

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE VIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN BIOCHIMIE APPLIQUEE

Thème

*Caractérisation physicochimique du poivron
avant et après le séchage solaire*

Présenté par :

- *Khouldi Hamza*
- *Hala Abdelali*
- *Dihmani Abdelghani*

Membres de jury :

- **Président :** Dr. MEDIANI Ahmed UERER /MS , ADRAR
- **Examineur :** Dr. TAHRI Ahmed UERER /MS , ADRAR
- **Encadreur :** Dr. LOUMANI Akil UERER /MS , ADRAR

Année Universitaire : 2021-2022



شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة):

لوماني عقيل

المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ :
Caractéristiques physico-chimiques du poivre
avant et après le séchage solaire

من إنجاز الطالب(ة): ديجاني عبد الغني + حالة عبد العالي

و الطالب(ة): خولدي حمزة

كلية: العلوم والتكنولوجيا

القسم: علوم الطبيعة والحياة

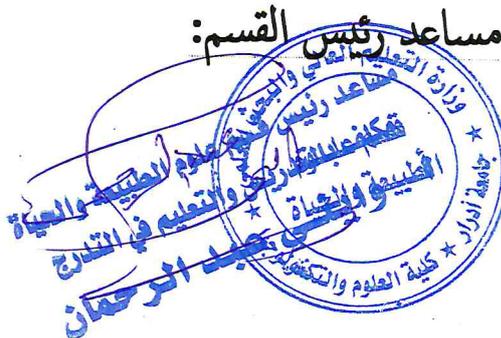
التخصص: بيوكيمياء تطبيقية

تاريخ تقييم / مناقشة: 2022 / 06 / 19

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
و بإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والأليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

مساعد رئيس القسم:



ادرار في: 2022/06/03

ملخص

هذا العمل عبارة عن دراسة تطبيقية في إطار التجفيف الشمسي للمواد الغذائية – الزراعية (الفلل كعينة) في مجفف شمسي. أما الهدف من هذه الدراسة هو دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية للفلل بعد وقبل التجفيف الحراري وبالتالي تقييم تأثير التجفيف الحراري على جودة المنتج بعد التجفيف. التركيبة الفيزيوكيميائية بعد التجفيف لم تظهر اختلاف ملحوظ في قيمة pH، الحموضة، الرطوبة، السكريات، البروتينات و الرماد. الإختلاف الوحيد يكمن أساسا في نسبة الفينولات حيث توجد هذه الأخيرة بكمية اقل في الفلّل بعد التجفيف والذي يرجع الى تأثره بدرجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية :

التجفيف، اللاقط الشمسي، المجفف الشمسي، الفلّل، درجة الحرارة

Résumé

Dans cette étude, nous avons réalisé une caractérisation physico-chimique comparative d'un produit agricole (poivre) avant et après séchage solaire. Les résultats les plus intéressants obtenus au terme de ce travail sont :

L'analyse physicochimique avant et après séchage solaire du poivre, a démontré que ces derniers présentent des valeurs très proches de pH, d'acidité titrable, de sucres, de protéines et de cendres. En revanche, le produit manifeste une différence remarquable concernant leurs teneurs en polyphénols totaux par diminution après séchage.

Les mots clés:

Séchage, capteur solaire, séchoir solaire, poivre, température



Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il nous a donnés durant ces années d'étude.

Nos vifs remerciements sont à adresser à notre encadreur LOUMANI AKIL pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations, son aide et sa disponibilité durant la réalisation de ce mémoire.

Nos vifs remerciements s'adressent également à Mr. Djaber Abdelkarim et Mr. Tigani Cherif, pour leurs aides et leurs soutiens durant notre stage au l'URERMS Adrar.

Nos profondes gratitude s'adressent à monsieur chef de Département et à l'ensemble des enseignants du département du Biologie pour toutes les connaissances qu'ils nous ont transmises sans oublier tout le personnel du département durant notre cursus.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail que représente le titre de ma fierté au cours de mon cycle d'étude.

A mes chers parents qui m'ont montré la voie de la réussite et qui ont fait tant des sacrifices pour me permettre de réussir.

A mes très chères sœurs.

A toute ma famille.

A mes très chers binômes

D-ABDELGHANI

Dédicaes

*Je remercie tout d'abord **HALA** de m'avoir aider à réaliser ce travail*

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

Amon très cher père et ma très chère mère

En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation et ma formation

A ma chère grande mère

*Ames sœurs **Samia, Zohra, Mona**, mes frères, **Abdelmalek, Boubaker, Yassine, Younes***

A tous mes amis de l'université d'Adrar

Abdelali

Dédicace

Une chance nous a été offerte aujourd'hui pour citer des personnes qui nous sont très chères.

Je dédie le fruit de mon labeur à la mémoire de mon défunt grand père qui vient de nous quitter, qu'il repose en paix.

A mes très chers parents qui m'ont montré la voie de la réussite et qui ont fait tant de sacrifices pour me permettre de réussir.

A mon cher frère, à mes très chères sœurs.

A toute ma famille.

A mes très chers binômes.

A tous mes amis

A toute ma promotion biochimie appliquée (2021.2022).

HAMZA

SOMMAIRE	
Titres	Pages
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations et des symboles	
Introduction générale	01,02
<i>Partie bibliographique</i>	
<i>Chapitre n°01 : Généralités sur les énergies</i>	
I.1. Introduction	03
I.2. Les énergies non renouvelables	03
1.2.1 Les énergies conventionnelles	03
1.2.1.1. L'énergie nucléaire	03
1.2.1.2. Les énergies fossiles	04
I.3. Définition des Energies renouvelables, exploitation	06
I.4. Les différents types d'énergies renouvelables	06
I.4.1. L'énergie solaire	08
I.4.2. L'énergie éolienne	09
I.4.3. L'énergie hydraulique	09
I.4.4. La géothermie	10
I.3.5. Le biogaz	10
I.4.6. La biomasse	11
I.4.7. L'énergie marémotrice	12
<i>Chapitre n°02 : Généralités sur le séchage</i>	
I. Séchage	13
I.1. Définition	13
I.2. Historique	13
I.3. Domaines d'utilisations	13
I.4. Différents méthodes du séchage	14
I.4.1. Séchage mécanique	14
I.4.2. Séchage chimique	14
I.4.3. Séchage thermique	14
I.5. Caractéristiques de l'air de séchage	14
I.5.1. Humidité	14
I.5.2. Humidité absolue	15
I.5.3. Humidité relative	15
I.5.4. Température sèche	15
I.5.5. Température humide du gaz	15
I.6. Caractéristiques des solides humides	15
I.6.1. Humidité absolue	15
I.6.2. Teneur en eau à base humide	16
I.6.3. Taux d'humidité	16
I.6.4. États de siccité	16
I.6.5. Taux d'humidité à l'équilibre	16

I.7. Transferts de chaleur	16
I.7.1. Séchage par convection	16
I.7.2. Séchage par conduction	17
I.7.3. Séchage par rayonnement	17
I.8. Transfert de masse d'un produit humide	17
I.9. Vitesse de séchage	18
I.10. Cinétique du séchage	18
I.10.1. Période de mise en température (Période 0)	18
I.10.2. Période à vitesse constant	18
I.10.3. Période de ralentissement	19
II. Les capteurs solaires	20
II.1. Types de capteurs solaires :	20
II.1.1. Capteurs solaires photovoltaïques	20
II.1.2. Capteurs solaires thermiques	20
II.2. Les différents types de structure de séchoirs solaire	20
II.3. Classification des systèmes de séchage à énergie solaire	20
II.3.1. Systèmes de séchage à énergie solaire passifs	21
II.3.1.1. Les séchoirs solaires directs	21
II.3.1.2. Les séchoirs solaires indirects	21
II.3.1.3. Les séchoirs solaires mixtes	23
II.3.2. Systèmes de séchage à énergie solaire actifs «Les séchoirs hybrides »	23
<i>Etude expérimentale</i>	
<i>Chapitre 03 : Matériels et méthodes</i>	
III.1. Définition et Origine du poivre	26
III.2. Systématique du poivre	27
III.3. Description du séchoir solaire	27
III.3.1. Le capteur solaire PVT expérimental utilisé	27
III.3.2. La Chambre de séchage	27
III.4. Préparation du produit	27
III.5. Appareillages de mesure	29
III.5.1. Mesure des températures	29
III.5.2. Mesure de l'humidité et de la vitesse d'air	31
III.5.3. Produits utilisés	31
III.5.4. Matériels du laboratoire	31
III.5.5. Appareillage	31
III.6. Caractéristique physico-chimique de poivre	31
III.6.1. Activité d'eau	31
III.6.2. Détermination de la teneur en eau	33
III.6.3. Détermination de cendre / matière organique	33
III.6.4. Détermination du pH	33
III.6.5. Détermination de l'acidité titrage	34
III.6.6. Détermination de la teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)	35
III.6.7. Détermination de la teneur en polyphénols	36
III.6.7.1. Extraction des polyphénols	36
III.6.7.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	38
III.6.7. Détermination de la teneur en sucres	40
III.6.8. Indice de Réfraction	40

Chapitre 04 : Résultats et discussions

IV. Résultats et discussions des Caractéristiques physico-chimiques de poivre	41
IV.1. Activité d'eau	41
IV.2. Détermination de la teneur en eau, cendre / matière organique	41
IV.3. Détermination du pH	42
IV.4. Détermination d'acidité	43
IV.5. Les sucres totaux (méthode de Dubois)	43
IV.7. La teneur en Polyphénols totaux	44
IV.6. La teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)	45
Conclusion générale	46
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau II.1	structure de quelques séchoirs solaire	26
Tableau III.2	Caractéristiques du poivre	31
Tableau III.3	Préparation des dilutions de l'acide gallique pour la réalisation de la courbe standard des polyphénols totaux	38
Tableau IV.1	l'activité d'eau du produit avant et après le séchage.	41
Tableau IV.2	la teneur en eau, cendre / matière organique avant et après le séchage.	41
Tableau IV.3	valeur de pH du produit avant et après le séchage	42
Tableau IV.4	Résultats d'acidité obtenus du produit avant et après le séchage.	43
Tableau IV.5	La teneur en sucres totaux dans le produit avant et après séchage	44
Tableau IV.6	La teneur en protéines dans le produit avant et après séchage	44
Tableau IV.7	La teneur en polyphénol totaux dans le produit avant et après séchage	45

Liste des figures

Tableau	Titre	Page
Figure I.1	Structure de la production d'électricité 2009	07
Figure I.2	Module photovoltaïque	08
Figure I.3	Chauffe-eau solaire	08
Figure I.4	Tour solaire	09
Figure I.5	éolienne	09
Figure I.6	énergie hydraulique	10
Figure I.7	Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande	10
Figure I.8	Le principe du biogaz	11
Figure I.9	Le principe de La biomasse	11
Figure I.10	Le principe de la marémotrice	12
Figure II.1	Cinétique de séchage	19
Figure II.2	Panneaux photovoltaïque	20
Figure II.3	Le séchoir solaire tente en polyéthylène	23
Figure II.4	Séchoir solaire indirect	24
Figure III.1	Matière végétal	26
Figure III.2	Séchoir solaire indirect à l'URERMS Adrar	27
Figure III.3	Préparation de poivre	28
Figure III.4	Installation des claies pour le séchage	28
Figure III.5	Produit séché	29
Figure III.6	Les thermocouples placés dans le module	30
Figure III.7	Appareil thermo et hygromètre Testo H176	30
Figure III.8	Appareil Hygrolab (l'activité d'eau)	32
Figure III.9	Le produit dans l'étuve	32
Figure III.10	four à moufle	33
Figure III.11	Plaque chauffante utilisée	34
Figure III.12	pH mètre	34
Figure III.13	titrage de solution	35
Figure III.14	Principales étapes d'extraction des polyphénols	37
Figure III.15	Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux	39
Figure IV.1	l'activité d'eau du produit avant et après le séchage.	41
Figure IV.2	la teneur en eau, cendre / matière organique avant et après le séchage.	41
Figure IV.3	valeur de pH du produit avant et après le séchage	42
Figure IV.4	Résultats d'acidité obtenus du produit avant et après le séchage.	43
Figure IV.5	La teneur en sucre totaux dans le produit avant et après séchage	44
Figure IV.6	La teneur en protéines dans le produit avant et après séchage	44
Figure IV.7	La teneur en polyphénol totaux dans le produit avant et après séchage	45

Liste des abréviations

% : pourcentage

°C : Degré Celsius

ADN : Acide Désoxyribose Nucléique

AFNOR : Association Française de Normalisation

AFSSAPS : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé

ARN : Acide Ribos Nucléique

ATCC : American Type Collection Culture

ATP : Adénosine Tri Phosphate

CCM : Chromatographie sur Couche Mince

cm : centimètre

CO₂ : dioxyde de carbone

CPG : Chromatographe en Phase Gazeuse

DL50 : Dose Létale 50

DMSO : diméthylsulfoxyde

g : gramme

H% : Humidité

IL2 : Interleukin 2

Kg : Kilogramme

Km : *Kilomètre*

L : Litre

m : mètre

m/s : mètre/seconde

ml : millilitre

mm : millimètre

MS% : Matière sèche

N.P.K : Azote. Phosphore. Potassium

NaCl : chlorure de sodium

NO : monoxyde d'azote

OFSP : Office Fédéral de la Santé Publique

ONG : Organisation Non-Gouvernemental

P : Pression

PDA : Potato dextrose agar

pH : Potentiel d'hydrogène

Rf : Référence frontale

ROS : Reactive Oxygen Species

SM : Spectrométrie de Masse

T : Température

TNF α : Tumor Necrosis Factor Alpha

UREMS : Unité de Recherche en Energies renouvelables en Milieu Saharienne

UV : Ultra-violet

μ l : microlitre.

INTRODUCTION GENERALE



Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il nous a donnés durant ces années d'étude.

Nos vifs remerciements sont à adresser à notre encadreur LOUMANI AKIL pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations, son aide et sa disponibilité durant la réalisation de ce mémoire.

Nos vifs remerciements s'adressent également à Mr. Djaber Abdelkarim et Mr. Tigani Cherif, pour leurs aides et leurs soutiens durant notre stage au l'URERMS Adrar.

Nos profondes gratitudes s'adressent à monsieur chef de Département et à l'ensemble des enseignants du département du Biologie pour toutes les connaissances qu'ils nous ont transmises sans oublier tout le personnel du département durant notre cursus.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail que représente le titre de ma fierté au cours de mon cycle d'étude.

A mes chers parents qui m'ont montré la voie de la réussite et qui ont fait tant des sacrifices pour me permettre de réussir.

A mes très chères sœurs.

A toute ma famille.

