

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure 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 : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables

Thème

**ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN SYSTÈME
DE SÉCHAGE THERMIQUE SOLAIRE**

Devant le jury composé de :

Megdoud Soufiane

Aoun Yacine

Necib Djilani

BOUSBIA.S. Seif eddine

Président

Examineur

Examineur

Encadreur

Présenté par :

- BAHY Yacine

- CHEBAB Ayoub

- FEGUERI Abdelhafid

- HARIZ MOUHAMMED Youcef

2021-2022

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon chère Père et A ma chère Mère

A mes chers Frères et A mes chères sœurs

A mes chers et fidèles amis

A toute la promotion génie mécanique 2021-2022.

Remerciements

*Je saisi cette opportunité pour remercier en premier lieu mon encadreur **Dr. BOUSBIA Seif eddine**, pour tout ce qu'il a fait pour moi, en me conseillant, en m'aidant et en m'assistant le long du chemin du mémoire.*

Je remercie par la même occasion les membres du Jury, pour l'intérêt qu'ils ont montré en acceptant de lire et d'examiner notre modeste travail.

Un grand merci à tous les enseignants de département génie mécanique qui n'ont pas cessé un instant à contribuer à la bonne marche de ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Liste des Figures

Figure I-1: Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère [7].	6
Figure I-2: Mouvements de la terre autour du soleil [7].	7
Figure I-3: Mouvement apparent du soleil observé d'un point de latitude L.	8
Figure I-4: Système local de coordonnées azimutales.	9
Figure I-5: Repérage de la position du Soleil.	9
Figure I-6: Système de coordonnées horaires.	10
Figure I-7: Déclinaison du soleil du jour de l'année.	11
Figure I-8: Équation du temps en fonction du jour de l'année [7].	13
Figure I-9: Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich [7].	14
Figure I-10 : Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan quelconque.	15
Figure III.1: Image de séchage de la tomate sous le soleil.	25
Figure III.2: Étuve de séchage.	26
Figure III.3: Schéma d'une micro-onde.	27
Figure III.4: Illustration d'un séchoir solaire.	28
Figure III.5: schéma représente types des séchoirs solaires.	29
Figure III.6: Représentation schématique d'un séchoir tunnel.	30

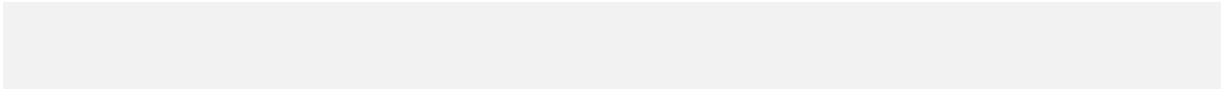


Table des matières

<i>Dédicaces</i>	<i>i</i>
<i>Remerciements</i>	<i>ii</i>
<i>Table des matières</i>	<i>iii</i>
<i>Liste des Figures</i>	<i>iii</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
Chapitre I : Rayonnement solaire et gisement solaire	5
I.1 Introduction	5
I.2 Modélisation du rayonnement solaire incident	5
I.3 Donnée relative au soleil (source du rayonnement solaire)	6
I.4 Mouvements de la terre	6
I.5 Mouvement apparent du soleil	8
I.5.1 Direction du rayonnement solaire	8
I.5.2 La hauteur (h)	9
I.5.3 L'azimut (α)	9
I.5.4 La déclinaison (δ)	10
I.5.5 L'angle horaire (ω)	11
I.5.6 Durée du jour	11
I.6 Notions de temps TSV, TSM, TU, TL	12
I.7 Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque	14
I.8 Composantes du rayonnement solaire	15
Chapitre II : Généralités sur le séchage	18
II.1 Introduction	18
II.2 Définition du séchage	19
II.3 Procédés de séchage	19
II.4 Le séchage et l'énergie	19
II.5 Domaines d'utilisations	20
II.5.1 Industrie agroalimentaire	20

II.5.2 Industrie papetière _____	21
II.5.3 Industrie du bois _____	21
II.5.4 Bouchons de liège _____	21
II.5.5 Matériaux de construction et industrie céramique _____	21
II.5.6 La biotechnologie et l'industrie pharmaceutique _____	21
II.6 L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires _____	21
Chapitre III : Les séchoirs solaires _____	24
III.1 Introduction _____	24
III.2 Les modes de séchage _____	24
III.2.1 Séchage Thermique _____	24
III.2.1.1 Au soleil _____	24
III.2.1.2 Séchage a l'air libre _____	25
III.2.1.3 Séchage par entraînement _____	25
III.2.1.4 Séchage par ébullition _____	25
III.2.1.5 Le séchage à l'étuve _____	26
III.2.1.6 Le séchage par micro-onde _____	26
III.2.2 Séchage non-thermique _____	27
III.2.2.1 La lyophilisation _____	27
III.2.2.2 Le séchage osmotique _____	27
III.3 Le séchage solaire _____	28
III.4 Description d'un séchoir solaire _____	28
III.5 Classification des séchoirs solaires _____	29
III.5.1 Les séchoirs solaires directs _____	29
III.5.2 Les séchoirs solaires indirects _____	29
III.6 Types des séchoirs indirects _____	30
III.6.1 Les séchoirs-Tunnel _____	30
III.6.2 Séchoirs solaire hybrides _____	30
III.6.3 Les séchoirs solaires mixtes _____	31
Chapitre IV : Conception d'un séchoir solaire (solidworks) et réalisation d'un circuit de commande de suiveur solaire arduino _____	
IV.1 Premier partie: Conception d'un séchoir solaire par (Solid-works) .. _____	32
IV.1.1 Introduction _____	33
IV.1.2 développement de Solid-works _____	
IV.1.3 Description du logiciel Solid works _____	45
IV. 1.4 conception du prototype _____	50
IV. 1.5 Les tests expérimentale de séchage _____	52
IV .2 .Deuxièmes partie :Réalisation d'un circuit de commande de suiveur solaire _____	61
IV.2.1 Introduction _____	
IV.2.2 Les éléments qui composent la partie automatique _____	
IV.2.2.1 L'arduino _____	

IV.2.2.2 La photocellule

IV.2.2.3 Rotor électrique

IV.2.2.4 Relais

IV.2.2.5 Carte de liaison

IV.2.3 Fonctionnement du système automatique

IV.2.3.1 Les schémas électriques qui configurent la commande automatique

IV.2.4 Teste d'essai de fonctionnement de circuit de commande de suiveur solaire

IV.3 troisième partie : Le test expérimental du séchage d'Abricot

IV.3.1 Les étapes de préparation conseillées d'Abricot

IV.3.2 Paramètre de séchage d'Abricot

IV.3.3 Paramètre , résultats et description

IV.3.3.1 Commentaire et description de courbes de test : Courbes T1 .T2. T3. Tamb

IV.3.3.2 Commentaire et description de courbes de test : Courbes T4 .T5. T6. Tamb

IV.3.3.3 Commentaire et description de courbe d'irradiation solaire

IV.3.3.4 Commentaire et description de courbes de test : Courbe de vitesse de vent

IV.3.3.5 Commentaire de résultats de masse d'échantillon d'Abricot

IV.3.4 Conclusion

Conclusion générale

Bibliographie _____

Résumé (Français-Arabe -Anglais) _____

Introduction générale

Avec la croissance rapide de la population et l'augmentation significative de la nécessité de l'énergie dans tous les secteurs de la vie quotidienne (l'habitat, le transport, l'industrie, ...), les combustibles fossiles traditionnels en plus qu'ils sont rapidement consommés, leur exploitation est considérée comme la source principale de problèmes environnementaux, comme l'effet de serre, qui est devenu le problème de siècle. Par conséquent, la meilleure solution pour dépasser ce problème est d'exploiter de nouvelles sources de l'énergie qui doivent être alternatives, inépuisables, non nuisibles ni sur l'environnement ni sur l'être humain.

Plusieurs types d'énergies renouvelables ont été découverts et exploités depuis la nuit des temps, lesquels ont vu surtout en ces dernières décennies un progrès sans précédent grâce aux efforts combinés entre l'intérêt scientifique et le développement technologique rapide, de sorte que la part des énergies renouvelables dans la production mondiale d'électricité atteint 29% aujourd'hui et elle dépassera 50% en 2030. L'énergie solaire est considérée parmi les énergies renouvelables les plus importantes qui ont connu un grand progrès ces dernières décennies.

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 réduction des dépenses et pertes après les récoltes. Le séchage solaire a été pratiqué partout dans le monde pendant des siècles en plein air. Il a été employé pour sécher des grains, fruits, viandes, poissons et d'autres produits alimentaires destinés à la consommation.

L'objectif de ce travail c'est de faire une étude expérimentale de mettre en œuvre un modèle d'un séchoir solaire avec suiveur solaire à l'aide d'une méthode de commande automatique ***Arduino*** pour le séchage des produits alimentaires

Ce mémoire comporte quatre chapitres organisés comme suit :

- ***Dans le premier chapitre***, on présentera des notions de base sur les rayonnements solaires en générale.
- ***Le deuxième chapitre*** est consacré aux principales notions sur le séchage et s'attache à rappeler les différentes techniques de séchage des produits agroalimentaires.
- ***Le troisième chapitre*** présente les types des séchoirs solaires utilisés ainsi que l'avantage et les inconvénients du séchage solaire.
- ***Le quatrième chapitre*** présent une étude expérimentale comporte trois parties :
 - ***Premier partie*** de Conception d'un séchoir solaire plan avec (solide Works)
 - ***deuxième partie*** de réalisations d'un circuit de commande de suiveur solaire (Arduino)
 - ***troisième partie*** de test expérimental de séchage produit agroalimentaire (d'Abricot)



Chapitre **I**

*Rayonnement solaire et
gisement solaire*



Chapitre I :

Rayonnement solaire et gisement solaire

I.1 Introduction

Ce chapitre présente quelques concepts de base du rayonnement solaire et des technologies de l'énergie solaire. L'objectif majeur de ce chapitre est d'introduire le vocabulaire clé qui vous aidera à mieux comprendre et maîtriser ce sujet d'étude (l'énergie solaire en général).

I.2 Modélisation du rayonnement solaire incident

Dans les références bibliographiques, il existe des modèles d'approximation du rayonnement solaire [1] en fonction de nombreux facteurs tels que la vapeur d'eau déterminée par la hauteur d'eau condensable et le facteur de brume atmosphérique spécifié par le coefficient d'angström. Les études théoriques du rayonnement solaire ont piqué la curiosité de nombreux auteurs. C. Zidani et al. [2] ont simulé la position apparente du soleil à chaque instant de la journée et de l'année, suivie d'une simulation des énergies instantanées, journalières et annuelles incidentes sur un capteur d'orientation quelconque placé sur le site de Tlemcen. A. Baig et al. [3] ont développé un modèle pour estimer la moyenne quotidienne basée sur la fonction de distribution gaussienne. H. Aroudam et al. [4] ont découvert que l'indice de clarté, l'indice de nébulosité et la portion d'ensoleillement avaient tous des liens.

A. Mechaqrane et al. [5] ont utilisé un modèle physique basé sur l'équation générale du transfert radiatif du rayonnement solaire dans le système sol-atmosphère pour estimer les irradiances globales horaires et quotidiennes d'une surface horizontale au sol à l'aide des lectures du satellite Météo sat-2. Une étude de deux méthodologies semi-empiriques de détermination du champ solaire sur le site de Biskra a été proposée par A. Moumami et al [6].

I.3 Donnée relative au soleil (source du rayonnement solaire)

Le soleil est principalement composé d'hydrogène et est une sphère gazeuse. Il a un diamètre de 1391000 kilomètres (100 fois celui de la Terre) et une masse de 2,1027 tonnes. Le soleil génère toute son énergie par des processus thermonucléaires. Chaque seconde, ils transforment 564 106 tonnes d'hydrogène en 560 106 tonnes d'hélium. Le différentiel d'énergie est dissipé en 36,1022 kW d'énergie totale. La terre est à 150,106 kilomètres du soleil en moyenne. Il obtient 1.8.1017 watts de puissance. La quantité d'énergie solaire (E) reçue par une surface perpendiculaire aux rayons du soleil au sommet de l'atmosphère terrestre (c'est-à-dire à une hauteur d'environ 80 km) fluctue tout au long de l'année en fonction de la distance Terre/Soleil. La constante solaire, d'une valeur de 1353 W.m^{-2} , est sa valeur moyenne. On peut calculer la valeur de E à partir du numéro du jour de l'année j comme première estimation en utilisant la formule suivante :

$$E = E_0 [1 + 0.033 \cos(0.984j)]$$

La répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère est ci-dessous représentée [7]:

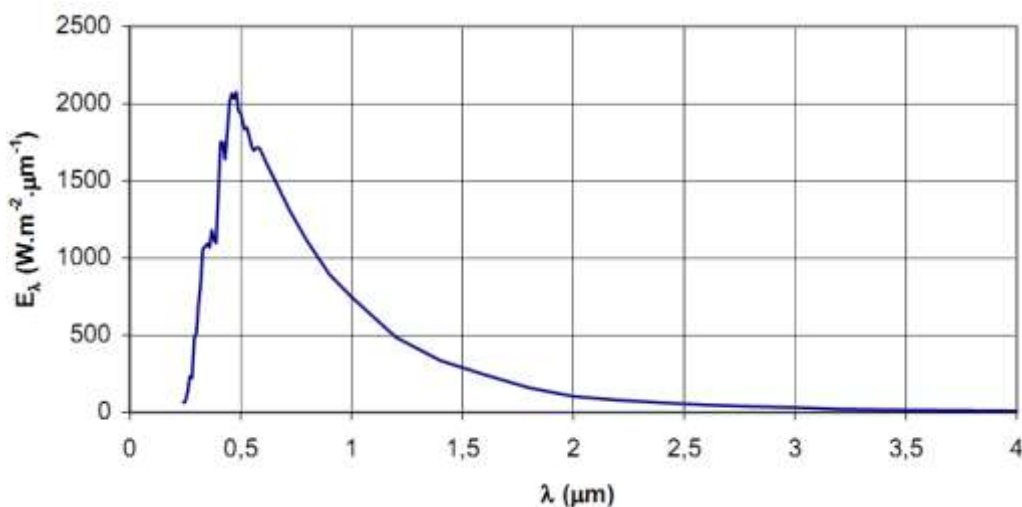


Figure I-1: Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère [7].

I.4 Mouvements de la terre

L'orbite terrestre autour du soleil a la forme d'une ellipse, avec le soleil comme l'un de ses foyers. Le plan de l'écliptique est le plan dans lequel se trouve cet elliptique. Cette ellipse à une faible excentricité, donc la distance Terre/Soleil fluctue à peine de 1,7% par rapport à la distance moyenne de 149675,106 km. La terre tourne également autour d'un axe polaire.

