



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

École Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département : technologie alimentaire

القسم: تكنولوجيا الغذائية

Spécialité : technologie des industries agro-alimentaire

تخصص تكنولوجيا الغذائية

Mémoire De Fin D'étude

Pour L'obtention Du Diplôme De Master

THEME

**Optimisation de la déshydratation du lactosérum par la  
méthodologie de surfaces de réponse**

Présenté par : BENABI Fazia

Soutenu le : 07/07/2022

BOUZETINE Imane

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 CHAOUCHE.F. S Maitre de conférences à l'université de BLIDA

Mr. BOUKHARI.N

Maitre de conférences à l'université de BLIDA

Promotion : 2017/2022

# Table des matières

## Liste des tableaux

## Liste des figures

## Liste des abréviations

Introduction .....	1
--------------------	---

## Partie I : Etude Bibliographique

### Chapitre I : Généralité sur le Caroubier

1. Le caroubier .....	3
1.1 Définition .....	3
2. Caractéristiques botaniques du caroubier.....	3
2.1 Description morphologique de l'arbre de caroube.....	3
2.1.1 Feuilles.....	3
2.1.2 Fleur.....	4
2.1.3 Fruit .....	4
2.1.3.1 Pulpe.....	5
2.1.3.1.1 Sucres.....	5
2.1.3.1.2 Polyphénols.....	6
2.1.3.1.3 Fibres.....	6
2.1.3.1.4 Protéines.....	7
2.1.3.1.5Lipides.....	7
2.1.3.1.6Minéraux.....	8
2.1.3.2Graine.....	8
2.1.3.2.1Cuticule.....	9
2.1.3.2.2Endosperme.....	9
2.1.3.2.3Germe.....	9
2.1.3.2.4 Gomme de caroube .....	9
2.1.3.2.4.1 Comportementrhéologique.....	10
2.1.3.2.5 Intérêt de l gomme en industrie.....	11
3. Utilisation de la gomme comme stabilisant de la mousse.....	11
4. Généralités sur la production de la mousse .....	11
4.1 Définition de la mousse .....	11
4.2 Production de mousse pour différents produits.....	12

### Chapitre II : Généralités sur lactosérum

1. Lactosérum : .....	13
1.1 Définition : .....	13
1.2 Type de lactosérum.....	13
1.3 Composition : .....	14
1.3.1 Composition en protéines : .....	15

1.3.2	Lactose : .....	15
1.3.3	Minéraux.....	16
1.3.4	Vitamines : .....	16
1.3.5	Matière grasse.....	17
2.	Pouvoir polluant du lactosérum .....	17
3.	Valorisation du lactosérum .....	17
4.	Effets des ultrasons sur les propriétés fonctionnelles moussantes de lactosérum .....	18
5.	Séchage de lactosérum .....	19
5.1	Séchage par atomisation.....	19
5.2	Séchage par mousse.....	19
5.2.1	Facteurs influençant la formation et la stabilité de la mousse .....	19

## **Partie II : Etude expérimentale**

### **Chapitre III : Matériels et méthodes**

1.	Matériels biologiques.....	21
1.1	Echantillonnage .....	21
1.1.1	Lactosérum.....	21
1.1.2	Graines de caroube .....	21
1.2	Procédé d'extraction de la gomme à partir des graines de caroube .....	21
1.3	Procédé de transformation du lactosérum liquide en mousse .....	22
2.	Procédé de séchage de la mousse de lactosérum .....	22
2.1	Optimisation de l'effet de la température de la vitesse de l'air et du temps sur la perte en eau de la mousse au cours de séchage.....	23
2.1.1	Détermination de taux d'humidité.....	23
2.2	Modélisation de la cinétique de séchage.....	24
2.3	Adéquation des modèles de séchage .....	24
2.4	Modélisation des surfaces de réponse.....	25
2.5	Plan expérimental.....	25
3.	Matériels et méthodes analytique.....	27
3.1	Détermination de la densité de la mousse .....	27
3.2	Détermination du taux de l'humidité .....	27
4.	Analyses sur la poudre lactosérum .....	28
4.1	Dosage des protéines : méthode kjeldhal Principe : .....	28
4.2	Dosage des lipides : méthode Soxhlet Principe : .....	29
4.3	Dosage de lactose : .....	30

