

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergies renouvelables en mécanique

Thème

Etude expérimentale du séchage solaire des produits agro-
alimentaires de la région d'el-oued

Devant le jury composé de :

Présenté par :

LETAIM Fathi

Président

- MESAI AHMED Abdelouahed

MILOUDI Khaled

Examineur

- TEMACINI Bachir

LAOUINI Abdeljalil

Encadreur

2017-2018

Remerciement

*Nous remercions Allah, notre créateur de nous avoir
donnée les forces pour accomplir ce mémoire*

*Tous nos remerciements à notre encadreur Monsieur “
LAOUINI.A
De sa collaboration et de sa patience avec nous.*

*Nous remercie tous les orienteurs, tous ceux qui d'une
façon ou d'une autre ont fait part de leur aide et ont
participé de près et de loin à la réalisation de ce travail*

Surtout Mr : H.HOUHOU

*Nous 'Exprime nos remerciements aux jurys qui ont
accepté de juger mon travail*

*Enfin, merci pour toutes nos familles et nos amis qui par
leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous
les obstacles .*

Dédicace

***A**u nom de l'amour qui nous éprouvons à chacune des
personnes qui m'entourent et qui m'ont toujours
solidement soutenu le long de ce long parcours.*

***A** nos **chers parents** qui m'ont toujours éclairé le
chemin de la vie en me tendant la main
tout au long de notre années d'études « que dieu me les
garde ».*

***A** toute notre **famille**.*

***A** tous nos **amis**.*

SOMMAIRE

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire.....	III
Liste des symboles.....	VI
Liste des figures	V
Liste des tableaux	IV
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Etude bibliographique

Introduction	3
I.1. Le gisement solaire:	3
I.2. Caractéristiques du soleil	3
I.3 Mouvements du soleil:.....	5
I.4. le Rayonnement solaire:.....	6
I.5. Mesure du Rayonnement solaire sur terre	8
I.6. L'énergie solaire.....	9
I.7. Les application de l'énergie solaire.....	10
I.8. Le gisement solaire en Algérie.....	13
I.9 Transfert de chaleur	15
I.10. le séchage des solides:	17
I.11. Différents méthodes du séchage	18
I.11.1. Séchage mécanique	18
I.11.2. Séchage chimique.....	18
I.11.3. Séchage thermique.....	18
I.12. Caractéristiques de l'air de séchage.....	18
I.12.1. humidité	18
I.12.2.humidité absolue :	18
I.12.3. Humidité relative.....	18
I.12.4. Température sèche.....	18
I.12.5.Température humide du gaz.....	19
I.13. Caractéristiques des solides humides.....	19
I.13.1. Humidité absolue :.....	19
I.13.2. Teneur en eau à base humide	19
I.13.3. Taux d'humidité	19
I.13.4. États de siccité.....	19
I.13.5. Taux d'humidité à l'équilibre	19
I.14. Théories descriptives du phénomène de séchage.....	20
I.15.Modes de séchage	20
I.15.1. Séchage par conduction	20
I.15.2. Séchage par convection.....	21
I.15.3. Séchage par rayonnement	21
I.16. Vitesse de séchage.....	21

I.17. Cinétique du séchage.....	22
I.17.1.Période de mise en température (Période 0)	22
I.17.2.Période à vitesse constant	22
I.17.3.Période de ralentissement.....	22
Conclusion.....	23

Chapitre II :Les Séchoirs Et Capteurs Solaires

Introduction.....	24
II.1. Les séchoirs solaires directs	24
II .1.1. Principe de fonctionnement	24
II .1.2. Avantages	24
II .1.3. Inconvénients.....	24
II .1.4. Type de séchoirs directs.....	26
II.2. Les séchoirs solaires indirects.....	27
II.2.1. Principe de fonctionnement.....	27
II.2.2. Avantages.....	27
II.2.4. Type du séchoir indirect.....	28
II.3. Les séchoirs hybrids.....	29
II.3.1. Avantages.....	29
II.3.2. Inconvénients.....	29
II.3.3. Types des séchoirs hybrids.....	30
II.4. Les séchoirs mixtes.....	31
II.5. Les différents types de structure de séchoirs solaire.....	33
II.6.Les capteurs solaires.....	33
II.6.1. Capteurs solaires photovoltaïques	33
II.6.2. Capteurs solaires thermiques.....	34
II 6.3 Inclinaison parfait d'un capteur solaire.....	33
II.6.4. Captage du rayonnement solaire.....	36
II.6.5. Conversion thermique de l'énergie solaire.....	37
II.7. Bilan thermique du capteur.....	39
II.7.1. Rendement instantané d'un capteur	39
II.8.Travaux antérieurs concernant le séchage et les séchoirs solaires(produits agricole)	40
Conclusion.....	45

Chapitre III :Les Produits Etudies

Introduction :	46
III.1-Etude le pomme de terre.....	46
III.1.1. généralité sur Pomme de terre :	46
III.1.2. Situation économique.....	46
III.1.3. Récolte :	46
III.3.4. La conservation.....	47
III.1.5. Composition chimique de la pomme de terre :	47
III.2. Séchage de pomme de terre :	47
III.2.1. Mode opératoire :	47
III.2.2. Préparation du produit.....	48

III.2. 3.Produit séché :	48
III.3. Etude le piment rouge	48
III.3.1. Généralité sur le piment :	48
III.3.2. situation économique.....	49
III.3.3. Taxonomie et description botanique :	49
III.3.4.Utilisation :	50
III.3.5. Composition biochimique de piments.....	50
III.3-6.Récoltes.....	51
III.3.7. La conservation :	51
III.4.Le séchage du piment rouge :	51
III.4.1.Mode opératoire :	51
III.4.2.Préparation du produit.....	52
III.4.3. Produit séché :	52
III.5.Etude le petit pois :	52
III.5.1. Généralité sur le petite pois :	52
III.5.2. situation économique :	53
III.5.3. Raisons et buts de l'amélioration du pois rond en Algérie:.....	53
III.5.4. La composition nutritionnelle du petit pois.....	53
III.5.5. Récoltes	53
III.5.6. la conservation :	54
III.6.Séchage du petit pois :	54
III.6.1.Mode opératoire.....	54
III.6.2. Préparation du produit.....	54
III.6.3.Produitséché.....	55
Conclusion.....	55

Chapitre IV: Partie Expérimentale

Introduction	56
IV.1. Description du système de séchage et leur des composants :	56
IV.2. les Résultats et discussions :	58
IV.2.1.la pomme de terre :	58
IV.2.1.1. la variation de la masse de produit et teneur en eau en fonction de temps.....	58
IV.2.1.2. variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps	59
IV.2.1.3. variation de la température d'ambiante et température de la chambre en fonction de temps	60
IV.2.1.4. Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps.....	61
IV.2.2. le piment Rouge :	62
IV.2.2.1. la variation de la masse de produit et teneur en eau en fonction de temps.....	62
IV.2.2.2. variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps.....	63
IV.2.2.3. variation de la température d'ambiante et la chambre en fonction de temps	64
IV.2.2.4. Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps.....	65
IV.2.3. le petit pois :	66
IV.2.3.1. la variation de la masse de produit et teneur en eau au cours de temps.....	66

IV.2.3. 2.variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps	67
IV.2.3.3. variation de la température d'ambiante et la chambre en fonction de temps	68
IV.2.3.4. Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps.....	69
Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	70
Liste bibliographiques.	
Annexe.	
Résumé.	

LISTE DES SYMBOLES

a_w :l'activité de l'eau	[%]
dx :l'humidité du produit au début et a la fin de l'opération	[kg _{eau} /kg _{a,s}]
h :hauteur du soleil	[degré]
H_a :humidité absolue	[kgv.kga.s ⁻¹]
H_{umi} :humidité de l'air ambiant	[%]
H_r :L'humidité relative	[%]
I_c :constante solaire corigée	[w /m ²]
I_{dif} :rayonnement diffu	[w /m ²]
I_{dir} :rayonnement direct	[w /m ²]
I_G :rayonnement Global	[w /m ²]
L :longitude	[dégrée]
l :l'altitude	[km]
m :le numéro du mois dans l'année	
m_{claie} :la masse de la claie	[kg]
Ma :humidité absolue	[kg]
Me :la masse d'eau	[kg]
Mh :la masse de matériau humide[kg]	[kg]
Mr :l'humidité relative	[%]
Mh_0 :masse humide initiale	[kg]
Mh_f :masse humide finale	[kg]
Mv :masse d'eau évaporée	[g]
N :le numéro du jour dans l'année	
P :pole austral	
P' :pole austral	
R :la vitesse de séchage	[kg _{eau} /m ² s]
S :la surface de séchage	[m ²]
P :La puissance du Soleil	[W]
Φ_s :flux de lumière	[W/m ²]
a,b :coefficients traduisant les troubles atmosphériques.	
h : hauteur du soleil.	[m]
P : pression atmosphérique du lieu	[Pa]
P_{vp} :pression partielle de vapeur d'eau dans l'air	[Pa]
P_{vs} : pression partielle de vapeur saturante	[Pa]

LISTE DES SYMBOLES

G_{dir_h} :éclairage énergétique direct reçu sur un plan horizontal.	$[W/m^2]$
θ :angle d'incidence des rayons solaires	$[degrée]$
G_{dif_1}, G_{dif_2} :rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement	$[W/m^2]$
Alb :albédo du sol.	
i :angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.	$[degrée]$
Φ_{st} :Flux de chaleur stocké	$[W]$
Φ_g :Flux de chaleur généré	$[W]$
Φ_e :Flux de chaleur entrant	$[W]$
Φ_s :Flux de chaleur sortant	$[W]$
λ :Variable d'espace dans la direction du flux	$[m]$
X_r :Teneur en eau à base humide	$[%]$
X_{eq} :Taux d'humidité à l'équilibre	

Liste Des Figures

Figure I.1: Structure du soleil	5
Figure I.2: mouvement apparent du soleil	6
Figure I.3: Variation mensuelle de la constante solaire	7
Figure I.4: Schéma de principe d'un distillateur solaire à un étage	11
Figure I.5: Vues d'un distillateur commercialisé	11
Figure I.6: Schéma du distillateur solaire DIFICAP du Pr Le Goff	11
Figure I.7: vue de Réfrigérateur solaire Coldfego	12
Figure I.8: Schéma du procédé Dannies	13
Figure I.9: Schéma du procédé Lof	13
Figure I.10: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	14
Figure I.12: Moyenne annuelle de l'irradiation des Solaire globale reçue sur un plan incliné à la Latitude du lieu	15
Figure I.13: Répartition territoriale Station météorologique en A	15
Figure I.14: Représentation schématique d'un solide humide	21
Figure I.15: Cinétique de séchage	23
Figure II.1: Le séchoir solaire coffre	25
Figure II.2: Le séchoir solaire intégral	26
Figure II.3: Le séchoir solaire coquillage à trois claies	26
Figure II.4: Le séchoir solaire cabane	27
Figure II.5: Séchoir solaire indirect	28
Figure II.6: séchoir solaire armoire	29
Figure II.7: séchoir solaire hybride à convection forcée	30
Figure II.8: Séchoir solaire hybride solaire-gaz	31
Figure II.9: Séchoir solaire à circulation naturelle-type 1	32
Figure II.10: Séchoir solaire à circulation naturelle-type 2	32
Figure II.11: Panneaux photovoltaïque	33
Figure II.12: Représentation schématique d'un capteur plan à air	35
Figure II.13: Représentation schématique d'un capteur à concentration.	35
Figure II.14: Installation d'un capteur solaire	36
Figure II.15: Types des capteurs solaires et le principe d'absorption des rayonnements solaires	37
Figure II.16: principe d'une concentration 1D	38
Figure II.17: concentrateur solaire parabolique	39

Figure III.1:	Composition chimique de la pomme de terre épluchée crue	47
Figure III.2:	Préparation du produit (pomme de terre)	48
Figure III.3:	Produit séché (pomme de terre)	48
Figure III.4:	Coupe longitudinale d'un piment, A : piment vert frais B : piment rouge séché	50
Figure III.5:	Préparation du produit (piment rouge).....	52
Figure III.6:	Produit séché (piment rouge)	52
Figure III.7:	Préparation du produit (petit pois)	54
Figure III.8:	Produit séché (petit pois)	55
Figure IV.1:	Modèle Du Séchoir Solaire Indirect A Convection Forcée Utilisé	57
Figure IV.2:	Variation De La Masse De Produit Et Teneur En Eau En Fonction De Temps (Pomme De Terre)	58
Figure IV.3:	Variation De Vitesse De Séchage Et Teneur En Eau En Fonction De Temps (Pomme De Terre)	59
Figure IV.4:	Variation De La Température D'ambiante Et Température De La Chambre En Fonction De Temps (Pomme De Terre)	60
Figure IV.5:	Variation De Température De Récepteur Et Rayonnement Solaire En Fonction De Temps(Pomme De Terre)	61
Figure IV.6:	Variation De La Masse De Produit Et Teneur En Eau En Fonction De Temps(Piment Rouge)	62
Figure IV.7:	Variation De Vitesse De Séchage Et Teneur En Eau En Fonction De Temps (Piment Rouge)	63
Figure IV.8:	Variation De La Température D'ambiante Et Température De La Chambre En Fonction De Temps (Piment Rouge)	64
Figure IV.9:	Variation De Température De Récepteur Et Rayonnement Solaire En Fonction De Temps(Piment Rouge)	65
Figure IV.10:	Variation De La Masse De Produit Et Teneur En Eau En Fonction De Temps (Petit Pois)	66
Figure IV.11:	Variation De Vitesse De Séchage Et Teneur En Eau En Fonction De Temps	67
Figure IV.12:	Variation De La Température D'ambiante Et Température De La Chambre En Fonction De Temps (Petit Pois)	68
Figure IV.9:	Variation De Température De Récepteur Et Rayonnement Solaire En Fonction De Temps(Petit Pois)	69

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil	2
Tableau I.2 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques	14
Tableau II.1: Structure de quelques séchoirs solaire	33
Tableau II.2: Taux d'extraction spécifique d'humidité du système pour le séchage de 20kg de pois à différents débit d'air	42
Tableau II.3: quelque travail sur le séchage thermique de pomme de terre	45
Tableau III.1: Les principales wilayas productrices de pomme de terre en Algérie	46
Tableau III.2: les compositions chimique de la pomme de terre (les valeurs pour 100g)	47
Tableau III.3: Composition nutritionnelle du piment rouge	50
Tableau III.4: Composition nutritionnelle du petite pois	52
Tableau IV.1: Caractéristiques géométriques du réflecteur	56

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

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 [1]. Cette énergie est suffisante, particulièrement en été, pour satisfaire toute la demande énergétique en séchage des produits agricoles [2].

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, particulièrement dans les pays en voie de développement .

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, légumes et viandes est l'un des processus des grandes consommations d'énergie dans l'industrie de transformation alimentaire et constitue une meilleure méthode de réduire des dépenses et pertes après les récoltes. [3]

L'augmentation de la production de la pomme de terre et quelque produit agricoles comme : tomates ,dattes ,piments ,grains... dans la région d'el-oued '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 posée quelle est les techniques et les procèdes qui donne des solutions de cette problème ?

Le séchage solaire des récoltes, fruits, légumes et viandes, a été pratiqué partout dans le monde pendant des siècles en plein air (exposition direct ou soleil). Il a été employé pour sécher des grains, fruits, viandes, poissons et d'autres produits alimentaires destinés à la consommation. Une grande partie de l'offre du monde en fruits et légumes secs continue à être séchée selon la manière traditionnelle (exposition direct ou soleil) sans l'aide technique. Cependant, la production à grande échelle limite l'utilisation de séchage normal en plein air. La méthode traditionnelle du séchage souffre de maints problèmes, parmi ces derniers, le manque de capacité de commander le processus de séchage correctement, l'incertitude du temps, le coût de la main d'œuvre élevé, la nécessité de zones vastes, l'infection par des insectes et autres corps étrangers. Les solutions impliquant l'énergie solaire ont proposé des dispositifs de collection, ou les séchoirs solaires. [3]

Un séchoir solaire correctement conçu peut alléger les inconvénients liés au séchage ouvert du soleil, et les qualités du produit sec (final) peuvent être améliorées. Beaucoup des scientifiques ont étudié la modélisation de séchage solaire des produits agricoles et il y a également simulation des études sur les séchoirs solaires (directs, indirects) et le comportement de divers légumes et fruits, caractérisé par la cinétique de séchage.

L'objectif de notre travail consiste à l'étude de l'influence des quelques paramètres sur la cinétique du séchage des certains produits agro-alimentaires (piment rouge et la pomme de terre et petit pois) en ayant pour objectif d'établir des courbes caractéristiques du séchage à partir des résultats expérimentaux réalisés dans le site expérimental au sien de l'université HAMMA LAKHADAR el-oued. en utilisant un séchoir solaire indirect à convection forcée. Ces paramètres sont :

- La forme de découpage de produit.
- La teneur en eau initiale du produit.
- Le type de produit.

Le présent travail comporte quatre chapitres et une partie annexe.

Le premier chapitre présente une étude bibliographique concernant par gisement solaire et en Algérie comme exemple, suivi par un bref l'énergie solaire, transfert de chaleur et leur application et caractéristiques de séchage solaire.

Le deuxième chapitre est consacré à étude les types de séchoirs solaires ,capteurs solaires suivi par un bref quelque travaux antérieur sur les séchage et séchoirs concernent par les produits agricoles .

Le troisième chapitre est consacré à étude un ensemble de connaissance sur les produits séchées (pomme de terre ,piment rouge, petit pois: sont illustrés dans région d'el oued): généralité, , utilisation, production et composition chimique, mode opératoire ,et préparation de produit .

Le quatrième chapitre est consacré aux essais expérimentaux effectués sur le système solaire réalisé par description et vos résultats trouvés par discussion.

CHAPITRE: I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Rayonnement solaire incident à la surface de la terre est le résultat d'interactions complexes de l'énergie entre l'atmosphère et la surface. À l'échelle mondiale, les gradients latitudinaux de rayonnement sont causés par la géométrie de la terre et sa rotation autour du Soleil. L'énergie solaire peut être utilisée sous deux formes principales : la conversion photo-thermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité. Le séchage solaire est un procédé d'extraction d'eau d'un solide, d'un semi-solide ou d'un liquide par évaporation. Cette opération nécessite une source de chaleur. [14]

Dans ce chapitre nous parlerons respectivement sur (gisement soleil , énergie solaire et séchage solaire et leur caractéristique).

I.1. Le gisement solaire: [4]

Le gisement solaire représente sous forme de rayonnement. L'énergie solaire est le moteur de toutes les grandes sources d'énergie naturel. Les ressources énergétiques mondiales peuvent être classées en le soleil et l'énergie solaire.

I.2. Caractéristiques du soleil : [5] [6]

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de sépare de cette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre .

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques .

I.2.1. Présentation générale : [6]

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus .

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau I.1 :

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km²)	$6.09.10^{12}$
Volume (km³)	$1.41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5.10^{17}$

Tableau I.1. Caractéristiques principales du soleil

I.1.3. l'astre solaire: [7]

Il est utile d'effectuer un bref aperçu sur l'astre solaire qui est à l'origine de toute vie sur terre. La machine soleil est considérée comme étant une grande centrale nucléaire fournissant de l'énergie et gardant ses déchets (centrale nucléaire idéale). Cette machine nous délivre une énergie propre (non polluante), gratuite, disponible, silencieuse, et elle ne tombe jamais en panne. On ne fournit aucun effort pour produire cette énergie mais on conçoit seulement des appareils pour la capter.

I.1.3.1. paramètres physiques de l'astre solaire:

Le soleil est une pseudo sphère de plasma (matière ionisée) dont le rayon est égale à 695980 km soit 109 fois le rayon de la terre. Il est situé à une distance moyenne de 149598000km de la terre. Le diamètre angulaire du soleil, vu par un observateur terrestre a pour valeur moyenne 32' soit 0,5C° environ.

Le soleil est formé d'une masse gazeuse de $1.9891 \cdot 10^{30}$ kg composée des éléments hydrogène, hélium et d'un mélange comportant tous les autres éléments du tableau de Mendeliev; ces composantes sont dans des proportions respectives de 80%, 19% et 1%. Sa densité est de celle de la terre est égale à 5,5 .

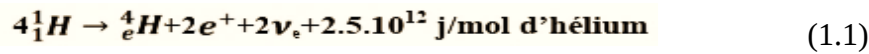
L'astre solaire a une forme pseudo sphérique non homogène constituée de plusieurs couches concentriques. On trouve du centre vers l'extérieur selon les théories actuelles:

✓ Le noyau:

De dimension et de composition inconnue et qui est inaccessible aux investigations car tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches extérieures.

La température atteint 15 millions de degrés et la pression 1 milliard atmosphère.

C'est dans le noyau que se produisent une suite de réactions thermonucléaires exothermiques compliquées (fusion nucléaire) dite cycle de Bethe qui transforment, l'hydrogène en Hélium et qui s'écrit globalement:



Où e^+ désigne l'électron positif, ν_e neutrino électronique.

✓ **Une zone radiative:**

Zone de combustion de type radiatif de 500.000 km d'épaisseur à travers laquelle l'énergie est véhiculée uniquement par rayonnement.

✓ **Une zone convective:**

Zone convective de 100.000 km d'épaisseur à travers laquelle l'énergie est entraînée par des mouvements de convection.

✓ **La photosphère:**

✓ D'une épaisseur de 400km seulement, la température à sa surface est de l'ordre de 4500°K, au-delà de la photosphère la structure du soleil est généralement connue sous le nom d'atmosphère solaire.

✓ **La chromosphère:**

D'une épaisseur de 8000 km, ou la température augmente de 4500°K à 50.000°K vers l'extérieur.

✓ **La couronne solaire:** Représentant l'auréole du soleil, s'étend jusqu'à 250 106 km dans l'espace interplanétaire. La température varie de 1 à 2 millions de degrés [7].

La figure I.1 montre la structure du soleil :

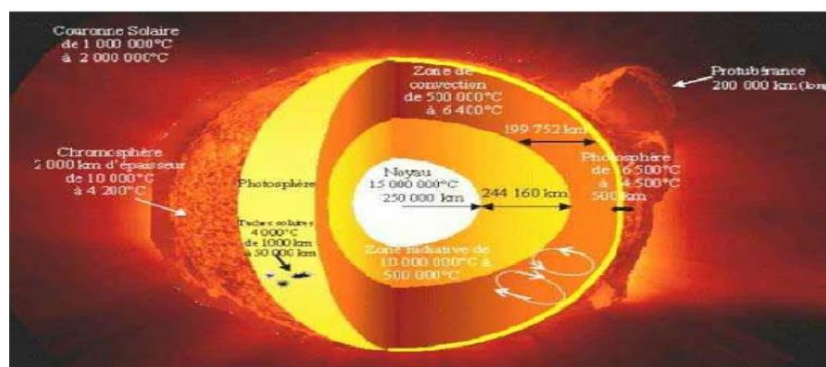


Figure I.1. Structure du soleil

I.3.2. Mouvements du soleil: [8] [09] [10]

La figure I.2 représente le mouvement annuel de la terre autour du soleil dans un plan appelé plan écliptique. Le nom d'écliptique provient du fait que la lune doit être dans ce plan pour qu'une éclipse se produise .