L'équateur est un plan passant par le centre du globe et perpendiculaire à l'axe des pôles. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique : l'équateur et l'écliptique ont entre eux une inclinaison de $23^{\circ}27'$, appelée « obliquité ». Ci-dessous un schéma illustrant les principaux mouvements de la terre (autour de son axe et autour du soleil).

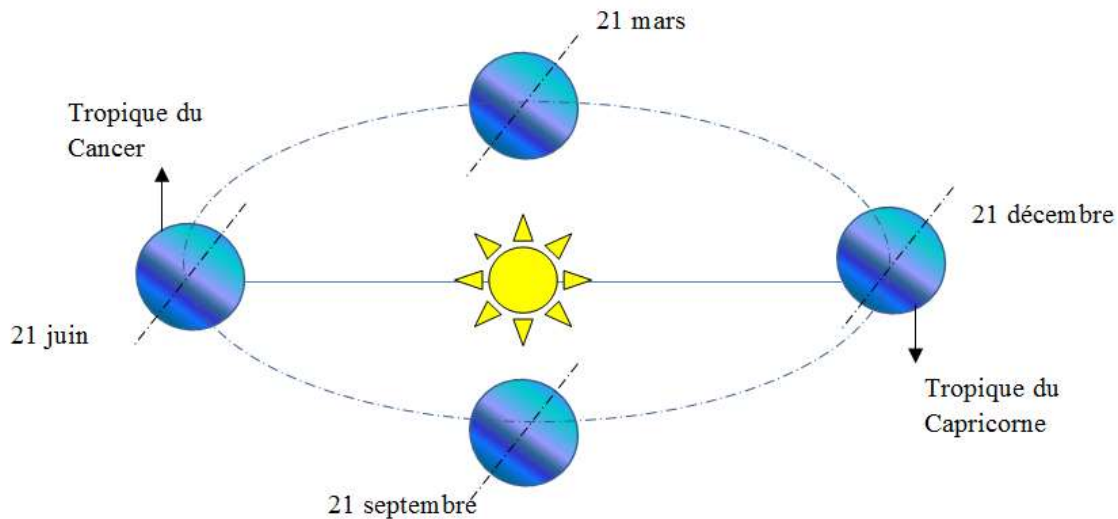


Figure I-2: Mouvements de la terre autour du soleil [7].

Le cycle jour/nuit est causé par le mouvement circulaire de la Terre autour d'elle-même. La rotation de la terre autour du soleil, ainsi que l'inclinaison des axes des pôles sur le plan de l'écliptique, font fluctuer les durées relatives du jour et de la nuit selon le rythme des saisons, régi par les équinoxes et les solstices.

La terre tourne à une vitesse de 3,104 mètres par seconde pendant cette rotation. Le soleil est l'un des foyers de l'ellipse, et son équation est la suivante en coordonnées polaires :

$$r = \frac{a \times (1 - e)^2}{1 + e \times \cos \theta} \quad \text{Où } e = 0.017 \text{ l'excentricité.}$$

La terre est au plus près du soleil au solstice d'hiver. La terre tourne sur elle-même en 23 heures 56 minutes et 4 secondes, à une vitesse angulaire de $7.3 \cdot 10^{-5}$ tours par seconde. Son axe de rotation (axe des pôles) est orienté dans l'espace selon une orientation fixe, faisant un angle de $\approx 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique. Le cycle jour/nuit est causé par le mouvement circulaire de la Terre autour d'elle-même. La rotation de la terre autour du soleil, ainsi que l'inclinaison des axes des pôles sur le plan de l'écliptique, font fluctuer les durées relatives du jour et de la nuit selon le rythme des saisons, régi par les équinoxes et les solstices.

L'écliptique et l'équateur se croisent en deux points de l'orbite terrestre, qui correspondent aux équinoxes et marquent le début du printemps et de l'automne dans

l'hémisphère nord, respectivement le 21 mars et le 23 septembre. Les solstices d'hiver et d'été, qui tombent le 22 décembre et le 21 juin, respectivement, se situent à mi-chemin entre les équinoxes.

I.5 Mouvement apparent du soleil

La figure I-3 [7] représente la vitesse apparente du soleil telle qu'observée par un observateur stationnaire à une latitude L au nord de l'équateur. L'angle formé par la direction du soleil avec la verticale du site au midi solaire est égal à $(L - d)$. Aux équinoxes, la journée dure 12 heures ; entre le 21 septembre et le 21 mars, elle dure moins de 12 heures ; entre le 21 mars et le 21 septembre, elle dure plus de 12 heures.

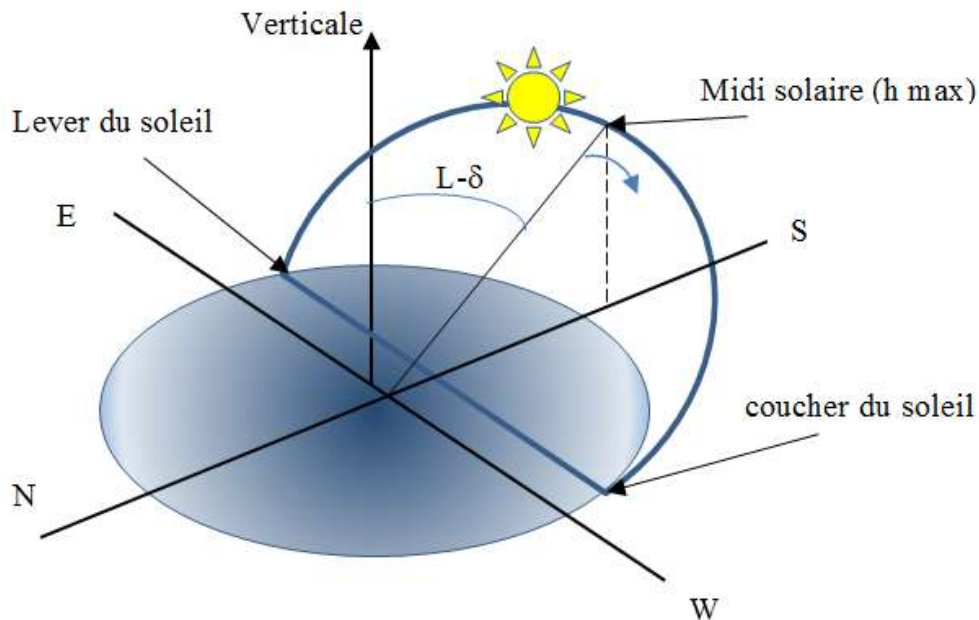


Figure I-3: Mouvement apparent du soleil observé d'un point de latitude L .

I.5.1 Direction du rayonnement solaire

Un système de coordonnées locales (coordonnées azimutales) créé à un endroit sur la surface de la terre peut être utilisé pour trouver la position du soleil dans le ciel (situé dans l'hémisphère nord). Le schéma suivant représente ce trièdre. Voici une liste de ses axes :

- OX vers le sud, OY vers l'ouest et OZ vertical du lieu, vers le haut et. La direction (OS) du soleil est repérée grâce à deux angles :

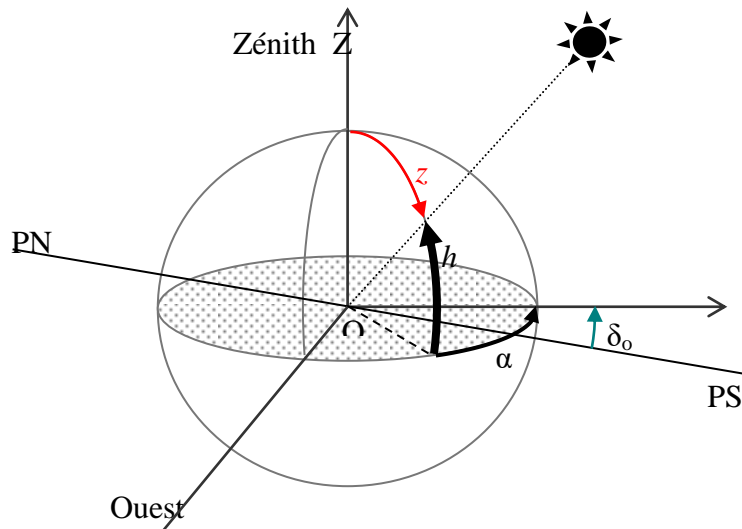


Figure I-4: Système local de coordonnées azimutales.

I.5.2 La hauteur (h)

L'angle entre l'horizon astronomique et l'axe du point considéré au soleil est appelé la hauteur (h). Si le soleil est dans l'hémisphère nord (Zénith), il est mesuré entre 0 et 90 degrés ; si le soleil est dans l'hémisphère sud, il est mesuré entre 0 et -90 degrés (Nadir).

I.5.3 L'azimut (a)

L'azimut (a) est l'angle formé par la projection de la direction du soleil (OS) sur un plan horizontal et le Sud ; il est positif à l'Ouest et négatif à l'Est.

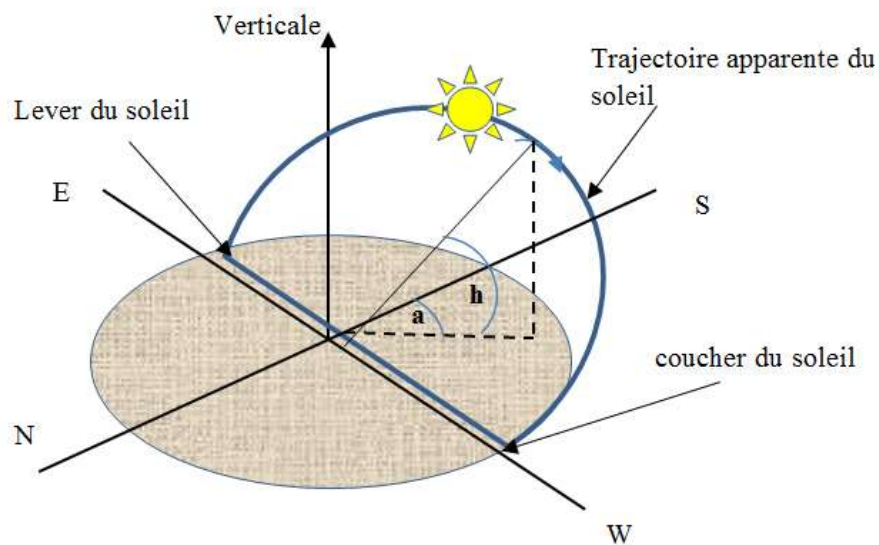


Figure I-5: Repérage de la position du Soleil.

Parce que les angles (h) et (a) changent tout au long de la journée en raison de la révolution de la terre sur elle-même, un deuxième système de coordonnées, le système de coordonnées temporelles, a été créé et focalisé sur la direction des pôles : Voici le trièdre de référence pour ce système :

OX' dans le plan (OX, OZ) est perpendiculaire à OZ' .

- OY' vers l'ouest, OZ' vers le pôle nord.

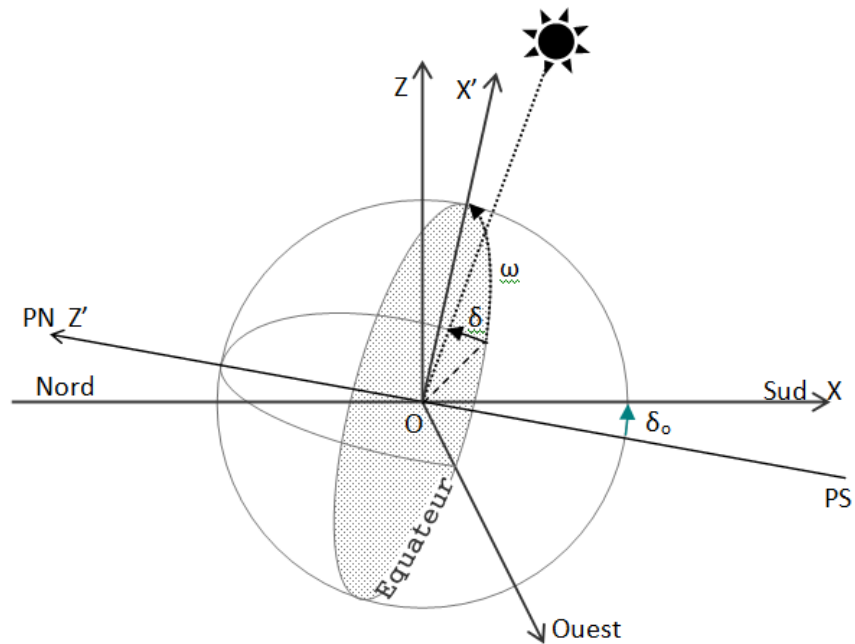


Figure I-6: Système de coordonnées horaires.

Les coordonnées angulaires du soleil dans ce repère sont alors :

I.5.4 La déclinaison (δ)

L'angle entre la direction du soleil terrestre et le plan équatorial de la terre, ou la latitude de l'endroit où le soleil est vertical au midi solaire, est appelé déclinaison. Au solstice d'hiver, cet angle est de $-23^{\circ}27'$; au solstice d'été, il fait $23^{\circ}27'$; et aux équinoxes, il est nul. La date (Dj), le nombre de jours depuis le 1er janvier, détermine la déclinaison, qui dépend du jour de l'année. L'équation suivante est utilisée pour le calculer :

$$\sin \delta = 0.398 \sin [0.986 (Dj-82)] \quad \text{Ou bien } \delta = 23.45 \sin [0.986 (284 + Dj)]$$

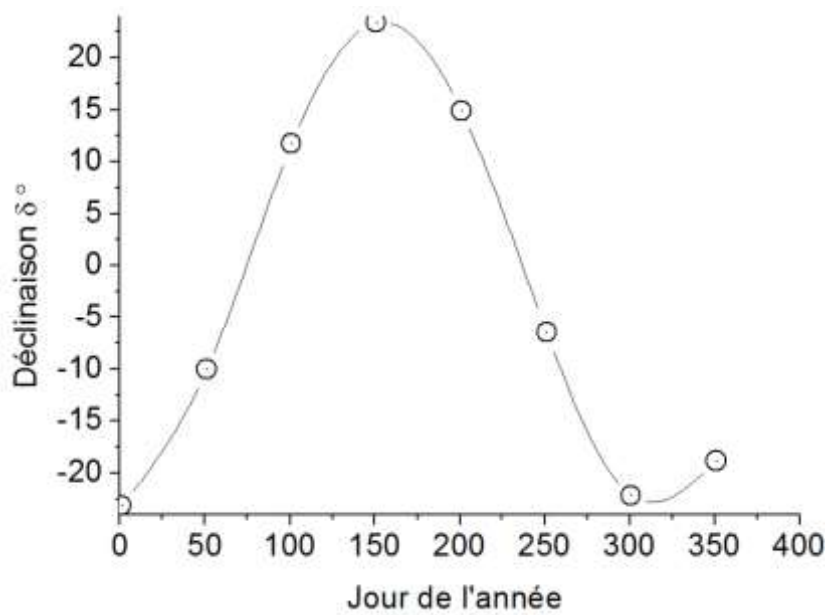


Figure I-7: Déclinaison du soleil du jour de l'année.

