

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 3



FACULTE DE GENIE DES PROCÉDES

DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER2 EN GENIE CHIMIQUE

THEME :

**Etude cinétique et modélisation du  
séchage de trois légumes (carotte,  
courgette et poivron vert)**

PAR:

- ✓ GUERDOUH AHLAM
- ✓ KAMOUNDJI NABILA
- ✓ TIS MERIEM

Encadré par:

Mr : A.BENKORICHI

ANNEE UNIVERSITAIRE:

2017/2018

## Sommaire

Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste d'abréviations	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I: Procédés de séchage	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Eau et évolution des légumes après récolte .....	3
I.2.1. L'eau dans le tissu végétal .....	3
I.2.2. Pouvoir structurant de l'eau .....	3
I.2.3. Classification des fruits et légumes.....	4
I.2.4. Intérêt et effet du froid .....	4
I.3. Les légumes destinés au séchage .....	5
I.3.1. Carotte.....	5
I.3.1.1. Origine et présentation générale .....	5
I.3.1.1.1. Origine et évolution .....	5
I.3.2. Courgette.....	5
I.3.2.1. Origine et présentation générale .....	6
I.3.2.1.1. Origine et évolution .....	6
I.3.3. Poivron vert.....	6
I.3.3.1. Origine et présentation générale .....	7
I.3.3.1.1. Origine et évolution .....	7
I.3.3.2. Composition chimique du poivron vert crue.....	7
I.4. Généralité sur le séchage .....	7
I.4.1. Séchage .....	7
I.4.2. But de séchage .....	8
I.4.3. Caractéristiques de l'air de séchage .....	9
I.4.3.1. Humidité absolue .....	9

I.4.3.2. Humidité relative .....	9
I.4.3.3. Températures caractéristiques de l'air humide .....	
I.4.3.4. Température sèche « Température de bulbe sec » .....	9
I.4.3.5. Température humide « Température de bulbe humide »Th.....	9
I.4.3.6. Température de rosée Tr .....	9
I.4.3.7. Température de saturation adiabatique Tsa .....	10
I.4.3.8. Propriétés de l'air humide .....	10
I.4.4. Caractéristique de solide humide .....	12
1.4.4.1. Humidité.....	12
1.4.4.2. Taux d'humidité .....	12
I.4.5. Isotherme d'adsorption .....	12
I.4.6. Corps hygroscopique .....	12
I.4.7. L'activité de l'eau .....	12
I.4.7.1. Activité de l'eau $a_w$ .....	13
I.5. Les modes de séchage .....	13
I.5.1. Séchage par convection.....	13
I.5.2. Séchage par conduction .....	13
I.5.3. Séchage par atomisation (spray drying).....	14
I.5.4. Séchage a lit fluidisé(fluidized-bed drying).....	14
I.5.5. Séchage par micro-onde (micro-wave drying).....	14
I.5.6. Séchage par infrarouge (infrared drying).....	14

## CHAPITRE II : Modélisation du séchage

II.1. Introduction .....	15
II.2. Description physique du séchage .....	15
II.3. Etude de l'évolution du séchage .....	18
II.4. Les modèles basés sur les transferts couplés de chaleur et de masse .....	19
II.4.1. Les modèles semi- empiriques et empiriques.....	19
II.4.1.1.Modèle de Lewis 1921 .....	20
II.4.1.2. Modèle de Henderson et Pabis 1961 .....	20
II.4.1.3. Modèle Page 1949. ....	20
II.4.1.4. Modèle modifié de Page 1973 .....	20
II.4.1.5. Modèle logarithmique .....	21
II.4.1.6. Modèle de Midilli 2002 .....	21

II.4.1.7. Modèle modifié de Midilli 2006.....	21
II.4.1.8. Modèle de Demir et al 2007 .....	22
II.4.1.9. Modèle à deux paramètres 1974.....	22
II.4.1.10. Modèle exponentiel à deux paramètres .....	22
II.4.1.11. Modèle exponentiel modifié à deux paramètres 1985.....	22
II.4.1.12. Modèle modifié de Henderson et Pabis 1999.....	23
II.4.1.13. Modèle de Thompson 1968.....	23
II.4.1.14. Modèle empirique de Wang et Singh 1978 .....	23
II.4.1.15. Modèle de Kaleemullah 2002.....	24
II.5. Modèle mathématique des courbes de séchage.....	24
II.6.CONCLUSION .....	25

### CHAPITRE III : Etude la cinétique et modélisation du séchage des légumes

III.1.Introduction .....	27
III.2. Préparation de matière première.....	27
III.2.1. La carotte.....	27
III.2.1.1.Traitement des matières premières avant séchage .....	27
III.2.2. La courgette :.....	28
III.2.2.1. Traitement des matières premières avant séchage .....	29
III.2.3. poivron vert .....	30
III.2.3.1. Traitement des matières premières avant séchage .....	30
III.3. Manipulation .....	31
III.4. Détermination de la masse sèche.....	31
III.5. Détermination de la teneur en eau en base sèche .....	32
III.6.calcul de la vitesse .....	32
III.7. Présentation du pilote .....	33
III.8.Etude des cinétiques en cours de séchage .....	33
III.8.1.Courbes de séchage .....	33
III.9. Influence de la température sur la cinétique de séchage .....	33
III.9.1. cas de carotte .....	34
III.9.2. cas de courgette .....	36
III.9.3. cas de poivron vert .....	38
III.10. influence de la vitesse sur la cinétique de séchage.....	39
III.10.1. cas de carotte .....	40

III.10.2. cas de courgette .....	42
III.10.3. cas de poivron vert .....	43
III.11. Modélisation mathématique des cinétiques de séchage .....	44
III.11.1. pour la carotte.....	44
III.11.2. Pour la courgette.....	46
III.11.3. Pour le poivron vert.....	47
Conclusion Générale .....	49
Références bibliographique	

Annexe

## الملخص :

يتناول هذا العمل موضوع تجفيف المواد الغذائية (الجزر, الفلفل الأخضر, الكوسة) باستعمال مجفف تيار الهواء الساخن. كما عرضنا في هذه الدراسات مختلف التعريفات الخاصة بهذه العملية, واهم المكونات الكيميائية لهذه المواد الغذائية.

ودرسنا تغيرات معدل الرطوبة بدلالة الزمن و كيفية تأثرها بعاملين مهمين في هذه العملية و هما درجة الحرارة وسرعة التيار الهوائي.

حيث استعملنا قانون هاندرسون و بابيس و كانت النتائج الحسابية موافقة للنتائج التجريبية .

## الكلمات المفتاحية :

المواد الغذائية - معدل الرطوبة - تطور الحركية -التجفيف -الجزر-الفلفل الأخضر- الكوسة.

## Résumé :

Le présent travail porte sur le séchage agro-alimentaire (carotte, courgette et poivron vert), par le séchoir à l'air chaud, et on donne les différentes définitions sur l'opération de séchage, et les différentes propriétés de cette matière.

Notre objectif est la détermination de l'effet de la température et la vitesse sur le taux d'humidité, et de suivre la cinétique de séchage en fonction de temps, puis nous avons appliquée le modèle de HENDERSON ET

PABIS, nous avons remarqué que les résultats calculés sont presque identiques aux les valeurs expérimentales mesurés.

## Mots clés :

Séchage - Agro-alimentaire - taux d'humidité – cinétique- Carotte courgette poivron vert.