



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département : Technologie alimentaire

القسم: تكنولوجيا الغذائية

Spécialité : Elaboration et qualité des aliments

تخصص إعداد ونوعية الأطعمة

**Mémoire**

En vue l'obtention du diplôme de Master

**THEME**

**Optimisation des facteurs influençant le séchage des tranches de tomates par la méthodologie des surfaces de réponses**

Présenté par : BOUZIANI Ferial Roudhalia

Soutenu le : 15/09/2021

DJAID Chihab Eddine Ramzi

Devant le jury composé de :

**Président** : Mr. GUEZLANE. L

Professeur - E.N.S.A.

**Promoteur** : Mr. FERRADJI. A

Professeur - E.N.S.A.

**Examineurs** : Mme AIT CHAUCHE.F. S Maitre de conférences à l'université de BLIDA

Mr. BOUKHARIN Docteur en sciences alimentaires

**Promotion : 2016/2021**

REMERCIEMENT	
DEDICACES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION.....	1
<b>PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
I. Généralités sur la tomate.....	5
1.1. Historique :.....	5
1.2. Caractérisations botaniques .....	6
1.2.1 Taxonomie :.....	6
1.2.2 Description botanique :.....	6
1.2.2.1 Appareil végétatif.....	6
1.2.2.2 Appareil reproducteur.....	7
1.2.3 Maturation de la tomate :.....	9
1.2.4 Culture et condition de la récolte :.....	9
1.2.4.1 Les exigences de la culture :.....	9
1.2.4.2 Exigences en éléments fertilisant .....	10
1.3. Importance nutritionnelle de la tomate :.....	10
1.3.1 Les variétés existantes en Algérie :.....	11
1.4. La composition biochimique de la tomate :.....	11
1.5. Importance économique de la tomate :.....	12
1.5.1 Importance de la tomate en Algérie .....	12
1.6. Importance médicinale et thérapeutique :.....	13
1.7. Les antioxydants de la tomate :.....	14
1.7.1 Les caroténoïdes :.....	15
1.7.2 Lycopène :.....	15
1.7.2.1 Structure chimique .....	15
1.7.2.2 Différentes sources de lycopène.....	15
1.7.3 La vitamine C :.....	16
II. Séchage des tranches de tomates.....	19
2.1. Objectif de séchage.....	19
2.2. Mécanisme intervenant au cours du séchage.....	19
2.2.1 Transfert de chaleur .....	19
2.2.2 Transfert de matière .....	20

2.3.	Phénomènes se produisant au cours du séchage.....	20
2.3.1	Réaction biochimique .....	20
2.3.2	Phénomènes mécaniques.....	20
2.3.3	Transfert physique .....	21
2.4.	Transfert de chaleur par convection et par conduction.....	21
2.4.1	Transfert de chaleur par conduction(ou diffusion) :.....	22
2.4.2	Transfert de chaleur par convection.....	22
2.4.2.1	Cinétique de variation de température à cœur d'un produit en convection pure .....	23
2.4.3	Théorie d'élimination d'eau :.....	23
2.4.3.1	L'allure d'élimination d'eau :.....	23
2.4.4	Elimination d'eau par entrainement :.....	25
2.4.4.1	processus d'élimination d'eau par entraînement.....	25
2.5.	Avantages du séchage.....	27
2.6.	Facteurs influençant le séchage .....	27
2.6.1	Nature des produits .....	27
2.6.2	Température de séchage.....	28
2.6.3	La vitesse de l'air.....	28
2.7.	Modélisation du séchage a air chaud.....	28
III.	Les isothermes de sorption (d'adsorption).....	32
3.1.	Isotherme de la poudre de tomate.....	32
3.2.	L'état et l'activité de l'eau dans les aliments.....	33
3.2.1	L'état de l'eau dans les aliments .....	33
3.2.1.1	Répartition de l'eau dans les aliments.....	33
3.2.2	L'activité de l'eau dans un aliment :.....	34
3.2.3	Importance de l'activité de l'eau dans la conservation des denrées alimentaires ....	35
3.3.	L'hystérésis des isothermes .....	36
3.4.	Importance des isothermes .....	36
3.5.	Modélisation des isothermes de sorption.....	36
3.5.1.	L'équation de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB).....	37

## **DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIELS ET METHODES**

I.	Matériel végétal : .....	41
1.1.	Préparation du matériel végétal : .....	41
II.	Préparation de la poudre de tomate :.....	41

2.1.	Matériel technique :	41
2.2.	Protocole expérimental.....	42
2.3.	Analyse des données de séchage .....	44
2.3.1	Cinétique du séchage :	44
2.3.1.1	Le taux de séchage :	44
2.3.1.2	Calcul de la diffusivité effective de l'humidité.....	45
2.3.2	Modélisation des courbes de séchage .....	45
2.3.2.1	Adéquation des modèles de séchage .....	46
2.3.2.2	Modélisation des surfaces de réponses.....	47
2.4.	Le design expérimental.....	48
III.	Matériels et méthodes analytique :	49
3.1.	Détermination du taux de l'humidité :	49
3.2.	Dosage de l'acide ascorbique : (Annexe1).....	50
IV.	Isotherme de sorption .....	51
4.1.	Objectif.....	51
4.2.	Principe.....	51
4.3.	Description du dispositif expérimental de sorption et méthodologie .....	51
4.4.	Obtention des isothermes de sorption.....	52
4.4.1	Modèle de description des isothermes de sorption (d'adsorption) .....	53
<b>CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION</b>		
I.	Optimisation des facteurs influençant le séchage des tranches de tomates .....	55
1.1	Analyse statistique.....	55
1.2	Interprétation des résultats par la Méthodologie de Surface de Réponse.....	56
1.2.1	Analyse de la variance de l'effet de différentes variables indépendantes sur les réponses.....	57
1.2.2	Optimisation du séchage des tranches de tomate par la méthodologie des surfaces de réponse. ....	58
1.2.2.1	Modelisation statistique de la formulation de la poudre de tomate. ....	58
1.2.3	Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des différents paramètres sur les réponses (la perte en poids et la perte en vitamine C). ....	61
1.2.4	Diagrammes de surface de réponses. ....	63
1.2.4.1	Optimisation en graphique trois dimensions (3D) de la variable dépendante Perte en poids. ....	63
1.2.4.2	Optimisation en graphique trois dimensions (3D) de la variable dépendante perte en vitamine C. ....	67