I.5.5 L'angle horaire (ω)

L'angle horaire est l'angle entre les plans (OZ', OS) et (OZ', OX') : Le plan méridien passe par le centre du soleil et coupe le plan vertical du lieu pour générer l'angle horaire. Comme la Terre effectue une rotation complète (360°) sur elle-même en 24 heures, l'angle horaire (ω) est égal à 0° au midi solaire. Alors chaque heure équivaut à 15°. Lorsque le soleil fait face à l'Est le matin, l'angle (ω) est négatif, et lorsque le soleil fait face à l'Ouest, il est positif.

En pratique on exprime les angles (h) et (a) en fonction de la latitude du lieu, la déclinaison et

l'angle horaire du soleil : $\sin h = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$ et $\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)}$

I.5.6 Durée du jour

Comme la hauteur du soleil est égale à 0 à l'aube et au coucher du soleil, la valeur l de l'angle horaire au lever du soleil est déterminée en considérant $\sin h$ nul, ce qui donne :

$$\cos(\omega_l) = -\tan(L)\tan(\delta)$$

L'heure solaire au lever du soleil a donc pour valeur :

$$(TS)_l = 12 - \frac{\omega_l}{15}$$

L'angle horaire ω_c au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, donc

$\omega_c = -\omega_1$ et la durée du jour vaut :

$$d = 2 \frac{\omega_1}{15}$$

I.6 Notions de temps TSV, TSM, TU, TL

Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle du soleil à un endroit et à une heure particuliers. La rotation de la terre sur elle-même la définit. De ce fait, l'angle horaire y est lié. Lorsque le soleil est au zénith (12h), l'intervalle de temps entre deux passages du soleil au méridien est de 24 heures. Le véritable midi solaire d'un lieu correspond au moment où le soleil atteint son point culminant. L'heure solaire vraie est mesurée à partir de midi et est égale à l'angle de l'heure du soleil. : $TSV = 12 + \omega/15$

Parce que l'orbite terrestre est elliptique et inclinée sur l'équateur, un véritable jour solaire n'est pas constant. La vitesse orbitale de la Terre varie au cours de l'année, c'est pourquoi le temps solaire moyen a été établi.

Le concept de temps solaire moyen est introduit par la rotation régulière de la Terre autour de l'axe des pôles. La période entre deux passages consécutifs du soleil au méridien d'un lieu est appelée jour solaire moyen. 1 jour = 24h 00'00" est la durée d'une journée solaire type. Du fait que la vitesse de rotation de la terre par rapport au soleil change beaucoup au cours de l'année, il n'y a pas exactement 24 heures entre deux traversées successives de le soleil au méridien du lieu, on modifie la TSV à l'aide d'un ajustement de l'équation du temps (ET) tel que :

$$TSV = TSM + ET$$

Cette équation du temps varie de 14' le 11 février à -16' le 3 novembre.

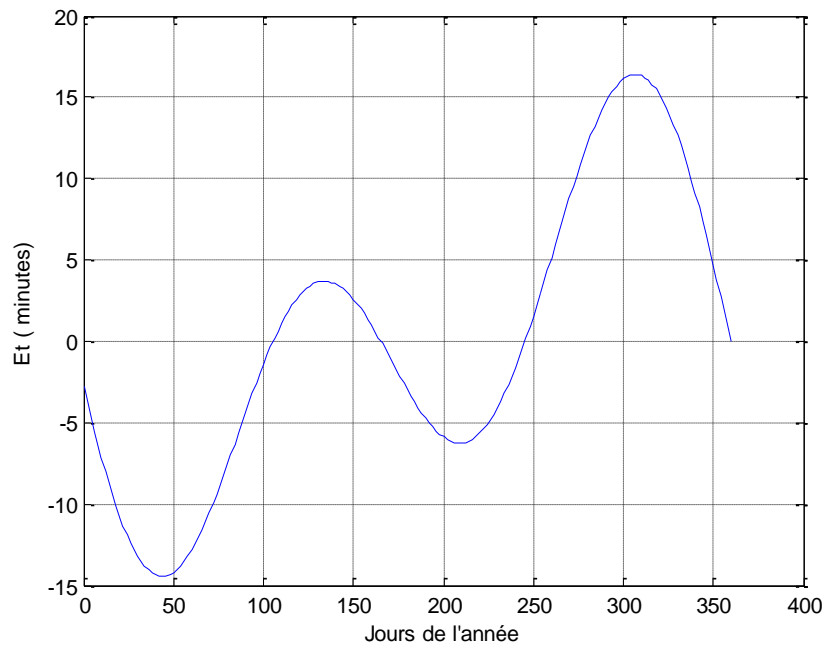


Figure I-8: Équation du temps en fonction du jour de l'année [7].

Il convient de noter que cette heure solaire moyenne a des inconvénients car elle est locale ; en même temps, il n'est que midi sur le méridien du lieu en question.

Le temps universel (UT) est le temps solaire moyen du méridien de Greenwich à l'échelle mondiale. La planète est divisée en 24 fuseaux de 15 degrés, chacun centré sur un méridien avec une longitude multiple de 15. Ainsi, à une longitude de l , nous avons ce qui suit :

$$TSM = TU + l/15$$

Où l est la longitude du lieu qui se soustrait lorsque le site est situé à l'ouest

Le Temps légal (TL) : c'est l'heure officielle d'un état. Chaque état pour diverses raisons décide d'un décalage ΔE par rapport au temps universel, donc :

$$TL = TU + \Delta E$$

Le lever et le coucher du soleil : Les heures du lever et du coucher du soleil sont obtenues en écrivant $h=0$ dans l'équation de la hauteur du soleil:

$$\cos \omega_{c-1} = -\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta, \quad \omega_{l-c} = \text{arc cos } (-\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta)$$

Les heures du lever et du coucher du soleil nous permettent de calculer la durée du jour dont la valeur vaut deux fois celle de l'angle horaire au coucher du soleil.

Au coucher du soleil la durée du jour (Δt) est exprimée ainsi: $\Delta t = \frac{2 \cdot \omega_s}{15} = \frac{2}{15} \cdot \text{arc cos } (-\text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \delta)$

La variation de la vitesse de la terre sur sa trajectoire autour du soleil introduit un terme correctif appelé équation du temps (ET) telle que:

$$ET = - \left[\begin{array}{l} 0.0002 - 0.4797 \cos(\omega' j) + 3.2265 \cos(2\omega' j) + 0.0903 \cos(3\omega' j) \\ + 7.3509 \sin(\omega' j) + 9.3912 \sin(2\omega' j) + 0.3361 \sin(3\omega' j) \end{array} \right]$$

Où: j est le numéro du jour de l'année, $\omega' = 0,984$

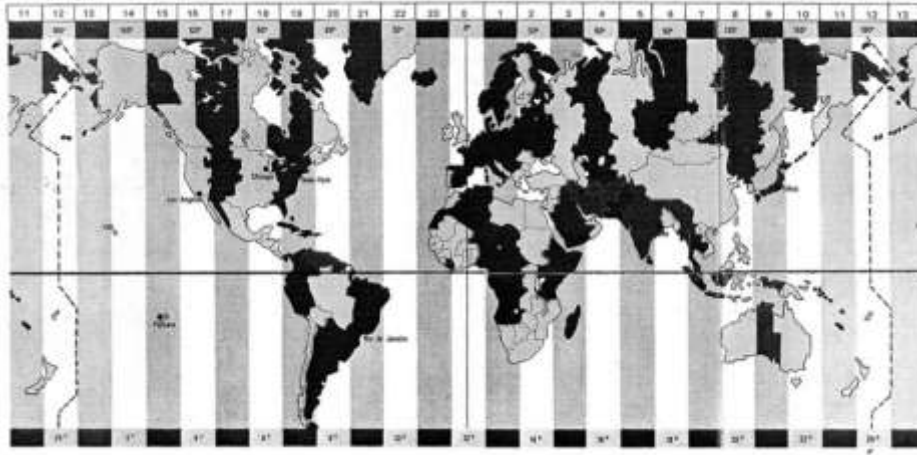


Figure I-9: Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich [7].

La différence de longitude ($l - l_{ref}$) entre le lieu considéré et le lieu servant de référence au temps légal permet de calculer le temps solaire vrai ainsi :

$$TS = TL - C + ET + \frac{(l_{ref} - l)}{15}$$

I.7 Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque

Dans les applications solaires la question est donc de calculer l'angle (i) entre un rayon arrivant directement du soleil et la normale à un plan quelconque (face avant réceptrice du rayonnement solaire). L'orientation du capteur solaire est définie par :

- son inclinaison (α) : Angle que fait le capteur solaire avec le plan horizontal.
- son azimut (γ) : Angle que fait la normale à la surface du capteur solaire et le plan méridien.

$\gamma > 0$ vers l'ouest, $\gamma < 0$ vers l'est, $\gamma = 0$, direction sud

L'angle d'incidence (i) est l'angle entre la direction du soleil et la normale du plan. Cet angle est déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayon incident et la normale.

En coordonnées horizontales [8] et [9] :

$$\cos(i) = \sin(\alpha - a) \cos(\gamma) \cos(\omega) - \sin(\gamma) \sin(\omega)$$

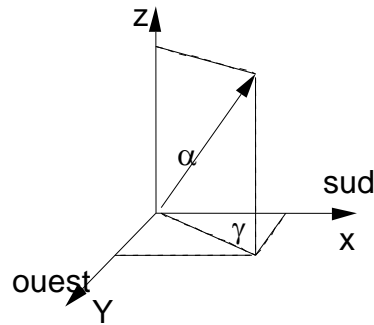


Figure I-10 : Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan quelconque.

En coordonnées horaires :

$$\cos(i) = \sin(\alpha)\cos(\gamma)\cos(\omega)\cos(\delta) + \cos(\alpha)\cos(\gamma)[\cos(\omega)\cos(\delta)\sin(\varphi) - \sin(\delta)\cos(\varphi)] \\ + \sin(\gamma)\sin(\omega)[\cos(\omega)\cos(\delta)\cos(\varphi) + \sin(\delta)\sin(\varphi)]$$

Au cours d'une journée (i) est minimal à midi solaire vrai où l'angle (ω) est nul.

Pour une exploitation optimale du rayonnement solaire, la surface réceptrice devrait toujours être orientée autant que possible perpendiculairement au rayonnement solaire. Toutefois comme la position du soleil par rapport à la terre varie continuellement au cours d'une journée et d'une année, l'angle d'incidence du rayonnement sur le capteur (fixé sur un socle ou sur une toiture) varie également.

I.8 Composantes du rayonnement solaire

Les processus affectant les rayons solaires sont trop complexes. D'une façon générale les radiations solaires arrivant au sommet de l'atmosphère sous formes d'ondes électromagnétiques se répartissent en deux parties : La première partie est directement réfléchiée vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. La deuxième en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, soit renvoyée vers l'espace, soit dirigée vers la terre.

En outre dans l'atmosphère, la vapeur d'eau et de multiple gaz absorbent de façon très irrégulière certaines radiations caractérisées par leurs longueurs d'onde. La vapeur d'eau, qui a une épaisseur variable selon le climat et la saison est responsable de l'absorption des rayons infrarouges. Les radiations absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans toutes les directions, il en résulte que parmi les radiations solaires arrivant à la terre, quelques-unes sont fournies par les nuages et les autres composantes de l'atmosphère. Une fois ces radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchiée directement vers le ciel, l'autre est reçue par la terre. La terre reçoit donc l'énergie du soleil et de l'atmosphère. De ce fait, le

rayonnement solaire provenant au sol est un rayonnement direct et un rayonnement diffus, l'ensemble font le rayonnement global.

A la traversée de l'atmosphère le rayonnement solaire n'est pas totalement transmis au sol :

- Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir d'atténuations.
- Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et diffus.

-Conclusion: Par cette présentations théoriques on peut dire qu'on a arrivé une satisfaction à comment réussir à suivre le soleil pour capter mieux sa chaleur .



Chapitre **II**

Généralités sur le séchage



Chapitre II :

Généralités sur le séchage

II.1 Introduction

La déshydratation est l'une des plus anciennes méthodes de préservation des aliments que l'on connaisse. Les peuples primitifs déshydrataient ou faisaient sécher les herbes, les racines, les fruits et la viande en les exposant au soleil. Ils avaient appris que la déshydratation des aliments leur permettait de survivre durant les durs et longs hivers alors que la nourriture était plus rare ou encore inexistante. La légèreté ainsi que la valeur nutritive élevée des aliments déshydratés permettaient aussi aux peuples d'autrefois de parcourir de plus grandes distances lors de leurs voyages de chasses ou d'exploration.

Depuis les débuts de la civilisation, presque tous les peuples de notre planète ont recouru à la déshydratation ou au séchage des aliments. En fait, les plus anciens documents écrits sur le sujet, mentionnent que les Phéniciens ainsi que d'autres peuples pêcheurs de la Méditerranée avaient l'habitude de faire sécher leurs prises au grand air.

Le séchage au soleil des feuilles de thé était très répandu chez les Chinois. Plusieurs autres cultures d'autrefois consommaient divers aliments déshydratés. Par exemple, quand certains anciens tombeaux Égyptiens ont été excavés récemment, les scientifiques ont découvert une variété d'aliments déshydratés, incluant des grains de blé. Ces aliments étaient censés soutenir l'esprit du défunt dans son voyage après la vie. Lors d'une expérience, des grains âgés de plusieurs siècles furent par la suite réhydratés. Miraculeusement, ils germèrent,

prouvant que la déshydratation est véritablement un moyen naturel et viable de préservation de la nourriture à long terme.

À l'époque des explorateurs du 15^{ème} et 16^{ème} siècles, la plupart des marins mangeaient une variété d'aliments séchés afin de garder la santé durant leurs voyages en mer.

II.2 Définition du séchage

Par définition, le séchage est une technique de purification visant à débarrasser un mélange homogène ou hétérogène d'un constituant liquide. Sécher un produit consiste à apporter l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau du produit (chaleur latente de vaporisation), puis à évacuer la vapeur formée. Le but d'une telle opération est, soit de rendre à une substance traitée ses qualités mécaniques ou physico-chimiques initiales, soit de faciliter son stockage et sa conservation.

II.3 Procédés de séchage

Il existe plusieurs procédés de séchage : les procédés mécaniques (presse, décantation ou centrifugation), les procédés physico-chimiques (adsorption, absorption, réfrigération et séchage par évaporation). Ce dernier consiste à transférer le liquide à éliminer dans la phase gazeuse qui le baigne.