### **Chapitre IV : Résultats et discussions**

1.	Analyse de la composition biochimique de la poudre de lactosérum.....	32
2.1	Analyse statistique .....	32
2.2.1	Analyse de la variance de l'effet de différentes variables indépendantes sur les réponses .....	33
2.2.2	Optimisation de séchage de la mousse Lactosérum par la méthodologie de la surface de réponse .....	34

2.2.2.1	Modélisations statistiques de la formulation de poudre de lactosérum séchée .....	34
2.3	Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet de l'effet des différents facteurs sur la réponse (teneur en eau) .....	35
2.4	Diagrammes de surface de réponse .....	37
2.4.10	Optimisation en graphique trois dimensions (3D) de la variable dépendante humidité après séchage 37	
2.	Modélisation de la cinétique de séchage : .....	42
2.1	L'étude de l'influence de la température sur la cinétique de séchage de la mousse de lactosérum	42
2.2	Détermination de modèle mathématique appliqué à la cinétique de séchage de lactosérum .....	43
2.2.1	Application de modèle mathématique Midilli .....	43
	Conclusion : .....	47

## **Références bibliographiques**

**Annexe**

**Résumé**

## Résumé

L'objectif de cette analyse est d'optimiser le processus de séchage à air chaud de la mousse de lactosérum par la méthodologie de surface de réponse en identifiant les effets des facteurs indépendants sur la variation de la réponse. Dans cette étude expérimentale, le but est de suivre la modélisation des cinétiques de séchage. Les surfaces de réponse et les tracés de contour ont montré que les conditions optimales pour un minimum de teneur en eau étaient de  $T^{\circ} = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0.36 \text{ m/s}$ ,  $t = 2\text{h}$ . Après avoir effectué la modélisation de la cinétique de séchage, les résultats obtenus ont montré que le temps de séchage diminue avec l'augmentation de la température et que le modèle « Midilli » pourrait être utilisé pour la prédiction de la teneur en eau finale du lactosérum séché avec un coefficient de corrélation de 0,99.

**Mots clés :** séchage, mousse de lactosérum, MSR, cinétique, teneur en eau, modélisation.

## Abstract

The aim of this analysis is to optimize the hot air drying process of whey foam by the response surface methodology by identifying the effects of independent factors on the variation of the response and modelling the drying kinetics. Response surfaces and counter plots showed that the optimum conditions for minimum water content were  $T^{\circ} = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 0,36 \text{ m/s}$ ,  $t = 2\text{h}$ . After carrying out the modeling of the drying kinetics the results obtained showed that the drying time decreases with the increase in temperature and that the "Midilli" model could be used for the prediction of the final water content of the dried whey with a correlation coefficient of 0.99.

## ملخص

الهدف من هذا التحليل هو تحسين عملية تجفيف الهواء الساخن لرغوة مصل اللبن من خلال منهجية سطح الاستجابة من خلال تحديد تأثيرات العوامل المستقلة على تباين الاستجابة. الهدف في هذه الدراسة التجريبية هو متابعة نمذجة حركيات التجفيف. أظهرت أسطح الاستجابة والمخططات الكنتورية أن الظروف المثلى لمحتوى الماء الأدنى كانت  $T^{\circ} = 60$  درجة مئوية

،  $V = 0.36 \text{ م / ث}$  ،  $t = 2$  ساعة. بعد إجراء نمذجة حركية التجفيف، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن وقت التجفيف يتناقص مع زيادة درجة الحرارة وأنه يمكن استخدام نموذج "Midilli" للتنبؤ بالمحتوى المائي النهائي لمصل اللبن المجفف بمعامل ارتباط من 0.99.

الكلمات المفتاحية: التجفيف، مصل اللبن، MSR، الخواص الحركية، المحتوى المائي، النمذجة.