A mes très chers binômes

D-ABDELGHANI

Dédicaes

*Je remercie tout d'abord **HALA** de m'avoir aider à réaliser ce travail*

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

Amon très cher père et ma très chère mère

En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation et ma formation

A ma chère grande mère

*Ames sœurs **Samia, Zohra, Mona**, mes frères, **Abdelmalek, Boubaker, Yassine, Younes***

A tous mes amis de l'université d'Adrar

Abdelali

Dédicace

Une chance nous a été offerte aujourd'hui pour citer des personnes qui nous sont très chères.

Je dédie le fruit de mon labeur à la mémoire de mon défunt grand père qui vient de nous quitter, qu'il repose en paix.

A mes très chers parents qui m'ont montré la voie de la réussite et qui ont fait tant de sacrifices pour me permettre de réussir.

A mon cher frère, à mes très chères sœurs.

A toute ma famille.

A mes très chers binômes.

A tous mes amis

A toute ma promotion biochimie appliquée (2021.2022).

HAMZA

SOMMAIRE	
Titres	Pages
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations et des symboles	
Introduction générale	01,02
<i>Partie bibliographique</i>	
<i>Chapitre n°01 : Généralités sur les énergies</i>	
I.1. Introduction	03
I.2. Les énergies non renouvelables	03
1.2.1 Les énergies conventionnelles	03
1.2.1.1. L'énergie nucléaire	03
1.2.1.2. Les énergies fossiles	04
I.3. Définition des Energies renouvelables, exploitation	06
I.4. Les différents types d'énergies renouvelables	06
I.4.1. L'énergie solaire	08
I.4.2. L'énergie éolienne	09
I.4.3. L'énergie hydraulique	09
I.4.4. La géothermie	10
I.3.5. Le biogaz	10
I.4.6. La biomasse	11
I.4.7. L'énergie marémotrice	12
<i>Chapitre n°02 : Généralités sur le séchage</i>	
I. Séchage	13
I.1. Définition	13
I.2. Historique	13
I.3. Domaines d'utilisations	13
I.4. Différents méthodes du séchage	14
I.4.1. Séchage mécanique	14
I.4.2. Séchage chimique	14
I.4.3. Séchage thermique	14
I.5. Caractéristiques de l'air de séchage	14
I.5.1. Humidité	14
I.5.2. Humidité absolue	15
I.5.3. Humidité relative	15
I.5.4. Température sèche	15
I.5.5. Température humide du gaz	15
I.6. Caractéristiques des solides humides	15
I.6.1. Humidité absolue	15
I.6.2. Teneur en eau à base humide	16
I.6.3. Taux d'humidité	16
I.6.4. États de siccité	16
I.6.5. Taux d'humidité à l'équilibre	16

I.7. Transferts de chaleur	16
I.7.1. Séchage par convection	16
I.7.2. Séchage par conduction	17
I.7.3. Séchage par rayonnement	17
I.8. Transfert de masse d'un produit humide	17
I.9. Vitesse de séchage	18
I.10. Cinétique du séchage	18
I.10.1. Période de mise en température (Période 0)	18
I.10.2. Période à vitesse constant	18
I.10.3. Période de ralentissement	19
II. Les capteurs solaires	20
II.1. Types de capteurs solaires :	20
II.1.1. Capteurs solaires photovoltaïques	20
II.1.2. Capteurs solaires thermiques	20
II.2. Les différents types de structure de séchoirs solaire	20
II.3. Classification des systèmes de séchage à énergie solaire	20
II.3.1. Systèmes de séchage à énergie solaire passifs	21
II.3.1.1. Les séchoirs solaires directs	21
II.3.1.2. Les séchoirs solaires indirects	21
II.3.1.3. Les séchoirs solaires mixtes	23
II.3.2. Systèmes de séchage à énergie solaire actifs «Les séchoirs hybrides »	23
<i>Etude expérimentale</i>	
<i>Chapitre 03 : Matériels et méthodes</i>	
III.1. Définition et Origine du poivre	26
III.2. Systématique du poivre	27
III.3. Description du séchoir solaire	27
III.3.1. Le capteur solaire PVT expérimental utilisé	27
III.3.2. La Chambre de séchage	27
III.4. Préparation du produit	27
III.5. Appareillages de mesure	29
III.5.1. Mesure des températures	29
III.5.2. Mesure de l'humidité et de la vitesse d'air	31
III.5.3. Produits utilisés	31
III.5.4. Matériels du laboratoire	31
III.5.5. Appareillage	31
III.6. Caractéristique physico-chimique de poivre	31
III.6.1. Activité d'eau	31
III.6.2. Détermination de la teneur en eau	33
III.6.3. Détermination de cendre / matière organique	33
III.6.4. Détermination du pH	33
III.6.5. Détermination de l'acidité titrage	34
III.6.6. Détermination de la teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)	35
III.6.7. Détermination de la teneur en polyphénols	36
III.6.7.1. Extraction des polyphénols	36
III.6.7.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	38
III.6.7. Détermination de la teneur en sucres	40
III.6.8. Indice de Réfraction	40

Chapitre 04 : Résultats et discussions

IV. Résultats et discussions des Caractéristiques physico-chimiques de poivre	41
IV.1. Activité d'eau	41
IV.2. Détermination de la teneur en eau, cendre / matière organique	41
IV.3. Détermination du pH	42
IV.4. Détermination d'acidité	43
IV.5. Les sucres totaux (méthode de Dubois)	43
IV.7. La teneur en Polyphénols totaux	44
IV.6. La teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)	45
Conclusion générale	46
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau II.1	structure de quelques séchoirs solaire	26
Tableau III.2	Caractéristiques du poivre	31
Tableau III.3	Préparation des dilutions de l'acide gallique pour la réalisation de la courbe standard des polyphénols totaux	38
Tableau IV.1	l'activité d'eau du produit avant et après le séchage.	41
Tableau IV.2	la teneur en eau, cendre / matière organique avant et après le séchage.	41
Tableau IV.3	valeur de pH du produit avant et après le séchage	42
Tableau IV.4	Résultats d'acidité obtenus du produit avant et après le séchage.	43
Tableau IV.5	La teneur en sucres totaux dans le produit avant et après séchage	44
Tableau IV.6	La teneur en protéines dans le produit avant et après séchage	44
Tableau IV.7	La teneur en polyphénol totaux dans le produit avant et après séchage	45

Liste des figures

Tableau	Titre	Page
Figure I.1	Structure de la production d'électricité 2009	07
Figure I.2	Module photovoltaïque	08
Figure I.3	Chauffe-eau solaire	08
Figure I.4	Tour solaire	09
Figure I.5	éolienne	09
Figure I.6	énergie hydraulique	10
Figure I.7	Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande	10
Figure I.8	Le principe du biogaz	11
Figure I.9	Le principe de La biomasse	11
Figure I.10	Le principe de la marémotrice	12
Figure II.1	Cinétique de séchage	19
Figure II.2	Panneaux photovoltaïque	20
Figure II.3	Le séchoir solaire tente en polyéthylène	23
Figure II.4	Séchoir solaire indirect	24
Figure III.1	Matière végétal	26
Figure III.2	Séchoir solaire indirect à l'URERMS Adrar	27
Figure III.3	Préparation de poivre	28
Figure III.4	Installation des claies pour le séchage	28
Figure III.5	Produit séché	29
Figure III.6	Les thermocouples placés dans le module	30
Figure III.7	Appareil thermo et hygromètre Testo H176	30
Figure III.8	Appareil Hygrolab (l'activité d'eau)	32
Figure III.9	Le produit dans l'étuve	32
Figure III.10	four à moufle	33
Figure III.11	Plaque chauffante utilisée	34
Figure III.12	pH mètre	34
Figure III.13	titrage de solution	35
Figure III.14	Principales étapes d'extraction des polyphénols	37
Figure III.15	Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux	39
Figure IV.1	l'activité d'eau du produit avant et après le séchage.	41
Figure IV.2	la teneur en eau, cendre / matière organique avant et après le séchage.	41
Figure IV.3	valeur de pH du produit avant et après le séchage	42
Figure IV.4	Résultats d'acidité obtenus du produit avant et après le séchage.	43
Figure IV.5	La teneur en sucre totaux dans le produit avant et après séchage	44
Figure IV.6	La teneur en protéines dans le produit avant et après séchage	44
Figure IV.7	La teneur en polyphénol totaux dans le produit avant et après séchage	45

Liste des abréviations

% : pourcentage

°C : Degré Celsius

ADN : Acide Désoxyribose Nucléique

AFNOR : Association Française de Normalisation

AFSSAPS : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé

ARN : Acide Ribos Nucléique

ATCC : American Type Collection Culture

ATP : Adénosine Tri Phosphate

CCM : Chromatographie sur Couche Mince

cm : centimètre

CO₂ : dioxyde de carbone

CPG : Chromatographe en Phase Gazeuse

DL50 : Dose Létale 50

DMSO : diméthylsulfoxyde

g : gramme

H% : Humidité

IL2 : Interleukin 2

Kg : Kilogramme

Km : *Kilomètre*

L : Litre

m : mètre

m/s : mètre/seconde

ml : millilitre

mm : millimètre

MS% : Matière sèche

N.P.K : Azote. Phosphore. Potassium

NaCl : chlorure de sodium

NO : monoxyde d'azote

OFSP : Office Fédéral de la Santé Publique

ONG : Organisation Non-Gouvernemental

P : Pression

PDA : Potato dextrose agar

pH : Potentiel d'hydrogène

Rf : Référence frontale

ROS : Reactive Oxygen Species

SM : Spectrométrie de Masse

T : Température

TNF α : Tumor Necrosis Factor Alpha

UREMS : Unité de Recherche en Energies renouvelables en Milieu Saharienne

UV : Ultra-violet

μ l : microlitre.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

De nos jours, l'homme a à sa disposition sur la Terre de nombreuses sources d'énergie. Les plus utilisées sont les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), mais l'augmentation des prix et la pénurie de carburants conduits à des études et recherches profondes sur l'utilisation de l'énergie solaire comme source énergétique alternative.

L'énergie soleil est gratuite et brille pour tout le monde. L'Algérie dispose d'un important ensoleillement durant la majeure partie de l'année. Elle bénéficie d'une durée annuelle moyenne d'ensoleillement de l'ordre de 2500 heures, et reçoit une énergie solaire moyenne quotidienne de 16.2 à 27 MJ/m² sur le plan horizontal. Cette énergie est suffisante, particulièrement en été, pour satisfaire toute la demande énergétique en séchage des produits agricoles. [01]

L'augmentation de la production de certains produits agricoles s'est réalisée en un temps très court, les capacités de stockage par les chambres froides n'ont pas suivi le même rythme. Donc la question qui est posée: Quelles sont les techniques ou les procédés qui peuvent nous solutionner le problème?

Le séchage solaire, comme moyen de conservation des aliments, a été considéré le système le plus utilisé de l'énergie solaire. Le séchage des fruits et légumes est l'un des processus des grands consommateurs d'énergie dans l'industrie de transformation alimentaire et constitue une meilleure méthode de réduire des pertes après la récolte. [01]

Le séchage est l'une des principales techniques de préservation des produits agricoles et alimentaires. C'est par ailleurs un procédé qui intervient dans la fabrication de nombreux produits alimentaires, comme étape à part entière de la transformation ou à titre accessoire (congélation, cuisson, ...). La compréhension des phénomènes mis en jeu repose sur une bonne connaissance des équilibres entre l'air et le produit et sur la maîtrise des cinétiques de séchage et de transformation du produit. [02]

Ce travail présente les caractérisations physico-chimique du poivre avant et après séchage solaire (séchage direct, séchage indirect et par séchage direct à l'air, afin de déterminer l'efficacité du séchage solaire comme moyenne de conservation des produit agriculture en particulier le poivre.

Notre travail comporte quatre chapitre, et structuré comme suit:

- 1^{er} chapitre: nous avons parlé en général des énergies renouvelables et des différentes transformations énergétiques.

Introduction générale

- 2^{ème} chapitre: nous avons mené une étude générale du processus de séchage direct et indirect, et nous avons également mentionné les différents types de séchoirs solaires.

- 3^{ème} chapitre: nous avons mené une étude expérimentale sur le séchage de poivre au sein de l'unité de recherche en énergies renouvelables en milieu saharien d'Adrar, pour déterminer les caractérisations physico-chimiques de poivre avant et après séchage solaire.

Enfin, nous avons terminé notre travail avec une conclusion qui inclut l'interprétation générale de l'étude.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I:
GENERALITES SUR LES ENERGIES

I.1. Introduction

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle, augmente de jours en jours. Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle, augmente de jours en jours.

Nous pouvons donc nous demander quelles sont les conséquences ainsi que les problèmes et les bienfaits dus aux consommations énergétiques mondiales.

En premier lieu, nous allons présenter les différentes sources d'énergies utilisées (renouvelable et non renouvelable)

Dans ces différentes sources d'énergies, deux sortes se distinguent : les énergies dites non renouvelables et les énergies dites renouvelables. Ces énergies existent sous différentes formes.

I.2. Les énergies non renouvelables

Une énergie non renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle moins vite qu'on ne la consomme et de manière négligeable à l'échelle humaine, par opposition aux énergies renouvelables.

1.2.1 Les énergies conventionnelles

Les énergies conventionnelles (par opposition aux énergies alternatives qui visent à remplacer les sources énergies déjà existantes) sont des formes d'énergies massivement employées pour répondre aux besoins de production et de consommation des êtres humains. Parmi celles-ci, les plus utilisées au niveau mondial sont l'énergie nucléaire et l'énergie tirée des combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel). Cependant, une prise de conscience semble s'opérer au niveau international depuis les dernières décennies : les sources d'énergie conventionnelles desquelles notre mode de vie est devenu dépendant sont non renouvelables, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent se régénérer par elles-mêmes à un rythme aussi rapide que la consommation qui en est faite par les sociétés humaines. De plus, les impacts de l'utilisation de ces sources d'énergies sont souvent néfastes pour l'homme et l'environnement. [3]

1.2.1.1. L'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire utilise l'uranium, un métal radioactif, comme combustible pour produire de l'électricité. Cette énergie utilise le fait que les noyaux des atomes d'uranium sont instables. Ils se désintègrent sans cesse tout en produisant de l'énergie. C'est pourquoi cette énergie est aussi appelée Energie Atomique.

➤ Avantage

- grande puissance.

- pas d'émission de CO₂.
- disponible toute l'année.
- installation de durée de vie moyenne (40 ans).

➤ **Inconvénients**

- rendement faible (30%).
- risques nucléaires en cas d'accident.
- problème de stockage des déchets nucléaires.
- coûts importants d'installation et d'entretien.
- ressources en uranium limitées.

