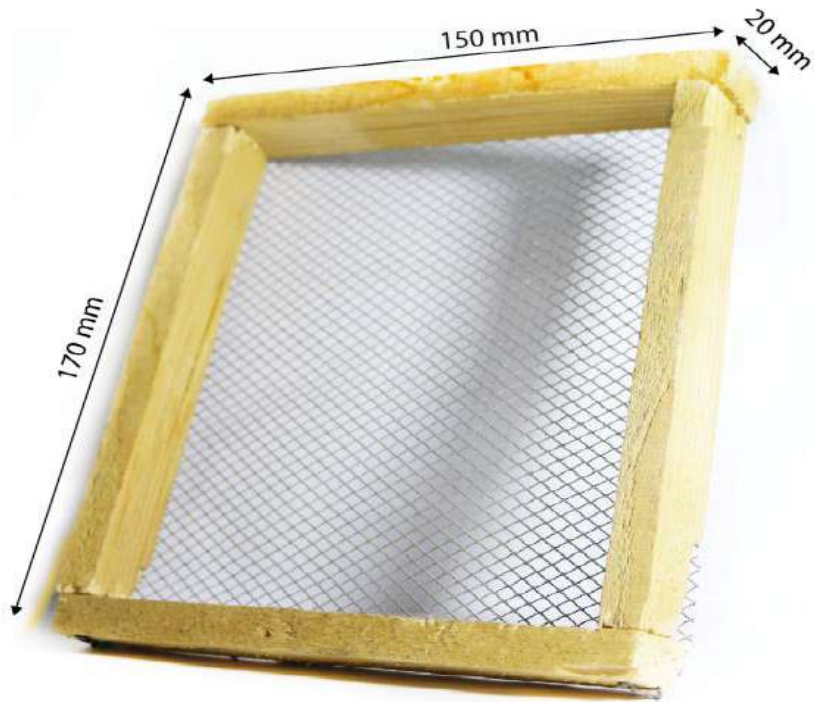


Figure . 3. Claie de séchage



Figure .4. Photographie du séchoir solaire indirect [29]