Ce mouvement annuel de la terre donne l'impression que le soleil se déplace, au cours de l'année, sur un grand cercle de la sphère céleste appelé cercle écliptique: le cercle écliptique coupe le cercle équatorial en deux points γ et γ' ; le point γ , appelé point vernal, indique la direction dans laquelle un observateur terrestre verra le soleil le jour de l'équinoxe de printemps. L'axe des pôles terrestres P et P' fait avec l'axe des pôles Q et Q' de l'écliptique un angle Σ dont la valeur est égale à $23^{\circ}27'$.

Cette révolution fait varier les durées relatives du jour et de la nuit au rythme des saisons limitées par les deux équinoxes et les deux solstices (voire figure I.2)

- Equinoxe de printemps correspond au 21 Mars.
- Equinoxe d'automne correspond au 23 Septembre.
- Solstice d'été correspond au 22 Juin.
- Solstice d'hiver correspond au 22 Décembre.

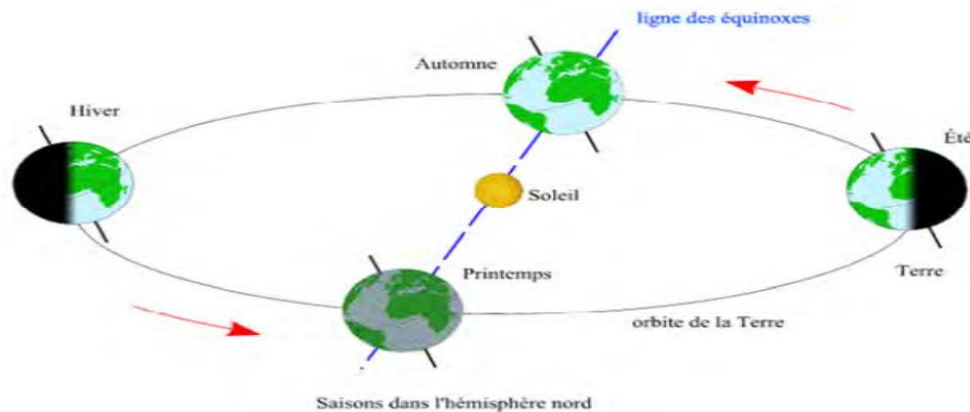


Figure I.2 mouvement apparent du soleil

I.4. le Rayonnement solaire: [11]

La connaissance du rayonnement solaire dans tous ses aspects est nécessaire dans toute application de l'énergie solaire.

Ce rayonnement est perturbé à la traversée de l'atmosphère (absorption, réflexion, réfraction), chose qu'on doit prendre en considération, ainsi que la répartition spectrale en fonction de la longueur d'onde car les récepteurs d'énergie sont généralement sélectifs et fonctionnent dans une bande de fréquence appropriée. Pour cela on a vu utile de définir ci-dessous quelques notions essentielles pour le rayonnement solaire.

I.4.1 Spectre solaire:

Le rayonnement solaire est constitué par un flux de particule appelé photons émise par le soleil et se déplaçant à la vitesse de $3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$. Ces photons composants le rayonnement électromagnétique sont porteur d'une énergie d'après la loi de Louis de Broglie

$$E=h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

ou h est la constante de Plank , ν est la fréquence, c est la vitesse de la lumière, λ longueur d'onde.

Le spectre du rayonnement solaire c'est sa décomposition en longueur d'onde ou "couleurs".

La lumière solaire est composée de toute sorte de rayonnement de couleur différentes, caractérisées par leur gamme de longueur d'onde qui s'étend en hors atmosphère pratiquement de $0.1\mu\text{m}$ à $0.4\mu\text{m}$, répartie comme suit:

Zone spectrale de $0.1\mu\text{m}$ a $0.38\mu\text{m}$ rayonnement ultra-violet

" de $0.38\mu\text{m}$ a $0.78\mu\text{m}$ " visible

" de $0.78\mu\text{m}$ a $0.4\mu\text{m}$ " infra-rouge

I.4.2 Constante solaire: [08]

La constante solaire représente le flux du rayonnement solaire reçu par une surface unitaire disposée perpendiculairement aux rayons solaires.

Supposons que toute l'énergie émise par le soleil est reçue par la terre (absence de l'atmosphère) on aura alors:

On appelle la constante solaire noté C^* , la valeur moyenne du flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre.

Ou : C^* est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère

Terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire

La variation de la constante solaire suit la relation suivante :

$$C^* = C_0 + 0.033 \times \cos(0.948 \times n) \quad (1.2)$$

C^* : la constante solaire.

On a : $C_0 = 1353 \text{ W/m}^2$ est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue.

n : le numéro du jour de l'année.

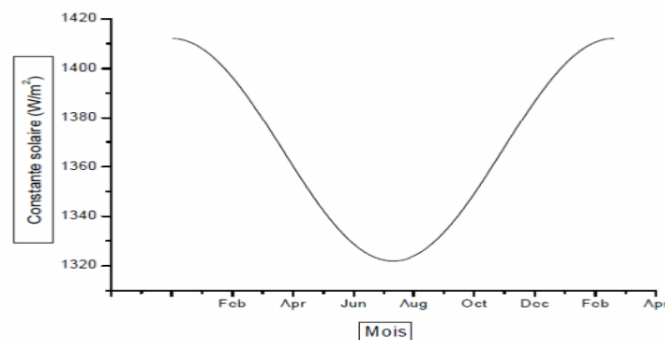


Figure I.3. Variation mensuelle de la constante solaire .

I.4.3 L'Albédo: [12]

L'albédo d'une surface c'est le rapport de la puissance réémise à la puissance reçue du rayonnement solaire. Une surface blanche est caractérisée par un albédo voisin de 1 tandis qu'une surface noire son albédo est très faible et avoisine le zéro.

L'albédo du sol intervient souvent; il varie avec sa nature, son couvert végétal et son état d'humidité. Pour un même sol l'albédo varie selon qu'il est nu ou couvert de verdure sec ou saturé d'humidité.

I.5. Mesure du Rayonnement solaire sur terre: [13]

I.5.1 Composantes du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire arrivant au niveau de notre capteur est la somme de deux rayonnements : rayonnement direct (I) provenant directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère et rayonnement diffus (D) qui est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère et provenant des différents obstacles (nuages, aérosols, végétation, terre.....etc.) et n'ayant pas une direction privilégiée. La somme du rayonnement direct (I) et du rayonnement diffus (D) constitue le rayonnement global (G).

$$I_G = I_d + I_D \quad (1.4)$$

Le rayonnement global est mesuré expérimentalement à l'aide d'un pyranomètre appareil dont son globe de verre lui confère une grande acceptance angulaire de tel façon qu'il peut capter les rayons venant de toutes les directions, lorsque l'appareil est muni d'un dispositif paresoleil, il peut mesurer le rayonnement diffus. Le rayonnement direct (I) est mesuré à l'aide d'un pyréliomètre, appareil très coûteux généralement équipé d'un système asservi qui « suit le soleil » dans sa trajectoire. Connaissant ces deux grandeurs on peut en déduire le rayonnement diffus à l'aide de l'équation (1.4).

I.5.2 Eclairement ou densité de puissance :

Les éclaircissements s'expriment en Wm^{-2} . La constante solaire qui représente l'éclairement moyen du rayonnement solaire hors atmosphère est voisine de $1370Wm^{-2}$. L'éclairement global moyen au niveau de notre capteur à air incliné à la latitude de Ouargla avoisine les $950Wm^{-2}$.

I.5.3 Irradiation ou densité d'énergie:

Représente l'énergie correspondante à l'éclairement sur une durée déterminée, elle s'exprime en $Wh m^{-2}$ ou en $J m^{-2}$.

I.6. L'énergie solaire ; [14]

L'énergie solaire est produite par le soleil à la suite de réaction de fusion thermonucléaire. Elle est la source de la plupart des énergies disponibles sur terre. L'énergie solaire se propage dans l'espace sous forme de quanta d'énergie, elle est sans cesse renouvelée.

I. 6.1 Notions générales sur l'énergie solaire :

Le rayonnement atteint le sol après avoir été diffusé, diffracté, absorbé et réfracté par des gaz de température et de densité croissantes. La constante solaire est égale à $1\,350\text{ W/m}^2$ et fluctue d'environ 0,2 p. 100 tous les trente ans. L'intensité de l'énergie solaire réellement disponible à la surface de la Terre est inférieure à la constante solaire en raison de l'absorption et de la dispersion de cette énergie, due à l'interaction des photons avec l'atmosphère, les nuages ou encore les fumées produites par la pollution.

La puissance solaire disponible en tout point de la Terre dépend également du jour, de l'heure et de la latitude du point de réception. De plus, la quantité d'énergie solaire captée est fonction de l'orientation du récepteur.

I.6.2 L'effet de serre :

Le Soleil émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) qui se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la terre. Celle-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) en direction de l'espace. Cependant, une partie de ce rayonnement infrarouge est renvoyée en direction de la surface terrestre par certains gaz de l'atmosphère appelés « gaz à effet de serre » (les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'ozone et l'oxyde nitreux). Pour schématiser, l'atmosphère et les gaz à effet de serre se comportent comme la vitre qui maintient la chaleur à l'intérieur de la serre d'un jardinier.

✓ Serre :

Dans une serre, le sol de couleur foncée absorbe toutes les radiations du spectre lumineux, ce qui provoque son échauffement. La vitre transparente qui recouvre la serre piège le rayonnement calorifique qui se dégage du sol (effet de serre). C'est ce qui se passe dans le capteur et dans le séchoir solaire. Le stockage de cette énergie se fait alors au moyen de pierre ou de réservoirs d'eau, qui restituent lentement la chaleur.

I.6.3. Captation : [15] [16]

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir.

I.6.3. 1. L'énergie solaire thermique :

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

I.6.3. 2. L'énergie solaire thermodynamique :

La solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélios thermoélectriques .

Trois types principaux de centrales sont utilisés :

- Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C.

I.6.3. 3. L'énergie solaire photovoltaïque :

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque ,les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé ; cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux .

I.7. Les application de l'énergie solaire [15] [16] [17]**I.7.1 Distillation:****a. A un étage**

C'est le plus simple et le plus répandu, on en trouvera une schématisation sur la figure (I.4) l'eau placée dans un bac noirci dispose au fond d'un capteur solaire s'échauffe par absorption du rayonnement solaire traversant la vitre. Cet échauffement provoque une évaporation superficielle, la vapeur d'eau produite venant ensuite se condenseur sur la vitre plus froide. Il suffit alors de récepteur l'eau distillée ruisselant sur la face interne de la vitre à l'aide d'un système de gouttières placées de chaque cote de la vitre.

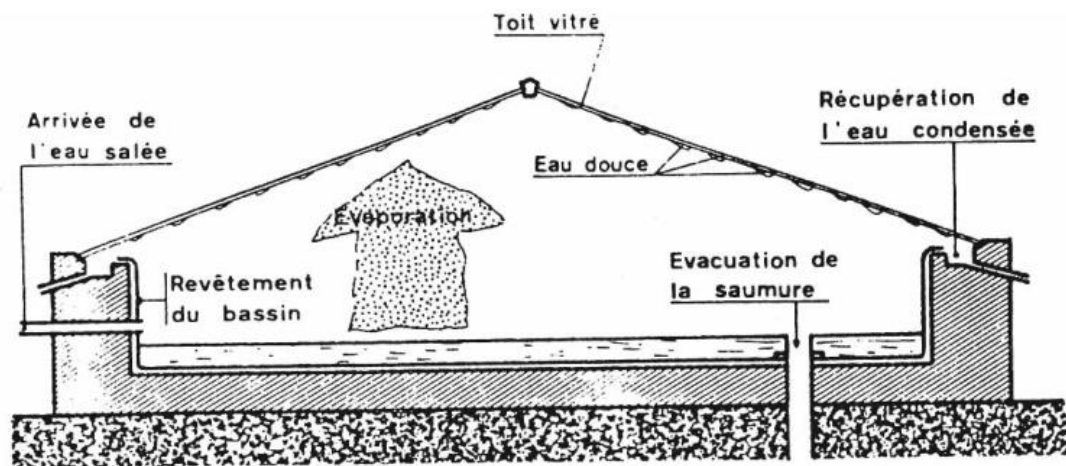


Figure I.4 : Schéma de principe d'un distillateur solaire à un étage



Figure I.5 : Vues d'un distillateur commercialisé

b. A plusieurs étages :

Pour augmenter le rendement des distillateurs solaires, le Pr Le Goff a imaginé un distillateur à plusieurs étages où la chaleur libérée par la condensation est récupérée dans un 2^{ème} étage pour servir à évaporer une masse d'eau supplémentaire.

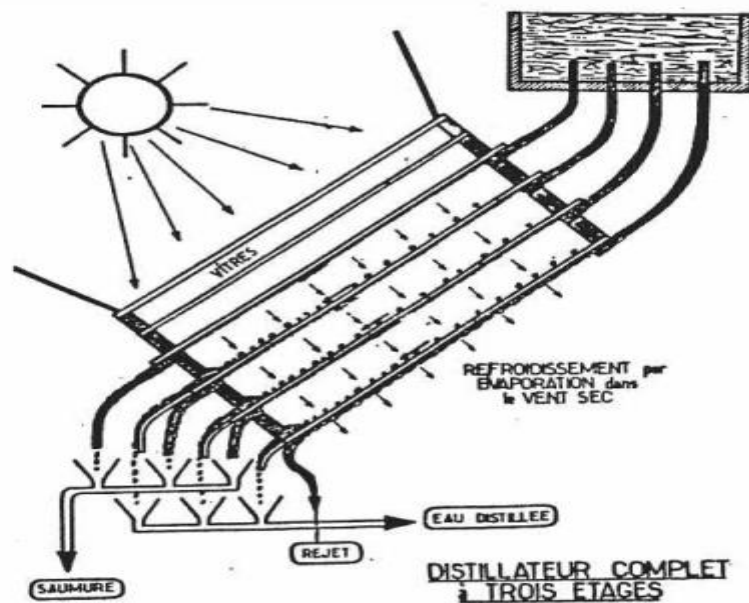


Figure I.6 : Schéma du distillateur solaire DIFICAP du Pr Le Goff

I.7.2 Froid et climatisation:

a. Réfrigération :

L'énergie solaire peut être utilisée pour produire du froid par deux voies :

- photoélectrique : on utilise l'électricité produite par des panneaux photovoltaïque pour alimenter un groupe frigorifique a compression ou des éléments Peltier.
- Thermique : on utilise la chaleur récupérée dans un capteur solaire pour produire du froid par sorption. Des réfrigérateurs fonctionnement sur ce principe opérationnels comme celui de Flechon et Godmel dont on trouvera le schéma sur la figure (I.7)



Figure I.7 : vue de Réfrigérateur solaire Coldfego

b. Climatisation :

Nous présenterons ici le principe de deux systèmes reposant sur des cycles intermittents d'absorption/désorption d'eau dans un solide hygroscopique (gel de silice). Le système conçu par Dannies (Figure I.8) ne comporte aucun mécanisme et ne fait appel qu'aux mouvements de l'air par convection naturelle. Les murs Est et Ouest du bâtiment contiennent les éléments absorbants au travers desquels l'air circule selon le processus suivant :

- Le matin le Soleil chauffe le mur Est : le mélange d'air et de vapeur d'eau réchauffe et plus léger monte dans le mur Est et en sort a sa partie supérieure. Il en résulte une aspiration correspondante d'air par les orifices supérieurs du mur Ouest dans lequel l'air passe sur l'absorbant régénéré la veille et s'y desséché. Un dispositif d'évaporation d'eau placé au pied du mur permet alors de le provoque la déshydratation de l'absorbant qu'il renferme.
- L'après-midi, le soleil chauffe le mur Ouest et la circulation d'air s'inverse. Ce système expérimenté au Libéria et en Lybie a permis de maintenir les locaux a une température de 5 à 15°C au-dessous de l'ambiance extérieure, avec une humidité relative comprise entre 65 et 75%. Un autre système destiné à la déshumidification de l'air en zone humide a été mis au point par Lof aux Etats-Unis (Figure I.9.). L'air à déshumidifier passe à travers une pluie de solution de glycol concentrée et s'y desséché. La chaleur latente de condensation et la chaleur

d'absorption sont éliminées dans un échangeur à eau : à la sortie l'air déshumidifié est à la même température qu'à l'entrée. Le glycol dilué par son échange avec l'air humide est envoyé dans un régénérateur où il tombe en gouttelettes à travers un courant ascendant d'air sec réchauffé dans un capteur solaire à air. Ces systèmes restent toutefois au stade faible diffusion et semblent difficilement adaptables à l'habitat individuel. Leur avenir se situe plutôt dans une intégration à une centrale de climatisation en vue de réduire la consommation énergétique.

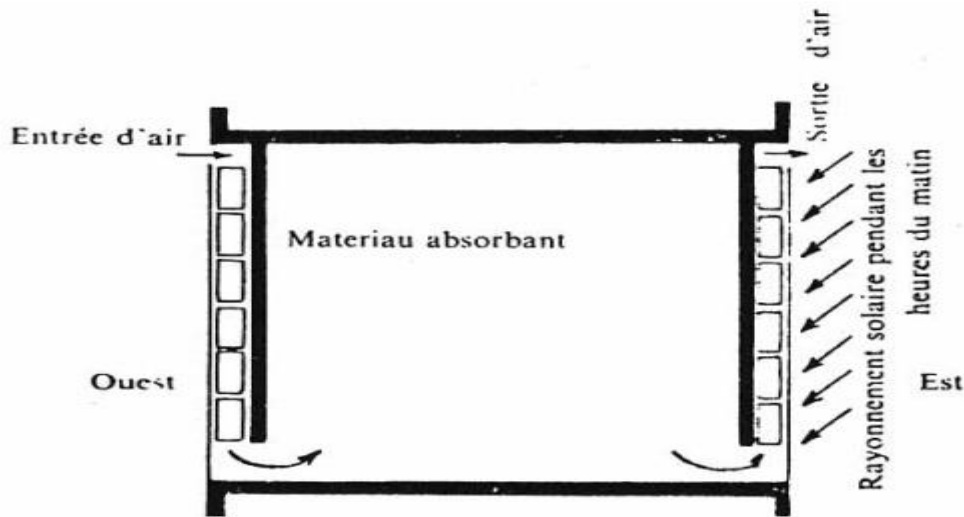


Figure I.8 : Schéma du procédé Darnies

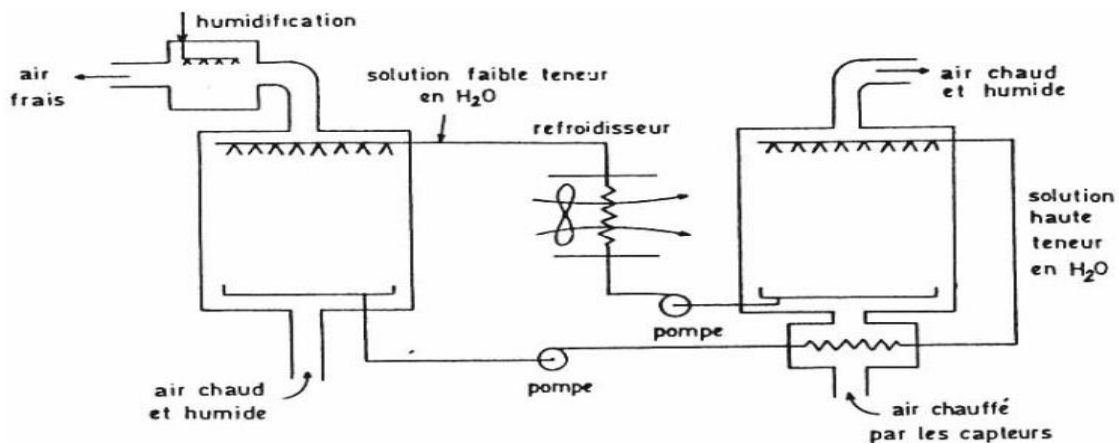


Figure I.9 : Schéma du procédé Lof

I.8. Le gisement solaire en Algérie : [18] [19]

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.2 :

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau I.2. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, quel'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au Niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement ;

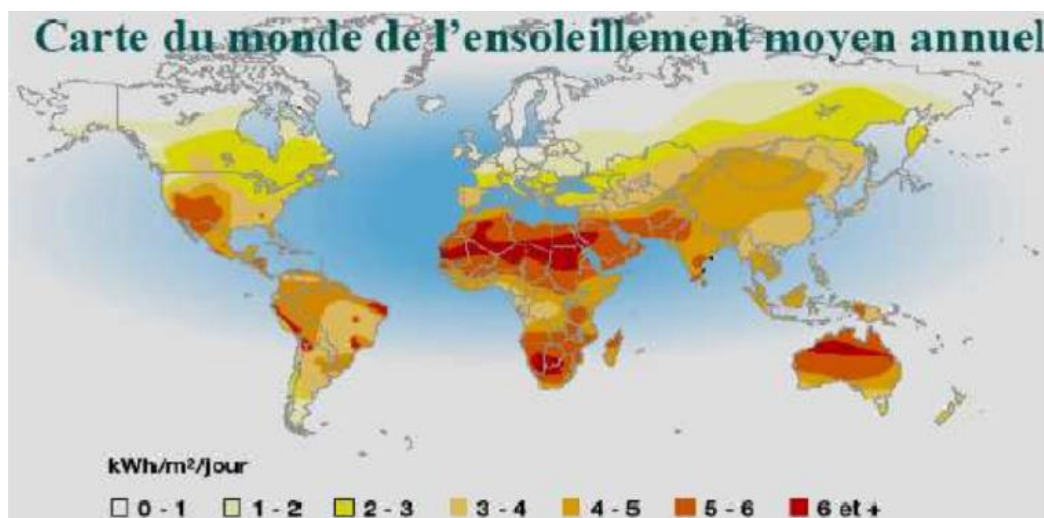


Figure I.10. Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [20]

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale . La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie . [21]

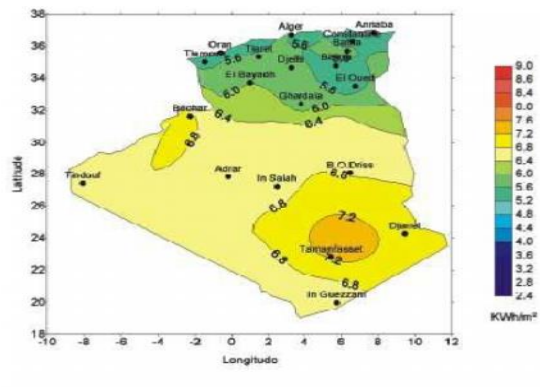


Figure I.12. Moyenne annuelle de l'irradiation Solaire globale reçue sur un plan incliné à la Latitude du lieu

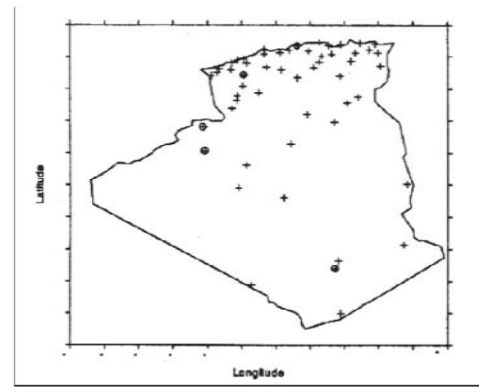


Figure I.13. Répartition territoriale des Station météorologique en A

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M réparties sur tout le territoire algérien. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre. [22]

I.9 Transfert de chaleur: [12] [13] [23]

I.9.1 Champ de température :

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$, la valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température, nous distinguerons deux cas : champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire. Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire.