Le changement de phase exige un apport de chaleur assez considérable. Il peut être direct (chauffage par échangeur, par effet joule, par radiations infrarouges ou par courants de haute fréquence) ou bien c'est la phase gazeuse elle-même qui assure l'apport de chaleur nécessaire (air chaud). Le séchage par évaporation est un processus très complexe qui fait intervenir un double transfert, le premier est un transfert de chaleur destiné à réduire la teneur en eau dans le produit et le second est un transfert de masse qui implique un déplacement du fluide de l'intérieur du produit vers sa surface. Ces deux transferts exigent un apport de chaleur considérable, d'où l'intérêt d'utiliser une source de chaleur renouvelable. C'est le cas des séchoirs solaires.

II.4 Le séchage et l'énergie

Afin de sécher un produit, liquide ou solide, il faut fournir de la chaleur, de l'énergie, globalement on considère que les opérations de séchage consomment environ 15 % de l'énergie industrielle dans les pays développés. Cette part est importante et il faut essayer de

trouver les moyens d'optimiser les procédés, dans une démarche économique mais aussi écologique.

Toutes les parties d'un même produit n'ont pas le même comportement vis à vis de l'eau. Cela varie aussi d'un produit à l'autre, suivant sa composition biochimique : certaines structures ou molécules retiennent l'eau plus que d'autres. Lorsque le produit est très humide, l'eau qu'il contient est qualifiée de "libre" et lors du séchage, l'eau libre se comporte comme de l'eau pure. Il suffit pour la vaporiser d'environ 2250 kJ/kg. Lorsque le produit est plus sec, l'eau est davantage retenue par celui-ci et on la qualifie de "liée". L'évaporation de cette eau est plus difficile et demande plus d'énergie.

Au cours du séchage c'est d'abord l'eau libre qui va être évaporée, puis l'eau de plus en plus liée : aussi la quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser la même quantité d'eau augmente au cours du séchage (Léonard Angélique, 2002).

II.5 Domaines d'utilisations

Si le séchage consomme autant d'énergie c'est qu'il intervient dans de nombreuses industries. Les produits concernés nous touchent souvent de près dans la vie de tous les jours.

Le choix d'une opération de séchage peut être effectué pour diverses raisons :

- Le produit humide se conserve mal.
- Le liquide doit être enlevé pour le déroulement de la suite du procédé.
- L'enlèvement de l'eau donne une texture et une structure finale du produit et constitue une étape à part entière du procédé.

On peut classer les domaines d'utilisation du séchage comme suit :

II.5.1 Industrie agroalimentaire

Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi une opération de séchage, et ce dernier peut être une étape nécessaire à la production du produit ou un rôle dans la conservation de l'aliment. On peut citer par exemple :

- La viande fumée : saucisson, jambon...
- Les fromages : séchage dans une ambiance contrôlée
- Le sucre cristallisé est obtenu par évaporation

- Les légumes (pois, poivron...) et fruits secs (pruneaux, raisins, abricots, figues...)
- Les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation
 - café, cacao, riz et autres céréales, feuilles de thé, épice, certains biscuits apéritifs
- Actuellement, il existe plus de 200 types de séchoirs industriels dans le secteur alimentaire.

II.5.2 Industrie papetière

Dans ce type d'industrie, le papier est obtenu par séchage de la pâte à papier sur des rouleaux rotatifs chauffés.

II.5.3 Industrie du bois

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

II.5.4 Bouchons de liège

Afin de garantir un meilleur vieillissement des vins, une attention toute particulière est portée à la qualité des bouchons de liège. Au cours de leur fabrication, l'opération de séchage doit être parfaitement maîtrisée au risque de donner un goût de moisi au vin.

II.5.5 Matériaux de construction et industrie céramique

On trouve ce type de claquement dans diverses applications, par exemple : les briques, le carrelage, les assiettes, les bols et les plats.

II.5.6 La biotechnologie et l'industrie pharmaceutique

Comme la fabrication de la levure en poudre, des antibiotiques et le séchage de principes actifs sous forme de poudre avant pastillage.

II.6 L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires

L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires a de multiples buts :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons, ...).
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités.
- Transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, ...).
- Stabiliser des co-produits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson, lactosérum, ...)
- Produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés produits alimentaires intermédiaires (PAI). Ce sont par exemple des légumes pour les potages, des oignons pour la charcuterie, des fruits pour la pâtisserie, des épaississants, arômes, colorants.



Chapitre **III**

Les séchoirs solaires



Chapitre III :

Les séchoirs solaires

III.1 Introduction

Le séchage est une opération de transfert couplé de chaleur et de masse pour laquelle il est nécessaire de fournir de l'énergie. Plusieurs méthodes de séchage et appareils de séchage (séchoirs solaires) ont été adaptées à différentes situations, d'utilisation facile et pratique, les paramètres opératoires des procédés de séchage peuvent être aisément contrôlés. Ces procédés dits classiques notamment le séchage au soleil et le séchage à l'air chaud sont les plus couramment utilisés pour les fruits et légumes, il existe aussi d'autres modes de séchage qui sont définis ci-dessous.

III.2 Les modes de séchage

III.2.1 Séchage Thermique

III.2.1.1 Au soleil

Le séchage au soleil s'est largement développé dans les zones arides ou semi-arides qui présentent des conditions climatiques optimales : une saison sèche avec un fort ensoleillement, une faible pluviométrie, une hygrométrie peu élevée.

Le séchage s'effectue sur le sol, sur des nattes, sur des rochers plats, ou bien sur les toits des maisons. Ce système présente deux principaux avantages pour les communautés : peu de travail et pas d'investissement, mais, très souvent, les résultats obtenus sont médiocres car les produits sont souillés de sable et de poussière, ils subissent les attaques des animaux, des

insectes et des micro-organismes, les pertes sont ainsi importantes. De plus, les produits s'abîment, sèchent trop ou pas assez, ce qui dégrade fortement leur qualité.



Figure III.1: Image de séchage de la tomate sous le soleil.

III.2.1.2 Séchage a l'air libre

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de 22 ± 2 °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle.

III.2.1.3 Séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle tel que :

- Le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à la vaporisation
- L'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau.
- La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit dans le milieu ambiant et elle est ensuite entraînée par le gaz.

III.2.1.4 Séchage par ébullition

Le séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude, séchoirs cylindres...etc.), dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale ou dépasse la pression totale ambiante.

III.2.1.5 Le séchage à l'étuve

Dans ce type de séchage, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères (Taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume.



Figure III.2: Étuve de séchage.

III.2.1.6 Le séchage par micro-onde

Le chauffage par micro-ondes se rapporte à l'utilisation d'ondes électromagnétiques afin de produire de la chaleur dans le matériel à sécher. Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple, l'énergie électrique apportée alimente le magnétron qui convertie l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal).

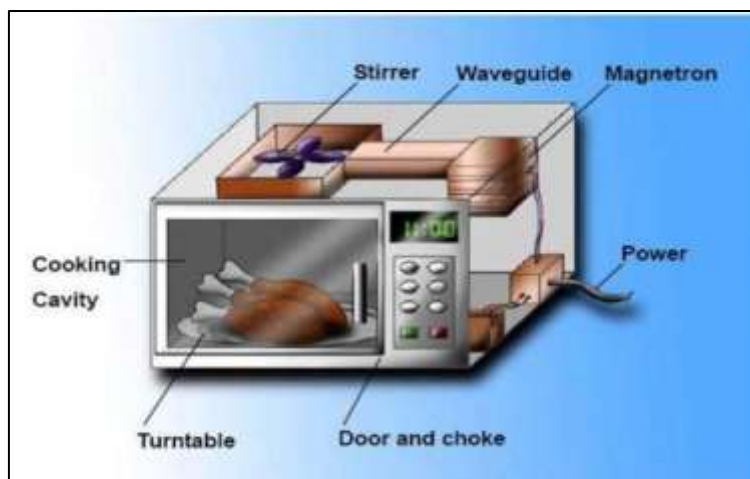


Figure III.3: Schéma d'une micro-onde.

III.2.2 Séchage non-thermique

III.2.2.1 La lyophilisation

C'est un procédé de conservation permettant de préserver des denrées alimentaires périssables et des substances biologiques et chimiques dites fragiles.

La lyophilisation concerne un produit qui est préalablement congelé, de telle sorte que l'eau puisse passer directement de l'état solide (glace) vers la phase vapeur sans l'étape de fusion, ce changement d'état étant appelé « sublimation ». La période de sublimation est suivie d'une période de séchage par désorption d'une fraction d'eau liée, à une température de plus en plus élevée. En atmosphère de vapeur d'eau pure et sous vide, ce procédé obéit à des principes comparables à l'ébullition, mais ce séchage peut aussi se faire en présence d'un certain taux de gaz incondensables dans l'atmosphère autour du produit, tel que la pression de vapeur dans le gaz externe soit seulement une pression partielle.

III.2.2.2 Le séchage osmotique

Ce qu'on appelle déshydratation osmotique dans le domaine de la transformation des fruits et légumes, est un procédé de réduction de la teneur en eau obtenue par immersion de ces derniers, entiers ou en morceaux, dans une solution hypertonique de sucres et/ou saline.

En principe, l'osmose décrit les mouvements de l'eau et des solutés qui se produisent quand deux solutions sont séparées par une membrane semi-perméable, en raison de la pression osmotique relative de chaque composant.

III.3 Le séchage solaire

Dans les pays en développement, le séchage au soleil est une méthode populaire, efficace et économique utilisée pour le séchage et la conservation des produits agricoles, alimentaires et de nombreux autres produits. Le séchage des produits alimentaires agricoles par l'énergie solaire est une application rentable. Par contre le séchage industriel consomme des grandes quantités de combustibles traditionnels pour fournir de l'air.

Le séchage se fait de plusieurs manières. La machine à sécher existe sous différentes formes en fonction du mode de transfert de chaleur, le prix, la forme d'énergie consommée et le mode de circulation du fluide.

III.4 Description d'un séchoir solaire

Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur. Il nous permet comme le déshydrateur de sécher tous les fruits, légumes, herbes, poissons et viandes. Il est souvent construit en bois avec une plaque de verre qui sert à reproduire un effet de serre à l'intérieur du séchoir.

Le séchoir solaire a un potentiel important dans le secteur agricole, où il est utilisé pour le séchage des légumes, des fruits et des plantes médicinales. Ainsi minimiser la dépendance sur le séchage au soleil et le séchage industriel, d'où économiser d'énormes quantités de fossiles.

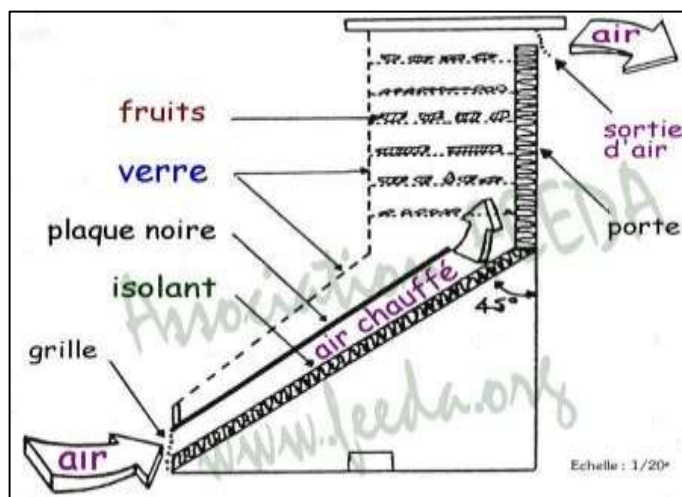


Figure III.4: Illustration d'un séchoir solaire.

III.5 Classification des séchoirs solaires

Selon la forme d'énergie consommée, il y a des séchoirs électriques, des séchoirs à gaz et des séchoirs hybrides. Plusieurs gammes de séchoirs solaires existent : les séchoirs directs, indirects et mixtes (Figure II.5).

III.5.1 Les séchoirs solaires directs

Dans ce type de séchoirs, les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois d'une 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 chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles). Néanmoins l'interaction directe « rayonnement solaire – produit » engendre la dégradation de la qualité du produit et la destruction des nutriments.



Figure III.5: schéma représente types des séchoirs solaires.

III.5.2 Les séchoirs solaires indirects

Les séchoirs solaires indirects ont un capteur solaire séparé et une unité de séchage. Elles sont généralement constituées de quatre éléments, à savoir, capteur solaire, l'unité de séchage, un ventilateur, et de conduits de circulation d'air. Unité de collecteur solaire est utile pour atteindre des valeurs de température plus élevées avec un air contrôlé. Cependant, on observe également que, dans des conditions de fonctionnement des températures plus élevées,

l'efficacité du capteur solaire est réduite. En général, la plupart des capteurs solaires sont constitués de bois ou des métaux avec un revêtement approprié de matériaux absorbants tels que polyéthylène noir pour une meilleure absorption de la chaleur nécessaire au séchage du produit. Le produit n'est pas exposé directement au soleil, il est même à l'abri de la lumière, ce qui autorise une meilleure préservation des qualités nutritionnelles de l'aliment.

III.6 Types des séchoirs indirects

III.6.1 Les séchoirs-Tunnel

Ce sont des séchoirs industriels destinés au séchage des grandes récoltes et dans les processus de conservation de certains aliments. Ils se composent d'un champ de capteurs solaires et d'un circuit aéraulique, le tout constituant le générateur d'air chaud. Le produit à sécher est disposé dans des chariots montés sur des rails, qui traversent un tunnel de quelques mètres de façon continue.

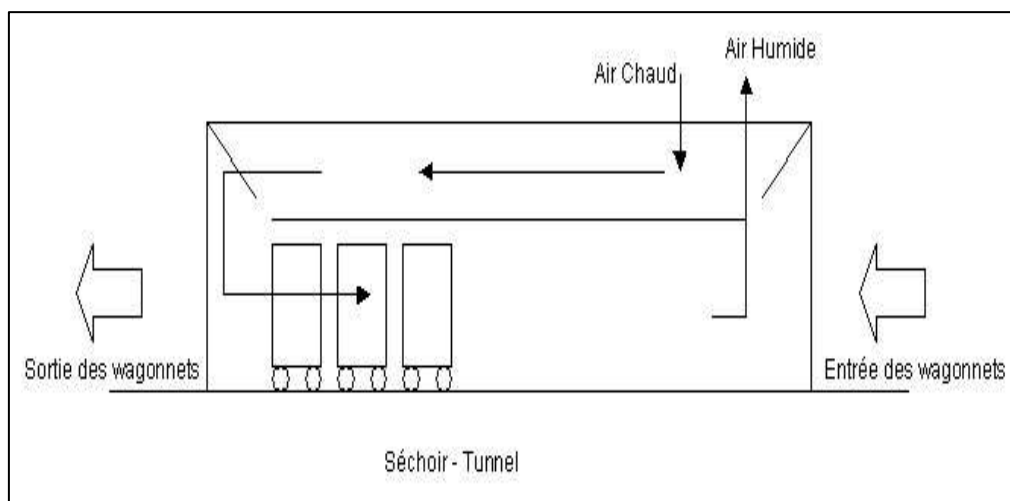


Figure III.6: Représentation schématique d'un séchoir tunnel.