II.	Isotherme de sorption de la poudre de tomate.....	72
2.1	Valeurs expérimentales des isothermes de sorption .....	72
2.2	Description de la courbe des isothermes de sorption.....	72
2.3	Modèle de l'isotherme de sorption .....	73
2.3.1	Valeurs thermodynamiques déterminées par l'équation de GAB.....	74
III.	Etude de la cinétique de séchage.....	75
3.1.	Influence de la température de l'air de séchage sur la cinétique de séchage de la tomate75	
3.2.	Diffusivité efficace de l'humidité .....	76
3.3.	Modélisation de la cinétique de séchage .....	78

## **CONCLUSION**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## **ANNEXES**

## Résumé

La méthodologie de surface de réponse a été utilisée dans le but d'optimiser le processus de séchage à air chaud des tranches de tomates en étudiant les effets des facteurs indépendants sur les variations de nos réponses. Le présent travail a également pour objectif de déterminer les isothermes de sorption de la poudre de tomate et d'étudier la cinétique de séchage au cours du temps. L'analyse statistique a montré que les conditions optimales pour un maximum de perte en poids étaient de  $T^{\circ}=40^{\circ}\text{C}$ ,  $V=0,36\text{m/s}$  et  $E=2\text{cm}$ . Alors que la plus grande perte en vitamine C a été marquée lorsque les proportions étaient de :  $T=60^{\circ}\text{C}$ ,  $V=0,36\text{m/s}$  et  $E=1\text{cm}$ . L'étude des isothermes de sorption a montré que la teneur en eau de la monocouche ( $X_m$ ) obtenue par le modèle de GAB et qui permet un stockage satisfaisant est de 18,44 %. Pour la cinétique de séchage le modèle « Logarithmique » et le modèle « Exponentiel à deux termes » sont les plus fiables pour présenter l'évolution de la teneur en eau réduite de la tomate en fonction du temps.

**Mots clés :** séchage, tomates, MSR, isothermes de sorption, Cinétique, perte en poids, teneurs en vitamine C, GAB.

## Abstract

The methodology of response surfaces was used for the purpose of optimizing the process of hot air drying of tomato slices by studying the effects of independent factors on variations in our responses. The present work also aims to determine the sorption isotherms of tomato powder and to study the drying kinetics over time. Statistical analysis showed that the optimal conditions for maximum weight loss were  $T^{\circ}=40^{\circ}\text{C}$ ,  $V=0.36\text{m/s}$  and  $E=2\text{cm}$ . While the greatest loss of vitamin C was marked when the proportions were:  $T=60^{\circ}\text{C}$ ,  $V=0.36\text{m/s}$  and  $E=1\text{cm}$ . The study of sorption isotherms has shown that the water content of the monolayer ( $X_m$ ) obtained by the GAB model and which allows satisfactory storage is 18.44%. For drying kinetics, the "Logarithmic" model and the "Two-term exponential" model are the most reliable for showing the evolution of the reduced water content of the tomato as a function of time.

**Keywords :** Drying, Tomatoes, MSR, Sorption isotherms, Kinetics, weight loss, vitamin C loss, GAB.

## ملخص

الهدف من استخدام منهجية سطح الاستجابة هو تحسين عملية تجفيف شرائح الطماطم عن طريق الهواء الساخن وذلك من خلال تحليل تأثيرات المتغيرات المستقلة على المتغيرات التابعة. يهدف العمل الحالي أيضاً إلى تحديد متساوي حرارة الامتزاز لمسحوق الطماطم، وأخيراً دراسة حركية أو منحنيات التجفيف بمرور الوقت. أظهر التحليل الإحصائي أن الظروف المثلى لأقصى فقدان للوزن هي: درجة حرارة الهواء =  $40^{\circ}\text{C}$ ؛ سرعة الهواء =  $0,36\text{m/s}$ ؛ درجة الحرارة في الثانية وسمك الشريحة =  $2\text{سم}$ ، بينما سجلت أعلى نسبة فقدان للفيتامين سي عندما كانت النسب كالتالي: درجة حرارة الهواء =  $60^{\circ}\text{C}$ ؛ سرعة الهواء =  $0,36\text{m/s}$ ؛ درجة الحرارة في الثانية وسمك الشريحة =  $1\text{سم}$ . من خلال دراسة متساوي الامتصاص تبين أن كمية الماء المتواجدة في الطبقة الأحادية المتحصل عليها من خلال نموذج GAB تساوي  $18,44\%$ . أما فيما يخص دراسة خواص حركية التجفيف، فإن النموذج اللوغاريتمي والنموذج الأسّي الثنائي المدى هما النموذجين الأكثر موثوقية لإظهار تطور المحتوى المائي المنخفض للطماطم بدلالة الوقت.

**الكلمات المفتاحية:** التجفيف، الطماطم، متساوي الامتصاص، حركية التجفيف، فقدان الوزن، فقدان فيتامين سي، GAB.