I.9.2 Flux de chaleur:

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures, la quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$\Phi = \frac{1}{s} * \frac{dQ}{dT} \quad (1.5)$$

Où S est l'aire de la surface (m^2).

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps :

$$\Phi = \frac{1}{s} * \frac{dQ}{dT} \quad (1.6)$$

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

Φ_{st} Flux de chaleur stocké

Φ_g Flux de chaleur généré

Φ_e Flux de chaleur entrant

Φ_s Flux de chaleur sortant

On applique alors le 1^{er} principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\Phi_e + \Phi_g = \Phi_s + \Phi_{st} \quad (1.7)$$

Il faut ensuite établir les expressions des différents flux d'énergie, en reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, on obtient l'équation différentielle dont la résolution permet de connaître l'évolution de la température en chaque point du système

I.9.3. Les type de transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur au sein d'une phase ou plus généralement entre deux phases, se fait de trois façons :

I.9.3.1. La conduction:

La conduction est un processus physique de transmission de la chaleur qui s'appuie sur un milieu matériel (solide, liquide, gaz) sans mouvement de matière et qui fait passer la chaleur des zones chaudes aux zones froides à l'aide de mécanismes à l'échelle microscopique (vibrations atomiques ou moléculaires, diffusion électronique,...). La conduction est le seul mécanisme qui permet à la chaleur d'être transmise dans un solide. Par contre si un fluide est soumis à un fort gradient thermique, la conduction devient rapidement négligeable devant la convection naturelle. La loi fondamentale de la conduction (loi de Fourier) a pour expression :

$$\vec{\Phi} = -\lambda S \cdot \overrightarrow{grad}(T) \quad (1.8)$$

Ou sous forme algébrique :

$$\Phi = -\lambda S * \frac{dQ}{dT} \quad (1.9)$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

X: Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S: Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²)

Elle représente le gradient local de température (c'est-à-dire le taux de variation spatiale de la température au point considéré), le vecteur gradient est par définition perpendiculaire aux isothermes. (λ) c'est le coefficient de conductivité thermique du milieu de transmission ($\text{W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$)

les conductivités thermiques des matériaux varient d'une façon considérable d'une substance à une autre de sorte que l'on distingue en général les matériaux conducteurs de la chaleur des matériaux isolants suivant l'ordre de grandeur de leur conductivité thermique, la conductivité thermique dépend également de la température et elle dépend aussi de l'état du matériau considéré (solide, liquide ou gaz) .

I.9.3.2. La convection ;

La convection est un processus physique de transmission de la chaleur qui s'appuie sur un milieu matériel avec mouvement de matière, on ne peut donc avoir de Le flux de chaleur transmis par convection entre une paroi à température t_1 un fluide à température t_∞ (température mesurée loin de la paroi), peut s'écrire sous la forme :

$$\Phi = h_c S (t_1 - t_\infty) \quad (1.11)$$

(Loi de Newton) où h_c , est le coefficient d'échange par convection ($\text{W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$)

Ce film est adjacent à la surface avec condition d'arrêt de l'écoulement le long de la paroi (vitesse nulle), il y a deux types de convection :

a. La convection forcée:

Le mouvement du fluide est imposé par des actions mécaniques extérieures (pompes, ventilateurs, ... etc.), l'écoulement est alors laminaire ou turbulent.

b. La convection libre (ou naturelle):

Ce type de convection résulte des variations de masse volumique du fluide résultant des échanges de chaleur eux-mêmes (poussée d'Archimède sur les éléments de fluide chaud), il en résulte une convection laminaire ou turbulente .

I.10. le séchage des solides:

I.10.1 Séchage solaire : [24]

Le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide, d'un semi-solide ou d'un liquide par évaporation. Cette opération nécessite une source de chaleur. Plusieurs techniques sont possibles pour sécher et conserver les récoltes : le séchage sur champ au soleil, les cabines de déshydratation, l'ensilage pour les fourrages et le séchage en grange.

I.11. Différents méthodes du séchage : [25]

I.11.1. Séchage mécanique :

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

I.11.2. Séchage chimique :

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

I.11.3. 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.

I.12. Caractéristiques de l'air de séchage : [26]

I.12.1. humidité :

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

I.12.2.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 :

$$H_a = M_a / M_e \text{ (kg.v.kg}_{as}^{-1}) \quad (1.12)$$

I.12.2. 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

$$\text{température} \quad H_r = \frac{P_v}{p_s(t)} \cdot 100 \quad \% 0 \leq H_r \leq 100 \% \quad (1.13)$$

I.12.3. 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.12.4. 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.13. Caractéristiques des solides humides : [27]

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:

$$M_h = \frac{M_e}{M_s} \quad (1.14)$$

I.13.1. Humidité absolue :

L'humidité autoritaire ou taux d'humidité ou teneur (kgav/kgas) en eau à base sèche, où plus simplement humidité s'exprime par liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche.

$$x = \frac{M_e}{M_s} = \frac{M_h + M_s}{M_s} \quad (1.15)$$

I.13.2. 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.

$$x_r = \frac{M_e}{M_e - M_s} = \frac{M_h - M_f}{M_f} \quad (1.16)$$

I.13.3. 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.13.4. 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.13.5. 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.

$$x_{eq} = \frac{M_e}{M_s} = \frac{M_h + M_s}{M_h} \quad (1.17)$$

I.14. Théories descriptives du phénomène de séchage : [28]

I.14. Théorie de la diffusion du liquide (Modèle de Sherwood) (1929) :

Cette théorie suppose que le mouvement de l'eau vers la surface du solide est gouverné par la loi de Fick, qui traduit le phénomène de migration de la vapeur d'eau du milieu de forte concentration d'eau vers le milieu de faible concentration d'eau .

I.14.2. Théorie capillaire (1937) :

Cette théorie repose sur le fait que le mouvement de l'eau dans les pores résulte d'un potentiel de succion, dont le mécanisme a notamment été étudié par Jurin. Lorsqu'on place un capillaire dans une cuve remplie d'eau, on observe une élévation du liquide dans le tube par rapport au niveau de la cuve.

I.14.3. Théorie Whitaker (1977) :

Il applique un système d'équations de conservation de chaleur et de masse, pour les trois phases contenues dans le milieu (solides, liquide et gaz) et les lois de la thermodynamique.

I.14.4. Théorie de Luikov (1934):

Il propose que le gradient de température est l'un des facteurs causant le transfert de l'humidité.

I.14.5. Théorie de Krischer-Berger et Pei (1938) :

Krischer, suppose que pendant le séchage, l'humidité dans l'état liquide est due aux forces capillaires, et dans l'état vapeur au gradient de concentration de la vapeur.

I.14.6. Théorie de Philip et De Vries (1957) :

Cette théorie est basée sur le développement d'un système d'équations décrivant l'humidité et le transfert de chaleur dans les matériaux poreux.

I.15. Modes de séchage : [29]

I.15.1. Séchage par conduction :

L'énergie thermique nécessaire au séchage est apportée non pas un gaz en mouvement autour du produit à sécher, mais par contact direct entre le produit et une paroi chauffée. Le flux thermique dans ce mode de transfert est donné par la relation:

$$\frac{Q}{s} = -\gamma \frac{dts}{dt} \quad (1.18)$$

I.15.2. Séchage par convection :

pour un séchage par convection, les échanges de chaleur et de masse entre le produit à sécher et l'air de séchage sont déterminés par les coefficients de transfert à la surface, qui dépendent des caractéristiques de l'air (vitesse, température, humidité).

- Si le mouvement de fluide est renforcé par un travail mécanique « artificiel » (ventilation, agitation, pompage d'un fluide), on parle de « convection forcée ».

$$Q = \alpha S(ta + ts) \quad (1.19)$$

- Si au contraire, le mouvement du fluide, n'est dû qu'à des courants thermiques ou des mouvements ascensionnels d'ébullition, la convection est dite « naturelle ».

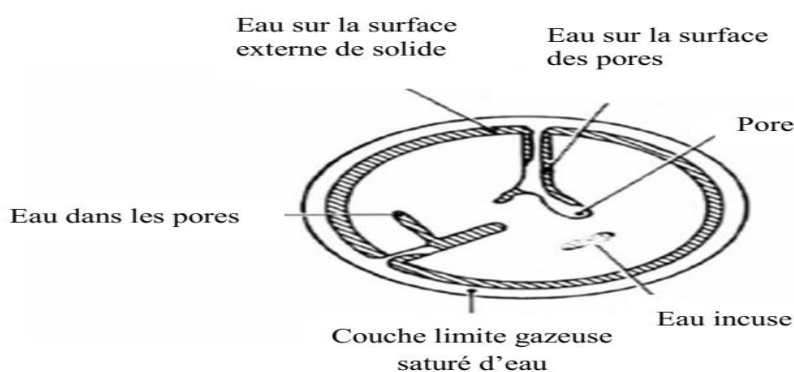
Ce type de transfert utilise l'équation suivante:

I.15.3. Séchage par rayonnement :

Ce mode est destiné aux produits en plaque (carton, viande), ou en fibre (tissu, papier), mais aussi aux produits granulaires de faibles épaisseurs (cigarettes). L'énergie est apportée aux produits à sécher par des ondes électromagnétiques (rayonnement), soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge.

I.15.4. Transferts de matière:

Le transfert de masse joue un rôle très important dans les opérations unitaires de base, telles que le séchage. Dans ces opérations physiques, la résistance au transfert de masse constitue le facteur limitant, quoique le transfert de chaleur et le flux du fluide soient impliqués dans le conditionnement et la conservation où le transfert d'humidité, vapeurs, gaz et composés aromatique, influent sur la qualité de l'aliment.



Figure(I.14) : Représentation schématique d'un solide humide

I.16. Vitesse de séchage : [30]

La vitesse de séchage est définie comme le rapport entre la quantité d'eau évaporée de solide séché par unité de temps et de masse de solide sec, ou tout 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.

I.17. 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, ou celle donnant la vitesse de séchage $\left(-\frac{dX}{dT}\right)$ en fonction de X . Ces courbes sont généralement obtenues pour différentes 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 schématisée présentée à la Figure (I.15), on peut distinguer trois phases:

I.17.1.Période de mise en température (Période 0) :

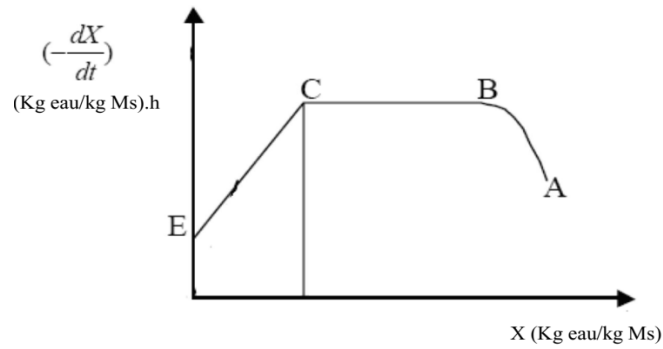
L'humidité du produit dans cette période varie mais pas sensiblement et la température du produit varie (croît ou décroît) jusqu'à la température humide correspondant à l'environnement séchant (zone A-B). Cette période est courte et n'apparaît véritablement que si les produits sont de grande taille,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

I.17.2.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.17.3.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(I.15) : Cinétique de séchage

Conclusion

Dans ce chapitre études (gisement soleil, énergie solaire et caractéristique de séchage) Mais ,en réalité, le séchage pour but la conservation des produits agricoles et alimentaires (céréales, pomme. graines, fourrages, viandes et poissons séchés, jambons, figues, noix, tabac, etc.) est plus complexe car le déplacement de l'eau est influencé par plusieurs phénomènes : la diffusion du liquide (Modèle de Sherwood) (1929), capillaire (1937), Whitaker (1977), Luikov (1934), Krischer-Berger et Pei (1938), Philip et De Vries (1957).

CHAPITRE: II

LES SECHOIRS ET CAPTEURS

SOLAIRES

Introduction

Il existe une grande variété de séchoirs et selon le point de vue adopté, différentes façons de les classer, on peut par exemple, retenir comme critère la texture du produit. Les séchoirs solaires sont classés généralement selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement., alors que le capteur est considéré le composant principale dans le séchoir.

Où capter la chaleur solaire pour transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique, on peut ensuite utiliser cette chaleur comme celle de toutes les sources usuelles de chaleur.

Dans ce chapitre nous parlerons sur types: les séchoir solaire , les capteurs et quelque travaux antérieur concernant par le séchage et séchoirs.

II.1. Les séchoirs solaires directs: [31] [14]

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire. Ils offrent de large possibilités de conception : du séchoir coffre à plateau et adapté au petite production, au séchoir cabane qui permet de traiter de grandes quantités.

II .1.1. Principe de fonctionnement :

Les rayons solaires frappent directement les produits. 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 fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais on peut également utiliser d'autres matériaux plus chères comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles).

II .1.2. Avantages:

- Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
- Pas besoin de main-d'œuvre qualifié.
- Grandes possibilités de conception.

II .1.3. Inconvénients :

- dégradation de la qualité par exposition direct au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration .
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments .

- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

II .1.4. Type de séchoirs directs: [31] [32]

II .1.4.1. La boîte de séchage ou séchoir coffre :

Le séchoir à coffre est un simple séchoir facile à construire par les artisans, en utilisant des matériaux disponibles localement, il est destiné généralement pour la préservation des fruits, légumes, poissons et de la viande .

Dans le séchoir coffre, l'air pénètre par les orifices percés par le fond du caisson (figure 3.1), et s'échappe par des trous situés dans la partie haute de chaque côté. Le fond de la boîte ainsi que les parois sont peints en noir pour mieux capter le rayonnement solaire. Une feuille de plastique ou une plaque de verre sert de toit, une porte dans le panneau arrière permet de régler la température.

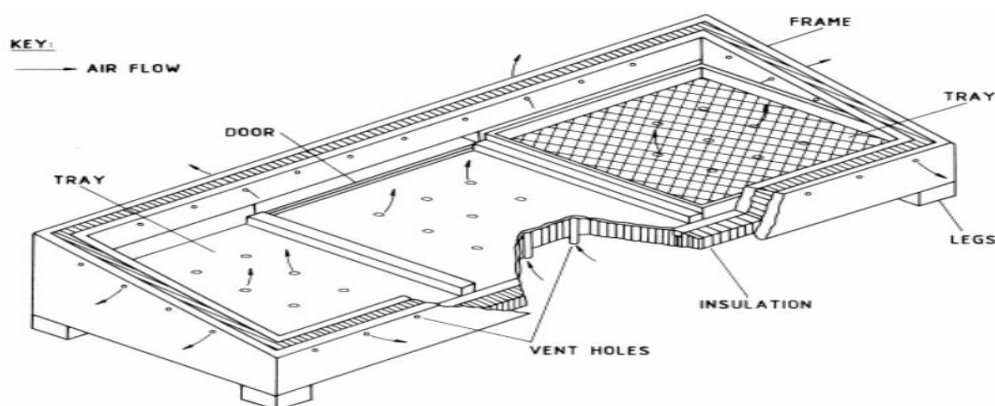


Figure II .1 : Le séchoir solaire coffre

II .1.4.2. Le séchoir intégral à convection naturelle :

Le séchoir intégral (figure II.2) est un séchoir direct dont le produit est placé dans une chambre de séchage avec des parois transparentes, le rayonnement solaire empète directement sur le produit. L'exposition directe au rayonnement solaire augmente la maturation appropriée de couleur des fruits verdâtres, et permettant la décomposition de la chlorophylle dans le tissu .Pour certaines variétés de raisins et de dattes, l'exposition au rayonnement est considérée essentielle pour le développement de couleur requise dans le produit sec .

Le séchoir est équipé par une cheminée solaire qui peut être utilisée pour augmenter la force de flottabilité imposée au courant d'air et donc fournir un flux important d'air et une vitesse de séchage plus grande.

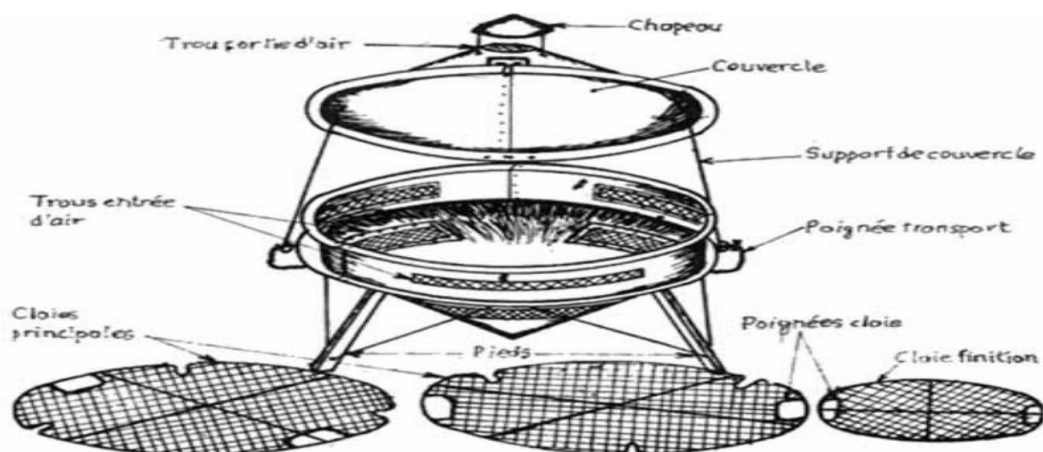


Figure II.2 : Le séchoir solaire intégral

II.1.4.3. Le séchoir solaire "coquillage":

Le séchoir coquillage est un séchoir solaire direct à convection naturelle, destinée à l'auto consommation et à la vente locale. Il est essentiellement utilisé par les familles, les coopérations et les groupes de femmes.

Ce type de séchoir est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle peinte en noir assure une bonne captation du rayonnement solaire, des trous perforés dans la tôle inférieure et supérieure permettant la circulation de l'air. L'efficacité du séchoir dépend des conditions climatiques.

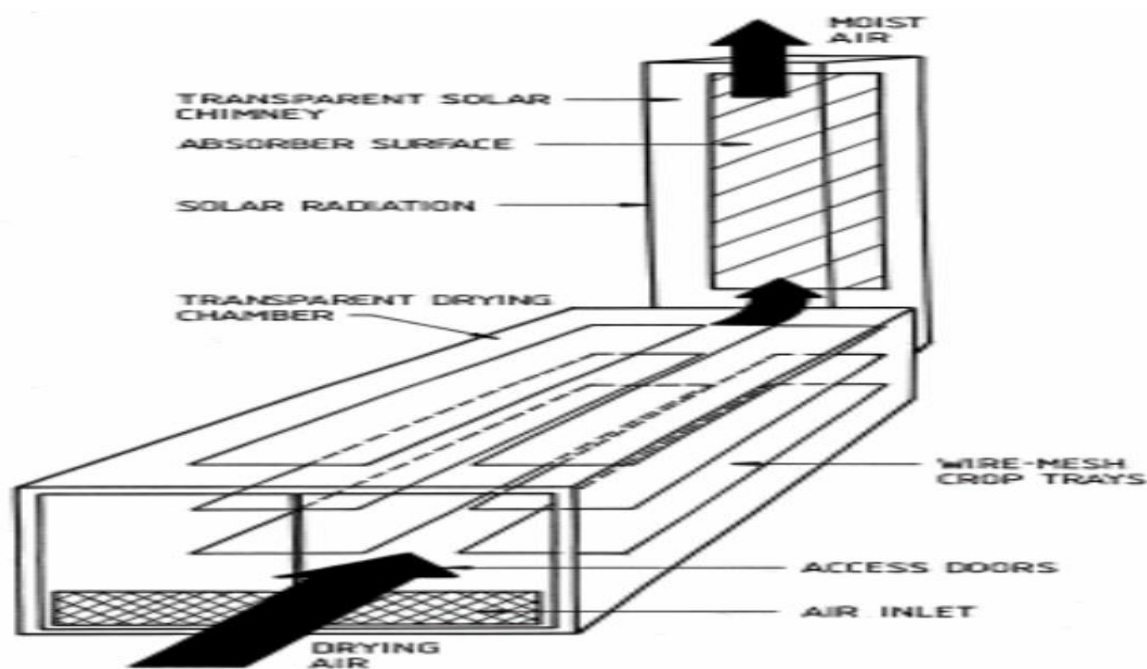


Figure II.3 : Le séchoir solaire coquillage à trois claies

II.1.4.4. Le séchoir cabane :

Le séchoir cabane est caractérisé par une capacité de 35 kg de produit frais pour une surface de 7m² . Les produits sont placés dans le séchoir sur des claies surélevées du sol. La toile de plastique permet de capter l'énergie solaire, une porte permet d'entrer dans la tente et de garnir les claies, une sortie d'air est aménagée dans la partie supérieure.

Ce type de séchoir est caractérisé par une meilleure protection contre les insectes, équipement démontable à la saison des pluies et une simple construction et fonctionnement, parmi les inconvénients de ce séchoir : le coût est assez important, la nécessité d'une grande surface de polyéthylène et la prise au vent qui rend ces modèles fragiles si l'emplacement est mal choisi.

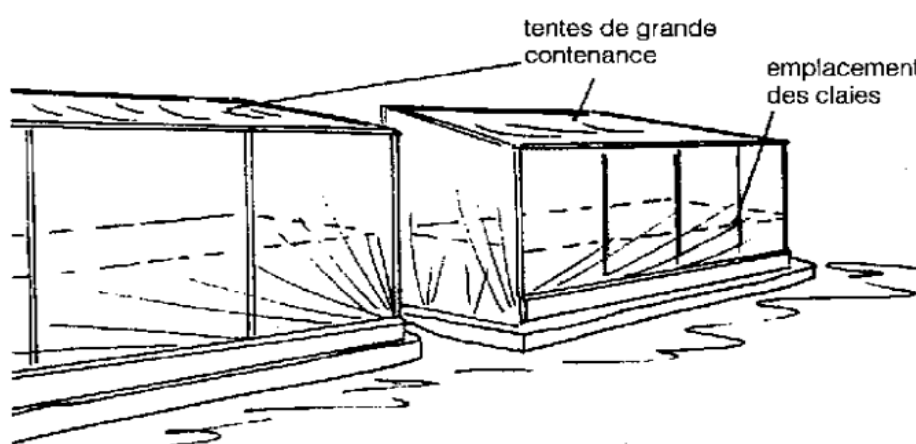


Figure II.4 : Le séchoir solaire cabane

II.2. Les séchoirs solaires indirects: [32] [11]

Ces systèmes sont plus performants que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive . Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires.

II.2.1. Principe de fonctionnement :

Le séchoir solaire indirect se compose de parties : un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, une chambre de séchage qui contient le produit et une cheminée (figure II.5). L'air pénètre dans le collecteur; il est chauffé, sa température augmente. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage. La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques .

1. Entrée d'air
2. Partie exposée aux rayons du soleil, sous une vitre.
3. claie.
4. Cheminée

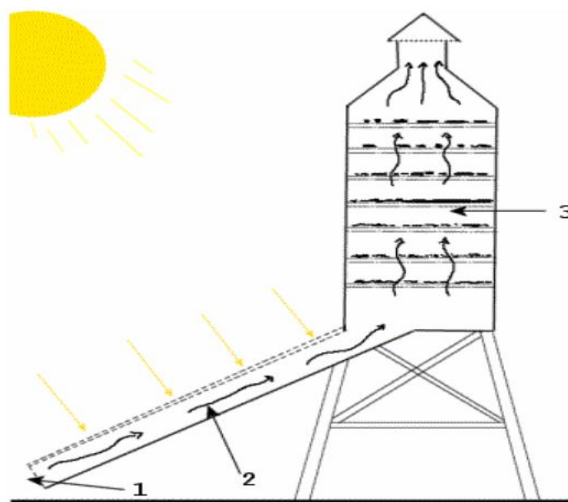


Figure II.5 : Séchoir solaire indirect

II.2.2. Avantages :

- Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C).
- Possibilité de construire ce type des séchoirs localement, avec un coût réduit .
- Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles .

II.2.3. Inconvénient :

- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.

II.2.4. Type du séchoir indirect : [32] [28]

II.2.4.1. Le séchoir armoire :

Le collecteur capte l'énergie solaire. L'air chaud s'élève jusqu'à la chambre de séchage où les produits sont disposés sur des claies superposées.

Le séchoir armoire (figure II.6) est composé d'un collecteur solaire dont l'intérieur a été noirci et d'une chambre de séchage contenant des claies superposées. Le collecteur est recouvert de feuille de plastique translucide et assure la production de l'air chaud. La chambre de séchage protège les produits du soleil préservant aussi leur qualité.

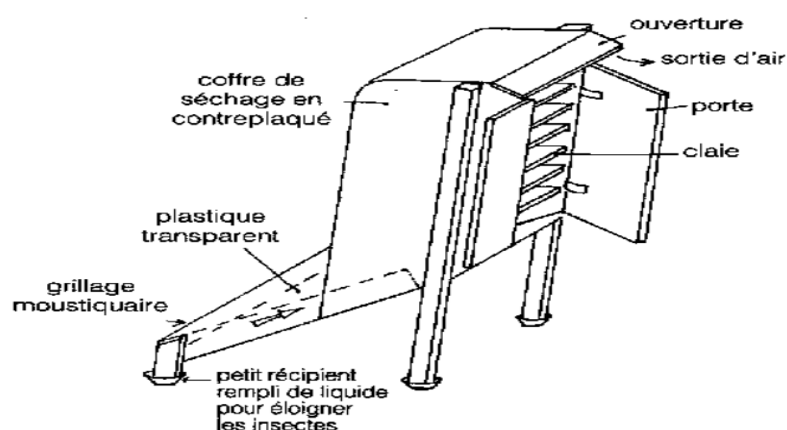


Figure II.6 : séchoir solaire armoire

II.3. Les séchoirs hybrides ; [31] [33]

Les recherches se sont orientées vers les séchoirs hybrides utilisant une énergie d'appoint : fuel, électricité, bois, gaz ... l'apport d'énergie supplémentaire peut se situer à deux endroits différents du séchoir :

- Maintenir la température constante dans le séchoir par un brûleur à gaz, une résistance électrique, un feu du bois. Dans ce cas l'énergie solaire devient secondaire, elle permet simplement de préchauffer l'air.
- Augmentation de la circulation de l'air par des ventilateurs électriques, ici l'énergie solaire reste la source de chaleur mais le séchoir a une capacité d'évaporation plus importante grâce à une meilleure ventilation.

II.3.1. Avantages :

- Affranchissement par rapport aux conditions climatiques.
- Meilleur contrôle du séchage .
- Forte augmentation de la production par rapport aux autre type des séchoirs solaires, car le dispositif peut fonctionner la nuit ou en saison des pluies si besoin.

II.3.2. Inconvénients :

- Coût de production et d'investissement élevé.
- Nécessité d'approvisionnement local en carburant, électricité, pièce de rechange.
- Personnel qualifié pour la maintenance.

II.3.3. Types des séchoirs hybrides : [31] [34]

II.3.3.1. Séchoir hybride à convection forcée :

II.3.3.1.1.Principe de fonctionnement :

Le toit du bâtiment sert de capteur, un ventilateur assure une circulation importante de l'air permettant de sécher très rapidement les produits.

II.3.3.1.2.Description technique :

L'air est aspiré de l'intérieur du bâtiment par un ventilateur et passe dans un capteur solaire dans le toit du bâtiment. L'air réchauffé arrive dans la chambre de séchage où les fruits sont disposés sur des claies superposées.

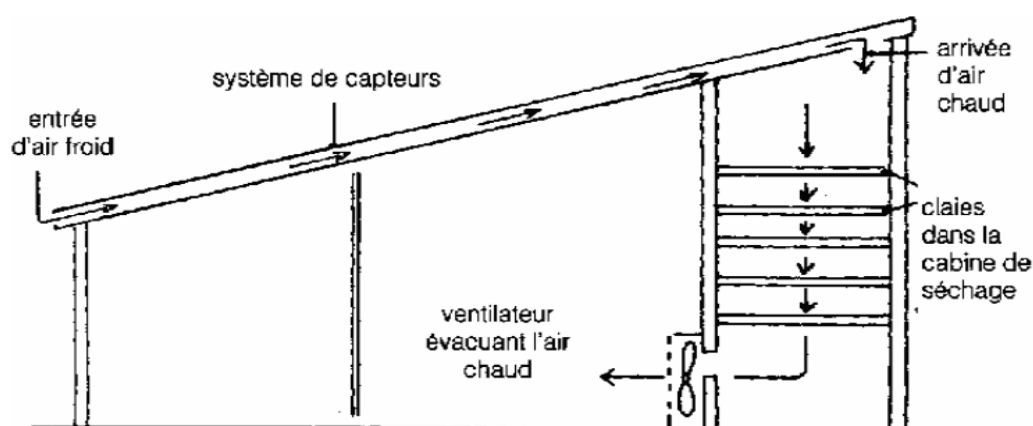


Figure II.7 : séchoir solaire hybride à convection forcée

II.3.3.1.3.Avantages :

- Séchoir très performant.
- Facilement aménageable dans un bâtiment

II.3.3.1.4.Inconvénients :

- Nécessité de grandes quantités de fruits régulièrement sur l'année pour être rentable.

II.3.3.2. Le séchoir hybride solaire – gaz :

II.3.3.2.1. Principe de fonctionnement :

Le collecteur solaire permet de préchauffer l'air. Si la température est insuffisante, un brûleur à gaz se déclenche pour obtenir la température désirée. Les produits peuvent donc sécher quelles soient les conditions climatiques.

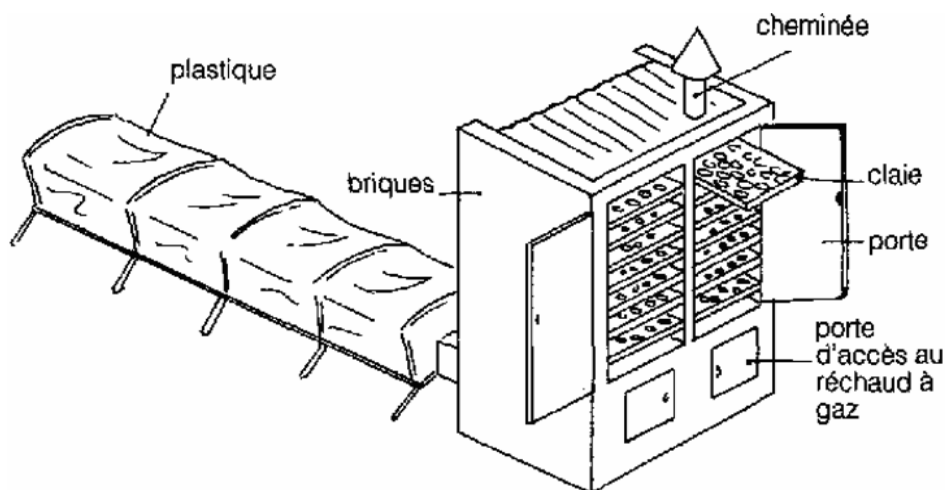


Figure: II.8 : Séchoir solaire hybride solaire-gaz

II.3.3.2.2. Description technique :

La circulation de l'air se fait par convection naturelle du collecteur solaire à l'armoire. Le brûleur à gaz permet d'obtenir la température nécessaire pour sécher correctement les produits quel que soient les conditions climatiques.

II.3.3.2.3. Avantages:

- Séchage rapide et d'excellente qualité.
- Contrôle de température.
- Très grande productivité.

II.3.3.2.4. Inconvénient:

- Coût très élevé de l'investissement
- Nécessité d'avoir un marché important pour pouvoir écouler les produits.

II.4. Les séchoirs mixtes : [31] [35]

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. Un séchoir mixte à circulation naturelle (figure II.9) aurait les mêmes dispositifs structurant qu'un séchoir indirect (capteur solaire, chambre de séchage, et une cheminée) mais les parois sont équipées par des plaques de verre de sorte que le rayonnement solaire empiète directement sur le produit comme le séchoir intégral.

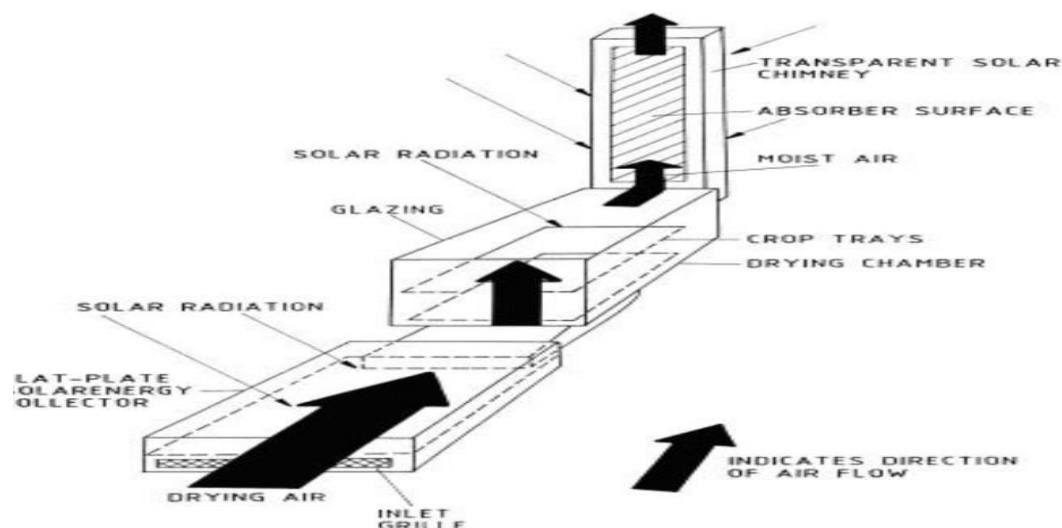


Figure II.9 : Séchoir solaire à circulation naturelle-type 1

Une autre conception (figure II.10) se compose d'un capteur à air avec une pile de granit (sert le rôle d'un absorbeur et stockage d'énergie) recouvert d'une plaque de verre. La chambre de séchage contenant trois claies superposées, les parois sont des contre-plaquéés, la surface supérieure recouverte de verre. La cheminée solaire prend une forme cylindrique, fabriquée avec des feuilles galvanisées équipées d'un chapeau en métal pour conserver hors de la pluie .

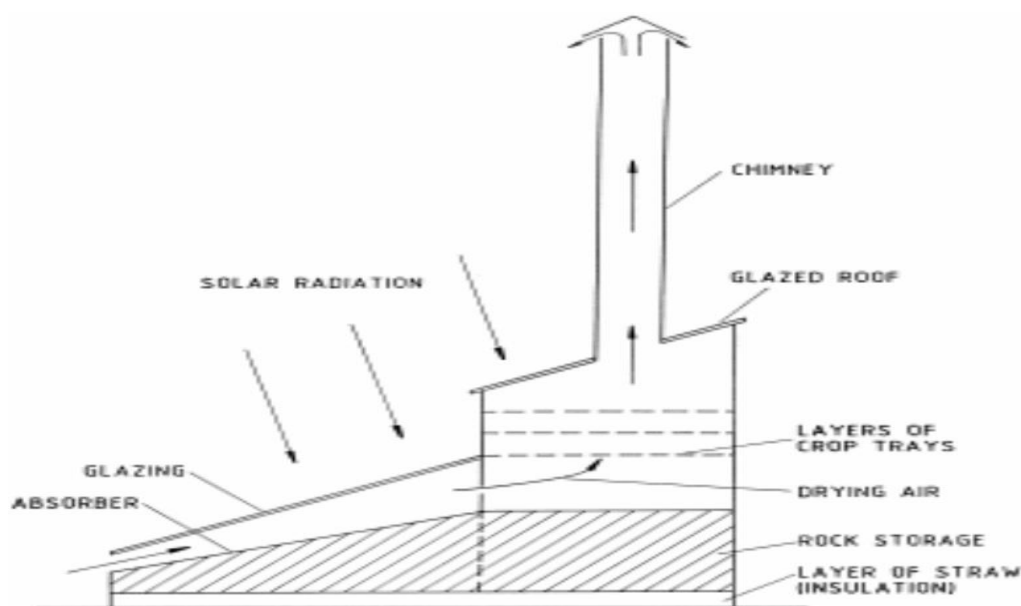
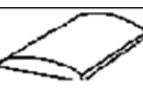
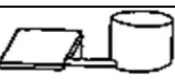


Figure II.10 : Séchoir solaire à circulation naturelle-type 2-

II.5. Les différents types de structure de séchoirs solaire : [36]

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

II.6. Les capteurs solaires; [37]

II.6.1. 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.

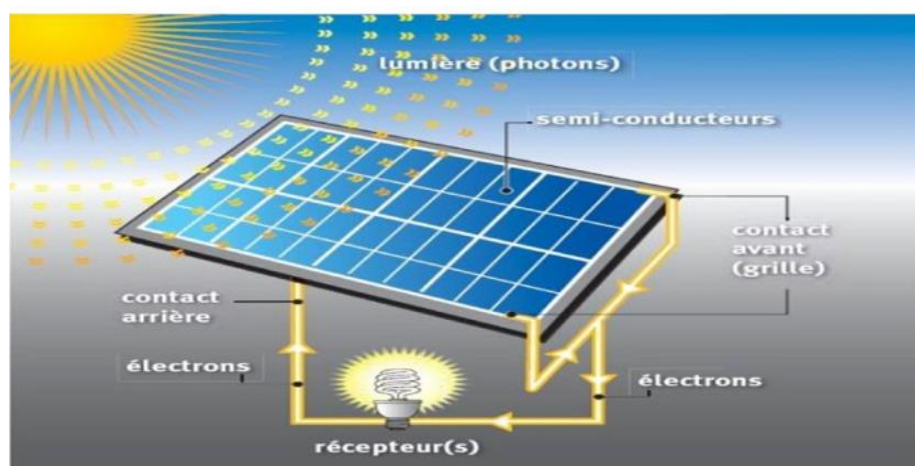


Figure (II.11) : Panneaux photovoltaïque

II.6.2. Capteurs solaires thermiques : [38]

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.

II.6.2. 1. L'énergie solaire thermique :

Le solaire thermique actif permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre de capteurs solaires. Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage de céréales, par exemple. Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- les capteurs plans.
- les capteurs par concentration.

II.6.2.1. Capteurs plans :

Les capteurs plans absorbent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque peinte en noir et munie de fines conduites destinées au fluide caloporteur. Lorsqu'il traverse les conduits, sa température (liquide ou air) augmente en raison de la chaleur reçue par la plaque absorbante. Comme une serre, les capteurs plans sont munis d'un vitrage transparent, qui piège le rayonnement calorifique s'échappant de la plaque absorbante. Ils peuvent chauffer les fluides caloporteurs à des températures légèrement supérieures à 80°C, avec un rendement variant entre 40 et 80%.

Dans l'hémisphère nord ils sont orientés vers le sud, et dans l'hémisphère sud, vers le nord. L'efficacité des capteurs dépend de l'angle qu'ils forment avec le plan horizontal. Leur inclinaison optimale varie selon la latitude de l'installation.

Les principaux composants des capteurs solaires sont :

- **La vitre** : la matière la plus utilisée est le verre.
- **L'absorbeur** : C'est une plaque noire qui absorbe le rayonnement solaire et le transforme en chaleur thermique ; cette plaque doit avoir les caractéristiques suivantes :
 - Une bonne conductivité thermique ;
 - Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité;

Les matériaux utilisés comme absorbeur sont : le cuivre, les aciers, l'aluminium ...etc.

- **L'isolant** : L'isolant a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques. Les matériaux utilisés comme isolant sont le bois, les cendres de végétaux, la laine de verre et
- **Le fluide caloporteur** : Le fluide caloporteur est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail. Les fluides caloporteurs utilisés sont :
 - **L'air** : C'est un fluide gratuit mais il possède une faible capacité calorifique en comparaison avec celle de l'eau.
 - **L'eau** : Elle possède les avantages suivants : une grande chaleur massique, et une faible viscosité.

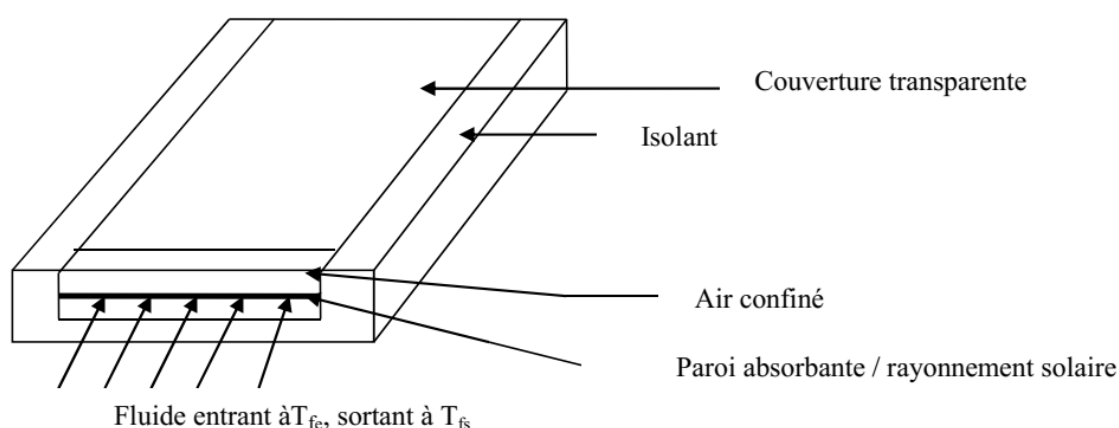


Figure (II.12) : Représentation schématique d'un capteur plan à air

II.6.2.2. Capteurs par concentration : [16] [39]

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration, mais ils sont plus complexes et plus onéreux.

Il s'agit de réflecteurs en demi-cercle qui renvoient et concentrent l'énergie solaire sur un tuyau où circule un fluide caloporteur. Cette concentration entraîne une augmentation de l'intensité, et les températures obtenues sur le récepteur (appelé cible) peuvent atteindre plusieurs centaines voire même plusieurs milliers de degrés Celsius.

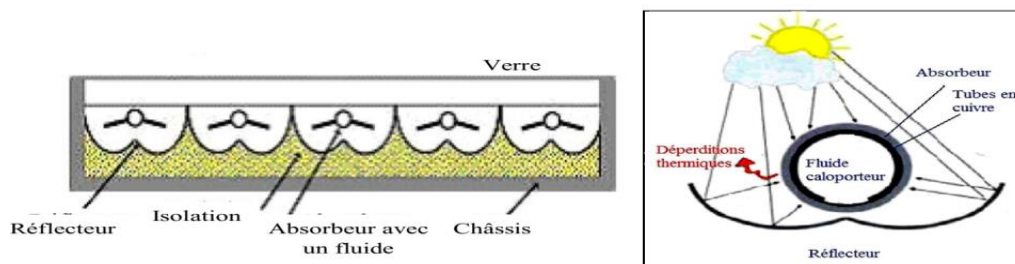


Figure (II.13) : Représentation schématique d'un capteur à concentration.

- ✓ La position optimale (inclinaison) d'un capteur assure un bon rendement et moins des pertes thermiques.

II 6.3 Inclinaison parfait d'un capteur solaire: [16]

Les capteurs solaires peuvent être installés au sol, contre le côté d'un édifice ou sur la toiture. Idéalement, ils devraient être orientés vers le sud, à l'écart des zones ombragées, et devraient présenter un angle d'inclinaison qui permette que la surface du capteur soit perpendiculaire aux rayons solaires et ainsi exposés au maximum de lumière solaire. Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en soustrayant la déclinaison du soleil de la latitude géographique de l'emplacement du système de chauffage solaire. En général, il s'agit de la latitude de l'emplacement plus ou moins 10 à 15 degrés. En hiver (position hivernale), lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison plus élevé (la latitude plus 10 à 15 degrés). Par contre, il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison moins élevé (la latitude moins 10 à 15 degrés) durant les mois d'été lorsque le soleil est plus haut dans le ciel (position estivale). Toutefois, l'angle n'est pas d'une telle importance qu'on ne puisse le varier de 10 degrés.

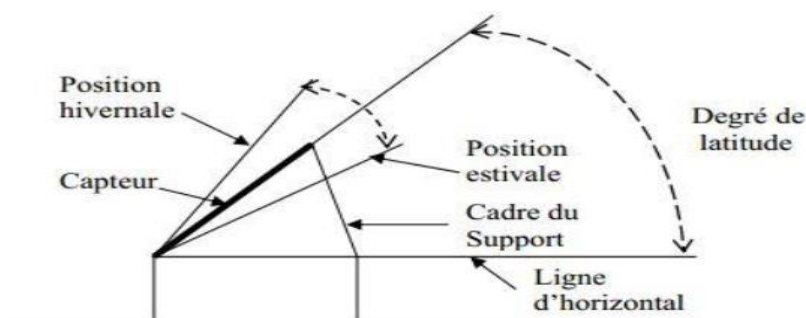


Figure (II.14) : Installation d'un capteur solaire.

II.6.4. Captage du rayonnement solaire: [41]

On peut capter directement le rayonnement solaire au moyen des panneaux plans (capteurs plans) réceptifs, convenablement équipés dénommés isolateurs, au lieu de faire la captation directe on peut la faire à l'aide des concentrateurs, connus par le nom de capteurs solaires à concentration. Ces deux types de capteurs réagissent réciproquement avec les radiations solaires. Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur des rayons solaires provenant de toutes les directions. Le rayonnement solaire est non seulement absorbé du ciel mais aussi de tout le milieu. Cela veut dire qu'un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel. D'autre part, la réalisation d'un capteur solaire plan ne demande pas une conception compliquée. Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, qui fait appel à des techniques plus au moins complexes, dont le principe

consiste à focaliser le flux solaire incident sur un absorbeur de surface plus petite que la surface d'ouverture du collecteur, afin d'augmenter la concentration du rayonnement au niveau de l'absorbeur. A l'encontre des capteurs plans qui utilisent le rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct. La figure suivante montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire.