III.6.2 Séchoirs solaire hybrides

Ce sont des séchoirs qui utilisent l'énergie solaire mais aussi une autre source énergétique consommatrice de réserves fossiles pour suppléer au chauffage et/ou à la ventilation. Dans le monde d'aujourd'hui de la technologie de pointe, des séchoirs solaires hybrides sont le meilleur dispositif alternatif disponible pour le séchage solaire rapide des produits avec la qualité des produits requis.

III.6.3 Les séchoirs solaires mixtes


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

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



Chapitre IV

*Conception d'un séchoir solaire
(Solide Works) et réalisation de
circuit de commande de suiveur
Solaire (Arduino)*



Chapitre IV :

Conception d'un séchoir solaire (solide Works) et réalisations d'un circuit de commande de suiveur solaire (Arduino)

IV.1 Premier partie : Conception d'un séchoir solaire par (solide Works)

IV.1.1-Introduction

Le logiciel **SOLIDWORKS** est un modelleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.

SOLIDWORKS est un système à cotation piloté. On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception.

Un modèle SolidWorks est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle.

IV.1.2. Développement de SolidWorks

En 1993, trois ingénieurs de B.T.C ont créé un logiciel de CAO de la génération des modelleurs 3D. Le développement de ce logiciel a nécessité trois années, et sa venue en Europe date de 1996. Dix mises à jour depuis ont participé à l'évolution de ce produit. C'est un produit qui a été écrit et optimisé pour l'environnement Windows.

En juillet 1997, DASSAULT SYSTEM rachète la société qui est détentrice de la licence du produit et l'intègre dans l'univers DASSAULT [18].

IV.1.3-. Description du logiciel SolidWorks

Le logiciel de conception mécanique SolidWorks est un outil de conception et de modélisation volumique paramétré, basé sur des fonctions, qui tire parti des fonctionnalités de Windows, connu pour sa convivialité. Nous pouvons créer des modèles volumiques 3D entièrement intégrés avec ou sans contraintes tout en utilisant des relations automatiques ou définies par l'utilisateur pour saisir l'intention de conception.

Le logiciel SolidWorks comprend : trois (03) modules élémentaires : Pièce, Assemblage, Mise en plan.

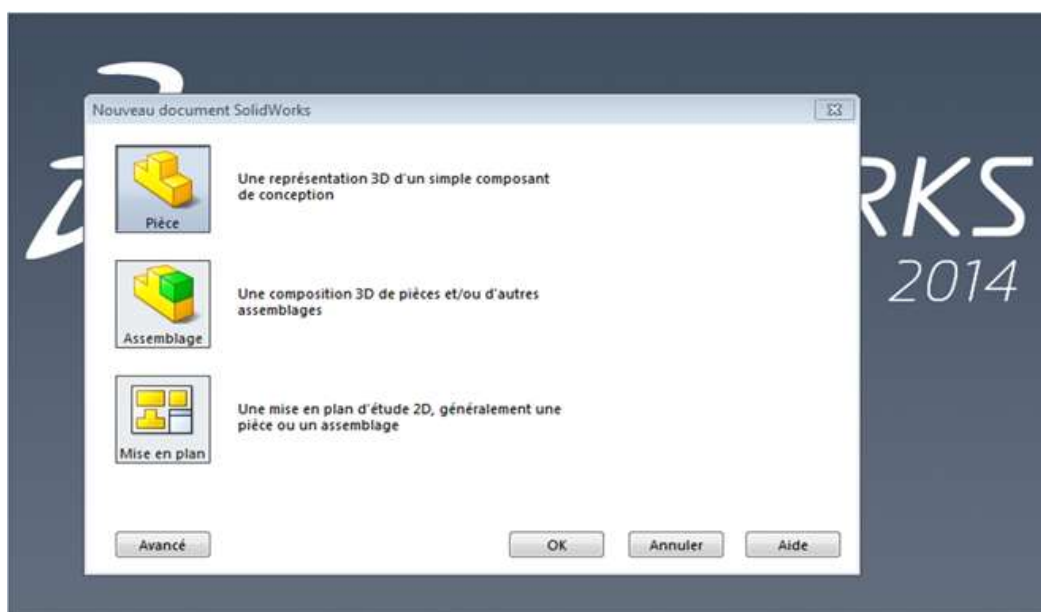


Figure IV.1: Interface graphique de SolidWorks version 2014.

En fonction du type de licence, d'autres compléments peuvent être implémenté. Dans la version SolidWorks Premium sont disponible les compléments suivants : SolidWorks Simulation, SolidWorks FlowSimulation, PhotoView 360, SolidWorks Motion.

SOLIDWORKS Simulation (Stator d'un moteur à palettes soumis à une pression d'épreuve de 12 bars).

SOLIDWORKS Simulation (Assemblage boulonné de 2 plats soumis à un effort de traction).

SOLIDWORKS FlowSimulation (Simulation des effets du vent sur un bâtiment de formes complexes).

a. Le module pièce

Le module pièce est le premier module élémentaire de SolidWorks, servant à élaborer le modèle numérique.

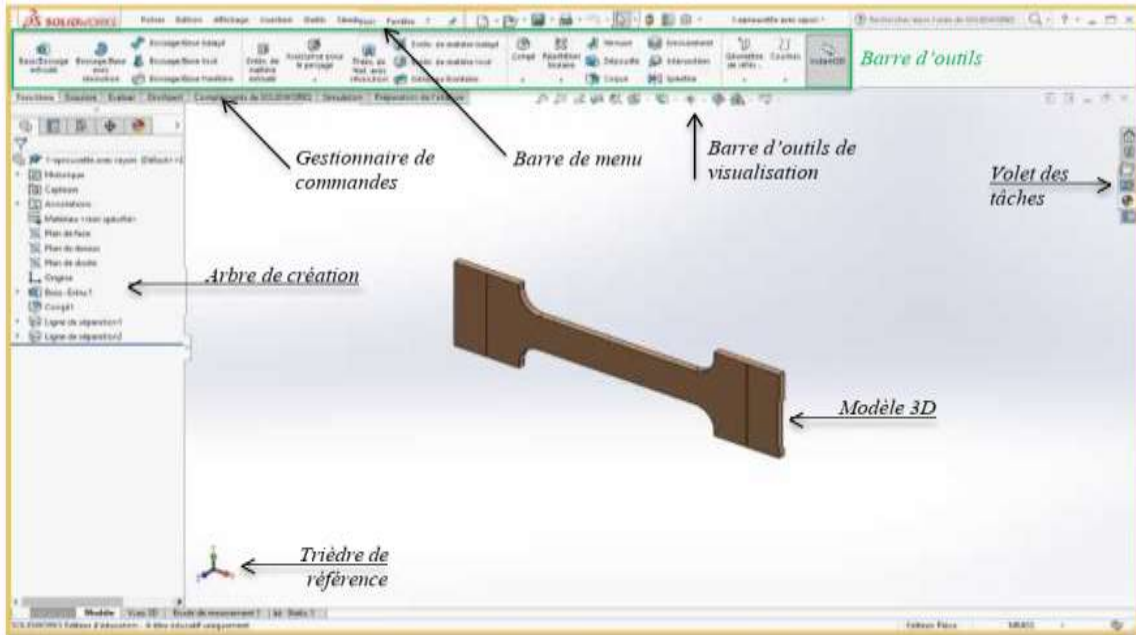


Figure IV.2 : Interface et barre d'outils.

b. Interface

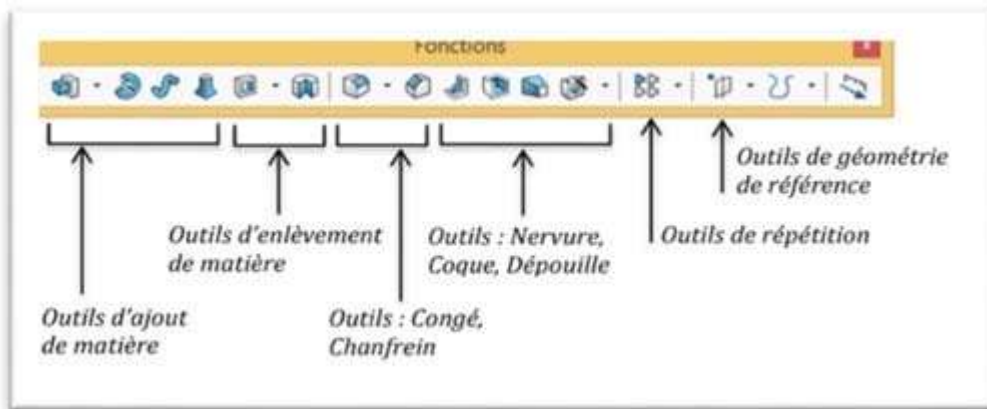


Figure IV.3 : Les fonctions.

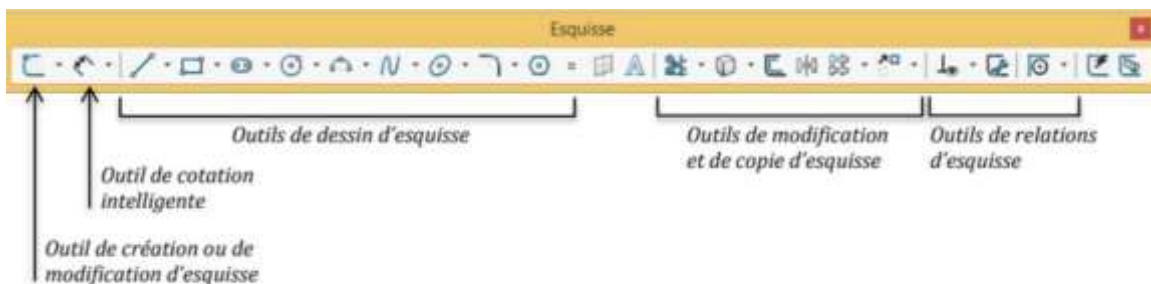


Figure IV.4 : Les esquisses.

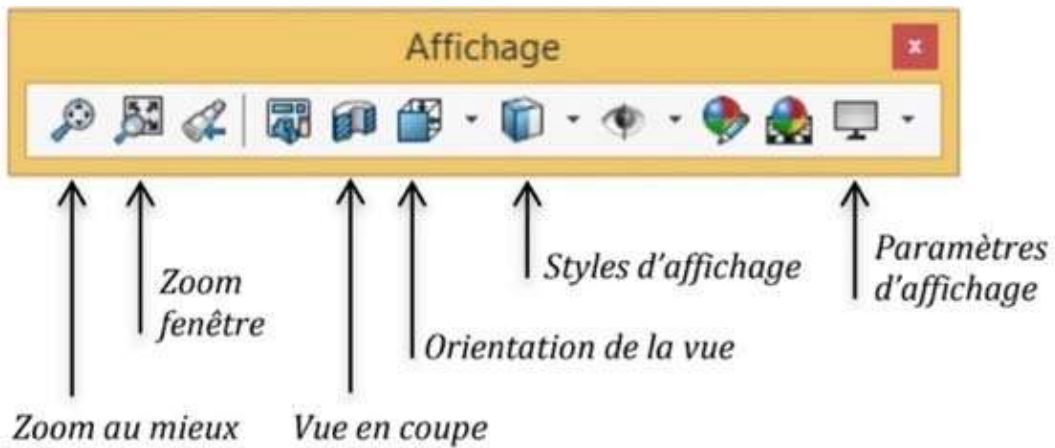


Figure IV.5 : Affichage.

c. Le module assemblage

Le module assemblage est le deuxième module élémentaire de SolidWorks, permettant d'effectuer l'assemblage des pièces que l'on a élaboré probablement dans le module pièce.

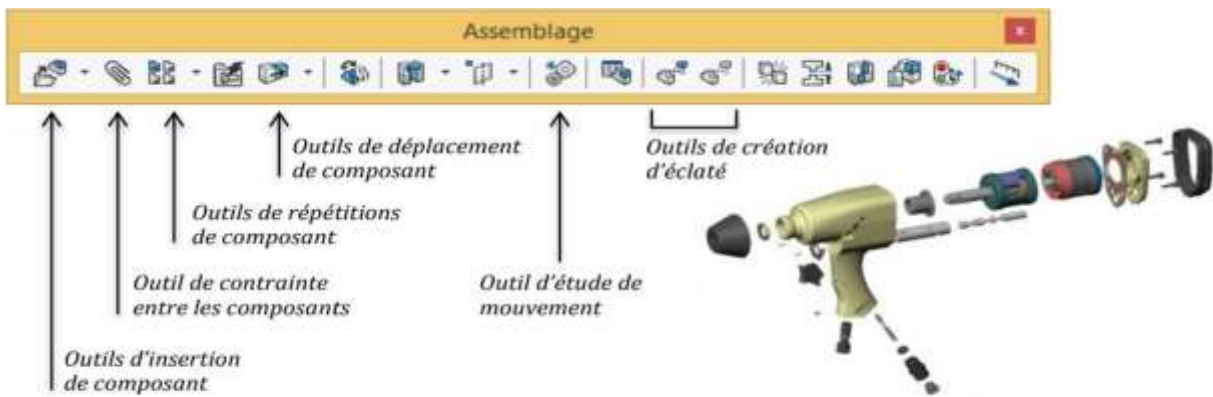


Figure IV.6: Assemblage.

d. Le module Mise en Plan

Le module Mise en Plan est le troisième module élémentaire de SolidWorks, servant à effectuer la mise en plan d'une pièce ou d'un assemblage, que l'on a élaboré préalablement dans le module Pièce.