Figure.5. Thermo hydromètre portatif

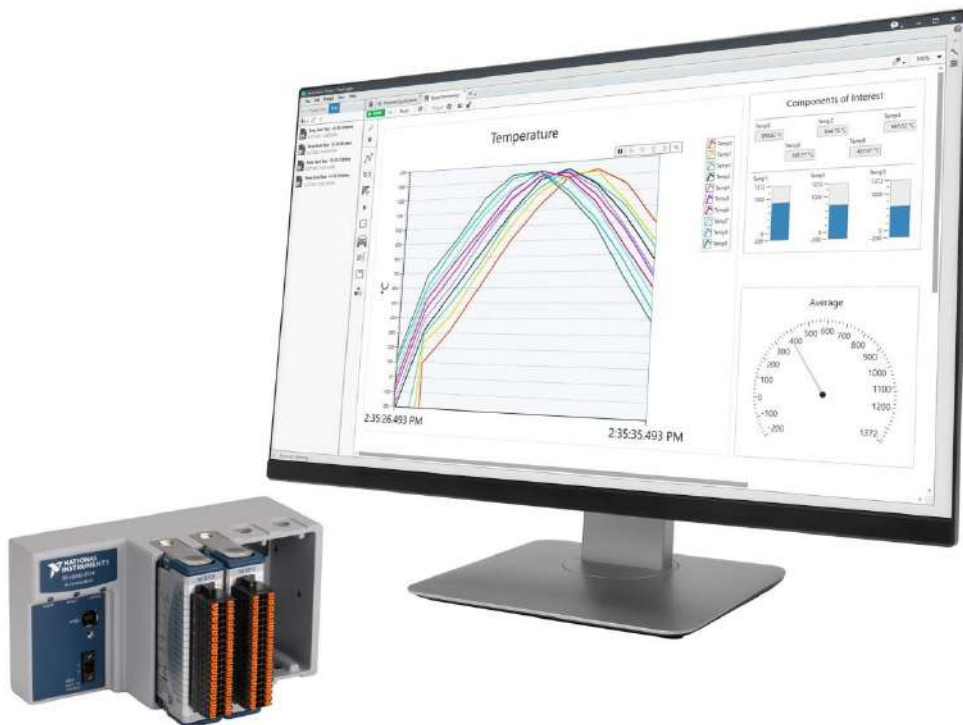


Figure .6. Acquisition des données NI 9213



Figure .7. Dosage des protéines de la viande cameline



Figure .8. Four à moufle utilisé pour incinération des aliments