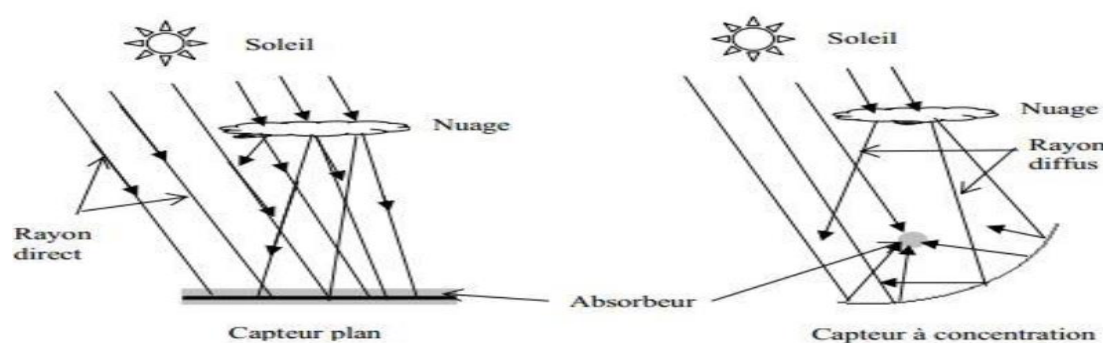


Figure (3.15) : Types des capteurs solaires et le principe d'absorption des rayonnements solaires.

II.6.5. Conversion thermique de l'énergie solaire : [42]

Une des manifestations les plus évidentes du rayonnement solaire est la chaleur qu'il apporte. Ce paragraphe est consacré aux dispositifs qui convertissent le rayonnement solaire en chaleur, parce que le but de recherche est justement la production de chaleur. On peut classer ces dispositifs selon le degré de concentration du rayonnement solaire qu'ils opèrent avant la transformation en chaleur.

II.6.5. 1.Mécanisme 2D (sans concentration):

Le sigle 2D signifie "à deux dimensions". Les capteurs 2D sont en général des surfaces planes noircies (pour mieux absorber le rayonnement) et couvertes d'une vitre (pour profiter de l'effet de serre et empêcher la chaleur de la surface d'être emportée par les mouvements de l'air tels que le vent et la convection naturelle). Un fluide circule à l'intérieur de la surface absorbante pour emporter la chaleur produite. La température ne dépassant pas 80°C. Ceci n'est pas un handicap pour des applications telles que l'obtention de l'eau chaude domestique.

II.6.5. 2.Mécanisme 1D (concentration sur une ligne):

Le thermique 1D (figure II.16) utilise comme capteur solaire à concentration de type cylindro-parabolique, contient élément tubulaire sur lequel un miroir parabolique concentre le rayonnement du soleil. Il nécessite un système d'orientation du miroir (à un degré de liberté).

Ce système permet d'atteindre par la concentration du rayonnement direct une température de 200°C.

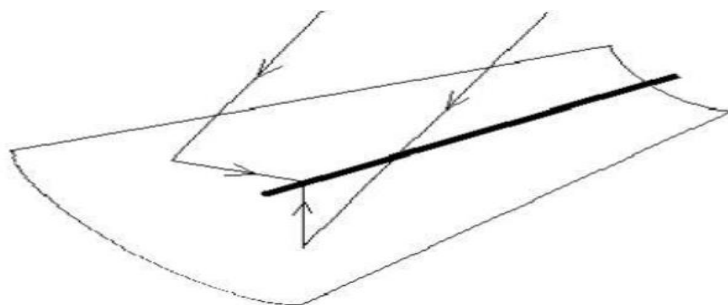


Figure (II.16) : principe d'une concentration 1D

- comme chaque fois que l'on utilise un dispositif de concentration, seul le rayonnement direct est utilisé, le rayonnement diffus ne pouvant pas être concentré.
- du fait que, comme le miroir doit être tourné vers le soleil, on doit laisser un espace inutilisé entre les miroirs pour éviter qu'ils se fassent de l'ombre, ce qui ferait chuter de façon très importante leur rendement. Une partie de l'énergie solaire passe donc entre les miroirs et est "perdue" sur le sol.
- entre le champ solaire et le dispositif thermodynamique, il peut y avoir perte de chaleur.

II.6.5. 3.Mécanisme 0D (concentration sur un point) :

Le thermique 0D (figure II.17) semble le plus intéressant. Il utilise comme capteur un élément de petite dimension sur lequel le rayonnement solaire est concentré par un ensemble de miroirs paraboliques (héliostats). Les héliostats doivent être munis d'un dispositif d'orientation à deux degrés de libertés. Une. Ce système permet d'obtenir une température de 1500°C (fluctuante, ce qui fatigue les matériaux du capteur).

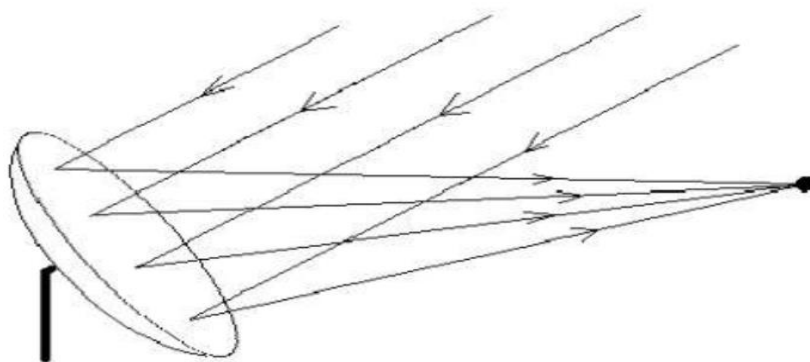


Figure (3.15) : Principe d'un concentration en un point.

Notre étude est concernée par des températures élevées, nous allons donc étudier un récepteur type cavité sous forme cylindrique.

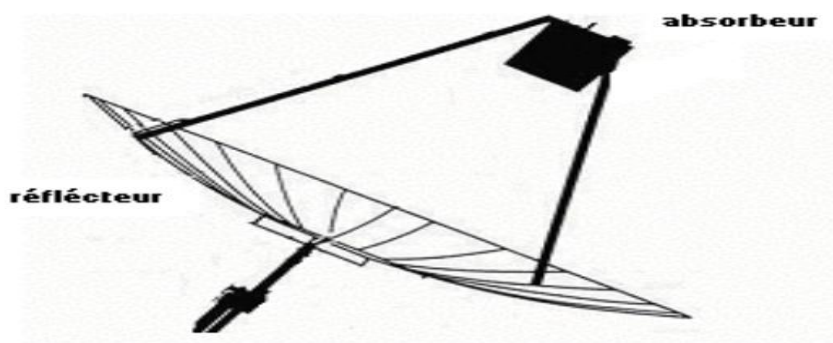


Figure (II.17) : concentrateur solaire parabolique

II.7. Bilan thermique du capteur : [16]

Le bilan énergétique par unité de surface du capteur s'écrit :

$$\varphi_a = \varphi_u + \varphi_p + \varphi_s \quad (2.1)$$

Où φ_a : Le flux solaire absorber à la surface de l'absorbeur,

φ_u : La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur,

$$\begin{aligned} \varphi_u &= F_R \left((\tau_v \alpha_n) \phi_g - U_L (T_{fe} - T_\alpha) \right) \\ F_R &= \left(\frac{mc_p}{U_L} \right) \left[1 - \exp \left(-\frac{U_L F'}{mc_n} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.2)$$

φ_p : La puissance perdue par convection et conduction vers l'arrière du capteur et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant du capteur.

$$\varphi_p = U_L (T_1 - T_\alpha) = \varphi_{p_1} + \varphi_{p_2} \quad (2.3)$$

Avec : φ_{LN} : perte à l'avant

φ_{LP} : perte à l'arrière

φ_s : La puissance stockée sous forme de chaleur dans les différents éléments du capteur lorsque le régime thermique est variable.

II.7.1. Rendement instantané d'un capteur :

Le rendement instantané d'un capteur est défini par :

$$\eta = \frac{\text{Puissance thermique utile par m}^2 \text{ du capteur}}{\text{Flux solaire incident sur le plan du capteur}}$$

$$\eta = \frac{\varphi_u}{\varphi_a} \quad (2.4)$$

II.8.Travaux antérieurs concernant le séchage et les séchoirs solaires (produits agricole)

Dans la suite de section, nous présentons les principales recherches ayant abordé le séchage et les séchoirs solaires des produits agricoles .

II.8.1.Boulemtafes et Semmar 1999: [44]

ont présentés un travail sur la conception et la réalisation d'un séchoir indirect. La partie expérimentale consistera à étudier les caractéristiques de l'air de séchage lorsqu'il arrive dans la boîte de séchage, c'est-à-dire, sa température, son degré d'humidité, sa vitesse et son débit ainsi que leurs évolutions au cours d'une journée caractéristique. La connaissance de l'évolution de tous ces paramètres et leur interdépendance, permet de sélectionner les types de produits susceptibles d'être séchés par ce séchoir.

II.8.2.M.SOBRAL et al. (2001) : [14]

En étudiant l'effet du séchage sur le rétrécissement des cubes de pomme de terre rapportent que le volume des cubes diminuait linéairement avec la teneur en eau pour des pertes inférieures à 80 %. L'effet de la température sur le taux de rétraction axiale est important sur les rondelles de petite épaisseur où il décroît proportionnellement à la température. Dans le cas de l'épaisseur moyenne, il est moins important puisque à 70 °C, le taux est le plus élevé suivi par celui de 60 °C et le plus bas est celui de 85 °C. Quand aux rondelles les plus épaisses, l'effet de la température est plus important.

II.8.3.BIMBENET et al. (2002) : [28]

Rapportent que l'évolution de la structure physique du matériau est directement liée au mode d'évaporation et de transport interne d'eau. Lorsque le transport d'eau a lieu sous forme liquide vers la surface, le produit a tendance à rétrécir proportionnellement au volume d'eau évaporée, dans la mesure où la résistance mécanique du matériau sec le permet.

Cette résistance est remarquée chez les rondelles les plus épaisses de la pomme de terre séchée à 85 °C.

II.8.4.Dilip R, Sawhney et al. 2002: [44]

Ont utilisés un séchoir solaire indirect, fonctionnant à convection naturelle, leur séchoir est composé d'un capteur solaire et d'une chambre de séchage. Les résultats obtenus par ce séchoir sont encourageantes, dont la température à la sortie varie entre 50 °C et 55 °C. Durant la période d'expérimentation qui s'étale de Mars à Mai, les températures obtenues étaient suffisantes pour le séchage de plusieurs produits (fruits et légumes). Ils ont observé

que le séchage des raisins par ce système prend 04 jours, alors que le séchage traditionnel nécessite une durée allant de 07 à 15 jours.

II.8.5.El-Sebail, Aboul-Enein et al. 2002 : [48]

présente une série d'expériences pour le séchage des figues qui sont coupés en tranche et traités chimiquement dans un séchoir solaire indirect avant le séchage pour augmenter l'évaporation de l'humidité à l'intérieur du produit, et par conséquent le temps de séchage va diminuer. Parmi ces résultats obtenus par cette étude ; le séchage des figues dans l'état normal, diminue sa valeur initiale de la teneur en eau, jusqu'à la valeur de l'humidité d'équilibre après 32 h ,mais la même masse des figues atteint la même valeur après seulement 12 h , quand les échantillons sont coupées et traitées. Ils ont remarqué aussi, que la dimension du produit est le facteur principal qui influe sur le processus de séchage solaire.

II.8.6.Krokida, Karathanos et al. 2003: [28]

Dans leur travail, s'intéresse à plusieurs paramètres intrinsèques et extrinsèques. Pour les paramètres extrinsèques ils ont pris en considération, entre autre la température, l'humidité et la vitesse de l'air, pour les paramètres intrinsèques il ont considérés, les dimensions des produits. L'objectif de cette étude est vérifié l'influence de ses paramètres sur la cinétique du séchage. Les intervalles considérés pour les différents paramètres choisis durant l'expérience sont 10 et 15 mm pour le diamètre du produit, 65, 75 et 85 °C pour la température de l'air; et 1,5, 2 et 2,5 m/s pour la vitesse de l'air et finalement 20 %, 30 % et 40 % pour l'humidité relative de l'air.

II.8.7.Bennamoun and Belhamri 2003: [45]

Montre l'importance du séchage solaire utilisant l'appoint de chauffage par rapport au séchage sans appoint, dans un séchoir solaire de type indirect fonctionnant en convection forcée pour sécher les oignons. La conclusion de ces résultats ont montré que la teneur en eau du produit sans utilisation d'appoint de chauffage, n'a pu atteindre la valeur voulue en fin de séchage, par contre, la teneur en eau du produit avec utilisation d'appoint atteint la valeur voulue, un gain de temps de séchage est obtenu, il est évalué peu après 15 h en général. L'utilisation d'un appoint peut réduire considérablement le temps de séchage .

II.8.8.Inci and Pehlivan 2004: [44]

Sur le comportement de séchage des raisins, pêches, figues et prunes à l'aide d'un séchage naturel, dont une plage de température ambiante de 27°C à 43 °C et dont le rayonnement solaire est de 0,72 MJ/m²h à 2,93 MJ/m²h. Les courbes de taux de séchage de

ces fruits n'ont contenu aucune période de taux constant, mais ont montré une période de taux de chute .

II.8.9.Singh et al. 2004: [14]

Ont réalisés une étude expérimentale au sein d'un séchoir à effet de serre de simple conception et à des petites exploitations agricoles Dans cette étude, ils ont conclu que ce type de séchoir ne peut engendrer que des faibles vitesses pour l'air asséchant ; la différence de niveau entre le bas et le haut du séchoir est petite. Dans ces conditions, il est à craindre la présence des températures trop élevées qui risqueraient de détériorer le produit. Le séchage ne dépassait pas les six heures les premiers jours à cause de l'effet du rétrécissement du produit. Au début, ce sont les premières claies qui séchaient, puis et à cause du vide entre les produits crée par le phénomène de rétrécissement, le séchage est inversé, c'est-à-dire que les dernières claies sèchent avant les premières. Ce qui reprend le séchage au jour suivant après avoir vidé les premières claies et remplit les dernières claies.

II.8.10. Benkhelfellah, El mokretar et al. 2005: [43]

leur travail est consacré à une étude comparative entre le séchage des produits agro-alimentaires dans un séchoir direct et indirect. Dans leur travail, ils ont entrepris l'étude du bilan d'énergie des modèles expérimentaux des séchoirs solaires de type direct et indirect, afin d'en déterminer la cinétique de séchage de produits agroalimentaires, compte tenu les conditions ambiantes du site donné.

II.8.11.Shanmugama and Natarajanb 2006: [44]

ont développé un séchoir solaire de type indirect fonctionnant en convection forcée, fabriqué et exécuté dans des conditions climatiques chaudes et humides en Inde, pour étudier l'efficacité thermique et l'humidité enlevée pendant le séchage de 75 kg de pois. Ce système est couplé par un capteur solaire orienté vers le sud pour maximiser le rayonnement solaire incident. La conclusion de ces résultats montre que le séchage dans un séchoir de type intégré se continue dans les heures non ensoleillées, en plus, la qualité du produit est améliorée pour un débit d'air variant entre 0,01, 0,02 et 0,03 kg/s par rapport au produit qui sèche en continuité, ainsi que l'efficacité thermique qui atteint 63 % et le taux d'extraction d'humidité qui varie de 0,55 à 0,85 kg/kWh. (Tableau II.2).

Débit d'air (kg/ s)	Temps de séchage (h)	Spécifique taux d'extraction d'humidité (kg/kw.h)
0.03	14	0.82
0.02	18	0.65
0.01	21	0.55

Tableau II.2 : Taux d'extraction spécifique d'humidité du système pour le séchage de 20 kg de pois à différents débit d'air (**Shanmugama and Natarajanb 2006**)

II.8.12.A. KAVAK (2006) : [14]

Etudier du séchage en couche mince pour comprendre le comportement de la pomme de terre, pomme et disques de citrouille (potiron). Les expériences de séchage sont conduites à 60; 70 et 80°C avec une vitesse de l'air de 1; 1.5m/s. Le séchage est maintenu jusqu'à un contenu en humidité finale atteinte de 10 % (b.s); 13 % (b.s), 6 % (b.s) respectivement.

II.8.13.Dilip en 2007: [44]

A développé un nouveau type de séchoir à convection naturelle avec une unité de stockage thermique pour assurer l'air chaud pendant la période non ensoleillée. Ce type se compose d'un réchauffeur d'air plat, relié avec réflecteur de forme polygonale pour refléter le maximum du rayonnement solaire incident. Ce système est destiné pour le séchage de l'oignon, avec une capacité de 90 kg. Cette opération est effectuée pendant un jour du mois d'octobre.

II.8.14.Khalil, Al-Juamily. et al. 2007 : [28]

Est basée sur l'efficacité thermique d'un séchoir solaire indirect à convection forcée, qui se compose de trois parties : collecteur solaire, chambre de séchage et un ventilateur. Ce type de séchoir est destiné à sécher certains produits tels que le raisin, abricot, et haricots. Des expériences ont été faites en fonction de trois débits différents respectivement 0.076, 0.063 et 0.046 m³/s. Le procédé expérimental indique que la température de l'air à la sortie du capteur, est le facteur le plus important et montre que lorsque le débit augmente la température diminue.

II.8.15.A. Boubeghal et al (2007) : [46]

Les effets de différents paramètres (diamètre, la masse et la température) sur la cinétique de séchage de produite (pomme de terre).

- **Effet du diamètre du produit :**

Le diamètre du produit varie de 6 cm jusqu'à 10 cm, avec une masse de 8 kg et une température de l'air d'entrée de 60 °C. Elle montre que l'augmentation du diamètre du produit provoque l'augmentation de sa teneur en eau. Cela est dû à la diffusion de l'eau du produit.

- **Effet de la masse du produit:**

La masse du produit déposée sur chaque claie varie entre 4 kg et 12 kg. On voit que la température du produit de 4 kg est plus élevée qu'à 12 kg pour un temps fixé et une claie désigné. L'évolution de la température de l'air d'entrée dans l'enceinte de séchage permet à ce dernier d'obtenir plus d'humidité, ce qui diminue sa température, et cela s'explique que la température du produit de la première claie est plus élevée que celle de la dixième claie.

- **Effet de la température de l'air chauffé à l'entrée de l'enceinte de séchage :**

La température de l'air d'entrée varie de 50 à 70 °C avec un diamètre du produit de 6 cm et une masse de 8 kg. La teneur en eau pour une température de l'air d'entrée de 50 °C est inférieure à celle de l'air à 70 °C. Ceci explique que l'augmentation de la température de l'air d'entrée, qui permet de diminuer le temps de séchage.

Le tableau suivant présent de quelque travail sur le séchage thermique de pomme de terre.

II.8.16.Aymen ELkhadraoui, Sami Kooli, Abdelhamid Farhat : 2010 [47]

Un nouveau séchoir solaire en mode mixte de type serre, a été mis au point pour le séchage de piment rouge. Le séchoir est constitué d'un capteur solaire à air plan et une serre mono-chapelle. Ce type de séchoir à été conçu et réalisé dans le centre de recherche et des technologies de l'Energie (CRTEn) de Borj Cedria (nord de la Tunisie): Latitude 36°43'N et Longitude 10°25'E. L'efficacité du séchage solaire, est déterminée par une étude comparative entre le séchage dans le séchoir solaire, et à l'air libre. Le présent système de séchage solaire entraine une diminution de la durée de séchage de piment d'environ 7h. Le temps de retour de l'investissement (1.02 an) est très court comparé à la durée de vie du séchoir estimé approximativement à 20 ans; d'où l'intérêt d'utilisation de ce genre de séchoir.

II.8.17.Houhou Hatem: 2012 [44]

ce travail est de déterminer les courbes de perte d'humidité relative, de la vitesse du séchage et de la température du produit pour le piment vert et la pomme de terre au cours de l'opération de séchage.

Dans cette étude expérimentale effectuée au moyen d'un séchoir solaire de type indirect, qui fonctionne en mode de convection forcée .Dans ce travail il s'est intéressé à l'influence des quatre paramètres (la masse initiale, la disposition, la forme de découpage du produit et le changement de débit d'air sur la vitesse de séchage.

Chercheur	Paramètre étudié	Type de séchoir	Temps de séchage
E. kavak akpinar 2005	Température de l'air 60,70 et 80c° Vitesse d'air 1 et 1.5 m/s	Etuve univ turkey	600 à 720 min
L.Hassini et al 2007	Température de l'air 40,55 et 80c° Vitesse d'air 1 et 1.5 m/s Humidité relative 5,15 et 25 %	Boucle de séchage Univ Tunisie	500 min
d. Fahloul et al 2009	Température 55. 65. 75 c° Pression 20. 40. 60 cm Hg Découpe rondelle 3.5 mm	Etuve Sous Vide Univ batna	100 a 250 min
s.Chouicha 2013	Vitesse d'air 0.51 m/s Humidité 5.22 à 5.25 masse d'eau /masse séché	Séchoir solaire Indirect Univ Ouargla	165 min
O.Badaoui 2013	Température 65 c° Epaisseur 0.3 cm	Séchoir solaire Indirect UCED Tipaza	200 min

Tableau(II.3) : quelque travail sur le séchage thermique de pomme de terre

Conclusion

Dans ce chapitre nous concluons que les séchoirs solaire divises par quatre types: Les séchoirs solaires directs, les séchoirs solaires indirects. les séchoirs solaires hybrides. et les séchoirs solaires mixtes.et les capteurs divises par deux types; Les capteurs solaires photovoltaïques et Capteurs solaires thermique (Capteurs plans, Capteurs par concentration) Où la séchage de produit agricoles est soumis à mode de séchoir et type de capteur .

CHAPITRE: III

LES PRODUITS ETUDIES

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes pour étudier et sécher les produits agro-alimentaires (la pomme de terre, le piment rouge, le petit pois comme exemple en notre expérience) par le séchoir solaire indirect à convection forcée.

III.1-Étude de la pomme de terre:

III.1.1. généralité sur Pomme de terre : [48]

La pomme de terre est une plante herbacée, de la famille des Solanacées. Elle est cultivée essentiellement, pour ses tubercules souterrains, charnus, jaunes, roses, rouges, violets ou presque noirs; de formes différentes ; sphériques, longs, ovales, aplatis, en rognon. La région d'El-Oued connaît depuis quelques années un succès grandissant dans le domaine de la culture de la pomme de terre. Au cours de la campagne 2006-2007, la production a été estimée à 18027 tonnes pour une surface de 7363 ha, (DSA El-Oued, 2008).

III.1.2. Situation économique :

La pomme de terre est la 4^{ème} production alimentaire végétale au niveau mondial après le blé, le riz et le maïs. Elle est considérée comme l'un des légumes les plus consommés par l'homme, cultivée sur environ 20 millions d'hectares avec une production de 300 millions de tonnes. Les surfaces cultivées sont en augmentation en Afrique, en Amérique latine et en Asie du sud.