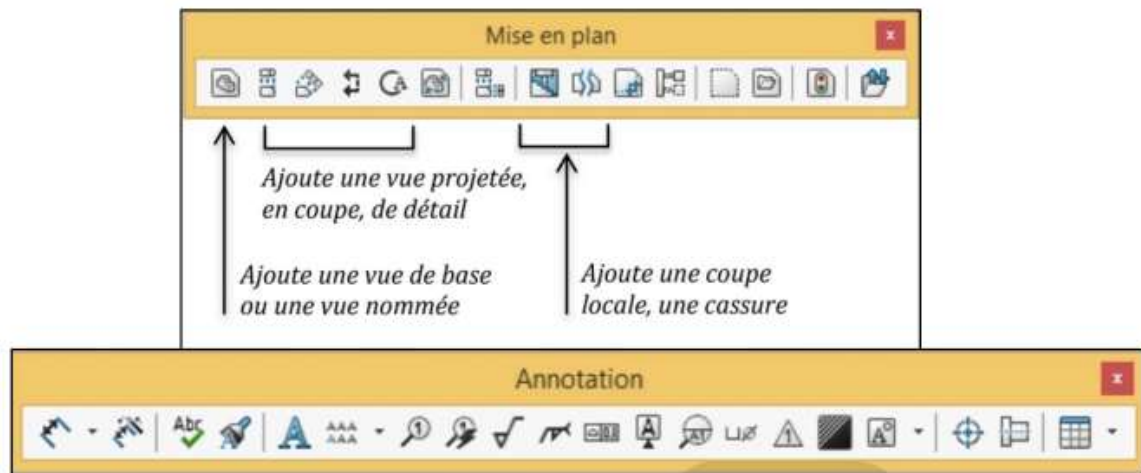


Figure IV.7: Les barres d'outil.

IV.1.4-Conception du prototype

Notre objectif est concept un séchoir solaire à base de bois qui sera composé essentiellement de deux parties :

En amont : Un capteur incliné de 45° qui convertit le rayonnement solaire en chaleur où l'air asséchant est chauffé et monte par convection forcée jusqu'à la chambre de dessiccation contenant les produits à sécher où un transfert de chaleur de l'air vers le produit et un transfert de masse du produit vers l'air se produisent au cours du parcours du fluide.

En aval : Un extracteur d'air sera fixé afin de renouveler l'air de l'enceinte et d'aspirer l'air sortant du capteur solaire.

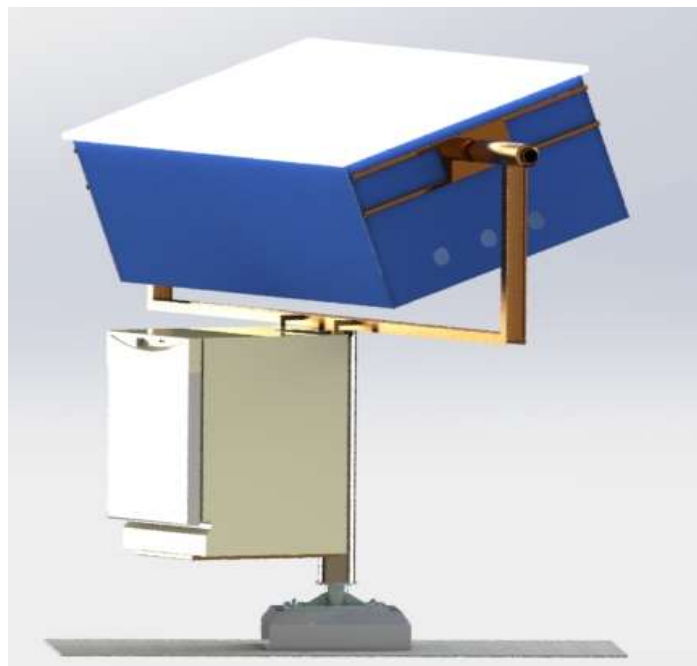


Figure IV.8: Le prototype du séchoir solaire .

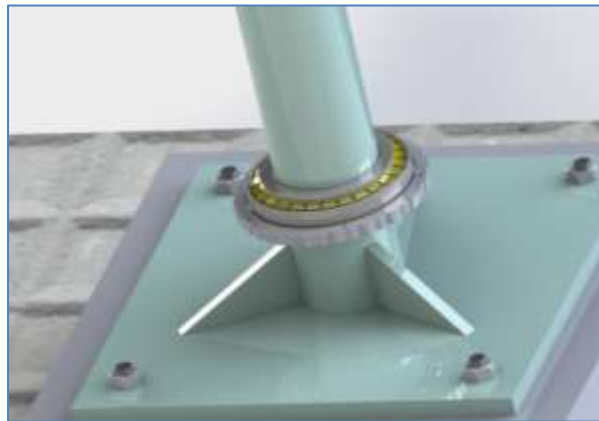


Figure IV.9: support de base de fixation en acier

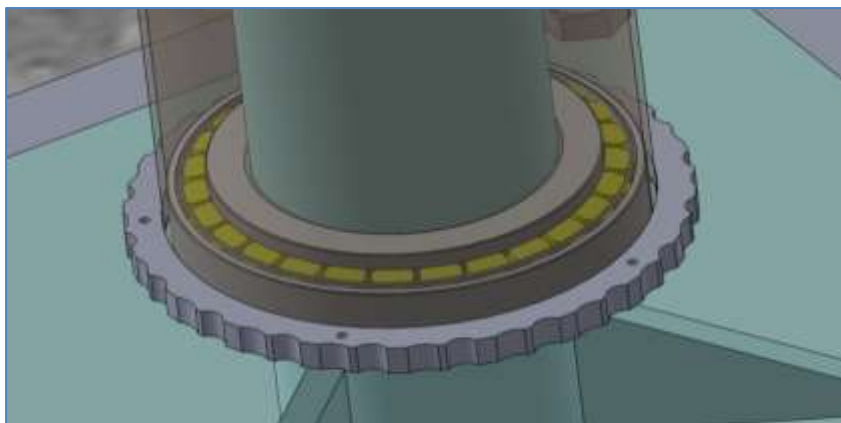


Figure IV.10: roulement conique



Figure IV.11 : tube externe



Figure IV.12 : tube interne

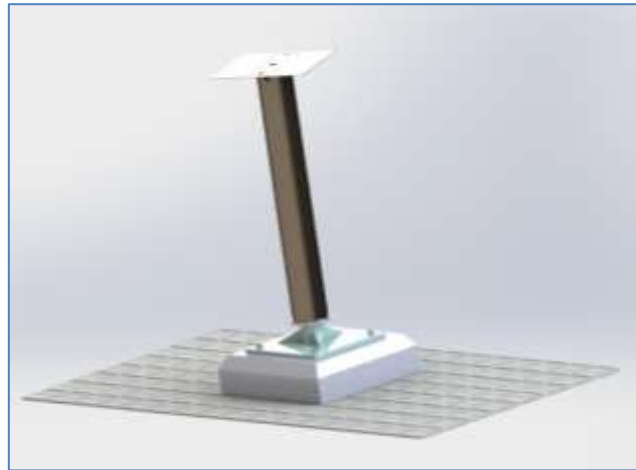


Figure IV.13 : support

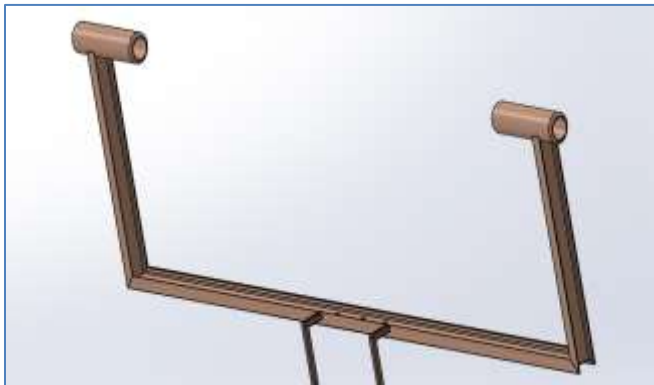


Figure IV.14 : support de box



Figure IV.15 : support de frigidaire

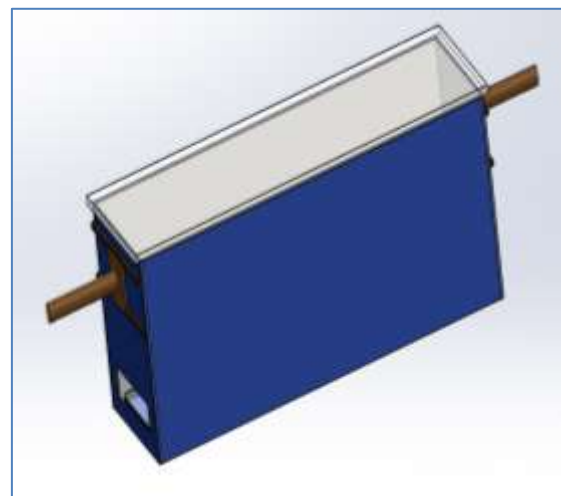


Figure IV.16 : box

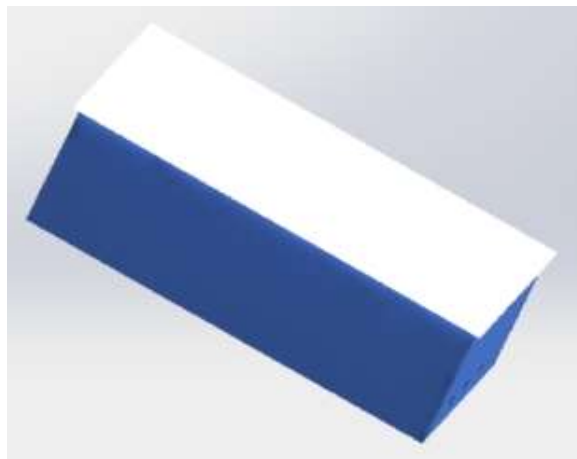


Figure IV.17 : covercle en verre

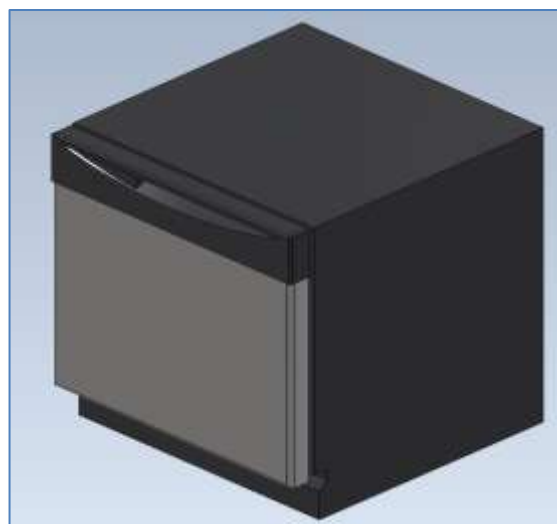


Figure IV.18 : chambre de séchage

IV.1.5.Présentation du séchoir solaire

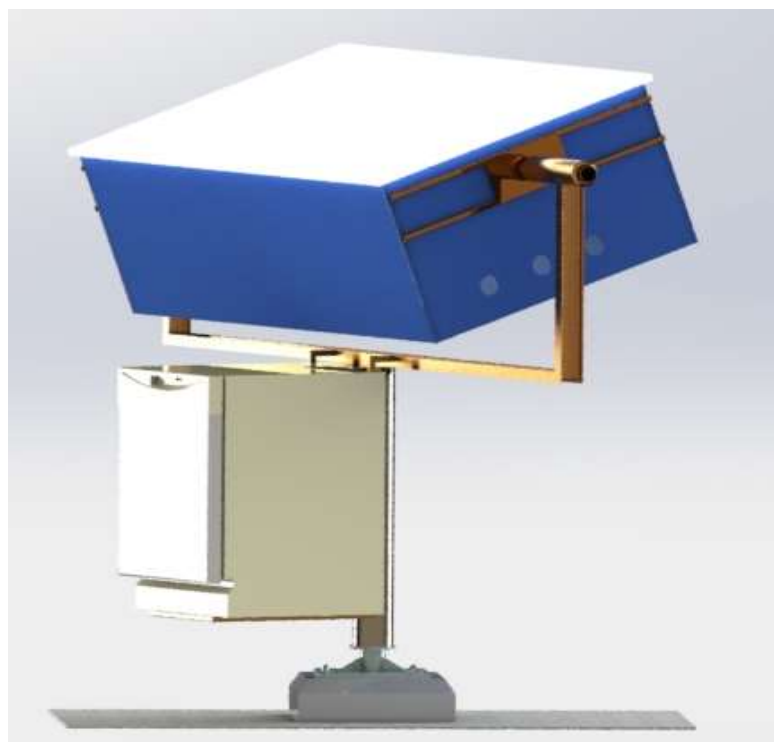
Le montage de la figure (IV.22) a été prévu pour la chaleur solaire de notre région. Nous avons pris en considération un angle de 30° que nous avons déterminé en fonction de la position moyenne du soleil, le séchoir alimentaire solaire est fait de telle manière que les rayons du soleil ne puissent pas atteindre directement son contenu.

Il y a aussi bien un courant d'air chaud de convection, qu'une chaleur radiante, cette dernière résultante de la plaque peinte en noir mate, positionnée derrière le verre, cette dernière est placée de sorte qu'elle reste une ouverture en haut de la boîte à environ 10 cm, permettent à l'air chaud d'entrer dans la boîte.

À l'intérieur du caisson sur le bas de la paroi latérale se trouve un extracteur qui permet d'extraire l'air humide vers l'extérieur.

La boîte est faite en bois multicouche, à l'intérieur, il y a trois supports de séchage, couvert d'un filet de protection, le plus grand support est situé en bas, et le plus petit est au-dessus.

On présente dans la figure (IV.22) une vue éclatée du prototype du séchoir solaire



!:

Figure IV.19 : Vue éclatée du séchoir solaire.

IV.2 Deuxième partie : Réalisation d'un circuit de commande de suiveur solaire

IV.2.1.Introduction

Pour arriver à un rendement meilleur de séchage, de conservation d'aliments et d'assurer la continuité de cette opération, et pour diminuer aussi l'erreur humaine, on remplace les actions et la surveillance de l'homme par une commande automatique réalisée par un logiciel sur un micro-ordinateur.

IV.2.2.Les éléments qui composent la partie automatique :

La partie automatique se compose de trois éléments principaux :

IV.2.2.1.l'arduino

C'est une carte électronique qui sert à lire des informations et d'exécuter ce qui est demandé selon un programme étudié.

La carte *Arduino Uno* est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus simple et la plus économique carte à microcontrôleur d'Arduino. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enficher une série de modules complémentaires.

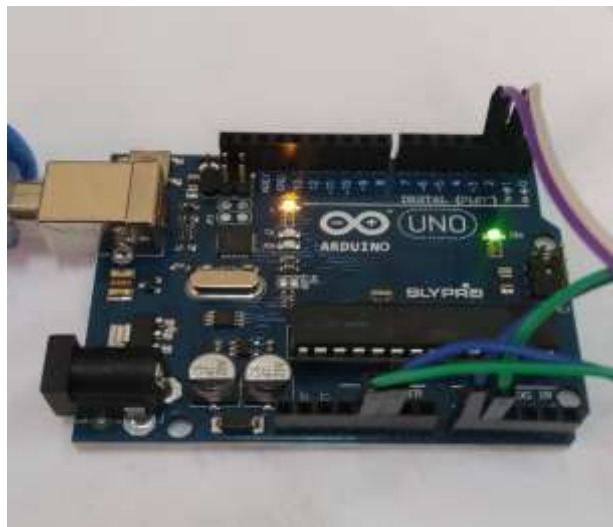


Figure IV.20 : Carte ARDUINO.