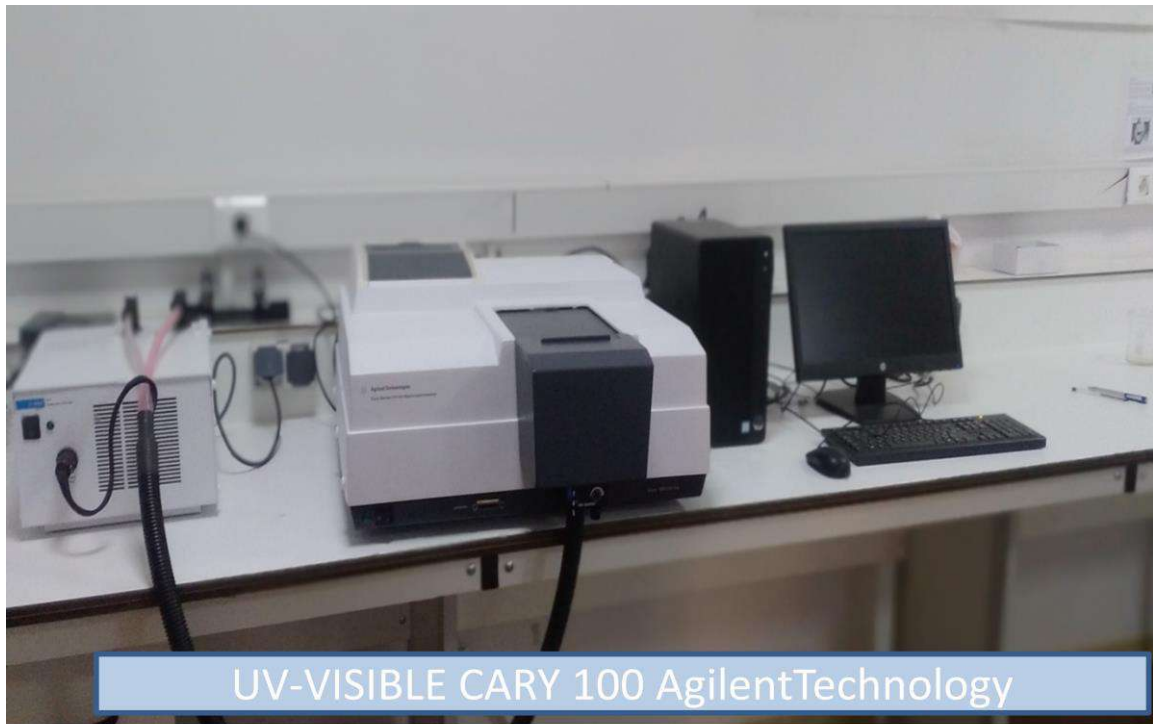


Figure .9. Spectrophotomètre UV-VIS agilent cary100

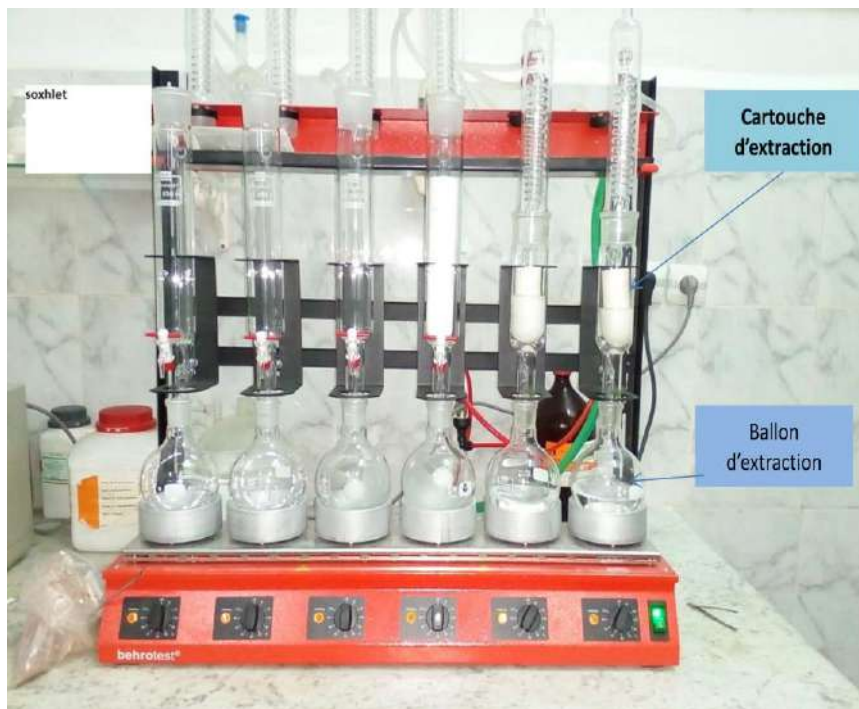


Figure.10. Appareil Soxhlet pour extraction des lipides

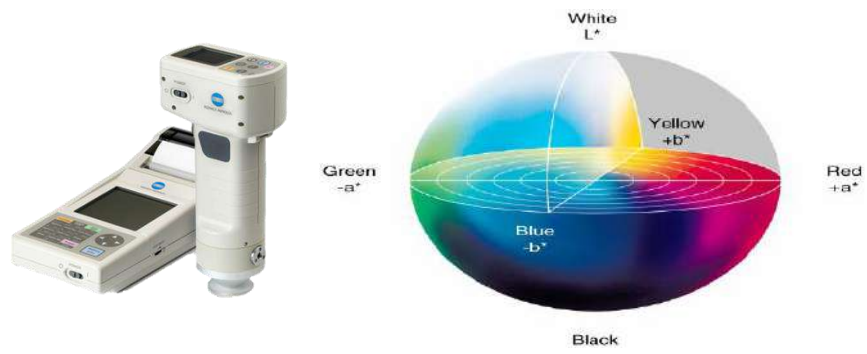


Figure .11. Chroma-meter (CR-13- KONICA MINILTA)