1.2.1.2. Les énergies fossiles

Les énergies fossiles sont produites à partir de matières premières riches en carbone issues de la fossilisation de matières organiques. Ce sont le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Ces matières du sous-sol sont présentes en quantités limitées. Leurs réserves s'épuisent donc au fur et à mesure de leur exploitation contrairement aux énergies renouvelables. Elles représentent aujourd'hui plus des trois quarts de la consommation mondiale d'énergie et sont essentielles pour répondre à un certain nombre des besoins de l'homme.

Les combustibles fossiles, à l'aide desquels on obtient l'énergie d'origine fossile, sont produits à l'intérieur de roches. Ils se sont formés par le biais de la fossilisation de végétaux vivants en se transformant en pétrole, en charbon (houille) et en gaz naturel. Ces sources d'énergies sont non renouvelables et ont initialement mis des millions d'années. Au rythme de consommation actuel, l'homme devra trouver d'autres moyens pour s'approvisionner en énergie...

a. Charbon

Le charbon est une roche noire stratifiée à partir de restes de végétation. C'est une roche organique noire ou brune très foncée, déposée principalement à la période carbonifère. Les divers charbons ont des teneurs en carbone comprises entre 60 et 95%. Ces teneurs dépendent du degré de houillification du charbon. Il contient principalement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène, combinés chimiquement comme dans les produits de la photosynthèse.

On y trouve aussi une faible proportion d'azote, de chlore, de soufre et des traces de plusieurs métaux. Les proportions de carbone, d'hydrogène et d'oxygène varient en fonction du degré de houillification. Pendant cette houillification, l'eau et le dioxyde de carbone ont été éliminés et le méthane est généré.

➤ **Avantage**

- C'est la seule forme d'énergie fossile qui est solide.
- Il permet de produire du gaz de houille et un grand nombre de produits chimiques carbonés ou hydrogénés.

➤ **Inconvénients**

C'est une énergie non-renouvelable et très coûteuse à extraire, C'est une énergie fossile très polluante surtout à cause de ses impuretés qui se dispersent dans l'atmosphère lors de sa combustion. De plus, lors de sa combustion, c'est une énergie fossile qui libère beaucoup de dioxydes de carbone. Ce phénomène est à l'origine de l'accroissement de l'effet de serre

b. Pétrole

C'est une huile minérale de couleur noire ou très foncée, onctueuse au toucher, douée d'une odeur âcre caractéristique. Il est essentiellement composé d'hydrocarbures. Le pétrole est aussi appelé à l'état brut, crude oil ou huile naphtée.

Le pétrole brut est un liquide d'origine fossile qui est composé d'un mélange d'hydrocarbures présents dans certaines roches. Il peut être extrait et raffiné pour produire des combustibles comme l'essence, le kérosène, le diesel, etc.

Le pétrole est utilisé comme carburant. Grâce à sa combustion (après raffinage), il permet de faire fonctionner les voitures, les avions...

Le pétrole est également consommé en tant que combustible; il alimente les chaudières et permet de chauffer les maisons.

Enfin, il est exploité dans les centrales thermiques pour produire de l'électricité. [03]

c. Gaz naturel

Le gaz naturel est un combustible fossile extrait de gisements naturels et est essentiellement composé de méthane. Issue de la dégradation d'anciens organismes vivants, il subit le même processus de formation que le pétrole. Aussi on le trouve souvent dans les mêmes zones de production que ce dernier. Il est la troisième source d'énergie la plus utilisée dans le monde (après le pétrole et le charbon). [03]

I.3. Définition des Energies renouvelables, exploitation

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires. [04]

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateaux à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Mais dans les pays industrialisés, dès le XIX^{ème} siècle, elles furent progressivement marginalisées aux profits d'autres sources d'énergie que l'on pensait plus prometteuses. Dès lors, la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique, les risques du nucléaire et les limites des ressources ont fait prendre conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire. **[05]**

Les chocs pétroliers successifs depuis les années 70 ont démontré les risques économiques et géopolitiques de la production d'énergie reposant sur l'exploitation des ressources fossiles, dont les réserves sont mal réparties et épuisables. De plus, une grande partie du monde ne sera sans doute jamais raccordée aux réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles à y accéder. Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- Elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets ;
- Elles sont inépuisables ;
- Elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux ;
- Elles offrent une importante indépendance énergétique.

La production d'électricité renouvelable a atteint 3810.3 TWh en 2009, soit 19.1% de la production d'électricité mondiale. **[06]**

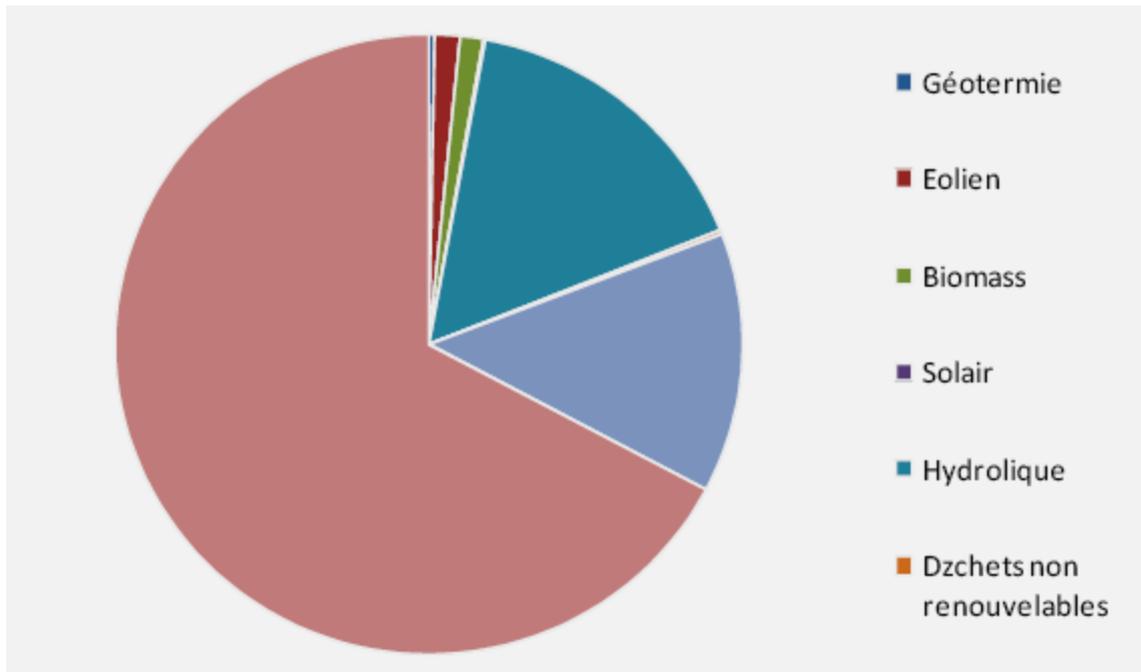


Figure I.1: Structure de la production d'électricité 2009. [06]

I.4. Les différents types d'énergies renouvelables

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables (soleil, vent, eau, biomasse) ont connu ces dernières années un développement assez rapide pour être considérées comme inépuisables à l'échelle de l'homme. Si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future, ce n'est pas le cas pour les combustibles fossile et nucléaires.

Les énergies renouvelables peuvent être utiles en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins.

Parmi les systèmes d'énergie les plus renouvelables figurent l'énergie solaire, en particulier le photovoltaïque et l'énergie éolienne. Cette dernière contribue de façon significative à la production de l'énergie électrique pour certains pays et ce grâce à sa maturité.

On va donner un aperçu général sur les énergies renouvelables.

I.4.1. L'énergie solaire

Transformation de l'énergie solaire en électricité ou en chaleur à partir de panneaux ou de capteurs solaires. Le soleil, principale source des différentes formes d'énergies renouvelables disponibles sur terre.

Il existe deux types :

a. L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie.



Figure I.2: Module photovoltaïque [07]

b. L'énergie solaire thermique

Elle est radicalement différente de l'énergie solaire photovoltaïque, elle, produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. On utilise dans ce cas des capteurs thermiques qui relèvent d'une toute autre technologie. Dans le langage courant, ce sont des « chauffe eau solaires » ou des « capteurs à air chaud ».

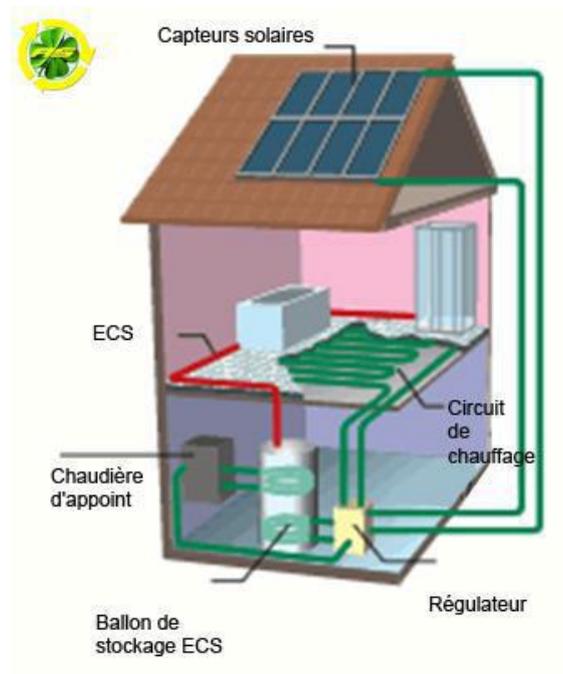


Figure I.3: Chauffe eau solaire [08]

c. L'énergie solaire thermodynamique

Il y a aussi ce qu'on appelle l'énergie solaire thermodynamique, qui fonctionne sur le principe de concentration des rayons solaires au moyen des miroirs galbés, en un foyer placé sur une tour qui emmagasine les calories pour les restituer ensuite sous forme mécanique à l'aide d'une turbine à vapeur par exemple.



Figure I.4: Tour solaire [09]

I.4.2. L'énergie éolienne

C'est une énergie produite par le vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur ou un moulin à vent.



Figure I.5: différents types d'éolienne. [09]

I.4.3. L'énergie hydraulique

Utilisant des cours d'eau pour produire d'électricité.



Figure I.6: énergie hydraulique [10]

I.4.4. La géothermie

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol. La plus grande partie de la chaleur de la terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre. [11]

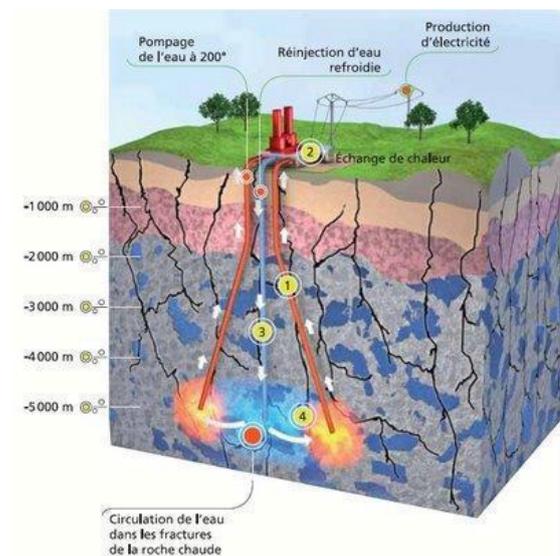


Figure I.7: Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande [11]

I.3.5. Le biogaz

Utilisation de l'énergie générée par la combustion du gaz méthane collecté et produit par les déchets organiques parvenant de l'agriculture et des décharges industrielles.

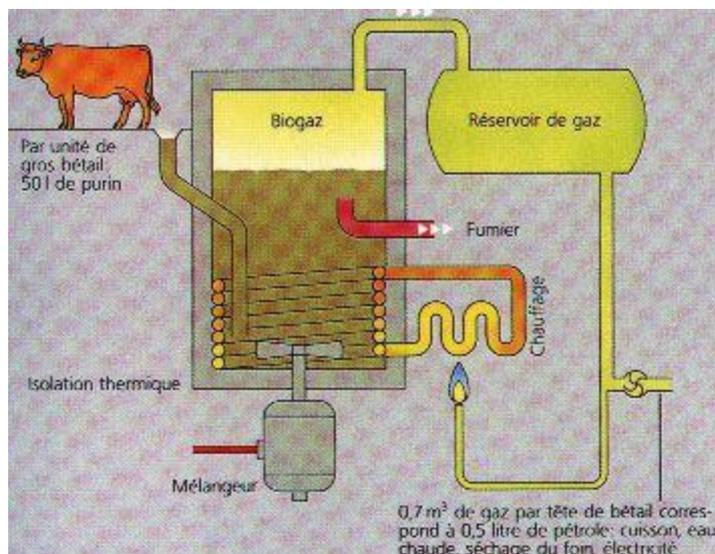


Figure I.8: Le principe du biogaz [11]

I.4.6. La biomasse

Il s'agit d'énergie stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse, et exploitée par combustion (bois et autre biocarburants). Elle est considérée comme renouvelable si on admet que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. [12]

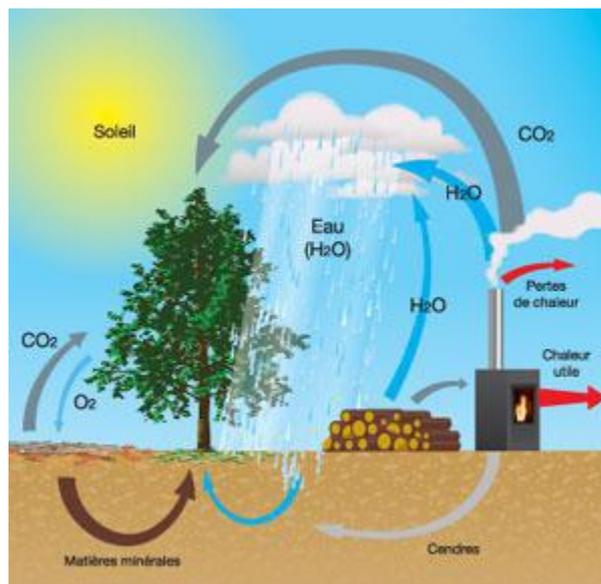


Figure I.9: Le principe de La biomasse [12]

I.4.7. L'énergie marémotrice

L'énergie des vagues (marée haute, marée basse), transformée en énergie électrique.



Figure I.10: Le principe de la marémotrice [13]

CHAPITRE II:
GENERALITES SUR LE SECHAGE

I. Séchage

Le séchage et tout particulièrement le séchage au soleil est l'une des plus anciennes techniques de conservation des produits agroalimentaires utilisée par l'homme. Elle consiste en l'exposition du produit aux rayons du soleil et à l'air libre.