En Algérie, la production en 2012/2013 toute catégorie de pommes de terre confondues se situe autour de 4,5 millions de tonnes dont 0,45 millions de tonnes de semences pour une superficie de l'ordre de 125.000 hectares.

Les principales wilayas productrices de pomme de terre en Algérie ;

Wilayas	Superficies (ha)	Productions (qtx)	Rendements (qtx/ha)
AIN DEFLA	15230	3200000	210.1
MASCARA	9550	2087150	208.6
TLEMCEN	7505	1979550	263.8
EL-OUED	7392	1771626	246

Tableau (III.1) : Les principales wilayas productrices de pomme de terre en Algérie

III.1.3. Récolte : [49] [50]

Les tubercules de grande consommation ne doivent être arrachés qu'à maturité complète (fanées desséchées, peau surépaissie), sinon ils se conservent mal. Les variétés hâtives peuvent être récoltées à la mi-juillet, et les plus tardives à la fin de septembre ou au début d'octobre. Celles destinées à la conservation se ramassent à maturité, lorsque les tiges sont

séchées.

III.1.4. Conservation : [49] [50]

Le stockage de la récolte devra se faire, si possible, au-dessous de 6°C. Par ailleurs le tubercule gèle à -1 et -2°C. En cave ou en silo à l'abri de la lumière du jour, au sec et au frais. L'augmentation de la production de la pomme de terre dans la région d'el-oued est réalisée en un temps très court, les capacités de stockage par les chambres froides n'ont pas suivi le même rythme, Pour prendre une solution de ce problème on propose le séchage thermique comme une solution de conservation ou de stockage de pomme de terre.

III.1.5. Composition chimique de la pomme de terre :

Les composants majeurs de la pomme de terre sont rassemblés dans le Figure suivant: [51]

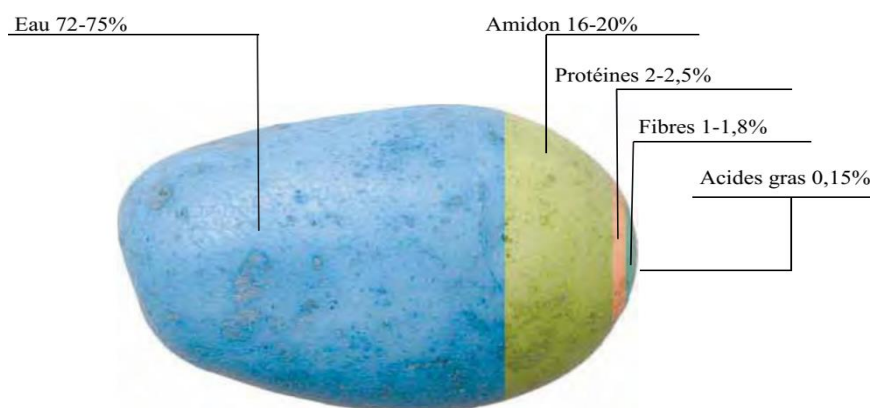


Figure (III.1): Composition chimique de la pomme de terre épluchée crue

Eau	g	79.25
Energie	kcal	77
Protéine	g	2.05
Total lipide	g	0.09
Carbohydrate,	g	17.49
Fibre	g	2.1
Sucre	g	0.82
Calcium, Ca	mg	12
Fer, Fe	mg	0.81

Tableau III.2 : les compositions chimique de la pomme de terre (les valeurs pour 100g)

III.2. Séchage de pomme de terre :

III.2.1. Mode opératoire :

Pour suivre la quantité d'eau évaporée de la pomme de terre au cours du, nous avons mesuré sa masse à l'aide d'une balance a partirez d'une masse initiale de 350 g, chaque demi-heure apatrié de 9h:15 jusqu'à 12h :15. La durée de séchage est le temps nécessaire pour

sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale. Les mesures de température (ambiante, chambre et récepteur) sont effectuées chaque 30 minutes.

III.2.2. Préparation du produit :

Les tubercules de pomme de terre ont été pelés et lavés à l'eau du robinet, puis coupées en rondelles d'une épaisseur de 3mm, elles ont été réparties sur la claie de séchage.



Figure (III.2) : Préparation du produit (pomme de terre)

III.4. Produit séché :

Après un temps nécessaire, nous avons obtenu de la pomme de terre séchée avec une teneur en eau à base sèche de 350g eau / 79g m.s



Figure (III.3) Produit séché (pomme de terre)

III.3. Étude le piment rouge

III.3.1. Généralité sur le piment : [52]

Le terme piment (vert, jaune, orange ou rouge) est un nom vernaculaire utilisé en français pour désigner le fruit de plusieurs espèces de plantes du genre *Capsicum* de la famille des solanacées. Il est à noter qu'au Canada, le terme piment est généralement utilisé de manière restrictive pour faire référence aux poivrons, les autres variétés de *Capsicum* ayant un goût plus piquant étant qualifiés de piment fort. Les piments sont originaires d'Amérique du

Sud et d'Amérique centrale, cultivés comme plantes potagères pour leurs fruits aux qualités alimentaires et aromatiques. Le terme désigne aussi le fruit de cette plante. Le mot correspond à cinq espèces du genre *Capsicum*. La région d'el- oued connaît depuis quelques années un succès grandissant dans le domaine de la culture du piment (2003-2004).

III.3.2. situation économique : [53]

L'Espagne réalise, en 2002, une production de 780.000 tonnes la classant, ainsi comme premier pays producteur européen. En 2011, la production mondiale de piment était estimée à 27 277 149 tonnes, dont la Chine, le Mexique, la Turquie, l'Indonésie, les États-Unis d'Amérique, l'Espagne, l'Égypte, le Nigeria, l'Algérie et des Pays-Bas étant les 10 pays les plus producteurs du piment, l'Algérie a participé avec 400 000 tonnes. Parmi les cultures maraichères il y a la culture de poivron, répondu et appréciée dans les pays européen après la Tomate.

Etant donné l'importance économique des cultures de Poivron, les travaux sur ce type de culture se sont penchés sur l'étude du comportement variétal de cette culture. Citons les travaux de TOUIL (1986) sous – serre de Tomate dans la station de Mostaganem,

BOUSSADA en 2003 dans un champ de fève dans la station de Tizi- Ouzou,etc
Dans la région d' el oued sont la station de BOUGHAZELA (Trifaoui).

III.3.3. Taxonomie et description botanique : [54]

Le piment est le fruit des espèces variables du genre *Capsicum* qui appartient à la famille des *Solanacées* (Barceloux, 2009; Tiwari, 2010) dont cette famille comprend aussi la tomate, l'aubergine et la pomme de terre. Les fruits du piment sont considérés comme des légumes, mais botaniquement parlant, ils sont des baies. En fait, ils sont généralement classés selon les caractéristiques de fruits (goût piquant, couleur, forme de fruits, etc.)

La Classification botanique internationale de Cronquist pour le piment est la suivante :

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Superdivision	<i>Spermatophyta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magniolopsida</i>
Sous-classe	<i>Asteridae</i>
Ordre	<i>Solanales</i>
Famille	<i>Solanaceae</i>

Genre	<i>Capsicum</i>
Espèce	<i>Capsicum annuum</i>

III.3.4.Utilisation : [52]

Le piment peut servir à fabriquer un puissant insecticide naturel. Pour l'obtenir, il suffit de piler finement 300 g (correspondant à six poignées de piment frais ou trois de piment sec), puis de mélanger à deux litres d'eau. Le tout est bien secoué dans un récipient à couvercle étanche afin d'obtenir un mélange homogène (attention aux yeux !). Ensuite, il faut procéder au filtrage. de l'eau savonneuse est ajoutée à la solution filtrée afin qu'elle se fixe sur les feuilles. On obtient ainsi un concentré qu'il convient de répandre immédiatement à l'aide d'un pulvérisateur ou d'un arrosoir à main. De l'avis des spécialistes, il s'agit là d'un puissant insecticide qui détruit en un délai très court les parasites. Il serait aussi utilisé dans certains milieux comme châtiment corporel.

III.3.5. Composition biochimique de piments: [54]

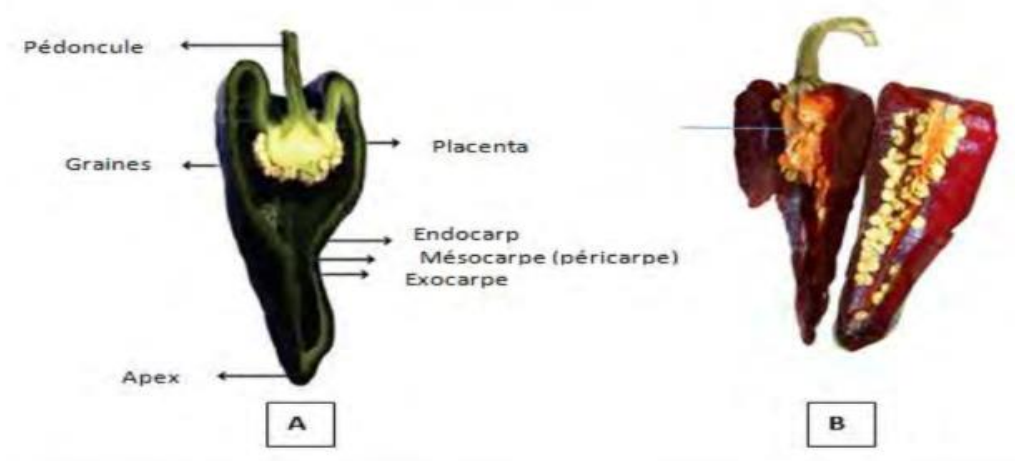


Figure :(III.4): Coupe longitudinale d'un piment, **A** : piment vert frais ; **B** : piment rouge séché

Nutriments	Unité	Valeur pour 100 g
Eau		8.05
Energie	kcal	318
Protéine	g	12.01
Lipides totaux	g	17.27
Carbohydate	g	56.63
Fibre	g	27.2
Sucres totaux	g	10.34
Calcium, Ca	mg	148

Tableau (III.3): Composition nutritionnelle du piment rouge

III.3-6.Récoltes ; [53]

Le piment se cultive toute l'année, mais l'irrigation est nécessaire en saison sèche. En Côte d'Ivoire, la culture est généralement pluviale. Les meilleurs rendements sont obtenus avec les semis de mars - avril (pour la culture pluviale), et de septembre - octobre (pour la culture de contre saison). Selon la variété, récolter 105 à 130 jours après le repiquage. Pour les piments consommés à l'état frais, récolter avant le virement de couleur (au rouge ou jaune). Pour les piments forts, récolter chaque semaine, au stade de fruits matures (généralement rouges ou jaunes).

Il est recommandé de couper les fruits de couleur uniforme avec leur pédoncule.

- Il est recommandé de manipuler les pédoncules avec soins.
- Le séchage se fait au soleil sur une natte (bien éparpillé).

III.3.7. La conservation : [53]

Après avoir récolté vos piments, vous pouvez les conserver de différentes manières:

- En les faisant sécher (au soleil , pendu dans un endroit sec ou même au four (50° c). Une fois séché le piment peut se garder assez longtemps pour peu qu'il ait été lavé pour éviter les moisissures. Vous pouvez le réduire alors en poudre très fine et le conserver dans un bocal hermétique
- Vous pouvez aussi les conserver dans de l'huile (de bonne qualité !). J'ai utilisé une huile d'olive (classique) mais rien n'empêche de varier. Bourrez alors la bouteille de piments à ras bord et remplissez d'huile. Conservez au frais et à l'abri de la lumière. Avant de l'utiliser pour la première fois attendez un bon mois.
- Une recette "de famille" est de remplir une bouteille de piments , de compléter la bouteille à bord en y mettant moitié Gin , moitié whisky. A utiliser avec précaution
- Sinon j'en ai simplement conservé entiers, séchés en les oubliant dans un ravier au sec, puis en les mettant au frigo. 8 mois plus tard ils n'avaient pas perdu de leur piquant.

III.4.Le séchage du piment rouge :**III.4.1.Mode opératoire :**

Pour suivre la quantité d'eau évaporée du piment rouge au cours du, nous avons mesuré sa masse à l'aide d'une balance à partir d'une masse initiale de 250 g, chaque demi-heure à partir de 9h:15 jusqu'à 15h :15. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale. Les mesures de température (ambiante ,chambre et récepteur) sont effectuées chaque 30 minutes.

III.4.2.Préparation du produit :

Les Gousses du piment rouge sont lavées à l'eau du robinet, puis coupées en moitié et avec fourchus, ils ont été répartir sur la claie de séchage.



Figure (III.5) : Préparation du produit (piment rouge)

III.4.3. Produit séché :

Après un temps nécessaire, nous avons obtenu du piment rouge séchée avec une teneur en eau à base sèche de 250g eau /23g m.s.



Figure (III.6) : Produit séché (piment rouge)

III.5.Etude le petit pois :

III.5.1. Généralité sur le petite pois : [55]

Est une espèce de plante annuelle de la famille des légumineuses (Fabacées), largement cultivée pour ses graines, consommée comme légume ou utilisée comme aliment du bétail. Le terme désigne aussi la graine elle-même, riche en énergie (amidon) et en protéines (de 16 à 40 %)¹. Les pois secs se présentent souvent sous la forme de « pois cassés ». Les pois frais sont plus couramment appelés « petits pois ». La région d'el-oued

connaît depuis quelques années un succès grandissant dans le domaine de la culture du petit pois (2010-2011) .

III.5.2. situation économique : [57]

Le pois (*Pisum sativum*) est une plante légumineuse annuelle cultivée à travers le monde et utilisée en alimentation humaine et animale. La production du pois a atteint son optimum en 1990 avec une production qui avoisine 1605 millions de tonnes (FAOSTAT -donnée 2004) . À partir de l'année 2000, la production mondiale s'est stabilisée autour de 10 millions de tonnes .

En Algérie, les conditions climatiques et du sol sont très favorables à sa culture, laquelle s'étend sur une superficie de 21200 ha avec une production annuelle de 6332900 qx, soit un rendement de 29.9 qx/ha (DSASI, 2001). Les wilayas productrices sont Mascara, Boumerdes, Biskra, Tlemcen et El-Oued.

III.5.3. Raisons et buts de l'amélioration du pois rond en Algérie: [56]

Trois débouchés: Caisserie, Conserverie, Consommation en vert (locale ou exportation) existent pour la production algérienne et déterminent les destinations des récoltes. Les essais d'amélioration en cours ont eu pour but de comparer entre elles, dans nos conditions, les diverses variétés européennes utilisées pour l'un ou l'autre de ces divers usages et d'établir la gamme aussi restreinte que possible de celles pouvant être utilement recommandées aux agriculteurs locaux.

III.5.4. La composition nutritionnelle du petit pois ; [57]

Principaux composants pour (100g)	
Glucides	56 g
Fibres alimentaires	15 g
Protéines	23 g
Lipides	1,7 g
Eau	12 g

Tableau (III.4): Composition nutritionnelle du petit pois

III.5.5. Récoltes ; [55]

La récolte s'effectue lorsque les grains remplissent complètement les gousses.
 - Date : avril à mai pour les variétés précoces (ou octobre pour les semis de juin); juin à août pour autres variétés et mangetout - Production moyenne : 5 à 10 kg/m² .

Les petits pois sont les graines récoltées avant maturité complète de certaines variétés cultivées de pois (*Pisum sativum*). Les petits pois sont consommés comme légumes frais, mais sont plus énergétiques (92 cal/100 g) que la majorité des légumes verts. Ils sont aussi intéressants pour leur apport en sucres solubles, en lysine et en fibres, composées en majorité d'hémicelluloses lorsqu'ils sont jeunes.

Les petits pois sont aussi une bonne source de vitamine C (acide ascorbique) avec 25 mg/100 g. Leur consommation s'est étendue tout au long de l'année grâce aux techniques de conservation modernes (appertisation, surgélation).

III.5.6. la conservation : [55]

Les petits pois et les pois gourmands se conservent tels quels en cosques, au maximum 4 à 5 jours au réfrigérateur entre 1 et 4 °C. Le grand froid a tendance à rendre les petits pois farineux. L'idéal est de les cuire le plus rapidement possible après les avoir écosés.

Cuits, ils se conservent au maximum 48 heures au réfrigérateur car le choc de la cuisson les fragilise. La chaîne du froid (- 18 °C) doit être scrupuleusement respectée pour les petits pois surgelés. La moindre décongélation fait qu'ils se recongèlent en formant des blocs.

III.6. Séchage du petit pois :

III.6.1. Mode opératoire :

Pour suivre la quantité d'eau évaporée du petit pois au cours du, nous avons mesuré sa masse à l'aide d'une balance à partir d'une masse initiale de 300 g, chaque demi-heure à partir de 8h:30 jusqu'à 13h:30. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale. Les mesures de température (ambiante, chambre et récepteur) sont effectuées chaque 30 minutes.

III.6.2. Préparation du produit :

Les grains du petit pois ont été pelés et lavés à l'eau du robinet, puis répartis sur la claie de séchage.

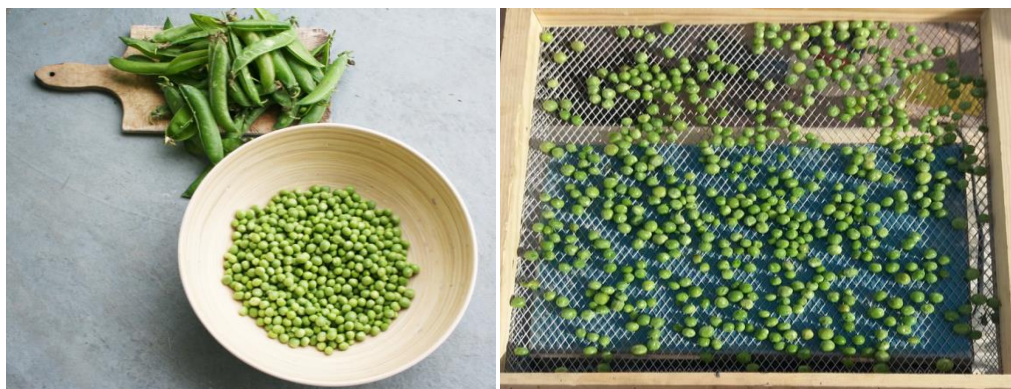


Figure (III.7) : Préparation du produit (petit pois)

III.6.3. Produit séché :

Après un temps nécessaire, nous avons obtenu du petit pois séché avec une teneur en eau à base sèche de 300 g eau /54g m.s.



Figure (III.8) : Produit séché (petit pois)

Conclusion

Dans ce chapitre nous choisis les trois produits agro-alimentaires (Pomme de terre, piment rouge, petit pois) car leurs cultures sont célèbres dans la région d'El Oued et la plus consommée.

CHAPITRE: IV

PARTIE EXPERIMENTALE

Introduction :

Dans ce chapitre nous parlerons à description du système de séchage utilisé et quelque résultats concernant par discussion les courbes suivants: (pour chaque produit)

- variation de la masse de produit et teneur en eau en fonction de temps;
- variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps
- variation de température d'ambiante et température de la chambre en fonction de temps
- Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps

- ✓ Dans cette expérience nous avons utilisé un séchoir solaire indirect à convection forcée: (concentrateur parabolique) figure (IV.1).

IV.1. Description du système de séchage et leur des composants :**IV.1.1. Réflecteur (miroir) :**

Cet élément focalise l'énergie solaire en son foyer, le Caractéristiques géométriques du réflecteur

Diamètre de la parabole	d=1.81 m
Taille de la parabole	h=0.26 m
L'angle d'ouverture	$\Psi_p = 59.7^\circ$
Distance focale	f=0.78 m
Surface d'ouverture	$A_a = 2.57 \text{ m}^2$

Tableau IV.1 : Caractéristiques géométriques du réflecteur

IV.1.2 Le récepteur:

Le métal récepteur doit avoir une bonne conductivité, nous avons choisi le fer (dont la conductivité thermique est de l'ordre de 80 W/ k.m^2), c'est un tube de 17 cm de diamètre extérieur et 15 cm de longueur, il est muni deux trous le premier trou pour entre l'air et le deuxième pour sorte l'air chaud, contiennent intérieur a des obstacles pour laisser l'air de rester plus longtemps pour le bien chauffée.

IV.1.3.le support :

Le support est un élément qui porte le dispositif. Il est procédé en cornières soudés à l'arc électrique pour diminuer le poids et faciliter la mobilité et le stockage.

IV.4 Système de poursuite manuel :

Le concentrateur parabolique demande un système de poursuite du mouvement du soleil pour gagner le maximum de flux solaire. Nous avons choisi un mécanisme de

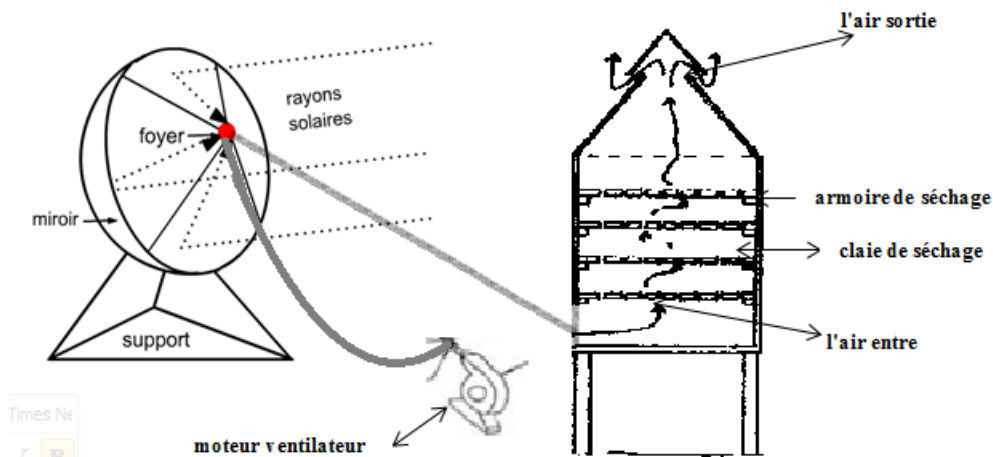
poursuite très simple se fondant sur un (vérins et un axe rotatif) pour tourner le concentrateur solaire à la situation du soleil à tout moment.

IV.1.5 Moteur ventilateur:

C'est un élément qui permet de créer un écoulement forcé transformer la température chaud dans le foyer vers la chambre de séchage .

IV.1.6 Chambre de séchage:

Est une boîte (armoire) bien isolé à trois couche (bois et laine de verre et résine) ses dimensions 50 cm de longueur et 50 cm de largeur et 50 cm de hauteur, il contient calie métallique pour placer la produit à sécher, il est deux trous de 60 mm de diamètre en haute et bas pour permettre de circuler l'air chaud au sien la chambre à travers les trous.

