

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش - الجزائر -  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH -  
ALGER-

## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Génie rural

Spécialité : Sciences et techniques des agroéquipements

## THEME

*Conception d'un séchoir solaire indirect à contrôle automatique pour  
fruits et légumes.*

Présenté par : SID Meriem

Soutenu le : 03/07/2017

Jury :

Président : Md. A. FEDDAL

Promoteur : L. BOUDHAR

Examineurs : S. ETSOURI

Z. MOHAMDI

Promotion : 2012/2017

# Table des matières

Remerciements :.....	1
Dédicace :.....	1
Table des matières .....	1
Liste des Figures .....	1
Liste des Tableaux.....	1
Glossaire des Acronymes .....	1
Notations et constantes .....	1
INTRODUCTION GENERALE.....	1
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	1
Introduction .....	1
I. Généralité sur l'énergie solaire.....	1
I.1 Qu'est-ce que l'énergie solaire ? .....	1
I.2 Différents types d'énergies solaires :.....	1
I.2.1 L'énergie passive .....	1
I.2.2 L'énergie solaire thermique.....	2
I.2.3 L'énergie photovoltaïque.....	2
I.2.4 L'énergie thermodynamique.....	2
I.3 Technique pour capter l'énergie solaire .....	2
I.3.1 Les capteurs solaires thermiques :.....	2
I.3.1.1 Les différents types du capteur solaire thermique :.....	3
a. Les capteurs non vitrés .....	3
b. Les capteurs plans.....	4
c. Les capteurs sous vide.....	5
d. Les capteurs à concentration :.....	6
I.3.2 Les capteurs solaire photovoltaïques.....	8
I.3.2.1 Les différents types du capteur solaire photovoltaïque : .....	8
I.3.3 Aspect économique et rendement :.....	8
a. Angle d'incidence :.....	8
b. L'orientation du panneau : .....	9
c. L'angle d'inclinaison :.....	9
I.3.4 Rendement d'un capteur solaire thermique :.....	10
I.3.4.1 Courbe de rendement normalisée.....	11

a.	Rendement optique $\eta_0$ .....	11
b.	Coefficients de déperdition thermique .....	12
I.3.4.2	Influence de la puissance du rayonnement solaire .....	12
I.3.4.3	Influence du delta de température .....	13
I.3.5	Avantages et inconvénients .....	13
a.	Les avantages : .....	13
b.	Les inconvénients : .....	13
II.	Les séchoirs solaires .....	14
II.1	Qu'est-ce qu'un séchoir solaire ? .....	14
II.2	Pourquoi sécher les fruits et légumes ? .....	14
II.3	Différents types de séchoirs solaires : .....	15
II.3.1	Les séchoirs naturels : .....	15
II.3.2	Les séchoirs solaires directs : .....	15
II.3.3	Les séchoirs solaires indirects : .....	17
II.3.4	Les séchoirs mixtes : .....	18
II.3.5	Les séchoirs hybrides : .....	18
III.	Le Séchage solaire : .....	19
III.1	Définition : .....	19
III.2	Modes de transfert de chaleur et de masse au cours du séchage : .....	19
III.2.1	Modes de transfert de chaleur : .....	19
III.2.1.1	Par conduction : .....	20
III.2.1.2	Par convection : (André Charreau et Roland cavillé) .....	20
III.2.1.3	Par rayonnement : .....	20
III.2.2	Modes de transfert de masse : .....	21
III.3	Les paramètres et les moyens de contrôle d'un séchoir solaire .....	21
III.4	Les 3 phases de séchage : .....	22
IV.	Contrôle automatique de l'opération de séchage .....	24
IV.1	Introduction .....	24
IV.2	Microcontrôleurs .....	24
IV.2.1	Généralités .....	24
IV.2.2	Contenu d'un microcontrôleur .....	25
IV.2.3	Fonctionnement d'un microcontrôleur .....	26
IV.3	L'ARDUINO .....	27
IV.3.1	Qu'est que L'ARDUINO .....	27
IV.3.2	Capacités d'entrée/sortie d'une carte Arduino .....	29
IV.3.3	Utilisation .....	30
IV.4	Les capteurs .....	32