I.1. Définition

C'est l'opération unitaire ayant pour but d'éliminer par évaporation un liquide imprégnant un solide ou un liquide. Le terme déshydratation a un sens plus restrictif : il ne concerne que l'élimination de l'eau dans un solide ou dans un liquide.

Le séchage est une opération consistante à abaisser l'activité du liquide d'un produit, jusqu'au seuil au duquel les réactions enzymatiques et d'oxydation sont inhibées, de même que le développement des microorganismes. [12]

I.2. Historique

Le séchage est une technique très anciennement utilisée pour la conservation des produits agricoles et alimentaires (céréales, graines, fourrages, viandes et poissons séchés, jambons, figes, noix, tabac, etc.), ou pour l'élaboration des matériaux (briques de terre sèche, céramiques, poterie avant cuisson, bois,...), ou pour les textiles (lavage, teinture,...) et les peaux. Pour ces applications traditionnelles, on fait encore beaucoup appel au séchage par l'air ambiant dit « naturel », le séchage dit « artificiel » avec apport d'énergie, n'étant qu'une technique complémentaire apportant une plus grande régularité face aux aléas climatiques, ou bien apportant de nouveaux services (lait sec ou café dits « instantanés », pâtes alimentaires sèches à longue conservation, etc.) [14]

I.3. Domaines d'utilisations

Le séchage est largement utilisé dans l'industrie alimentaire où il vient souvent compléter d'opération comme évaporation, la décantation, la filtration ou l'essorage. Il se pratique dans plusieurs cas.

➤ Industrie agroalimentaire

Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi une opération de séchage.

Le séchage peut être une étape nécessaire à la production du produit ou un rôle dans la conservation de l'aliment. Il existe moins de 200 types de séchoirs industriels dans le secteur alimentaire. On peut citer par exemple :

- les pâtes alimentaires
- le sucre cristallisé est obtenu par évaporation
- les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation

- le sel (gisement minier) est concassé, dissout, épuré avant d'être essoré et enfin séché jusqu'à devenir du sel raffiné.
- Certains produits en poudre : cacao, lait.
- **Industrie papetière**

Le papier est obtenu par séchage de la pâte à papier sur des rouleaux rotatifs chauffés.

➤ **Industrie du bois**

Le bois qui vient d'être abattu et scié contient un fort degré d'humidité qui interdit son utilisation immédiate dans les conditions correctes, sinon on s'expose à des changements de taille et de forme du bois. [14]

I.4. Différents méthodes du séchage

Il existe un grand nombre de méthodes de séchage différents. Selon la nature des produits à traiter, ces méthodes s'avèrent plus ou moins adaptées.

I.4.1. Séchage mécanique

C'est l'élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, Centrifugation, compression, décantation et filtration). [15]

I.4.2. Séchage chimique

C'est un procédé basé sur l'utilisation de produits déshydratants (osmotique) (chlorure de calcium,...) pour extraire l'eau.

I.4.3. Séchage thermique

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable une «activation» de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur.

Les deux transferts se dédoublent en une phase externe et une phase interne :

- Transfert de chaleur interne, de la source de chaleur vers la surface du produit.
- Transfert de chaleur interne, de la surface vers le cœur du produit.
- Transfert de masse interne, du cœur vers la surface du produit.
- Transfert de masse externe de la surface du produit vers le milieu extérieur. [10]

I.5. Caractéristiques de l'air de séchage

I.5.1. Humidité

Ce terme désigne le liquide contenu dans le corps solide, liquide ou pâteux, et devant être éliminé au cours du séchage.

I.5.2. Humidité absolue

On appelle humidité absolue ou teneur en humidité, la masse d'humidité mélangée à un kilogramme de gaz sec, cette humidité que nous désignerons par H_a est donnée par la relation suivante :

$$H_a = \frac{M_1}{M_2} (\text{kg}_v \cdot \text{kg}_{\text{gas}}^{-1})$$

I.5.3. Humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température. [16]

$$H_r = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100 \quad 0\% \leq H_r \leq 100\%$$

I.5.4. Température sèche

On nomme température sèche d'un gaz la température indiquée par une sonde de température placée dans le courant gazeux. Il s'agit de la température d'un gaz au sens Courant.

I.5.5. Température humide du gaz

On nomme température humide (ou température de bulbe humide) la température donnée par une sonde enrobée d'une mèche placée dans le courant gazeux et humidifiée en permanence par de l'eau pure. Il faut retenir que la température humide est la température prise par un solide humide durant la phase à vitesse constante d'un séchage par entraînement.

I.6. Caractéristiques des solides humides

Le solide à un film d'eau adhère à sa surface externe par des forces superficielles. Une couche limite à la périphérie du solide est constituée par de l'air saturé en eau, c'est-à-dire de l'air contenant de la vapeur d'eau à une pression partielle égale à la tension de vapeur d'une eau qui serait seule présente dans une enceinte, à la même température.

Soit une masse M_h de matériau humide contenant une masse M_e d'eau et une masse M_s de matière sèche:

$$M_h = M_e + M_s$$

I.6.1. Humidité absolue

L'humidité autoritaire ou taux d'humidité ou teneur ($\text{kg}_v/\text{kg}_{\text{gas}}$) en eau à base sèche, où plus simplement humidité s'exprime par liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche.

$$X = \frac{M_e}{M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_s}$$

I.6.2. Teneur en eau à base humide

L'humidité relative ou titre en eau (%), ou teneur en eau à base humide s'exprime par la masse du liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse humide.

$$X = \frac{M_e}{M_e + M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_s}$$

I.6.3. Taux d'humidité

C'est la masse de liquide contenue par unité de masse de matière à sécher. Bien qu'il soit fait très souvent référence à la matière humide, il est préférable d'exprimer le taux d'humidité par rapport à la matière anhydre.

I.6.4. États de siccité

Un corps anhydre est un corps dont le taux d'humidité est nul.

Un corps sec ou séché correspond plus généralement au produit tel qu'il est obtenu à la sortie du sécheur.

Dans ce dernier cas, le taux d'humidité n'est pas forcément nul.

I.6.5. Taux d'humidité à l'équilibre

Un corps humide, placé dans une enceinte de volume important où l'humidité relative et la température sont constantes, voit son taux d'humidité se stabiliser à une valeur dite d'équilibre qui dépend de la nature de l'humidité et de celle du produit qui en est imprégné, mais aussi de la pression partielle et de la température. [10]

$$X_{eq} = \frac{M_e}{M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_s}$$

I.7. Transferts de chaleur

La vaporisation du solvant contenu dans un produit à sécher peut être effectuée par abaissement de la pression dans l'enceinte contenant le produit.

Cependant, dans la plupart des cas, la vaporisation est effectuée en utilisant une source d'énergie extérieure au produit. Le séchage fait appel aux trois modes de transfert de chaleur.

I.7.1. Séchage par convection

En séchage, il s'agit probablement du mode de transfert d'énergie le plus courant. Il consiste à mettre en contact un gaz (air) s'écoulant en régime généralement turbulent autour du corps à sécher qui peut se présenter sous forme de particules, de gouttelettes, de films ou de plaques.

Ce type de transfert obéit à l'équation suivante :

$$Q = \alpha S (T_a - T_s)$$

Avec :

- Q (W) : la quantité de chaleur transférée par unité de temps.
- S (m²): surface d'échange.
- (T_a – T_s) (°K) : l'écart entre la température d'air de séchage et la température superficielle du produit à sécher.
- α (W / m²· K) : coefficient d'échange par convection. [17]

I.7.2. Séchage par conduction

L'énergie thermique nécessaire au séchage est apportée non pas par un gaz en mouvement autour du produit à sécher, mais par contact direct entre le produit et une paroi chauffée. Les vapeurs libérées par le séchage sont aspirées (séchage par ébullition) ou entraînées par un gaz de balayage dont le débit est toujours faible en comparaison de celui nécessaire à un séchage convectif.

Plus le gradient de température entre la paroi et le produit sera faible et plus la surface d'échange devra être importante.

Le flux thermique (en W/m²) est donné par la relation :

$$\frac{Q}{S} = -\lambda \frac{DT_s}{dt}$$

Avec :

- λ (W / m·K) conductivité thermique de la pellicule de produit ou de gaz à travers laquelle s'effectue le transfert,
- $\frac{DT_s}{dt}$: Gradient de température entre la paroi chaude et le produit.

I.7.3. Séchage par rayonnement

Dans ce mode de séchage, l'énergie nécessaire à l'évaporation est transmise par rayonnement.

Ce procédé de séchage est très efficace pour l'élimination de l'eau, surtout lorsque le produit à sécher n'est pas thermosensible.

Les sources chaudes émettrices peuvent être des émetteurs au gaz combustible, des émetteurs électriques, ou le soleil.

I.8. Transfert de masse d'un produit humide

On peut imaginer la plupart des corps à sécher comme étant constitués par une matrice continue, éventuellement interrompue localement, dans le cas d'un solide, par des pores pouvant déboucher à la surface de celui-ci. L'humidité peut se localiser aussi bien à la surface externe du produit que dans les pores ou au sein même de la matière.

La vaporisation de l'eau nécessite un apport énergétique au produit à sécher et dont la source est extérieure à celui-ci. Simultanément se produit la migration de l'eau vers le milieu ambiant. La vitesse de ce transfert de matière varie au cours du temps. Elle dépend des conditions ambiantes (température, humidité relative, vitesse des gaz en contact avec le produit), mais aussi de la nature même du solide et de l'eau. [17]

I.9. Vitesse de séchage

La vitesse de séchage est définie comme le rapport entre la quantité d'eau évaporé de solide a séché par unité de temps et de masse de solide sec, ou toute simplement la limite du quotient de la différence de teneur Δm par l'intervalle de temps Δt , c'est la grandeur qui caractérise pratiquement l'allure du transfert

La vitesse de séchage est fonction de très nombreux paramètres dont les plus importants sont :

- La nature, la porosité, la forme et l'humidité du produit.
- La température, l'humidité et la vitesse de l'air. [18]

I.10. Cinétique du séchage

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps, au celle donnant la vitesse de séchage $\left(-\frac{dX}{dt}\right)$ en fonction de X. Ces courbes sont généralement obtenues pour différents conditions expérimentales (températures, vitesse de l'air asséchant, hygrométrie...). Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps. Sur la courbe schématique présentée à la Figure (II.1), on peut distinguer trois phases:

I.10.1. Période de mise en température (Période 0)

L'humidité du produit dans cette période varie mais pas sensiblement et la température du produit varie (croît ou décroît) jusqu'à la température humide correspondant à l'environnement séchant (zone A-B). Cette période est courte et n'apparaît véritablement que si les produits sont de grande taille, ou si la différence de température entre l'air et le produit est important.

I.10.2. Période à vitesse constant

Durant cette période, la vitesse de séchage reste à peu près constante pour la plupart des produits. L'humidité se déplace vers la surface à l'état liquide principalement sous l'effet des forces capillaires, l'équilibre entre la diffusion dans la couche limite (à l'interface air matériau) et les mécanismes de transfert d'humidité interne au sein du produit vers la surface est établi, la température reste uniforme dans le produit car le flux de chaleur échangé avec l'air chaud est entièrement utilisé pour la vaporisation de l'eau à la surface, cette période

s'achève lorsque les forces capillaires ne peuvent plus soutenir la vaporisation l'eau de surface, et couvre généralement une grande partie du temps de séchage.

I.10.3. Période de ralentissement

Pendant cette phase, les forces capillaires ne sont plus suffisantes pour acheminer l'eau vers la surface du produit. La vitesse de séchage ne peut plus être maintenue constante et elle commence à décroître.

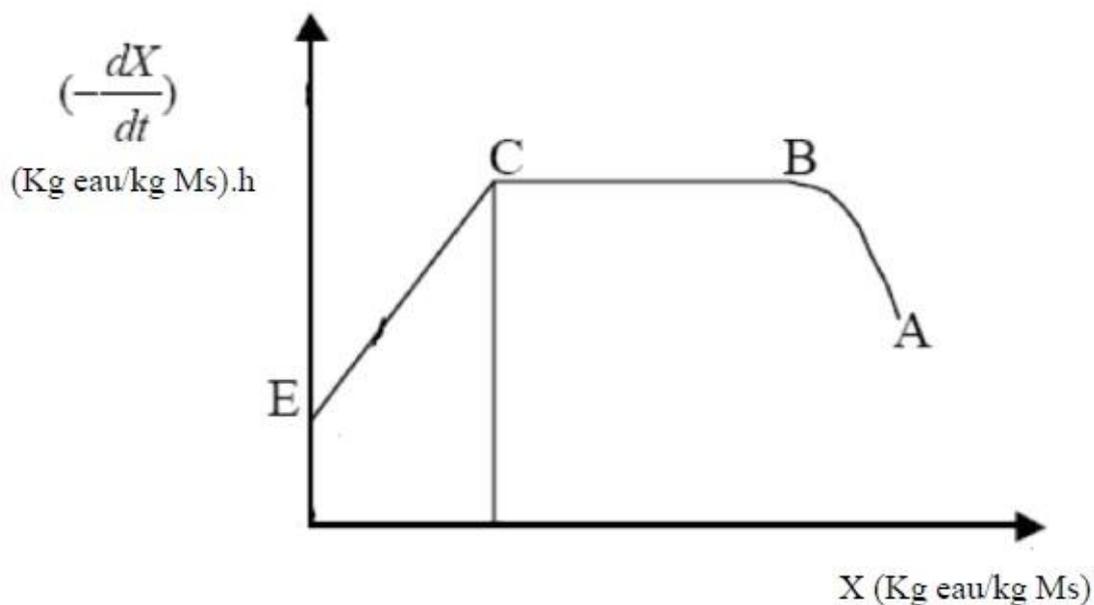


Figure II.1 : Cinétique de séchage [18]

En réalité, le séchage est beaucoup plus complexe car le déplacement de l'eau est influencé par plusieurs phénomènes :

- Les forces de capillarité qui entraînent une migration de l'eau en sens inverse du gradient de température.
- Les différences de pression partielles qui entraînent un déplacement de l'eau sous forme vapeur.
- La migration des matières solubles (sucre, sels) à la surface qui entraînent une résistance supplémentaire.
- La résistance au déplacement est fonction de la structure cellulaire ou fibreuse du produit.
- La déformation du produit très importante pour les produits biologiques. [18]

II. Les capteurs solaires

Un capteur solaire ou panneau solaire est un élément d'une installation solaire destiné à recueillir l'énergie solaire pour le convertir en énergie thermique et le transférer à un fluide caloporteur (air, eau) ou en énergie électrique. Nous distinguons principalement deux types de capteurs solaires: le capteur solaire thermique et le capteur solaire photovoltaïque.