Figure .12. Pied à coulisse numérique Powerfix

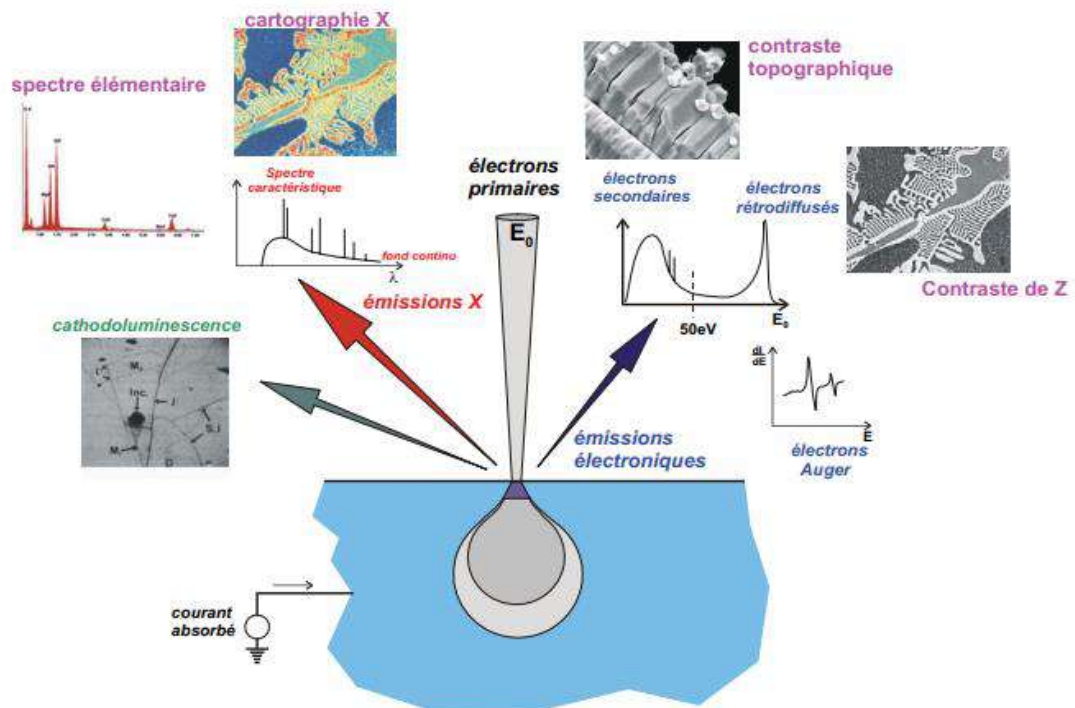


Figure IV Principales émissions électroniques et électromagnétiques dues aux interactions d'un faisceau d'électrons avec un échantillon.

Figure .13. Principales émissions électronique et électromagnétique MEB



Figure .14. Microscope à balayage électronique Zeiss EV015

ANNEXE 02
MÉTHODE D'ANALYSE BIOCHIMIQUE

DETERMINATION DE LA TENEUR EN PROTEINES BRUTES - METHODE DE KJELDAHL

Référence : IS 14825 : 2000, ISO 5983 : 1997

Principe Digestion de la matière organique avec de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, rendant le produit de réaction alcalin, puis distillation et titrage de l'ammoniac libéré, calcul de la teneur en azote, multiplication du résultat par le facteur conventionnel 6.25 pour obtenir la teneur en protéines brutes.

A-Réactifs et matériaux

Sulfate de potassium

Oxyde de cuivre (II) (CuO)

Sulfate de cuivre (II) pentahydraté (CuSO₄·5 H₂O)

Acide sulfurique - 18 mol/L, densité = 1.84 g/mL

Cire paraffine

Saccharose

Acétanilide, point de fusion 114 °C, teneur en azote 103.6 g/kg.

Tryptophane, point de fusion 282 °C, teneur en azote 137.2 g/kg. Avant utilisation, sécher le tryptophane.

Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) = 33% (m/m).

Acide borique = 40 g/l.

Hydroxyde de sodium – 0.1 mol/L ou (NaOH) = 0.25 mol/L.

Acide sulfurique – 0.05 mol/L ou (H₂SO₄) = 0.125 mol/L.

Indicateur mixte, point neutre à pH 4.4 à 5.8.

Dissoudre 2 g de rouge de méthyle et 1 g de bleu de méthylène dans 1000 mL d'éthanol (w(C₂H₅OH) = 95% (v/v)).

B- Appareillage

Balance analytique

Appareil de digestion

Distillation et titrage

Mode opératoire

Procédure Peser, au plus proche de 1 mg, une masse de l'échantillon de test choisie en fonction de la teneur en azote attendue de manière à ce que la portion de test contienne entre 0.005 g et 0.2 g d'azote et, de préférence, plus de 0.02 g.

Remarque : La masse de la portion de test d'échantillons homogènes séchés à l'air doit être comprise entre 0.5 g et 2.0 g. La masse de la portion de test d'échantillons humides et/ou hétérogènes doit être comprise entre 2.5 g et 5.0 g.

Digestion de la matière organique Transférer quantitativement la portion de test dans un ballon de digestion Kjeldahl de taille appropriée (généralement 800 mL). Ajouter 15 g de sulfate de potassium. Ajouter une quantité appropriée de catalyseur comme suit : 0.3 g d'oxyde de cuivre (II) ou 0.9 g à 1.2 g de sulfate de cuivre (II) pentahydraté.