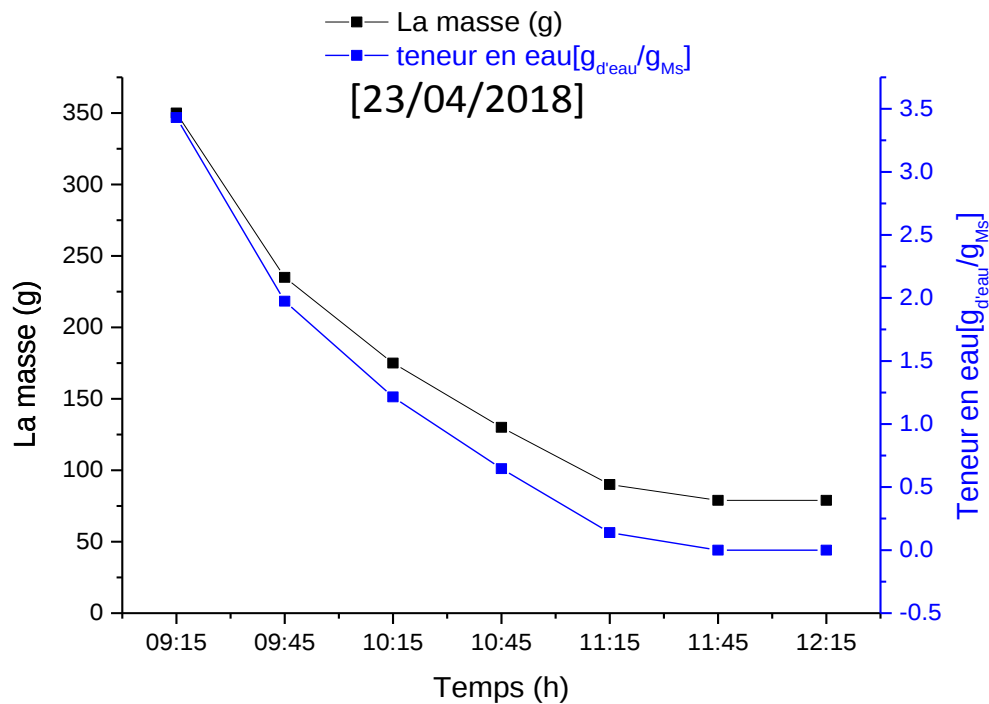


Figure(IV:1): modèle du séchoir solaire indirect à convection forcée utilisé

IV.2. les Résultats et discussions :

IV.2.1. la pomme de terre :

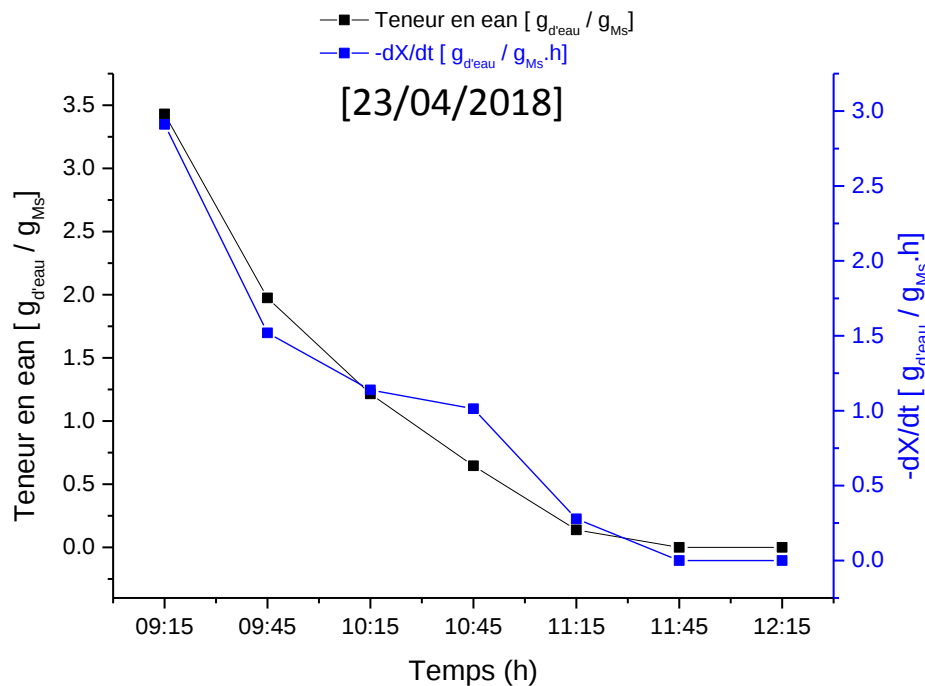
IV.2.1.1. la variation de la masse de produit et teneur en eau en fonction de temps



Figure(IV:2) :variation de la masse de produit et teneur en eau en fonction de temps (Pomme de Terre)

La figure IV.2 on observe une décroissance relative entre la masse et teneur en eau, lorsque une diminution de quantité de teneur en eau de 3,45 (g_{eau}/g_{Ms}) jusqu'à la valeur nulle et une diminution de la masse également de 350 grammes à 79 grammes en 3 heures.

IV.2.1.2. variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps



Figure(IV.3) : variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps (Pomme de Terre)

La figure IV.3 on observe trois phase :

Ph 01 : une décroissance relative entre la vitesse de séchage et teneur en eau jusqu'a, le temps (10h:15).

Ph 02 : une croissance continu dans la vitesse de séchage et diminution continu de la teneur en eau jusqu'a, le temps (11h:15).

Ph 03 : une décroissance relative entre la vitesse de séchage et teneur en eau jusqu'a, le temps (12h:15) .

On remarque dans cette courbe:

la présence unique de la période 3 qui est la période de séchage à allure décroissante , et l'absence la période de mise en température ,la période à allure constante , .

IV.2.1.3. variation de la température d'ambiante et température de la chambre en fonction de temps

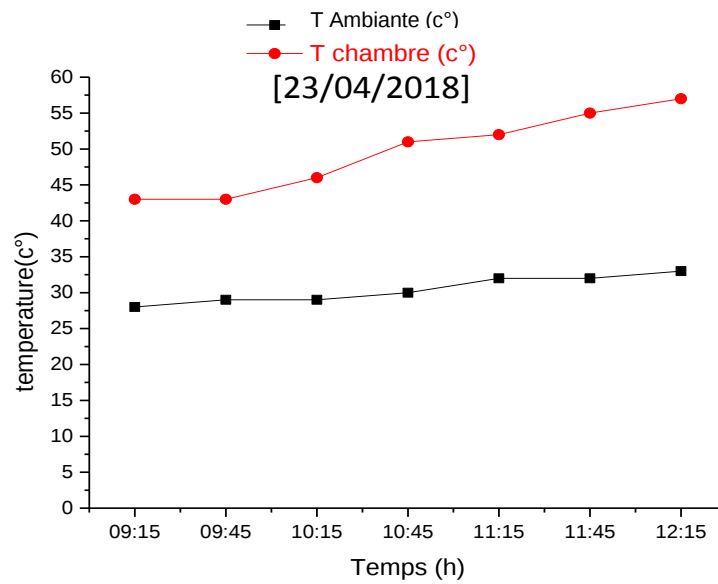


Figure (IV.4): variation de température d'ambiante et température de la chambre en fonction de temps (Pomme de Terre)

La figure IV.4 on observe une augmentation relative dans Les deux température, Où la température dans la chambre de séchage atteint à 57 degrés après 3 heures, lorsque la température ambiante allant de 28 degrés à 33 degrés.

IV.1.5. Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps

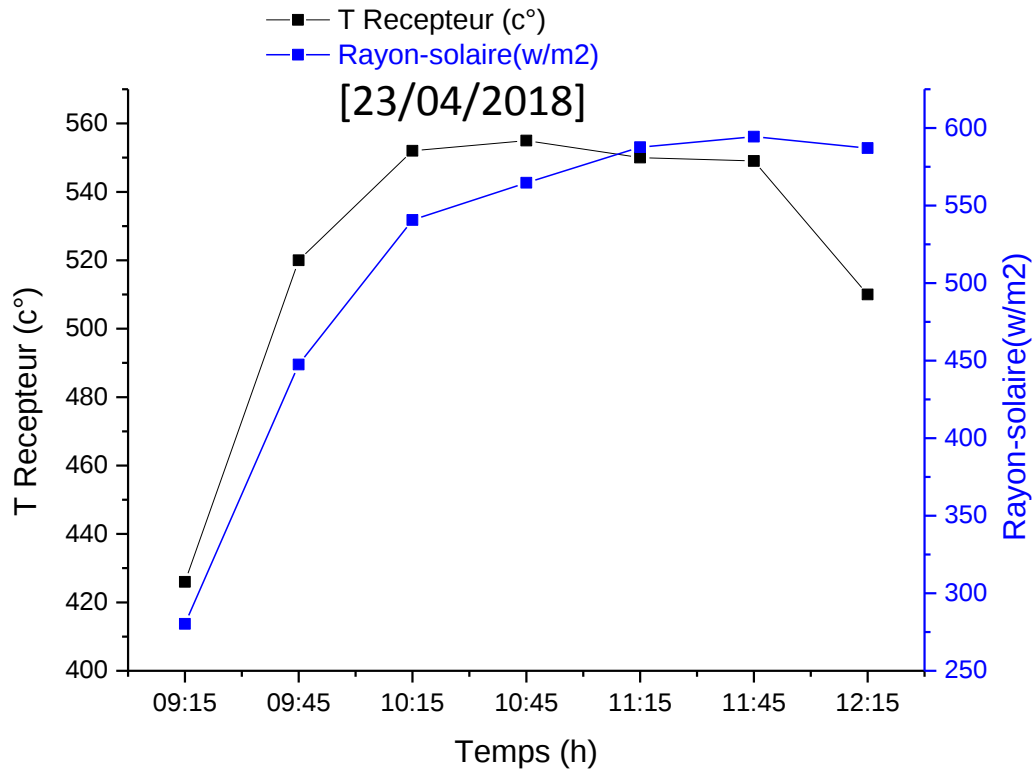
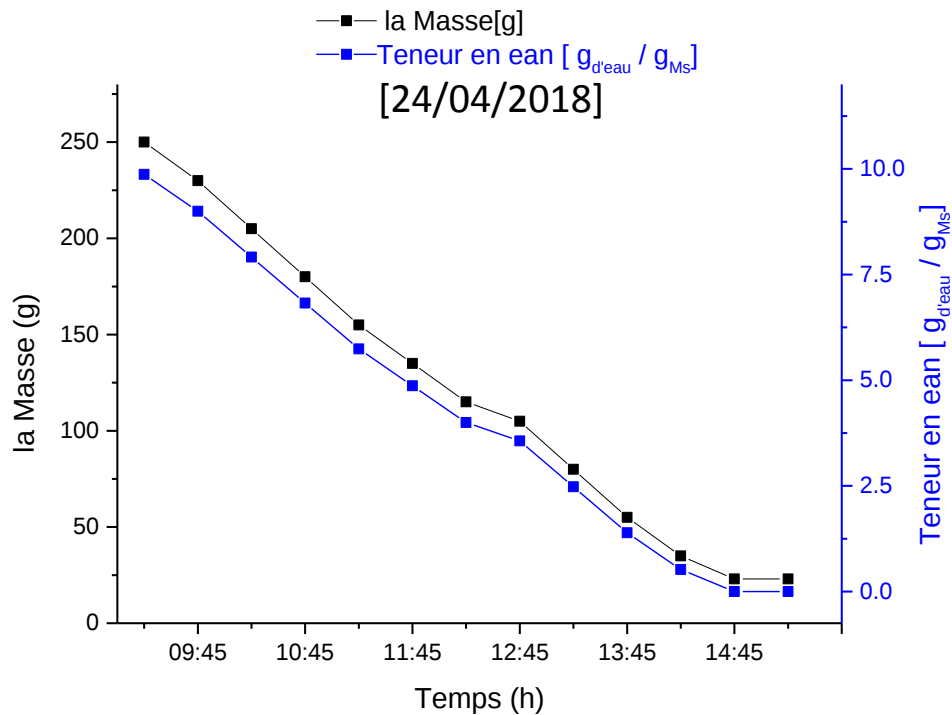


Figure (IV.5): Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps (Pomme de Terre)

La figure IV.4 on observe une augmentation relative dans la température de récepteur et la quantité de rayonnement solaire Où la température de récepteur commencer par 426 c° jusqu'à atteint à 550c° Au maximum en deux heures (9h:15-11h:15) ensuite, descendez à la valeur 530 c° lorsque le rayonnement solaire allant de 275 w/m² à 576 w/m² .

IV.2.2. le piment Rouge :

IV.2.2.1. la variation de la masse de produit et teneur en eau en fonction de temps



Figure(IV.6) la variation de la masse de produit et teneur en eau fonction de temps (Piment rouge)

La figure IV.6 on observe une décroissance relative entre la masse et teneur en eau, lorsque une diminution de quantité de teneur en eau de 9,87 (g_{eau}/g_{Ms}) jusqu'à la valeur nulle, et une diminution de la masse également de 250 grammes à 23 grammes en 6 heures.

IV.2.2.2. variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps

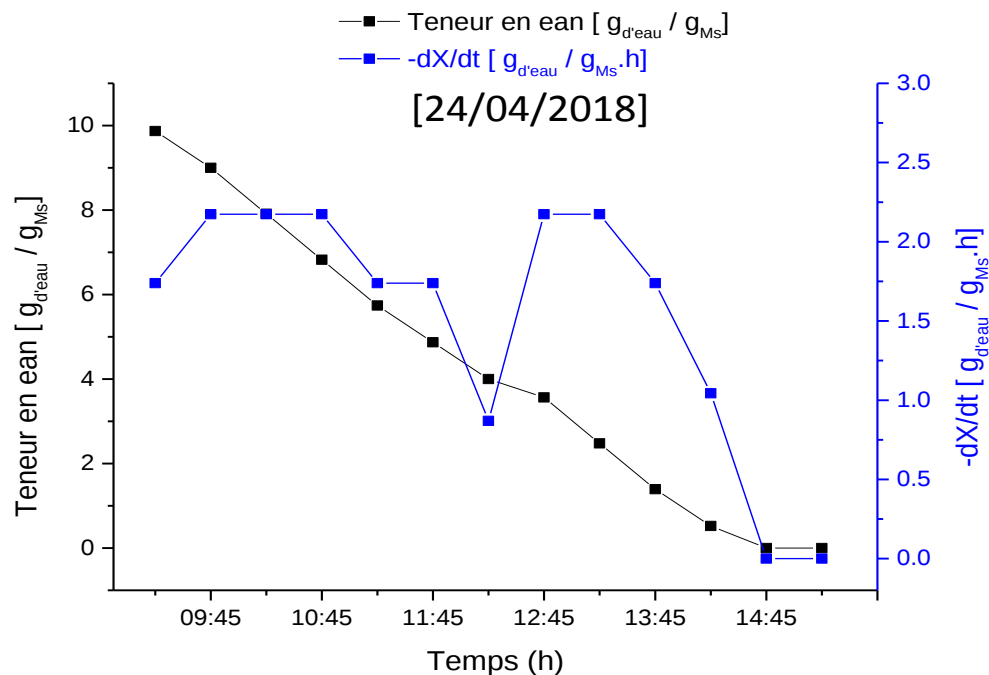


Figure (IV.7):variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps (Piment Rouge)

La figure IV.7 on observe trois phase :

Ph 01: une décroissance relative entre la vitesse de séchage et teneur en eau jusqu'a, le temps (12h:15).

Ph 02: une croissance continu dans la vitesse de séchage et diminution continu de la teneur en eau jusqu'a, le temps (13h:15).

Ph 03: une décroissance relative entre la vitesse de séchage et teneur en eau jusqu'a, le temps (14h:45) .

On remarque dans cette courbe:

la présence le trois période du cinétique de séchage à allure décroissante ,la période de mise en température, et la période à allure constante.

IV.2.2.3. variation de la température d'ambiante et la chambre en fonction de temps

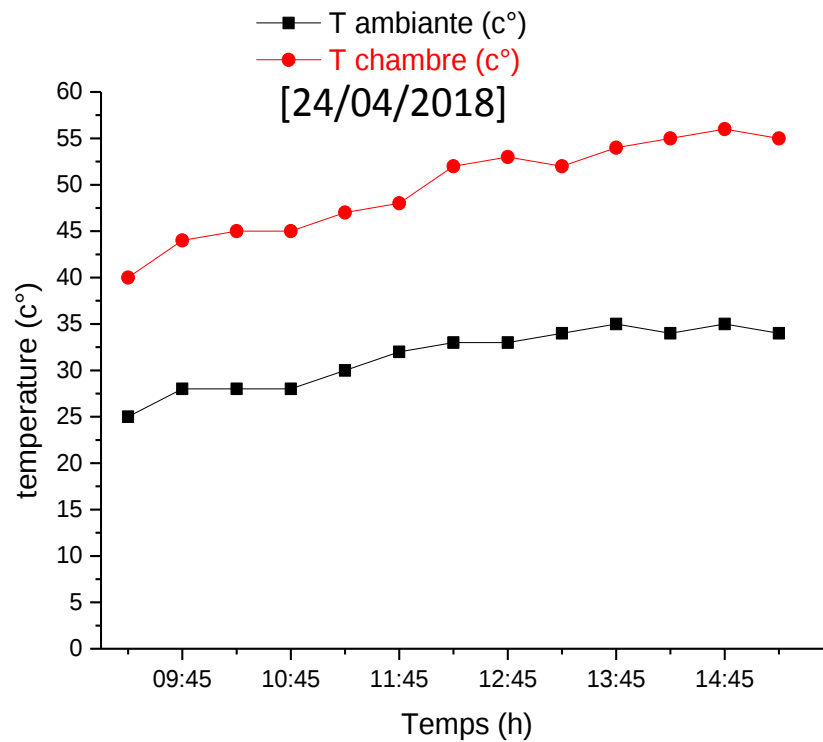


Figure:(IV. 8):variation de la température d'ambiante et la chambre en fonction de temps (Piment Rouge)

La figure IV.8 on observe une augmentation relative dans Les deux température, Où la température dans la chambre de séchage atteint à 56 degrés après 5.5 heures lorsque la température ambiante allant de 25 degrés à 35 degrés.

IV.2.2.3. Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps

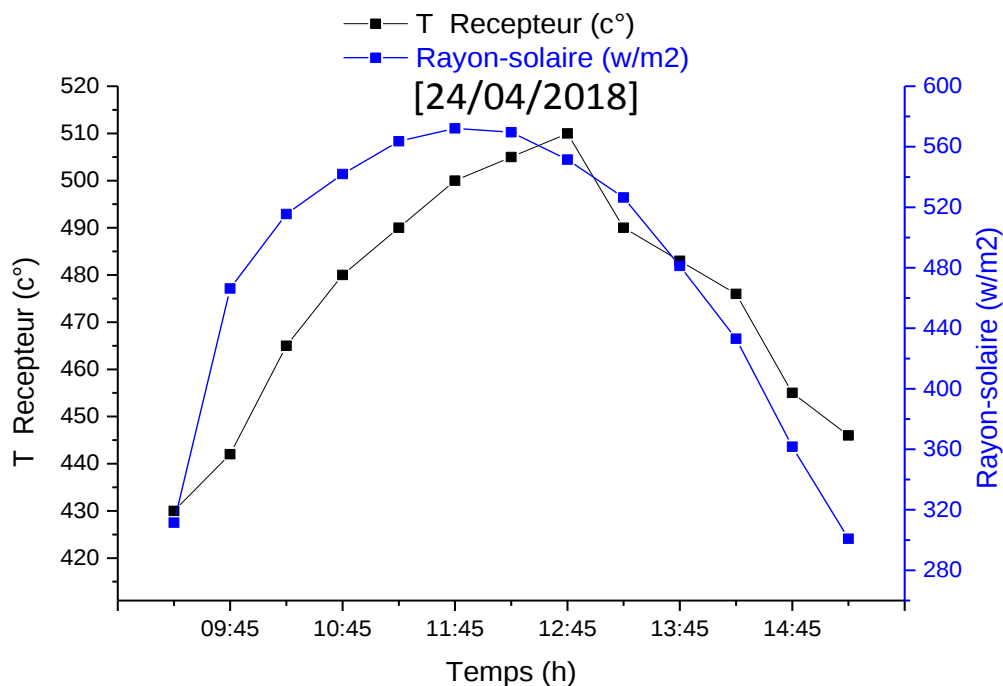


Figure (IV.9): Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps (Piment Rouge)

La figure IV.9 on observe une augmentation relative dans La température, de récepteur et quantité de rayonnement solaire ,Où la température de récepteur commencer par 440 c° jusqu'à atteint a 510c° Au maximum en 3.5 heures (9h:15-12h:45) ensuite, descendez à la valeur 446 c° lorsque le rayonnement solaire allant de 300 w/m² à 552 w/m² jusqu'à 291 w/m².

IV.2.3. le petit pois :

IV.2.3.1. la variation de la masse de produit et teneur en eau au cours de temps

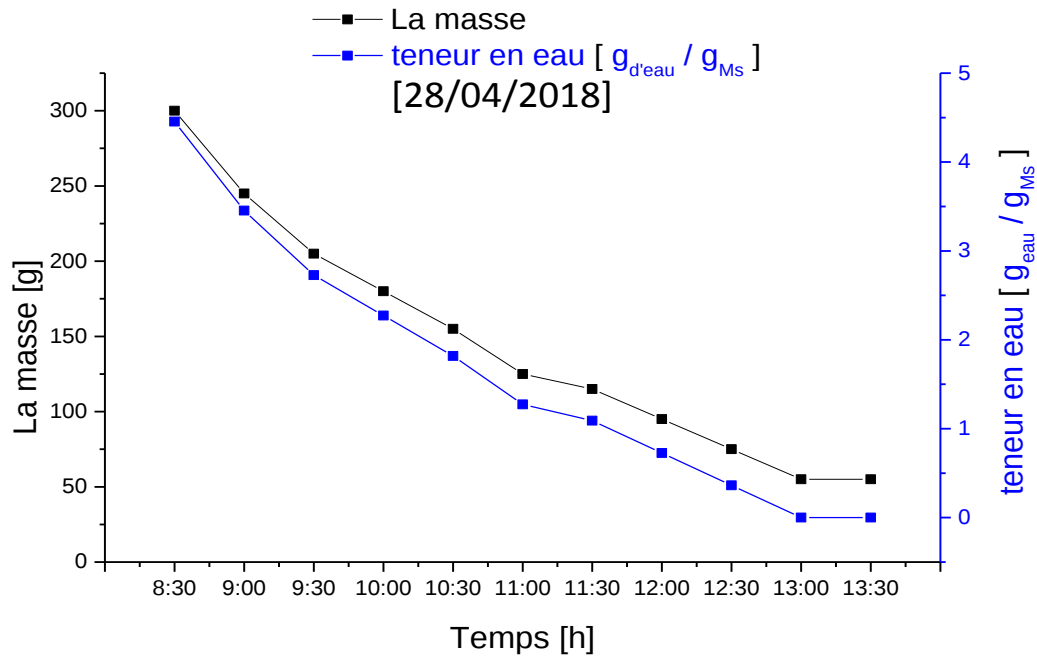


Figure (IV.10): la variation de la masse de produit et teneur en eau au cours de temps (Petit Pois)

La figure IV.10 on observe une décroissance relative entre la masse et teneur en eau, lorsque une diminution de quantité de teneur en eau de 4,46 ($g_{\text{eau}}/g_{\text{Ms}}$) jusqu'à la valeur nulle, et une diminution de la masse également de 300 grammes à 55 grammes en 5 heure.