II.1. Types de capteurs solaires :

Principalement il y a deux types de capteurs solaires.

II.1.1. Capteurs solaires photovoltaïques

Qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. [19]

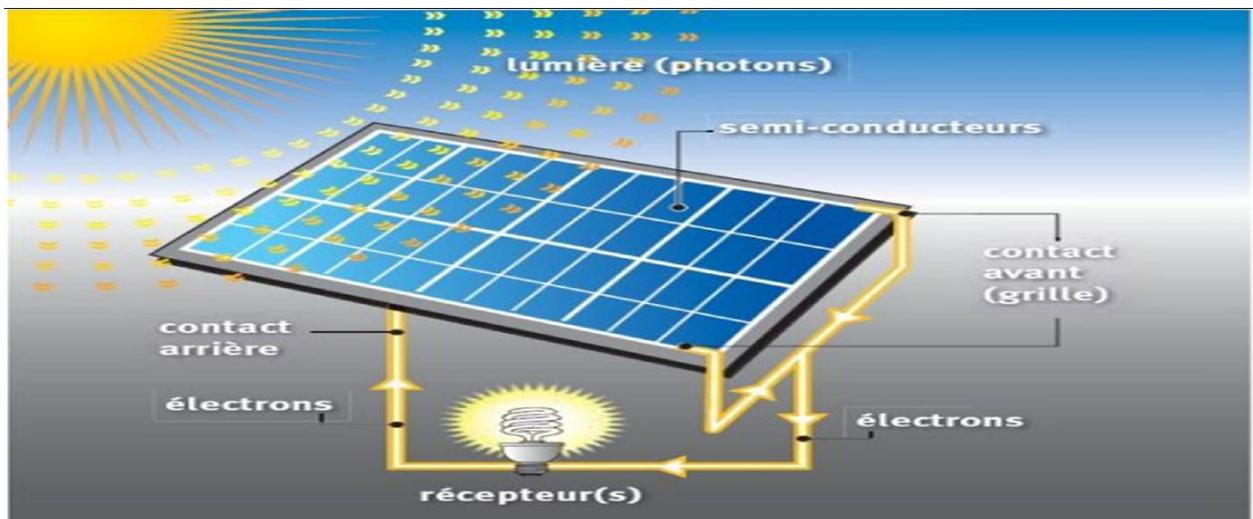


Figure II.2 : Panneaux photovoltaïque [19]

II.1.2. Capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires thermique sont des appareils permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre. [18]

Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- les capteurs plans.
- les capteurs par concentration.

II.2. Les différents types de structure de séchoirs solaire

Pour améliorer l'efficacité de la dessiccation, il faut employer une sorte de structure qui capte la radiation solaire. Plusieurs types de séchoirs solaires ont été mis au point et sont illustrés ci-dessous.

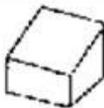
Dessiccation solaire	description des types de séchoirs	
Armoire directe	la chambre de séchage est émaillée et on n'emploie pas de collecteur solaire séparé.	
Armoire indirecte	Le collecteur solaire est séparé de la chambre de séchage.	
Tunnel direct	En général une structure avec un cadre en cerceau recouvert d'une ou deux épaisseurs de film plastique.	
Tunnel bas	Séchoir direct semblable à ci-dessus mais construit près du sol, en général ne peut contenir qu'une seule couche de produit.	
Tente	Séchoir direct avec un cadre droit plutôt que courbé.	
Bac	Séchoir indirect avec courant d'air forcé.	

Tableau II.1 : structure de quelques séchoirs solaire [18]

II.3. Classification des systèmes de séchage à énergie solaire

Les systèmes de séchage à énergie solaire sont classés principalement selon leurs modes de chauffage et la façon en la quels la chaleur solaire est utilisée. De façon générale, ils peuvent être classés dans deux groupes principaux, à savoir :

- Systèmes de séchage à énergie solaire actifs (dont la plupart des types se nomment souvent les dessiccateurs solaires hybrides).
- Systèmes de séchage à énergie solaire passifs.

Trois classes secondaires distinctes des systèmes de séchage solaires actifs ou passifs peuvent être identifiées (qui changent principalement dans l'arrangement de conception des composants de système et le mode de l'utilisation de la chaleur solaire), à savoir :

- Les séchoirs solaires directs.

- Les séchoirs solaires indirects.
- Les séchoirs solaires mixtes.

II.3.1. Systèmes de séchage à énergie solaire passifs

II.3.1.1. Les séchoirs solaires directs

Les séchoirs directs sont des appareils simples et caractérisé par :

- Simplicité de fonctionnement et de construction
- Produit protégé

Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire.

Le font de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de la chaleur. Une feuille de plastique en polyéthylène transparent sert généralement de toit mais peut également utiliser d'autre matériaux, plus chers comme le verre ou les plastique spéciaux, donc le séchoir solaire direct combine deux effets :

- La température qui augmente sous l'effet de serre.
- La circulation naturelle de l'air dans le séchoir.

➤ Avantages

- Bien meilleure protection contre la poussière, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
- Pas besoin de main d'oeuvre qualifiée.
- Grandes possibilités de conception. [20]

➤ Inconvénients

- Dégradation de la qualité par exposition directe au soleil, destruction de la vitamine A et C, décoloration.
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

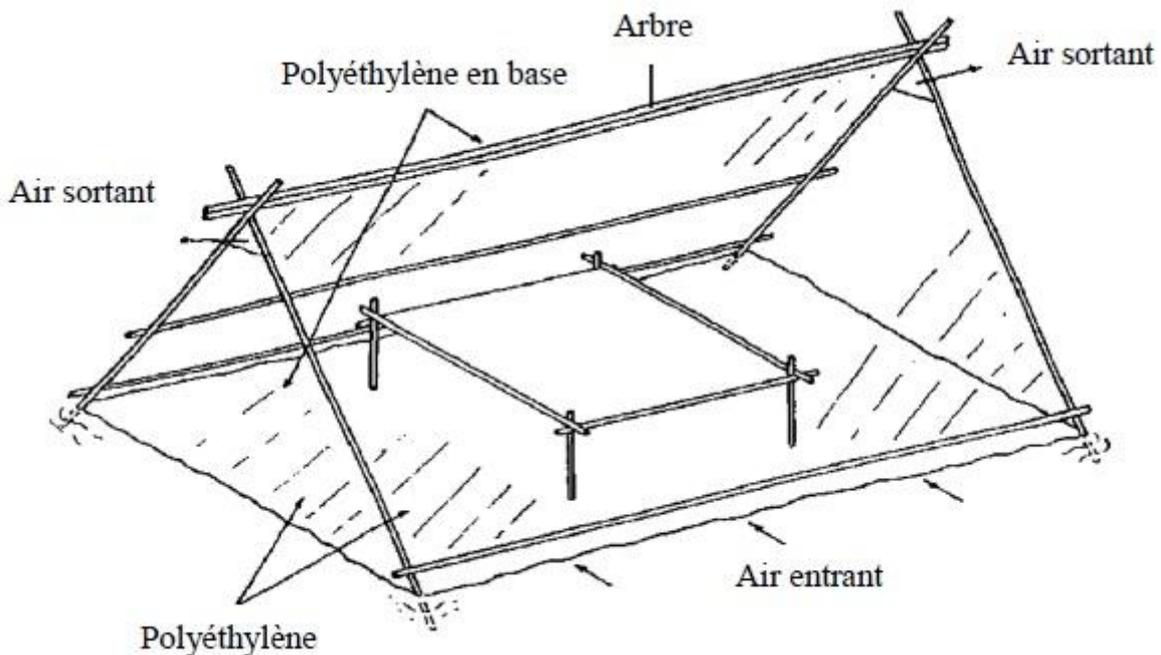


Figure II.3 : Le séchoir solaire tente en polyéthylène

II.3.1.2. Les séchoirs solaires indirects

Les séchoirs solaires indirects comportent des isolateurs placés en amont d'une chambre de séchage et destinés à chauffer ou préchauffer l'air avant son envoi dans cette dernière.

➤ Principe de fonctionnement :

Dans les séchoirs solaires indirects, le collecteur convertit le rayonnement solaire en chaleur. L'air pénètre dans le collecteur, il est chauffé, sa température augmente. L'air chaud monte par convection jusqu'à la chambre de séchage, cet air est ensuite utilisé pour sécher les produits. La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques. [18]

➤ Avantages

- Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive.
- Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles.

➤ Inconvénients

- Coût important.
- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.

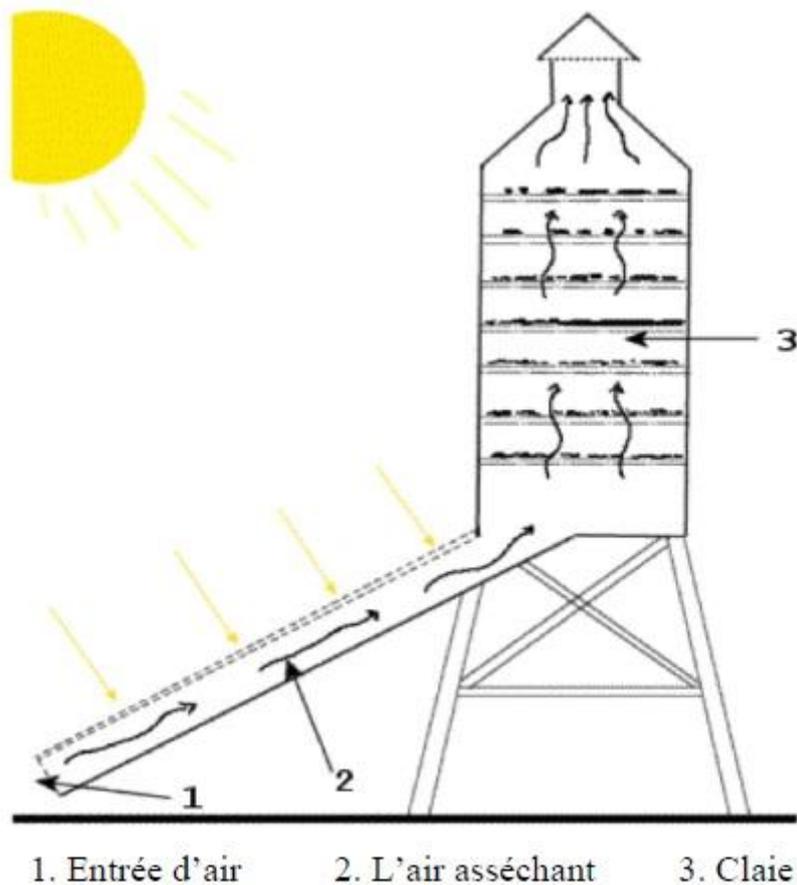


Figure II.4 : Séchoir solaire indirect [21]

II.3.1.3. Les séchoirs solaires mixtes

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, l'action combinée du rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire est de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage. [18]

II.3.2. Systèmes de séchage à énergie solaire actifs «Les séchoirs hybrides »

Les systèmes de séchage solaires actifs utilisent les systèmes de chauffage à énergie solaire et/ou électriques ou par combustible fossile basés et les ventilateurs et/ou les pompes motorisés pour la circulation d'air. L'apport d'énergie supplémentaire peut se situer à deux endroits différents du séchoir :

- L'énergie d'appoint permet de maintenir une température constante à l'intérieur du séchoir quelles que soient les conditions climatiques. Dans ce cas, l'énergie solaire devient secondaire, elle permet de préchauffer l'air.
- Le ventilateur assure la circulation de l'air. Ici l'énergie solaire reste la source de chaleur mais le séchoir a une capacité d'évaporation plus importante grâce à une meilleure ventilation.

➤ **Avantages**

- Affranchissement par rapport aux conditions climatiques.
- Forte augmentation de la productivité par rapport au séchoir solaire car le matériel peut fonctionner la nuit ou en saison des pluies si besoin.

➤ **Inconvénients**

- Coût de production et d'investissement élevé.
- Nécessité d'approvisionnement local en carburant, électricité, gaz.
- Personnel qualifié pour la maintenance. **[18]**

CHAPITRE III:
MATERIELS & METHODES

III.1. Définition et Origine du poivron

Le poivre est un groupe de cultivars de l'espèce. Ce sont les variétés douces issues de cette espèce par sélection. Ces cultivars doux produisent des fruits de différentes couleurs dont le rouge, le jaune et l'orange. Le fruit est également consommé sous sa forme verte immature. C'est une plante annuelle de la famille des Solanacées originaire du Mexique, d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. La plante est cultivée comme plante potagère pour ses fruits consommés, crus ou cuits, comme légumes. Le terme désigne à la fois le fruit et la plante.

Le poivron est l'ingrédient indispensable d'un certain nombre de plats, comme la piperade ou la ratatouille, mais il peut aussi bien servir d'accompagnement. [22]

Le poivron a été retenu pour notre expérimentation. Le choix est motivé par sa relative abondance, la plus-value de sa transformation, le service rendu à l'économie et l'amélioration des revenus dans la filière agro-alimentaire (création d'emplois).



Figure III.1 : Matière végétal (Poivron)

Tableau III.1 : Caractéristiques du poivron [22]

Poids/volume	Poivre, cru, 100 g
Calories	40
Protéines	1.9 g
Glucides	9 g
Lipides	0.4 g
Fibre alimentaires	1.5 g

III.2. Systématique du poivron

- Règne : *Plantae* ;
- Division : *agnoliophyta* ;
- Classe : *Magnoliopsida* ;
- Ordre : *Solanales* ;
- Famille : *Solanaceae* ;
- Genre : *Capsicum* ;
- Espèce : *Capsicum annuum*

III.3. Description du séchoir solaire

Le séchoir solaire étudié (figure III.2) est un séchoir solaire indirect à convection naturelle.



Figure III.2 : Séchoir solaire indirect à l'URERMS Adrar

III.3.1. Le capteur solaire PVT expérimental utilisé

Est un capteur à air plan, constitué de deux panneaux : panneau thermique d'une longueur de 1.30 m, d'une largeur de 0.40m et d'une épaisseur de 0.1 m, et un panneau photovoltaïque thermique de mêmes dimensionnement que le précédent.

Les deux parties sont recouvertes en verre, les côtés latéraux et la partie inférieure sont isolés thermiquement.

III.3.2. La Chambre de séchage

La chambre de séchage est une boîte en bois de forme cubique, de dimensions : 1*0.3*0.4 m³, les parties latérales sont isolées thermiquement par du bois et du polystyrène. A

L'intérieur de la boîte se répartissent (7) claies en bois de forme rectangulaire, sur lequel est fixé un grillage pour permettre le passage de l'air.

Il dispose également d'un ventilateur de 0.012m de diamètre qui expulse l'air frais.