Ajoutez 25 mL d'acide sulfurique (18 mol/L) pour le premier gramme de matière sèche de l'échantillon de test, puis 6 à 12 mL pour chaque gramme supplémentaire de matière sèche. Mélangez soigneusement pour assurer une imprégnation complète de l'échantillon de test.

Chauffez modérément le flacon au début pour éviter que la mousse ne monte dans le col du flacon ou ne s'échappe du flacon.

Chauffez modérément, en agitant de temps en temps, jusqu'à ce que la masse se carbonise et que la mousse disparaisse. Ensuite, chauffez plus intensément jusqu'à ce que le liquide bout régulièrement.

Évitez de surchauffer les parois du flacon qui ne sont pas en contact avec le liquide.

Une fois que le liquide est devenu clair avec une couleur vert-bleu clair, chauffez pendant 2 heures.

Laissez refroidir. Si la digestion commence à se solidifier, ajoutez un peu d'eau et mélangez en agitant.

Distillation de l'ammoniac

Ajoutez soigneusement de 250 à 350 mL d'eau pour dissoudre complètement les sulfates. Si nécessaire, facilitez la dissolution en chauffant le flacon dans de l'eau tiède. Mélangez en agitant et laissez refroidir. Ajoutez quelques agents d'ébullition.

Prélevez à l'aide d'une pipette 25 mL d'acide sulfurique (0.05 mol/L) dans le flacon de digestion, en choisissant la concentration en fonction de la teneur en azote attendue de l'échantillon de test. Ajoutez 100 à 150 ml d'eau. Ajoutez quelques gouttes de l'indicateur mixte. Procédez comme suit :

Plongez l'extrémité du condenseur dans le liquide contenu dans le flacon de collecte, jusqu'à une profondeur d'au moins 1 cm.

Versez lentement 100 mL de solution d'hydroxyde de sodium (33%) dans le flacon de digestion le long de la paroi Connectez immédiatement le flacon à l'appareil de distillation.

Chauffez le flacon de manière à collecter environ 150 ml de distillat en 30 minutes.

À la fin de ce temps, vérifiez le pH du distillat à l'extrémité du condenseur à l'aide de papier tournesol. Si la réaction est alcaline, poursuivez la distillation.

Alternativement, transférez dans le flacon de collecte de 100 à 250 mL d'acide borique. Ajoutez quelques gouttes de l'indicateur mixte.

Titration

Si l'acide sulfurique est utilisé comme liquide de collecte, titrez l'excès d'acide sulfurique avec une solution d'hydroxyde de sodium 0.1 mol/L ou 0.25 mol/L selon le cas, dans le flacon de collecte, jusqu'à ce que le point d'équivalence soit indiqué par le pH-mètre ou jusqu'à ce que la couleur passe du violet au vert.

Si l'acide borique est utilisé comme liquide de collecte, titrez l'ammoniac avec de l'acide sulfurique 0.05 mol/L ou 0.125 mol/L selon le cas, jusqu'à ce que le point d'équivalence soit indiqué par le pH-mètre ou que la couleur passe du vert au violet.

Test blanc ;

Effectuez un test blanc en utilisant environ 1 g de saccharose à la place de la portion de test.

Calcul et expression des résultats :

Le distillat recueilli dans de l'acide sulfurique :

$$W(n) = \frac{(V_0 - V_1)}{m} C_1 \times M$$

Avec :

m ; contenu en azote, en grammes par kilogramme, de l'échantillon de test.

V₀ ; Volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium requis pour le test blanc.

V ; volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium requis pour la détermination.

C₁ ; concentration, en moles par litre, de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour les titrations.

M ; masse molaire, en grammes par mole, de l'azote (M = 14 g/mol).

C₂ ; concentration, en moles par litre, de l'acide sulfurique utilisé pour les titrations.

m ; masse, en grammes, de la portion de test.