❖ Caractéristiques principales :

Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> - via port USB ou - 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm
Microprocesseur	ATmega328
Mémoire flash	32 kB
Mémoire SRAM	2 kB
Mémoire EEPROM	1 kB
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> - 14 broches d'E/S dont 6 PWM - 6 entrées analogiques 10 bits - Bus série, I2C et SPI
Intensité par E/S	40 mA
Cadencement	16 MHz
Gestion des interruptions	/

Fiche USB B	/
Version	Rev. 3
Dimensions	74 x 53 x 15 mm

Tableau IV.1: Caractéristiques la carte ARDUINO.

IV.2.2.2. La photo cellule

Un condensateur mica argenté 6.8pF 500V avec une tolérance de 0.5pF. Ce condensateur est un composant de haute précision, de haute stabilité et de haute fiabilité qui a des dimensions compactes et offre une résistance élevée à l'humidité. Le condensateur est idéal pour une utilisation dans les circuits haute fréquence et RF.

- Construction en mica trempé dans l'époxy
- Présenter très peu de dépendance à la tension
- Facteurs de puissance Q/faible élevés indépendants de la fréquence
- Plage de température étendue



Figure IV.21: Condensateur.

❖ Caractéristique principales

Capacité	6.8pF
Taille	12 x 6 x 10.5mm
Matériel	Mica
Température de fonctionnement	-55 to +125°C
Tanguer	6mm
Tolérance	10%
Type	Plomb radial
Tension	500V

Tableau IV.2: Caractéristiques le condensateur.

Elle sert à fermer ou ouvrir un circuit électrique pour donner un signal (01)

IV.2.2.3.-Rotor électrique

C'est un vérin à tige filetée tournée par un moteur électrique alimenté par 12 v qui permet de tourner le capteur de rayonnement solaire selon le mouvement du soleil du lever au coucher du soleil. Le rotor est limité par deux fins de course (max-min).

IV.2.2.4 : Relais

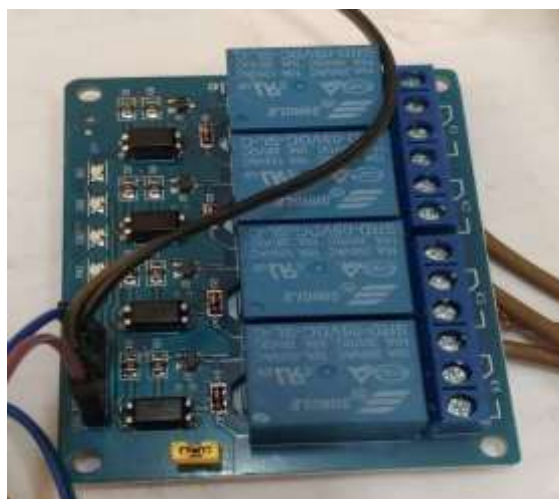


Figure IV.22 : Relais (4 canaux - 5V).

Ce module relais se compose de 4 relais. Chaque relais est connecté à un tampon de courant afin que vous puissiez les connecter directement à un microcontrôleur ou à un Arduino.

En utilisant ces relais, vous pouvez facilement contrôler des appareils ou des appareils haute puissance à l'aide d'arduino ou de microcontrôleurs, le relais est évalué pour 230V 10Amps. Le module dispose de 5 LED, une pour l'alimentation et 4 pour indiquer les signaux de relais.

❖ Spécifications

- Puissance nominale : 10A (250V AC ou 30 V DC)
- Tension d'entrée (contrôle) : 5V DC

IV.2.2.5 : carte de liaison

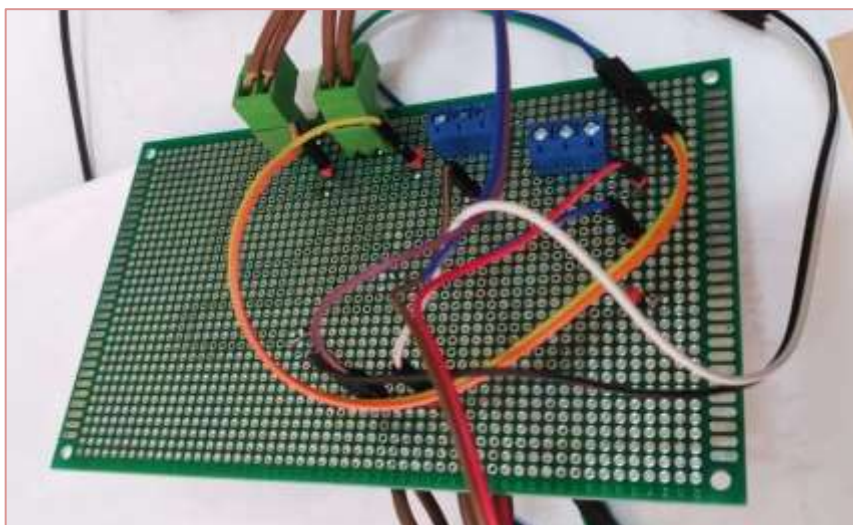


Figure IV.23 : carte de liaison

IV.2.3. Fonctionnement du système automatique :

Si on accorde l'arduino et la photo cellule avec le rotor, on arrivera à assurer le mouvement automatique qui commence par la capture de l'éclairage solaire par la photo cellule qui ouvre le circuit pour donner un signal à l'arduino qui passe à son tour l'ordre au relai électrique qui alimente le moteur électrique du rotor. Ce dernier oriente le système de capture solaire vers le rayonnement solaire.

IV.2.3.1 Les schémas électriques qui configurent la commande automatique :

Il y a deux types de schémas électriques :

❖ Schéma électrique à quatre photos cellule :

Dans ce cas, on utilise quatre photos cellule pour diviser la rotation du système de capture solaire en quatre positions qui permettent de prendre quatre positions de rayonnement solaire au lieu de deux. Il est plus précis que celui de deux. Voir Fig(IV.24).

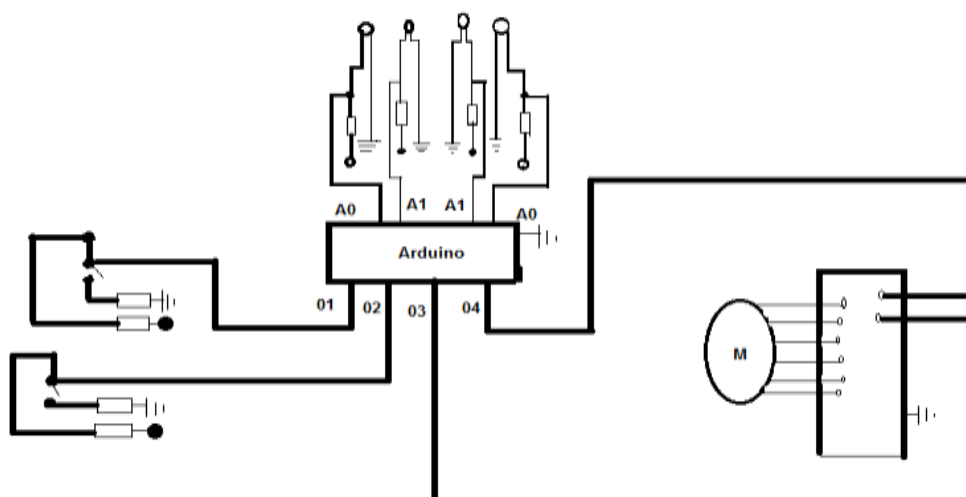


Figure IV.24 : Schéma électrique à quatre photos cellule

❖ **Schéma électrique à deux photos cellule**

Dans ce cas, on utilise deux photos cellule pour orienter le système de capture solaire vers deux positions (est/ouest ou ouest/est). Voir Fig. (IV.25).

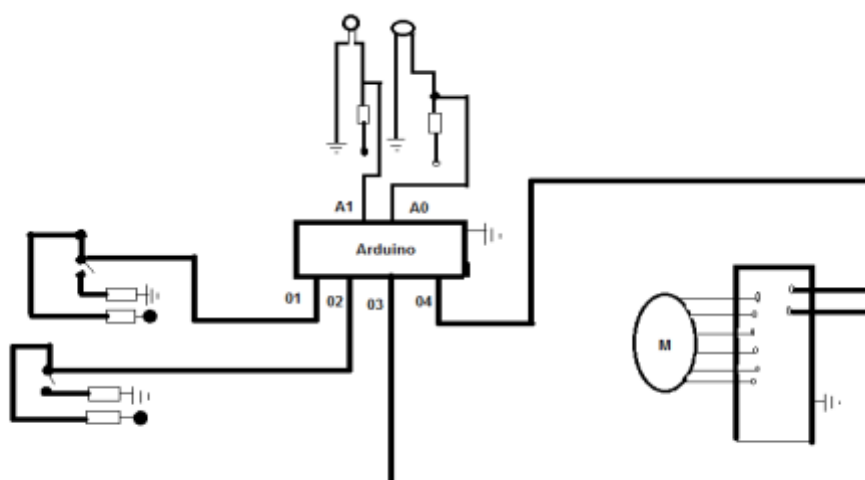


Figure IV.25 : Schéma électrique à deux photos cellule

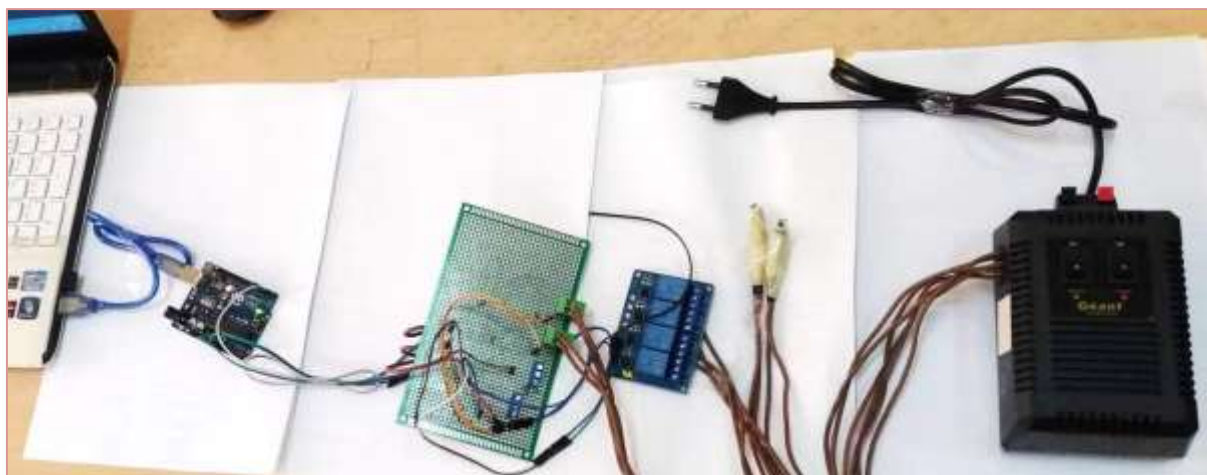


Figure IV.26 : circuit d'arduino

IV.2.4. Test d'essai de fonctionnement de circuit de commande de suiveur solaire

On a monté la commande automatique (boite de circuit d'arduino- rotor-photo cellule-transformateur d'alimentation) sur le séchoir pour tester le mouvement du système automatique. Le système automatique du suiveur solaire fonctionne au moment d'alimentation au courant électrique. On a remarqué que la rotation a commencé vers le sens du soleil. Ce qui montre que la photo cellule a donné un signal à l'arduino qui donne à son tour l'ordre au relai d'alimenter le rotor qui fait tourner le séchoir vers le sens du soleil. Et ce mouvement s'arrête au moment du contact de fin de course de la position base.

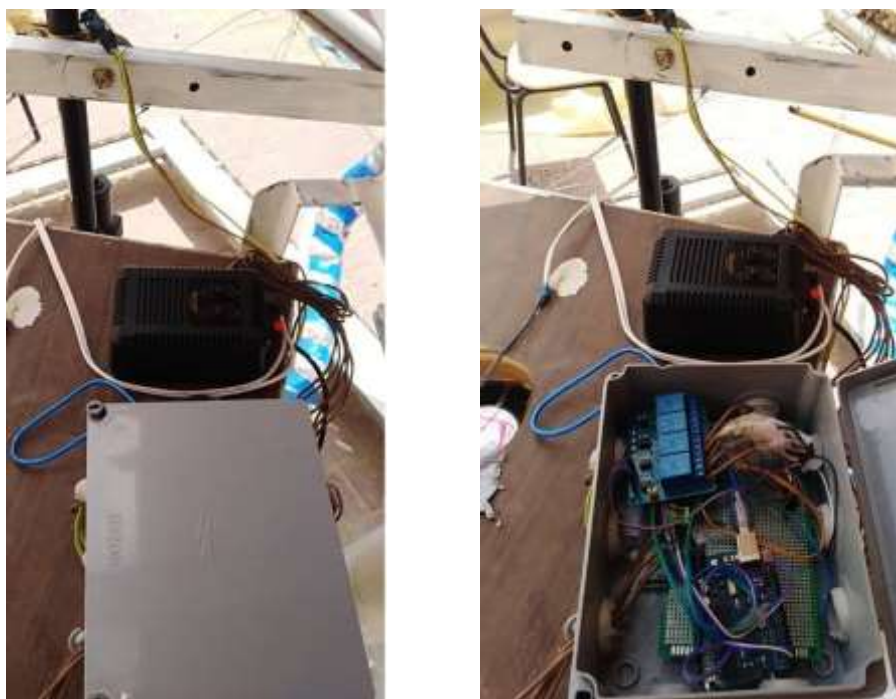


Figure IV.27 : Test d'essai de fonctionnement de circuit de commande de suiveur solaire



Figure IV.28 : Test d'essai de fonctionnement des cellules photovoltaïques du suiveur solaire

IV.3 Troisième partie : Le Test expérimental de séchage d'Abricot

IV.3.1 Les étapes de préparation conseillées d'Abricot : *la journée 02/06/2022*

Afin d'obtenir un échantillon d'abricots d'un poids net de **200 g**, les étapes préparatoires suivantes doivent être suivies

- Epluchage
- Dénoyautage
- Découpage en deux des tranches de moins de **1 cm d'épaisseur**
- Mettre directement dans le séchoir
- Ensuite, ces tranches ont été placées séparées les unes des autres sur un filet de fer de poids de **90g**.