III.4. Préparation du produit

Le poivre acheté, lavé puis coupée en tranches de 3mm à 5 mm d'épaisseur et d'environ 5 cm de longueur est étalé sur les claies.

La quantité de poivre préparé est partagée en quatre lots. On met 400g de masse du produit dans chaque claie et on met une claie dans le séchoir solaire et deux claies sont destinés à être séchés dans le séchoir solaire indirect. Le quatrième va subir un séchage à l'air libre.



Figure III.3 : Préparation de poivron dans les claies



Figure III.4 : Installation des claies pour le séchage

➤ Produit séché

Après un temps nécessaire, nous avons obtenu de poivre séché avec une teneur en eau à base sèche.



Figure III.5 : Produit séché

III.5. Appareillages de mesure**III.5.1. Mesure des températures**

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples :

– **Les thermocouples de type K**, qui sont placés sur :

- panneaux et vitre panneaux photovoltaïque
- la plaque du capteur thermique
- l'entrée et la sortie d'eau
- l'entrée de l'air à la chambre
- claie portant le produit à sécher
- Milieu de séchoir
- température ambiante

– **Les thermocouples de type J** sont placés sur :

- La vitre et l'entrée d'air au capteur thermique
- sortie d'air de la chambre

L'ensemble des thermocouples est relié à un module placé dans L'acquisition de données, les résultats sont transformés au P.C pour traitement.



Figure III.6 : Les thermocouples placés dans le module

III.5.2. Mesure de l'humidité et de la vitesse d'air

L'humidité et la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie de la chambre de séchage sont mesurées respectivement à l'aide d'une sonde à affichage numérique et d'un manomètre connecté à un appareil de marque testo. Les résultats obtenus sont affichés par ordinateur.



Figure III.7 : Appareil thermo et hygromètre Testo H176

III.5.3. Matériels du laboratoire

Le matériel du laboratoire utilisé est représenté en différentes verreries et outils. Ils sont représentés dans le tableau III.2 :

Matériels utilisés	
Verreries	Outils
<ul style="list-style-type: none"> • Éprouvette graduée • Ballon • Colon de distillation • Réfrigèrent • Erlenmeyers • Ampoule à décanté • Pycnomètre • Béchers • Pipete pasteur • Tubes à essai • Flacons • Coude en verre 	<ul style="list-style-type: none"> • Couteau • Spatule • Prototype de distillation • Creuset • Compte-goutte • Pince en bois • Pince en métal • Boite de pétri • Bec benzène • Porte-tubes à essai • Dessiccateur

Tableau III.2 : Matériels utilisés

III.5.4. Appareillage

Les appareils utilisés dans cette recherche sont :

- Etuve
- Balance
- Chauffe ballon
- Pompe eau émergé
- Four à moufle
- Refractomètre
- Densimètre
- pH mètre
- Agitateur vortex

III.6. Caractéristique physico-chimique de poivron

III.6.1. Activité d'eau

L'activité de l'eau est un facteur critique qui détermine directement la conservation des aliments. La température, le pH et quelques autres facteurs ont une certaine influence sur la possibilité et le taux de croissance d'un organisme dans des denrées alimentaires. L'activité de l'eau représente le plus important de ces facteurs.

Pour mesurer l'activité d'eau de poivre, on utilise appareil Hygrolab



Figure III.8 : Appareil Hygrolab (l'activité d'eau)

III.6.2. Détermination de la teneur en eau

- Sécher les trois capsules vides à l'étuve durant 15 minutes à 105 °C.
- Mettre les capsules après refroidissement dans un dessiccateur.
- Peser dans chaque capsule 5g de poivre et les placer dans l'étuve réglée à 105 °C.
- Retirer les capsules de l'étuve, les placer dans le dessiccateur et après refroidissement les peser.

L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant (en réduisant la durée de séchage à 30 minutes).



Figure III.9 : Le produit dans l'étuve

Le pourcentage de l'humidité est donné par la formule suivante :

$$\text{Humidité (H\%)} = \frac{M1-M2}{P} \times 100$$

Avec :

H% : Humidité.

M1 : Masse du creuset + matière fraîche avant l'étuvage.

M2 : Masse de l'ensemble après l'étuvage.

P : Masse de la prise d'essai.

$$\text{Matières sèches (\%)} = 100 - H (\%)$$

III.6.3. Détermination de cendre / matière organique

La quantité de poivre (5g) est introduite dans une étuve pendant 24 heures à 105 °C puis dans un four à moufle pendant 3 heures à 550 °C.



Figure III.10: four à moufle

Le pourcentage de la matière organique est donné par la formule suivante :

$$\text{Matières organiques (MO\%)} = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

Avec :

MO : Matière organique.

M1 : Masse de (creuset + matière sèche après l'étuvage).

M2 : Masse de (creuset + cendre).

P : Masse de prise d'essai.

La teneur en cendre est calculée comme suit :

$$\text{Cendre (\%)} = 100 - \text{MO (\%)}$$

III.6.4. Détermination du pH

Couper en petits morceaux une partie de l'échantillon.

– placer le produit dans un bécher et y ajouter au moins deux ou trois fois son volume d'eau distillée.

- chauffer au bain-marie pendant 30 mn en remuant de temps en temps avec une baguette de verre.
- broyer ensuite le mélange obtenu dans un mortier et procéder à la détermination en prenant soins que l'électrode soit complètement immergée dans la solution.

**Figure III.11 : Plaque chauffante utilisée****Figure III.12: pH mètre**

III.6.5. Détermination de l'acidité titrage

Peser à 0,01g près au moins 25g de l'échantillon à analyser.

- Placer l'échantillon dans une fiole conique avec 50 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie puis mélanger jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène.
- Adapter un réfrigérant à la fiole conique puis chauffer le contenu au bain-marie pendant 30 minutes.
- Refroidir, transvaser quantitativement le contenu de la fiole conique dans une fiole jaugée de 20 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie, bien mélanger puis filtrer.
- prélever à la pipette 10 ml du filtrat et les verser dans un bécher.
- Ajouter trois gouttes de phénolphaléine et tout en agitant, titrer avec de la solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

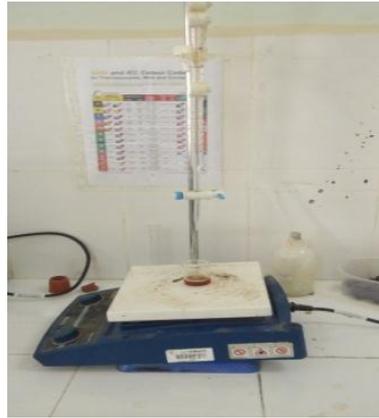


Figure III.13: titrage de solution

L'acidité titrage est exprimée en grammes d'acide pour 100g de produit :

$$A (\%) = \frac{20.V1.100}{V0.M.10} \times 0.07$$

Soit :

M : la masse, en grammes de produit prélevé.

V0 : le volume en millilitres de la prise d'essai.

V1 : le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée (0,1 N).

0.07 : facteur de conversion de l'acidité titrage en équivalent d'acide citrique.

III.6.6. Détermination de la teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)

➤ Principe

Le principe de la méthode est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, et dosé après déplacement en milieu alcalin et distillation sous forme d'ammonium. [21]

• Mode opératoire

- Introduire dans un matras de minéralisation 1 g d'échantillon, ajouter une pincée de catalyseur (sulfate de cuivre et de potassium) ;
- Ajouter 15 ml d'acide sulfurique pur ;
- Utiliser un chauffage progressif ; d'abord une attaque à froid pendant 15 mn jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures ;
- Quand la solution devient limpide, elle est refroidie et complétée à 100 ml avec de l'eau distillée ;
- La distillation se fait dans un distillateur automatique (VELP) où l'ajout de 20 ml de lessive de soude à 35 % dans le matras et 25 % d'acide borique dans une fiole de 250 ml est réalisée;

-Le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et rouge de méthyl). L'excès d'ammoniac est alors dosé par l'acide sulfurique 0,05 N dans un titrateur automatique.

NB : Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans échantillon.

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$N \% = \frac{V}{V'} \times (N - N') \cdot 0,05 \cdot 1,5$$

P

Soit :

V : Solution minéralisée et complétée à 100 ml ;

V' : Solution de la soude ajoutée 20 ml ;

N : La quantité d'acide sulfurique lue après titration ;

0,05 : Normalité d'acide sulfurique ;

P : Masse de la prise d'essai 1 g.

III.6.7. Détermination de la teneur en polyphénols

III.6.7.1. Extraction des polyphénols

Plusieurs solvants organiques peuvent être utilisés pour l'extraction des composés phénoliques. Le méthanol pur est l'un des solvants qui donne le meilleur rendement d'extraction. Le procédé d'extraction est réalisé comme le montre la figure III.14.

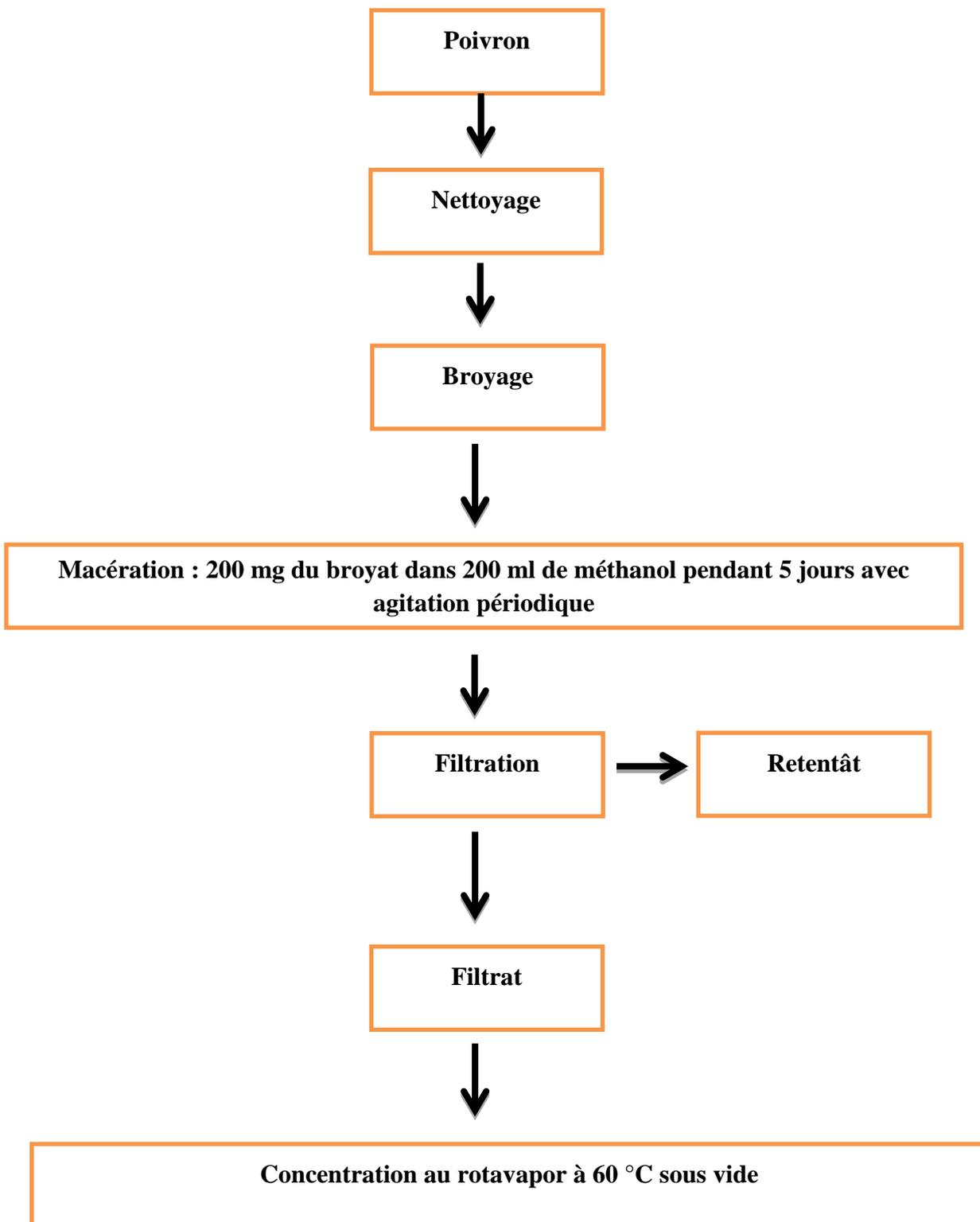


Figure III.14: Principales étapes d'extraction des polyphénols [23]

III.6.7.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux**➤ Principe**

En présence de phénols, le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolibdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) est réduit en oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}), que l'on détermine par colorimétrie.

• Mode opératoire

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé par la méthode décrite par **Juntachote et al., (2006)**.

A) Préparation de la gamme d'étalonnage

-Peser 200 mg d'acide gallique ;

-Les dissoudre dans 100 ml d'éthanol, soit une solution (S_1) avec une concentration de 2 mg/ml ;

-Diluer la solution mère comme suit :

* Prélever 5 ml de la solution mère puis ajouter 5 ml d'eau distillée et l'en obtient la dilution S/2;

* Prélever 5 ml de la solution S/2 puis rajouter 5 ml d'eau distillée et l'en obtient la dilution S/4;

* Refaire la même procédure pour les autres dilutions.

B) Dosage proprement dit

-Prélever 0,5 ml de chaque dilution d'échantillon dans des tubes à essais ;

-Ajouter 5 ml d'eau distillée dans chaque tube ;

-Ajouter 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu's ;

-Après 3 mn, ajouter 0,5 ml de carbonate de sodium à 20 % ;

-Laisser incuber pendant une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Dilutions	S	S/2	S/4	S/8	S/16	S/32	S/64	S/128	S/256	S/512
Concentrations (mg/ml)	200	100	50	25	12,5	6,25	3,13	1,56	0,78	0,39

Tableau III.3 : Préparation des dilutions de l'acide gallique pour la réalisation de la courbe standard des polyphénols totaux

Le blanc est représenté par 5 ml d'eau distillée, additionnée de 0,5 ml de Folin-Ciocalteu's et 0,5 ml de carbonate de sodium à 20 %.

La lecture des absorbances est faite à 760 nm, après agitation et repos d'une heure. La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à la courbe

d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage (voir Annexe D).

Le dosage des polyphénols totaux dans l'extrait de dattes est représenté par l'organigramme de la figure III.15.