Distillat collecté dans de l'acide borique :

$$W(n) = 2 * \frac{(V_3 - V_2)}{m} C_2 \times M$$

W = contenu en azote, en grammes par kilogramme, de l'échantillon de test.

V1 = volume, en millilitres, de l'acide sulfurique requis pour le test blanc.

V2 = volume, en millilitres, de l'acide sulfurique requis pour la détermination.

M = masse molaire, en grammes par mole, de l'azote (M = 14 g/mol). m = masse, en grammes, de la portion de test.

Calcul de la teneur en protéines brutes Calculez la teneur en protéines brutes de l'échantillon de test selon l'équation suivante : $W_p = 6.25 \times w_N$

Où : W_p est la teneur en protéines brutes, en grammes par kilogramme, de l'échantillon de test ; w_N est le contenu en azote, en grammes par kilogramme, de l'échantillon de test (soit w ou N_2).

DOSAGE DES POLYPHÉNOLS TOTAUX DANS LES RAISINS

Principe :

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué en utilisant la méthode colorimétrique à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu, qui permet de quantifier la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans les fruits. Le protocole utilisé est une modification de celui décrit par Singleton et Ross (1965). Dans cette méthode, 200 μ l de chaque extrait ont été ajoutés à des tubes à hémolyse en verre contenant un mélange de réactif Folin-Ciocalteu dilué 10 fois (1 mL) et de solution de carbonate de sodium à 7.5% (800 μ L). Les tubes ont été agités et conservés pendant 30 minutes avant de mesurer l'absorbance à 765 nm. Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires, en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations (de 0 à 1000 μ g/mL).

Réactifs et équipements :

Folincioaltea 10%

Carbonate de sodium 7.5%

Acide gallique

Spectrophotomètre UV-VIS

Matériels courants de laboratoire

Courbe d'étalonnage :

Préparation d'une solution mère de 1000 µL/mL d'acide gallique, puis procédez à la dilution selon le tableau suivant :

Tableau VII.5. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

N° tube	1	2	3	4	5	6
Volume extrait ou standards	0	200 µL	400 µL	600 µL	800 µL	1000 µL
Réactif folin 10%	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL
Carbonate de sodium 7.5%	800 µL	800 µL	800 µL	800 µL	800 µL	800 µL
Volume eau distillée (qsp 10 mL)	8.2 mL	8 mL	7.8 mL	7.6 mL	7.4 mL	7.2 mL
[C] µgGAE/mL	0	2	4	6	8	10

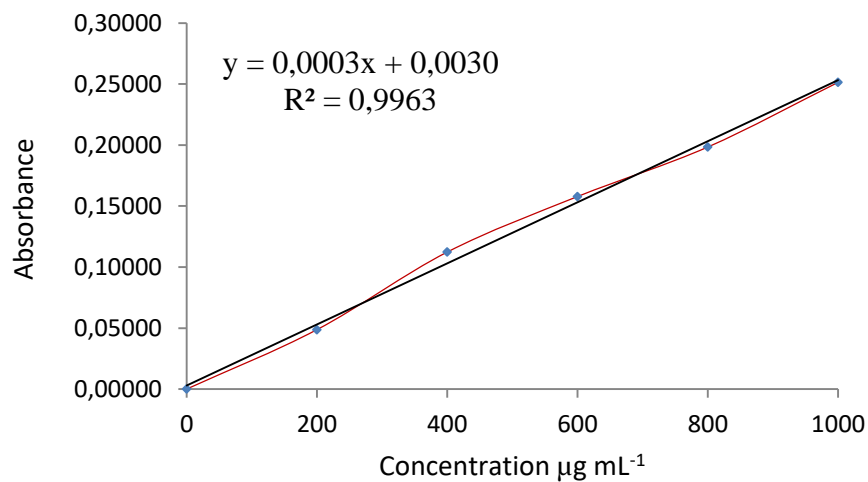


Figure .15. : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