IV.2.3. 2.variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps

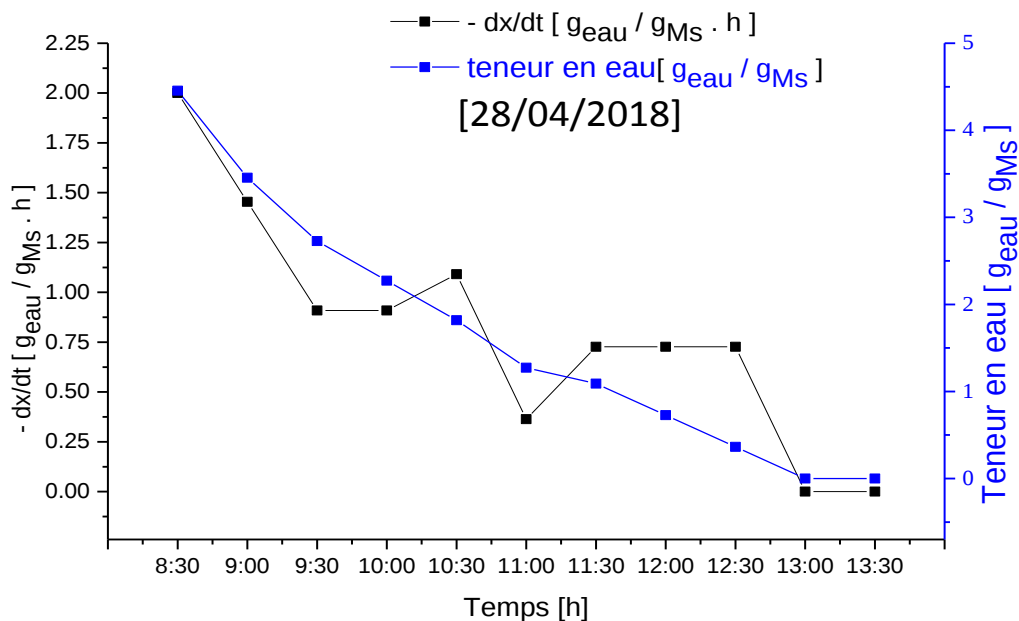


Figure (IV.11): variation de vitesse de séchage et teneur en eau en fonction de temps (Petit Pois)

La figure IV.11 On observe trois phase :

Ph 01: une décroissance relative entre la vitesse de séchage et teneur en eau jusqu'a, le temps (10h:00).

Ph 02: une croissance relative dans la vitesse de séchage et diminution continu de la teneur en eau jusqu'a, le temps (12h:30).

Ph 03: une décroissance relative entre la vitesse de séchage et teneur en eau jusqu'a, le temps (13h:00) .

On remarque dans cette courbe:

la présence unique de la période 3 et la période 2 qui sont la période de séchage à allure décroissante , la période à allure constante et l'absence la période de mise en température,.

IV.2.3.3. variation de la température d'ambiante et la chambre en fonction de temps

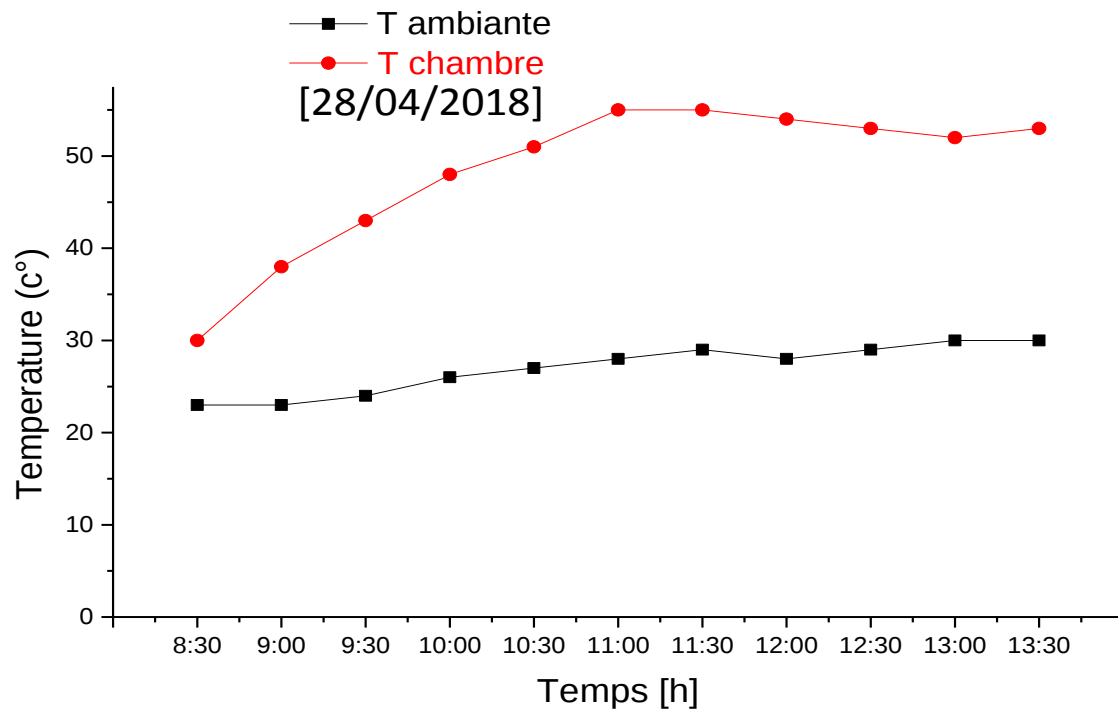


Figure (IV.12): variation de la température d'ambiante et de la chambre en fonction de temps
(Petit Pois)

La figure IV.12 on observe une augmentation relative dans Les deux température,
Où la température dans la chambre de séchage atteint à 55 degrés après 2.5 heures
lorsque la température ambiante allant de 23 degrés à 30 degrés.

IV.2.3.4. Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps

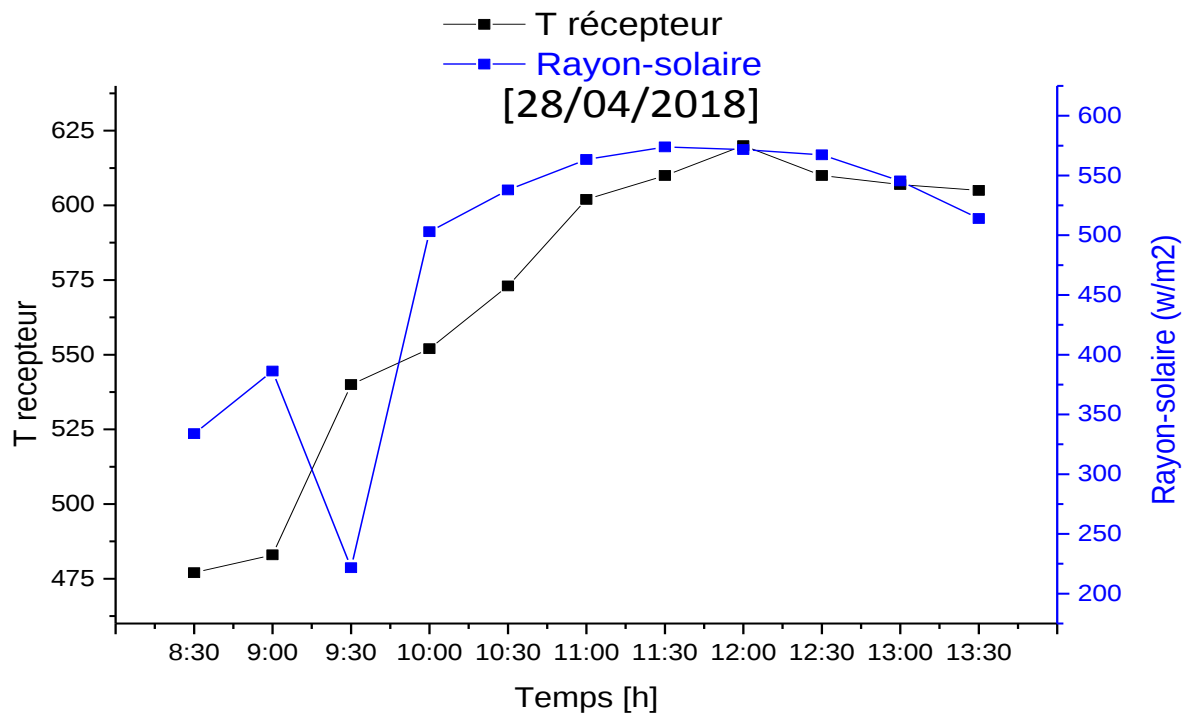


Figure (IV.13): Variation de température de récepteur et rayonnement solaire en fonction de temps (Petit Pois)

La figure IV.13 on observe une augmentation relative dans La température, de récepteur et quantité de rayonnement solaire Où la température de récepteur commencer par 477 c° jusqu'à atteint a 620c° Au maximum en 3.5 heures (8h:30-12h:00) Ensuite, descendez à la valeur 605 c° lorsque le rayonnement solaire allant de 334 w/m² à 574 w/m² jusqu'à 514 w/m².

Conclusions

A travers les résultats précédents nous concluons que la cinétique de séchage de produit étudié dépendent aux paramètres suivants :

- Le Type de produit
- La Forme de découpage de produit
- La teneur en eau initial de produit .

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Dans ce travail présent, nous nous sommes intéressé au séchage solaire indirect par convection forcée de l'air chaud qui est assuré par un concentrateur parabolique vers la chambre de séchage et plus particulièrement pour étude expérimentale du séchage de certains produits agro-alimentaires cultivées dans la région d'el-oued.

Il est basée sur le séchage par l'énergie thermique solaire indirect de trois produits agro-alimentaires ; la pomme de terre, le piment rouge et petit pois, l'objectif est de suivre durant la journée au cours du déroulement du processus, les courbes de la variation de la vitesse de séchage, la température et la variation de la teneur en eau pour ces produits.

On établit ces courbes en fonction des paramètres suivants :

- type du produit .
- La forme de découpage du produit.
- teneur en eau initiale du produit.

A travers l'analyse de la variation de ces paramètres a montré une influence sur la température, la teneur en eau et la vitesse de séchage du produit de tel sort que :

- La pomme de terre est le produit le plus rapide dans le processus de séchage.

✓ pour le pomme de terre :

- épaisseur 0.003m et un teneur en eau initial de (350g d'eau/79g ms), la durée de séchage est 3h .
- la vitesse de séchage attient a 2.92
- La température attient a 57c°

✓ pour piment rouge :

- les Gousses moitié set un teneur en eau initial de (250g d'eau/23g ms), la durée de séchageest 6h .
- la vitesse de séchage attient a 1.74
- La température attient a 56c°

✓ pour petit pois :

- les grains fraiset un teneur en eau initial de (300g d'eau/54g ms),la durée de séchageest 5h .
- la vitesse de séchage attient a 2
- La température attient a 55c°

Cette étude nous ramène à conclure que, le contrôle des paramètres étudiés nous donne une augmentation dans la vitesse de séchage et par conséquent la possibilité d'améliorer les performances de ce procédé.

Donc en vue de conserver leur cycle naturel de production, et en vue de leur impact économique et médicinal, nous suggérons que :

- ✓ prévoir un appareillage bien dimensionné en fonction d'un ensemble de produits à sécher, notamment les produits en sur production qui demandent ce type de traitement.
- ✓ une industrialisation des procédures de séchage solaire qui va permettre un développement de l'exportation, ainsi que l'économie nationale.

Références bibliographiques

- [1] L. Bennamoun et A. Belhamri. (2007) Contribution à l'étude de faisabilité de séchoirs solaires pour les produits agricoles Revue des Energies Renouvelables CER 07 Oujda (2007) 201-204
- [2] Abdelhamid Farhat, Sami Kooli, Chakib Kerkeni, Mohamed Maalej, Abdelhamid Fadhel et Ali Belghith. (2004). Validation of a pepper drying model in a polyethylene tunnel greenhouse. International Journal of Thermal Science, 43, 53-58
- [3] Busunia MA., Abc T.(2001) Characteristics of rough rice under natural convection. Journal of Food Engineering, 47, 295-301
- [4] J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [5] C, Vauge. Introduction générale sur les différentes énergies renouvelables, Techniques de l'Ingénieur, B263. (1982).
- [6] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [7] Michel Kapderou 1988. Atlas solaire de l'Algérie tome 1 –modèle théoriques et expérimentaux - volume2.
- [8] BELAID, WAHIBA. Analyse des pertes thermiques de l'utilisation des matériaux sélectifs des convertisseurs de l'énergie solaire. 2014. PhD Thesis.
- [9] Ministère de l'énergie et des mines. www.mem.algeria.org
- [10] Y.jannot, thermique solaire, (2011).
- [11] N.Chalal, Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect. Mémoire de magister. (2007).Université Mentouri-Constantine
- [12] A. Ricaud," Gisement solaire et transferts énergétiques", master énergies renouvelables université de Cergy-pontoise, jan 2011, vol.79,
- [13] D.Wilgenbus," L'énergie solaire», La main à la pâte, société française de physique, vol.14,
- [14] Nadia Chalal étude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect Mémoire de magister. (2007).Université Mentouri-Constantine
- [15] D, K, Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [16] TABET Ismail Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire .2016 .PhD. Thesis.
- [17] <http://watercone.com/product.html> .
- [18] M,Capderou . Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U,Alger (1985).
- [19] Ministère de l'énergie et des mines. www.mem.algeria.org

- [20] A,sfeir ; G,guarracino . ingénierie des système solaire, technique et documentation, paris.(1981).
- [21] Cherref . Khelif et Kamel. Hadri Y-attaf, Gisement solaire du site d’Adrar pour l’an 2000, ENERSOLE’01-ADRAR- ALGERIE.
- [22] CDER Alger. www.cder.dz .
- [23] D. Marchio et p. Reboux," Introduction aux transferts thermique", vol.40.
- [24] BOUGHALI, Slimane. Etude et optimisation du séchage solaire des Produits agro-alimentaires dans les zones Arides et désertiques. 2010. PhD Thesis. Université de Batna 2
- [25] 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).
- [26] S.Chouicha, Etude expérimentale du séchage solaire Des dattes humides et impact Sur la qualité. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah- Ouargla(2010).
- [27] W. Belachi, Application du séchage solaire pour la conservation des produits agroalimentaires. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah- Ouargla(2009).
- [28] Boussalia Amar contribution à l’étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. 2010. mémoire Magister en université Mentouri – Constantine.
- [29] M.Lati, contrebutions à l’amélioration d’un séchoir solaire de produit agroalimentaire. Mémoire de magister. université Kasdi Merbah- Ouargla (2011).
- [30] M.H. Berrebeuh, Etude de validité des cinétiques de séchage en convection forcée pour les applications de séchage solaire de certains produits alimentaires. Mémoire de magister. université Kasdi Merbah- Ouargla (2009).
- [31] 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).
- [32] N.Nadir, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d’un séchoir solaire. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla(2009).
- [33] A. Boubeghal, M. Benhammou, B. Omari, S. Amara, L. Amer, H. Mounzar et S. Ouejdi, Etude numérique d’un séchoir solaire fonctionnant en convection naturelle Revue des Energies Renouvelables ICRESO-07 Tlemcen p. 315 – 320. (2007).
- [34] M.Lati, contrebutions à l’amélioration d’un séchoir solaire de produit agroalimentaire. Mémoire de magister. université Kasdi Merbah- Ouargla (2011).
- [35] Rezgui Karima, (2009) Etude de la faisabilité et amélioration des performances de séchoirs solaires dans des régions semi arides Magister, Université Larbi Ben M'hidi Oum-Elbouaghi Constantine.

- [36] M. Daguenet, 'Les Séchoirs Solaires : Théorie et Pratique', UNESCO, Paris, 1985.
- [37] Guide de l'utilisateur de Toit Solaire Photovoltaïque. Programme européen PV-SALSA (2002).
- [38] A. Ahmed-Zaïd, A. Moulla, M. S. Hantala et J.Y. Desmons, Amélioration des Performances des Capteurs Solaires Plans à Air: Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng. Rev. Energ. Ren. Vol.4 p. 69-78. (2001)
- [39] A. Zerrouki, B. Tedjiza et N. Said, Modélisation des Pertes Thermiques dans un Capteur Solaire à Air à deux Passes. Rev. Energ. Ren. Vol. 5p.49-58. (2002).
- [40] K. Aoues, N. Moumami, M. Zellouf, A. Moumami, A. Labed, E. Achouri et A. Benchabane, Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra. Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 p. 237 – 248. (2009).
- [41] gurraiche djemaa, Simulation et prédiction de la radiation solaire directe absorbée par un champ de capteurs cylindro-parabolique. Thèse de magister, Batna 2002.
- [42] jacques desautel, les capteurs héliothermiques, Edition EDISUD 1978.
- [43] benkhelfellah, r., s. el mokretar, et al. (2005). sechoirs solaires. Etude comparative de la cinétique de séchage des produits agroalimentaires dans des modelés de type direct et indirect.
- [44] H.Houhou, Etude théorique et expérimentale du séchage solaire de certains produits agro-alimentaires. Mémoire de magister. université Mohamed Khider – Biskra .
- [45] L. Bennamoun et A. Belhamri. (2007) Contribution à l'étude de faisabilité de séchoirs solaires pour les produits agricoles Revue des Energies Renouvelables CER 07 Oujda (2007) 201-204.
- [46] A. Boubeghal, M. Benhammou, B. Omari, S. Amara, L. Amer, H. Moungar et S. Ouejdi, Etude numérique d'un séchoir solaire fonctionnant en convection naturelle Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen p. 315 – 320. (2007).
- [47] Aymen ELkhadraoui *, Sami Kooli, Abdelhamid Farhat Etude expérimentale de la performance d'un séchoir solaire de type serre: séchage de piment . 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage (SMSTS'2015).
- [48] Diagnostic sur la situation de la culture de la pomme de terre dans la région de Oued Souf.
- [49] La culture de pomme de terre : Production et possibilité pour la transformation Journée de la Pomme de Terre. Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles. Mostaganem, (2013).

- [50] H.Medjoudj, Etude du comportement au séchage de six légumes : Carotte, Courgette, Cardon, Pomme de terre, Ail et Oignon. Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine.
- [51] <http://www.fao.org/potato-2008/fr/pommedeterre/> consulté le 28 avril 2014.
- [52] Djebili Samah Effet des procédés technologiques (industriel et artisanal) sur quelques antioxydants de la conserve Harissa. **2015**. Mémoire de magister Université Mentouri Constantine.
- [53] khaoua farida Comportement variétal de la culture de Poivron (*Capsicum annun L*) vis-à-vis des ravageurs dans la zone de Débila (Souf).2008. Mémoire ingénieur d'état Université KASDI Merbah -OUARGLA
- [54] Piments forts séchés entiers Brochure explicative New York et Genève, 2013
- [55] BENACHOUR Karima diversité et activité pollinisatrice des abeilles (hymenoptera: apoidea) sur les plantes cultivées. 2008.phd. Université Mentouri de Constantine.
- [56] importance et intérêt de la culture du pois rond en Algérie
- [57] Yakoubi meryem biologie, physiologie et mise en évidence de l'activité enzymatique chez quelque d' ascohyta pisi agent de l'anthracnose de petit pois.1014 mémoire de magister université d'oran es-senia.

ANNEXE

Annexe A: quelque photo de préparation de chambre du séchage



Figure A₁ : la boîte de séchage sans laine de verre et la résine



Figure A₂ : la boîte de séchage avec laine de verre



Figure A₃ : la boîte de séchage complète avec la résine

Annexe B : les appareils de mesure et de poids



Figure b₁: la mesure par thermocouple au niveau la chambre et la récepteur

Figure b₂: La balance électrique

Résumé

Dans ce travail, nous nous intéressons au séchage solaire des certains produits agro-alimentaires ,le plus production dans la région d'el-oued comme la pomme de terre, le piment rouge et le petit pois et ce en utilisant un séchoir solaire indirect a convection forcée, où le séchoir utilisé, l'air chaud qui est assuré par un concentrateur parabolique orienté à l'aide d'un système de poursuite manuel du soleil, vers la chambre de séchage , ce modèle de concentration conduit à des niveaux de températures compris entre 300C° et 700C°.

Le objectif de ce travail est , d'une part l'étude de la cinétique de séchage de ces trois produits et d'autre part l'influence des paramètres opératoires sur la durée de séchage.

Les résultats expérimentaux montre que :

la pomme de terre: la température de séchage allant de (43-57), pour la durée de 3h et le piment rouge: la température de séchage allant de (40-56), pour la durée de 6h et le petit pois: la température de séchage allant de (30-55), pour la durée de 5h.

Enfin, l'intérêt du processus de séchage de ces produits est : la conservation de ces produits sans utilisé chambre froid.

Mots Clés : Séchage solaire, séchoir solaire, convection forcée, concentrateur parabolique, système poursuite manuel, piment rouge, pomme de terre, petit pois cinétique de séchage, température .

المخلص:

في هذا العمل نصب اهتمامنا على عملية تجفيف لعدة منتجات غذائية زراعية الأكثر انتاجا في منطقة الوادي كالبطاطا والفلفل الاحمر وكذا الجلبانة حيث استعملنا في هذه التجارب مجفف شمسي قسري غير مباشر حيث في هذا الاخير يؤمن الحرارة لغرفة التجفيف بواسطة مركز شمسي مكافئ تصل درجة الحرارة التي يلتقطها على مستوى النقطة البؤرية من 300-700 درجة مئوية .

الهدف الرئيسي من هذه التجارب هو دراسة حركية التجفيف من جهة والعوامل المطبقة على المنتجات من جهة أخرى النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة التطبيقية لهذه المنتجات كانت كالتالي :

تتراوح درجة الحرارة المطلوبة من اجل تجفيف البطاطا من 43-57 درجة مئوية في ظرف 03 ساعات والفلفل الاحمر من 40-56 درجة مئوية في ظرف 06 ساعات والجلبانة من 30-55 درجة مئوية في ظرف 05 ساعات .

الفائدة من عملية التجفيف لهذه المنتجات هو المحافظة عليها بدون استعمال غرفة التبريد

الكلمات المفتاحية : التجفيف الشمسي 'المجفف الشمسي' التحميل القسري 'مركز مكافئ' نظام متابعة يدوي 'البطاطا' 'الفلفل الاحمر' 'الجلبانة' حركية التجفيف 'الحرارة'

Abstract

In this work, we are interested in solar drying of certain agro-food products, the most production in the el-oued region such as potato, red pepper and pea, using an indirect solar dryer. forced convection ,where the dryer used, the hot air which is provided by a parabolic concentrator oriented by means of a system of manual tracking of the sun, towards the drying chamber. this concentration model leads to temperature levels between 300-700 C

The objective of this work is, on the one hand, the study of the drying kinetics of these three products and, on the other hand, the influence of the operating parameters on the drying time

The experimental results shows that:

the potato: the drying temperature ranging from (43-57), for the duration of 3h

and the red pepper: the drying temperature ranging from (40-56), for the duration of 6 hours

and the pea: the drying temperature from (30-55), for the duration of 5h-

Finally, the interest of the drying process of these products is: the preservation of these products without used cold room.

Key words: Solar drying, forced convection, solar dryer, parabolic concentrator, tracking system, red pepper, potato, kinetic drying pea, temperature