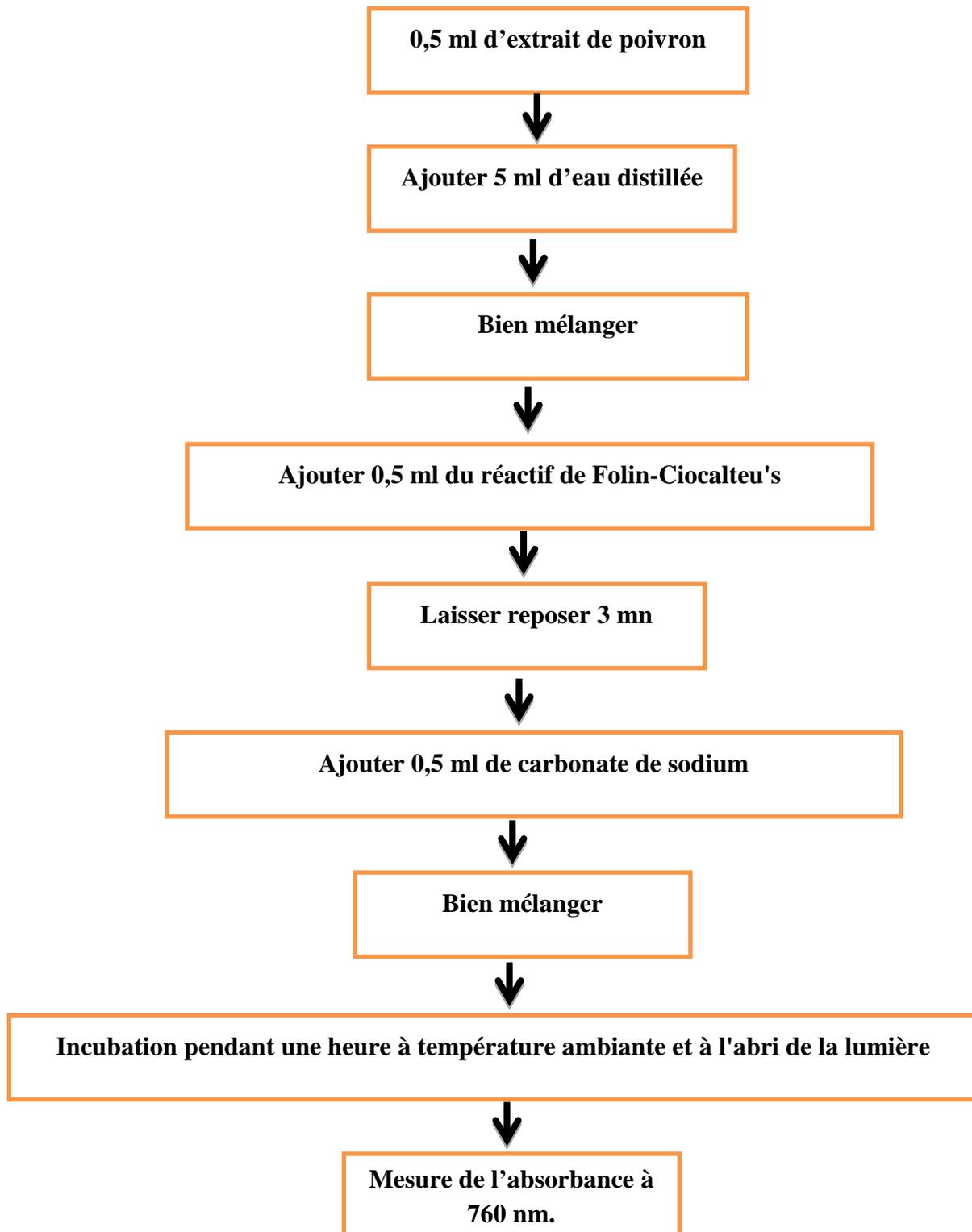


Figure III.15 : Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux. [24]

III.6.7. Détermination de la teneur en sucres

Les sucres totaux sont déterminés selon la méthode de Dubois et al., (1956) dont le principe repose sur la réaction suivante : l'acide sulfurique concentré provoque, à chaud, le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne par la formation d'un hydroxy-méthylfurfural (HMF) dans le cas d'hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune-orangé). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses. La densité optique est mesurée à 488 nm à l'aide d'un spectrophotomètre

Réactifs:

- Phénol 5 % dans l'eau distillée.
- Acide sulfurique concentré à 95% de pureté et de densité $d = 1,84$

- **Protocole**

- Ajouter à 1 ml d'échantillon, 1 ml de phénol et 5 ml d'acide sulfurique concentré. Agiter et laisser reposer 10min à température ambiante.
- Incuber au bain marie à 30°C pendant 20 min.
- Mesurer la coloration jaune orangé à 488 nm, les valeurs obtenues sont traduites en concentrations de glucose par référence à une courbe d'étalonnage préalablement établies.

III.6.8. Indice de Réfraction (AFNOR T 60 212)

C'est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide, à une longueur d'onde définie, à la vitesse de propagation dans la substance. La longueur d'onde choisie est celle de la moyenne des raies D du sodium.

- **Principe**

Les mesures sont effectuées au réfractomètre d'ABBE, à une température de 20°C, la méthode suivie est celle décrite dans la norme AFNOR T 60-212.

- **Mode opératoire**

- ✓ Laver les prismes du réfractomètre à l'éther de pétrole.
- ✓ Les essuyé avec un chiffon propre très doux.
- ✓ Verser alors entre les prismes 2 à 3 gouttes d'échantillon préparé.
- ✓ Déplacer alors la lunette de visée pour que la ligne de séparation de la plage claire et de la plage sombre se situe à la croisée des fils du réticule.
- ✓ Lire l'indice de réfraction de saccharose à $T^{\circ}C=20^{\circ}C$.

CHAPITRE IV:
RESULTATS & DISCUSSIONS

IV. Résultats et discussions des Caractéristiques physico-chimiques de poivron

IV.1. Activité d'eau

Les résultats indiqués dans le tableau suivant montrent l'activité d'eau du produit avant et après le séchage :

Tableau IV.1: l'activité d'eau du produit avant et après le séchage

	Avant séchage (AW)	Après séchage (AW)
Activité d'eau (AW)	0.92	0.26

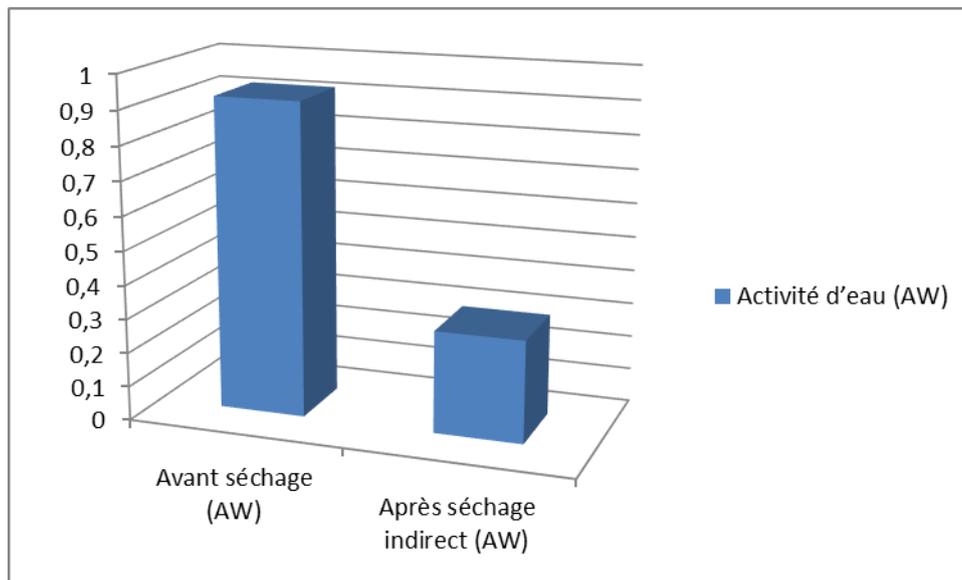


Figure IV.1: l'activité d'eau du produit avant et après le séchage

Nous remarquons, que l'activité d'eau diminue sur produit après séchage. Cette diminution est due à l'évaporation d'eau par l'effet de température.

IV.2. Détermination de la teneur en eau, cendre / matière organique

Tableau IV.2: la teneur en eau, cendre / matière organique avant et après le séchage

	Humidité (%)	Matière sèche	Matière organique	Cendre
Avant séchage	92	8	7.12	0.88
Après séchage	26.62	73.38	67.59	32.41

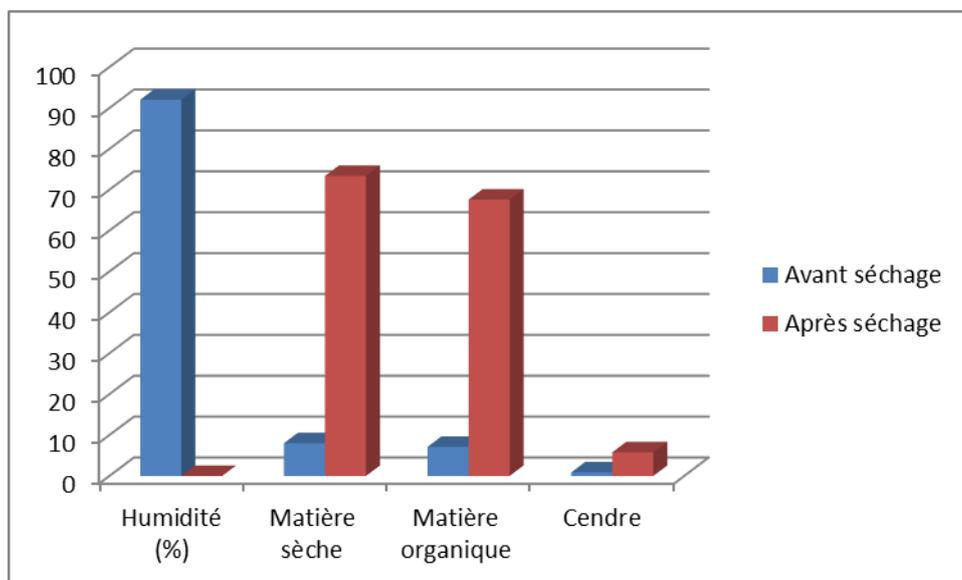


Figure IV.2: la teneur en eau cendre / matière organique avant et après le séchage

D'après les résultats obtenus,

- le taux des matières sèches dans le produit séché est de 73.38 % après séchage, cette valeur est supérieure à celle de produit frais.

- Le taux de cendres représente la quantité totale en sels minéraux présents. La valeur trouvée dans poivre est de 32.41 % du poids sec après séchage. Cette valeur est supérieure par rapport à la valeur de 0.88 % de matière sèche dans le produit frais.

Cette augmentation est due sur l'effet de l'évaporation d'eau

IV.3. Détermination du pH

Le pH joue un rôle non négligeable dans l'appréciation de la qualité organoleptique du poivre

Les résultats indiqués dans le tableau suivant montrent les valeurs de pH pour notre produit après et après séchage solaire.

Tableau IV.3: valeur de pH du produit avant et après le séchage

	Avant séchage	Après séchage
pH	5,34	5,77

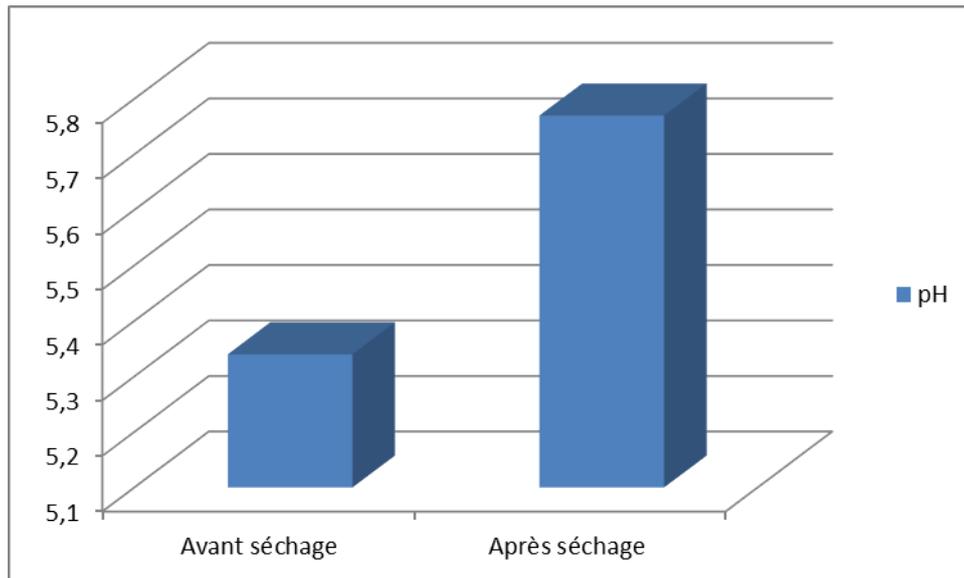


Figure IV.3: pH du produit avant et après le séchage

D'après le tableau IV.3, Le poivre séché présente un pH de 5,77, valeur légèrement supérieure à celle de l'état frais 5,34. Cette valeur est favorable pour la conservation de certaines vitamines et limité le taux de croissance des microorganismes.

IV.4. Détermination d'acidité

Tableau IV.4 : Résultats d'acidité obtenus du produit avant et après le séchage

	Avant séchage	Après séchage
Acidité (%)	0.28	1.4

D'après le résultat, le poivron étudié présente une acidité de 0.28 % de matière fraîche, correspondant à une teneur de 8 % de matière sèche dans l'état frais. Cette valeur est augmentée après le séchage pour atteindre la valeur de 1,4.

IV.5. Les sucres totaux (méthode de Dubois)

Les résultats indiqués dans le tableau suivant montrent le taux de sucre totaux du produit avant et après le séchage

Tableau IV.5 : Teneur en sucre totaux dans le produit avant et après séchage

	Avant séchage	Après séchage
Taux de sucre totaux g/100 ml	2.9	1.64

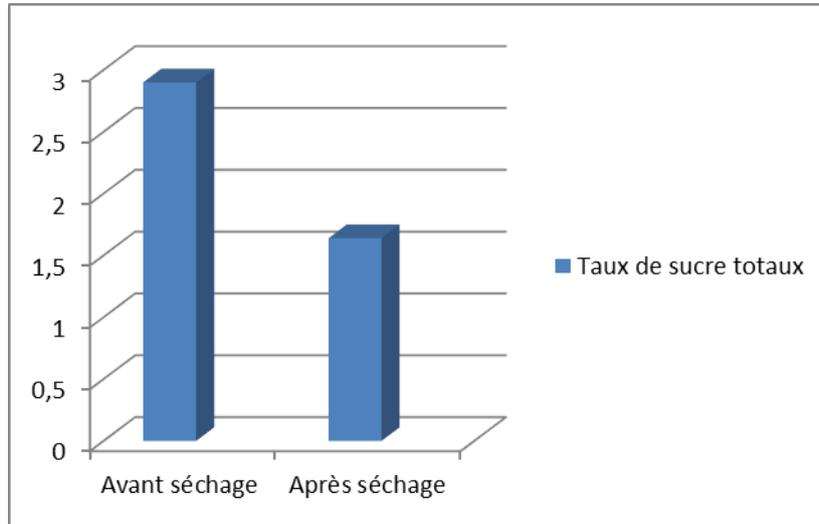


Figure IV.5: la Teneur en sucre totaux dans le produit avant et après séchage

La teneur en sucres totaux dans le produit avant et après séchage est de 2.9 et 1.64 g/100 ml respectivement. De ces résultats, nous remarquons que le poivre frais est plus riche en sucres.