IV.5	Les organes d'exécution .....	36
	Conclusion .....	36
	MATERIELS ET METHODES.....	37
	Introduction .....	37
V.	Etude et fabrication du séchoir.....	37
V.1	Etude du séchoir .....	37
V.1.1	Chambre de séchage.....	37
V.1.2	Capteur solaire.....	41
V.2	Fabrication du séchoir .....	44
V.2.1	Matériaux nécessaires : .....	44
V.2.2	Les étapes de fabrication .....	48
V.2.2.1	La chambre de séchage : .....	48
V.2.2.2	Le capteur solaire : .....	55
V.2.2.3	Assemblage du séchoir solaire : .....	59
VI.	Etude et réalisation du système de contrôle et de commande.....	61
VI.1	La partie matérielle .....	61
VI.2	Présentation des différents modules et composants du système.....	65
VI.2.1	L'Arduino Uno .....	65
VI.2.2	Module Bluetooth HC-06.....	70
VI.2.3	L'afficheur graphique.....	72
VI.2.4	Clavier matriciel 4x4.....	75
VI.2.5	Horloge temps réel.....	77
VI.2.6	Capteurs d'humidité de l'air.....	80
VI.2.7	Capteurs de température .....	83
VI.2.8	Extracteur d'air .....	85
VI.2.9	Alimentation .....	85
VI.3	La partie programme .....	87
VI.3.1	Mise sous tension .....	88
VI.3.2	Le MENU .....	88
VI.3.3	Fonction contrôle.....	89
VIII.	Essais réels du séchoir solaire indirect : .....	91
VIII.1	Séchage de la tomate : .....	92
VIII.1.1	Préparation du produit : .....	92
VIII.1.2	Protocole expérimentale : .....	93
VIII.1.3	Résultats et interprétations : .....	93
VIII.2	Séchage de poivron rouge : .....	98
VIII.2.1	Préparation du produit : .....	98

VIII.2.2 Protocole expérimentale : .....	99
VIII.2.3 Résultats et interprétations :.....	100
VIII.3 Séchage de la menthe : .....	104
VIII.3.1 Préparation du produit :.....	104
VIII.3.2 Protocole expérimental : .....	104
VIII.3.3 Résultats et interprétations :.....	105
Conclusion : .....	110
CONCLUSION GENERALE : .....	111
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	112

---

## Abstract:

The Object fundamental of this work is the design also that the realisation of an indirect solar intended essentially for the drying of the fruit and vegetables. The dryer consists of a Drying chamber fed in hot air by a plane solar energy captor with air, equipped with a control system automatic of temperature and humidity based of Arduino managed by the firmware and an Android application.

**Key words:** Solar dryer, Arduino, sensors, temperature, humidity, android

## Résumé

L'objectif fondamental de ce travail est la conception aussi que la réalisation d'un séchoir solaire indirect destiné essentiellement au séchage des fruits et légumes. Le séchoir est constitué d'une chambre de séchage alimentée en air chaud par un capteur solaire plan à air, équipé d'un système de contrôle automatique de température et d'humidité à base d'Arduino géré par un firmware et une application Android.

**Mots clés :** séchoir solaire, Arduino, capteurs, température, humidité, Android

## ملخص

الهدف الأساسي من هذا العمل هو تصميم وتحقيق مجفف شمسي غير مباشر يهدفوا لالتجفيف الفواكه والخضروات. يضم المجفف غرفة التجفيف تغذيها الهواء الساخن عبر اللوحة المسطحة الشمسية لتجميع الهواء، ومجهزة بمنظومة التحكم التي تقي درجة الحرارة والرطوبة أساساً. اردوينو تدار من قبل البرامج الثابتة وتطبيق اندرويد.

**كلمات البحث:** مجفف شمسي، اردوينو، درجة الحرارة، الرطوبة، اندرويد