IV.6. La teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau IV.6.

Tableau IV.6 : La teneur en protéines dans le produit avant et après séchage

	Avant séchage	Après séchage
Teneur en protéine %	1.61	1.09

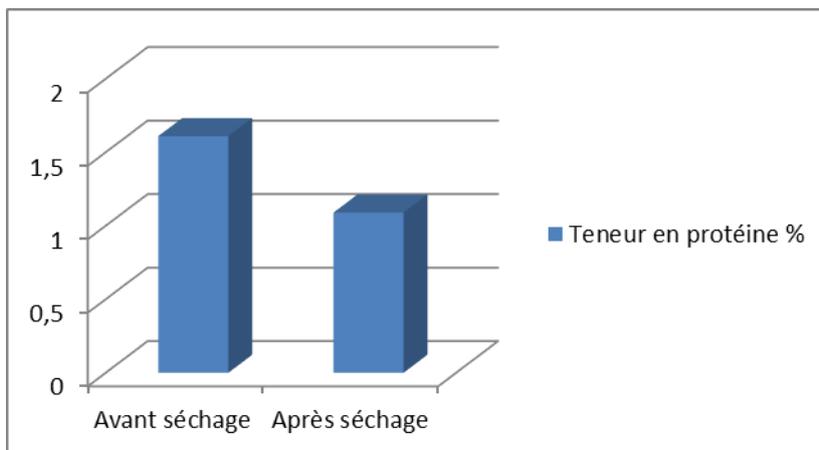


Figure IV.6: la Teneur en protéine dans le poivron avant et après séchage

Le taux en protéines est estimé à 1,61 % de matière sèche de produit frais. Cette teneur est supérieure à celle trouvée dans le produit séché, qui donne une valeur de 1,09 % du poids sec

IV.7. La teneur en Polyphénols totaux

Les résultats obtenus pour nos échantillons sont calculés en équivalent en mg acide Gallique / g matières sèche par rapport à la courbe d'étalonnage (Voir annexe II).

Tableau IV.7 : La teneur en polyphénol totaux dans le produit avant et après séchage

	Avant séchage	Après séchage
Teneur en polyphénol (mg/ml)	326	41.60

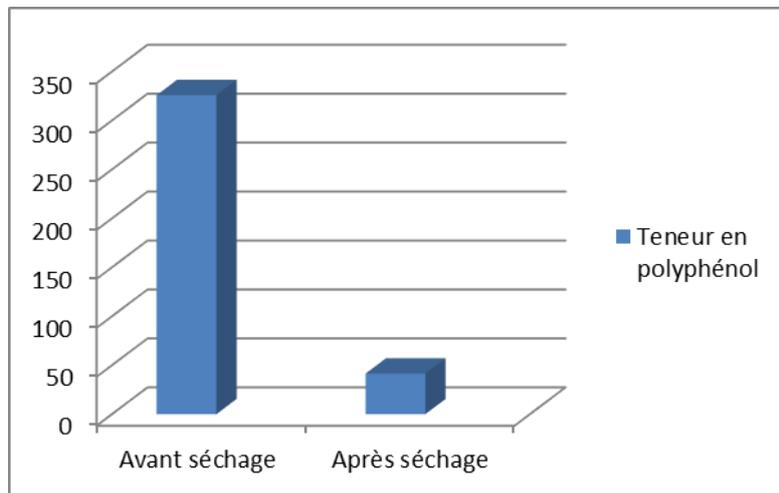


Figure IV.7: La teneur en polyphénol totaux dans le produit avant et après séchage

D'après les résultats, Le taux des polyphénols dans le poivron frais est de 326 mg/ml, cette valeur est de 41.60 mg/ml après séchage. Cette diminution peut être expliquée par la dénaturation vis-à-vis l'augmentation de température.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons mené nos recherches sur caractérisation physicochimique de poivre avant et après le séchage solaire. Nous sommes appuyés sur le séchage solaire direct et indirect pour l'étude de la caractérisation physicochimique de poivre pour inhiber le travail de bactéries nocives tout en préservant les propriétés nutritionnelles. La qualité physicochimique avant et après le séchage a été définie, comparée et présentée.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent que :

Le séchage solaire est un moyen rentable pour la valorisation des produits agroalimentaire en particulier le poivre. Il permet de sauvegarder les éléments nutritionnels la qualité du produit.

On peut conclure à partir des quatre chapitres que,

- l'énergie solaire semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir.
- le séchage solaire a une processus permettant la conservation des produits agroalimentaire à une température ordinaire sur de longues durées.
- à l'issue de l'étude expérimentale nous avons comparé la physicochimique de poivre avant et après le séchage à l'air libre et le séchage solaire (type direct). Nous avons constaté que le séchage par le séchoir solaire est plus rapide que le séchage à l'air libre et que les produits obtenus sont de meilleure qualité.

Les résultats expérimentaux nous amènent aux conclusions suivantes :

- une stabilisation des propriétés physicochimique de produit après séchage solaire avec une diminution légère de taux de sucre et protéines.
- une diminution de taux de polyphénol après séchage, Cette diminution peut être expliquée par ça dénaturation vis-à-vis l'augmentation de température.

En vue de conserver leur cycle naturel de production, et en vue de leur impact économique, une industrialisation des procédures de séchage solaire serait nécessaire; ce qui va permettre une plus-value à l'économie nationale et un développement d'autres secteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- [01] **KADDOURI, L., & MEDIANI, A. E.** (2018). Contribution à l'amélioration des performances d'un capteur solaire destiné au séchage solaire (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-Adrar).
- [02] **Moungar, H., et al.** "Séchage solaire des produits alimentaires-Caractérisation et modélisation du rayonnement solaire du site d'Adrar par deux approches semi empiriques." *Revue des Energies Renouvelables ICESD 11* (2011): 221-226.
- [03] Algérie Energie Solaire et hydrogène **AMARDJIA-ADNANI HANIA.**
- [04] **LABBE Julien;** « *l'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour système photovoltaïque isolé* » thèse de doctorat, école des mines de paris, 2006.
- [05] **GERGAUD Olivier,** « *modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur* » thèse de doctorat, 1^{re} école normale de CACHAN, 2002.
- [06] **ADEME,** « la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde », 2010.
- [07] **Boussalia Amar** Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles Locaux. . Mémoire de magister. Université Mentouri - constantine(2010).
- [08] **S. Metatla,** optimisation et régulation des puissances d'une éolienne à base d'une MADA, mémoire de magister d'école nationale supérieure polytechnique d'Alger, 2009.
- [09] **Medah, D., & Mediani, A.** (2018). Etude du générateur éolien pour l'utilisation dans la production de l'énergie électrique (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-Adrar).
- [10] **H. Ben cheikh, M. Ould Sidimed et Y. Draoui,** *Conception et réalisation d'un séchoir solaire indirect opérant en mode convectif.* Mémoire de l'ingénieur d'état. Université Kasdi Merbah –Ouargla. (juin 2011).
- [11] **A. Bachiri, M. Meloudj** étude d'une installation de chauffage géothermique, thèse de Master, Université de M'sila 2016/2017
- [12] **SEMMANI, I., ELALOUI, F., & LOUMANI, A.** (2021). Appréciation microbiologique et physico chimique du *Mentha pulegium* L avant et après le séchage solaire (Doctoral dissertation, université Ahmed Draia-ADRAR)
- [13] **B.Touati,** "Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe", Thèse de Magistère, Centre Universitaire, Bechar, Algérie (2001).

- [14] **A.Bensedik**, *Modélisation et simulation du séchage de la figue par des séchoirs solaires indirects fonctionnant en convection forcée*. Mémoire de magister. Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen. (2011).
- [15] **S.Chouicha**, *Etude expérimentale du séchage solaire Des dattes humides et impact Sur la qualité*. Mémoire de magister. Université Kasdi MerbahOuargla(2010).
- [16] **W. Belachi**, Application du séchage solaire pour la conservation des produits agroalimentaires. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah- Ouargla(2009).
- [17] **N.Chalal**, Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect. Mémoire de magister. Université Mentouri-Constantine(2007).
- [18] **N.Nadir**, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla(2009).
- [19] Guide de l'utilisateur de Toit Solaire Photovoltaïque. Programme européen PVSALSA (2002).
- [20] **D. Mennouche**, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah- Ouargla(2006).
- [21] **Lecoq R., 1965**. Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Tome I. Ed. DOIN, DEREN et CIE, pp 241-251...
- [22] **S. Chouicha**. Étude et réalisation d'un nouveau procédé de séchage couplé à un système de chauffe-eau solaire. Thèse de magister, université Kasdi Merbah, Ouargla, 2010.
- [23] **P. Dudez**. Le séchage solaire à petit échelle des fruits et légumes: expériences et procédé, édition du Greth. France .1999.
- [24] **O.V. Ekechukwe, B, Norton**, review of solar-energy drying systems : an overview of solar drying technology, energy conversion, mangement.40, 1999,615-655
- [25] **Loumani, A., Larbi, A. A., Mediani, A., Chaouch, W. B., Moungar, H., Tigani, C., ...& Bekada, A. M. A.** (2020). Experimental Measurement of Isothermal Sorption, Microbiological and Physicochemical Analysis of Dried Tomatoes Cultivated in Adrar, Algeria. Journal homepage: <http://iieta.org/journals/ij dne>, 15(5), 721-728.
- [26] **A.Mukhtar**, contribution à l'amélioration du séchoir solaire pour les cultures agricoles, mémoire de magister, université Qasidi Merbah et Ouargla, P28-38.
- [27] **N.Bekkioui**, séchage solaire du bois: Modélisation simplifiée du séchage d'une

pile de bois dans un séchoir solaire à parois vitrées, thèse de doctorat, Déc. 2009.

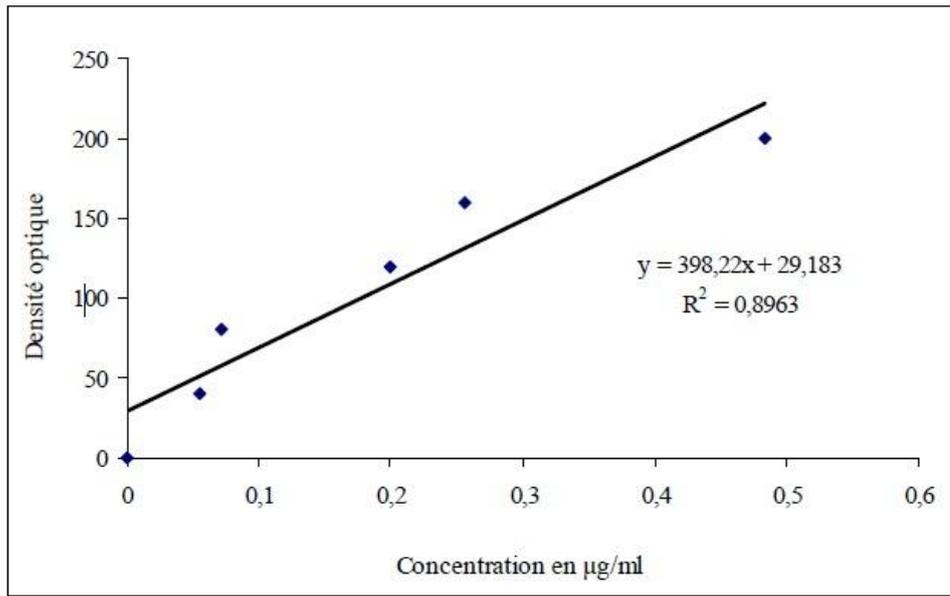
• [28] **Briki, A., ZIDANI, Z., & LAKSACI, H.** (2021). Etude De Séchage Et Caractérisation Physicochimique Et Hygiénique D'un Produit Alimentaire Du Site D'Adrar (Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR).

• [29] **D. Michel**, les séchoirs solaires: théorie et pratique. 1985.

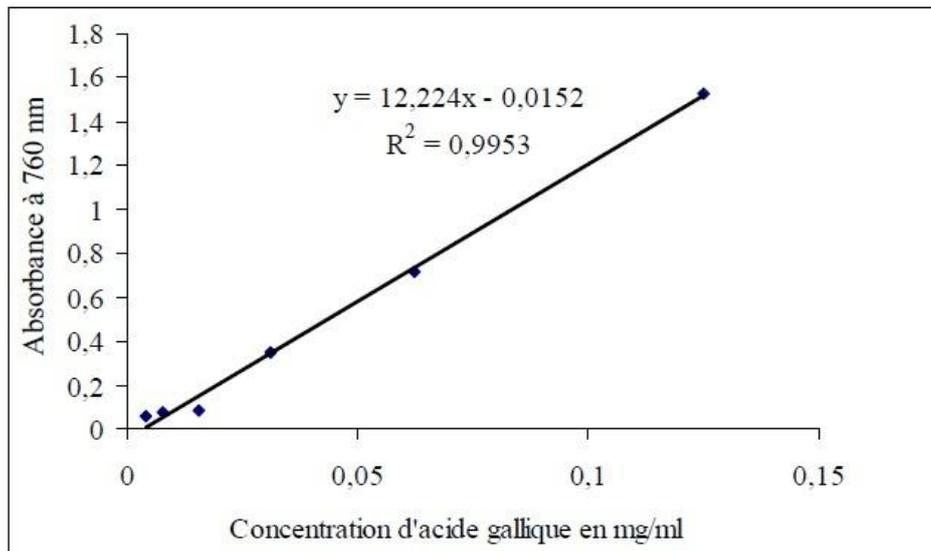
•[30] **BENBEY, A., SALMI, H., & MEDIANI, A.** (2021). Stockage de la Chaleur par un Matériau à Changement de Phase, Application au Séchage Solaire (Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR).

ANNEXES

ANNEXE I



courbe d'étalonnage du glucose



Courbe d'étalonnage de polyphénols totaux

ANNEXE II



Produit dans le séchoir solaire



Produit après séchage