Figure IV.29: abricot avant séchage

IV.3.2 Paramètre de séchage d'abricot :

<i>Nom du produit</i>	<i>ABRICOT</i>
Ingrédients	Eau, bicarbonate, potassium
Teneur en eau initiale	85 %
Teneur en eau finale recommandée	15 % à 18 %
Température maximale	65°C
Rapport de séchage	1/4 à 1/5
Critère de fin de séchage	Produit flexible coriace
Conservation	1 à 2 ans maximum

Tableau IV.3 : caractéristique abricot



Figure IV.30 : abricot après séchage

IV.3.3 Paramètre Résultats et Discussion : la journée 02/06/2022

Les résultats obtenus sont extraits expérimentalement puis discutés et interprétés. Ainsi, dans ce chapitre

IV.3.3.1. Commentaire et description des courbes de test : Courbes : T1, T2, T3, T_{amb} à la fonction du temps :

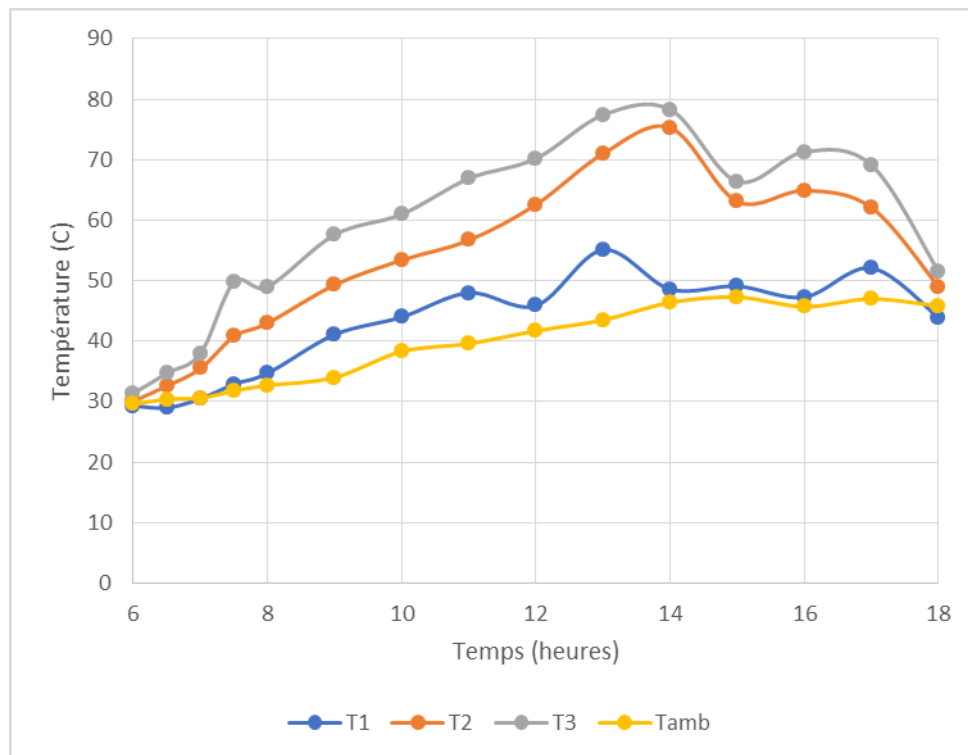


Figure IV.31: Le courbe de Température (C) T₁-T₂-T₃

➤ Interprétation :

Tamb : température ambiante

T1: température à la rentre du Collecteur

T2: température au milieu du Collecteur

T3: température à la sortie du Collecteur

On remarque sur ces courbes en fonction du temps que les trois températures sont presque égales au lever et au coucher du soleil. Ce qui confirme que l'irradiation solaire est faible à l'absence du soleil.

On remarque aussi que la température T1 est plus proche que celle de Tamb. Ce qui montre l'augmentation de T2, T3 par rapport à T1 à cause du capteur solaire.

• **IV.3.3.2. Commentaire et description des courbes de test : Courbes : T4, T5, T6**

Tamb à la fonction du temps :

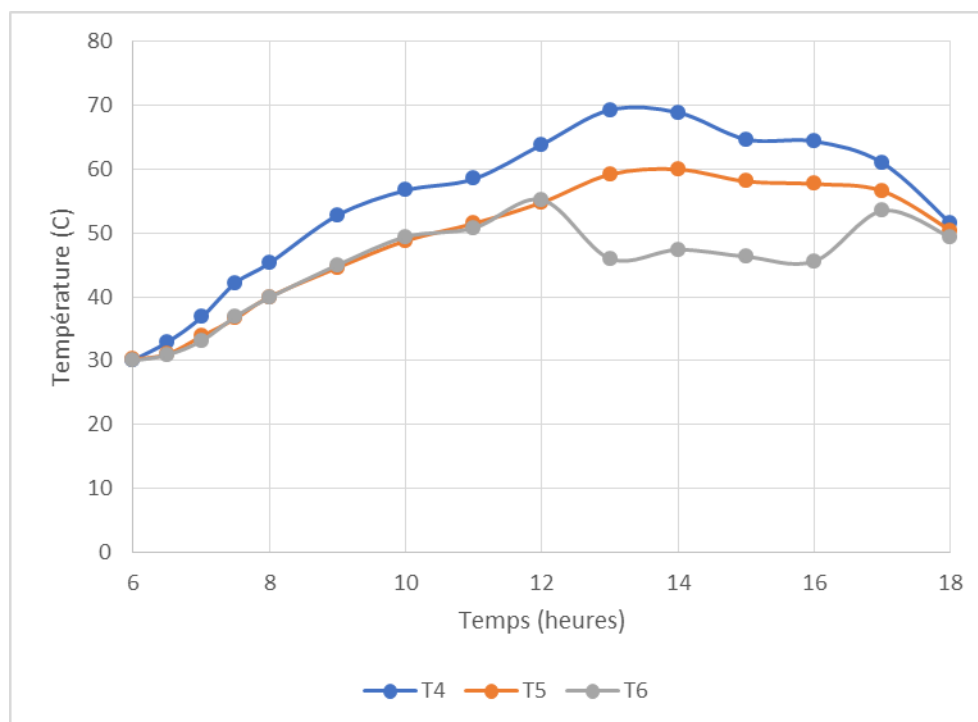


Figure IV.32 : La courbe de Température T4-T5-T6

➤ Interprétation :

- **T4** : température à la rentre de chambre de séchage
- **T5** : température au milieu de chambre de séchage
- **T6** : température à la sortie de chambre de séchage

On remarque que la température au rentré du séchoir (T4) commence par une valeur élevée que celle de T5 et T6. C'est-à-dire la quantité de chaleur est absorbée par l'échantillon abricot

On remarque aussi que La température T6 est plus proche que la température température au milieu de chambre de séchage. Ce qui confirme l'absorption de chaleur par l'échantillon abricot séché.

IV.3.3.3. Commentaire et description des courbes de test : Courbe d'irradiation solaire :

La caractéristique de la suivie du soleil a permis le commencement tôt de l'expérience à partir de 6 heures du matin. Les valeurs ont été très remarquables à partir de 6 heures 30 mn et cela grâce à la suivie du soleil automatiquement. Celles-ci élevées de 7 heures à 17 heures et ont commencé à diminuer au coucher du soleil. La valeur maximale du rayonnement a permis

une augmentation de la température du séchoir et dans la chambre de séchage et par cela, au rendement du séchage.

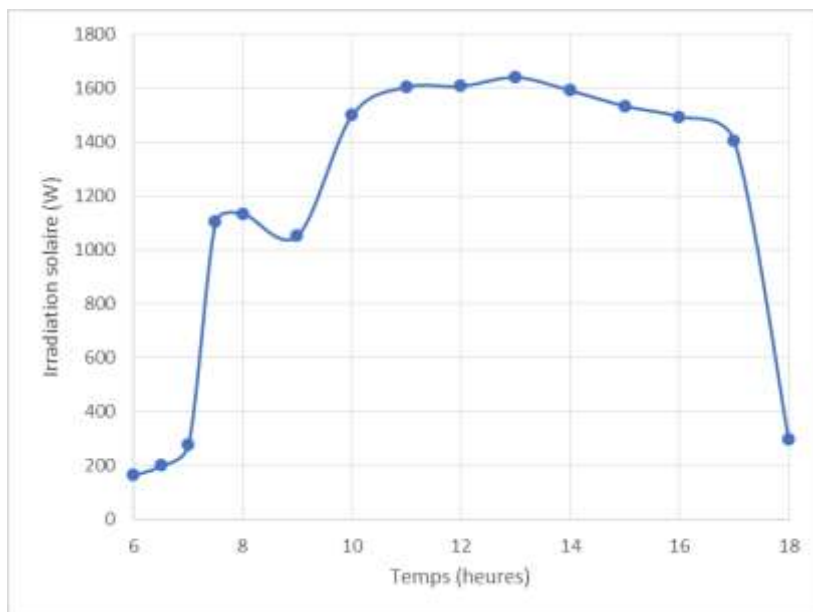


Figure IV.33: Le courbe d'Irradiation solaire (W)

IV.2.3.4. Commentaire et description des courbes de test : Courbe de vitesse de vent :

Ce jour-là (jour de l'expérience), la vitesse de vent était instable (de 6 heures à 18 heures) et elle était très basse, dans la plupart du temps. Et cette faiblesse de vitesse ($V_{\max} 3\text{m/s}$) de vent n'a pas aidé dans l'opération de mouvement de l'aire chaude dans le système de séchage (séchoir et chambre de séchage).

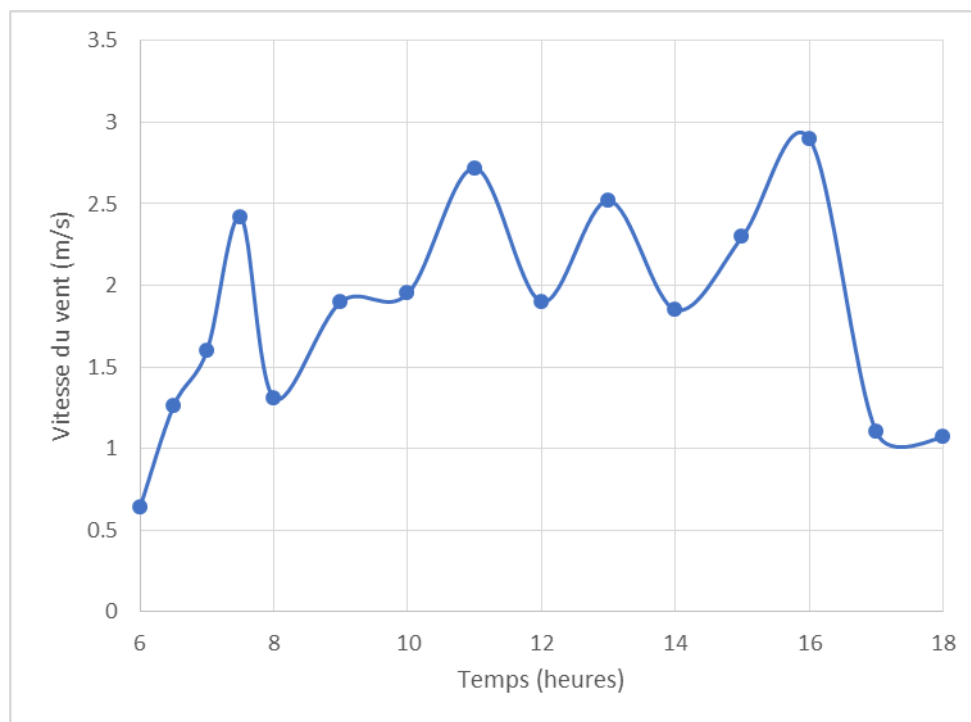


Figure IV.34: Le courbe de Vitesse du vent (m/s)

IV.2.3.5.-Commentaire de résultats de masse d'échantillon d'abricot :

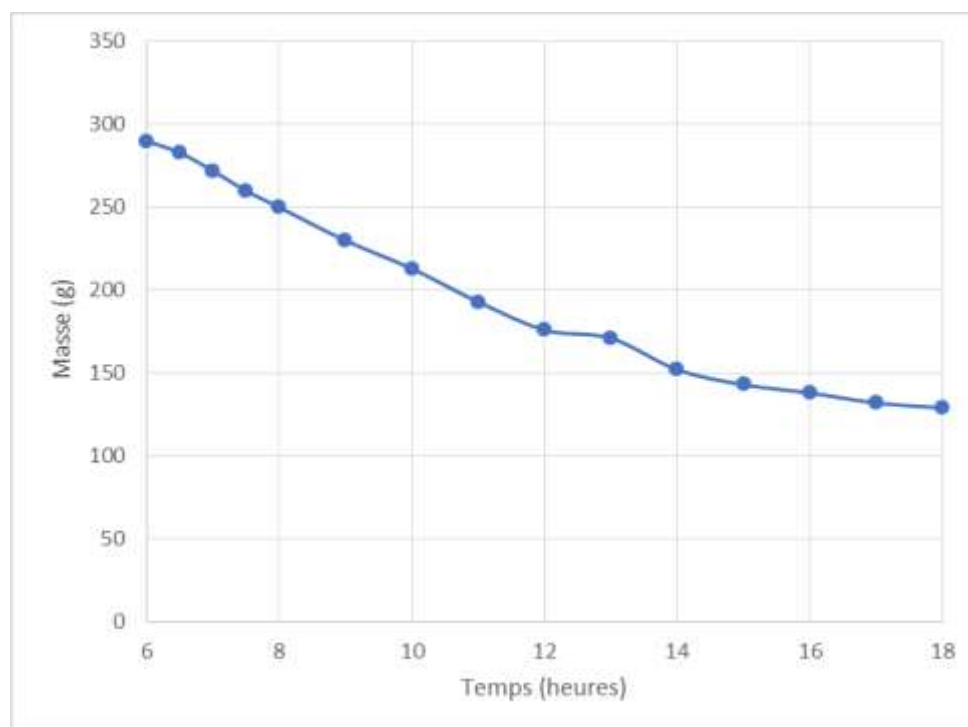


Figure IV.35 : La courbe de Masse net + pois de fil de fer 90g (g)

D'après la courbe de masse d'abricot séché comparée au tableau des caractéristiques naturelles de l'abricot, on déduit qu'il y a une perte d'eau pendant la période de temps entre 6 heures jusqu'à 17 heures; et que l'abricot à la fin du jour, perd l'eau jusqu'à 17% de 85% teneur d'eau du départ de séchage et que les 17% qui restent, montrent la réussite du prototype du séchage et la réussite de séchage d'abricot que la masse finale 35g équivalente à 17% est dans le norme (15% - 18%)

IV.3.4. -Conclusion

A la fin de l'expérience, et d'après la réussite de prototype et le séchage d'abricot on peut dire que ce prototype permet d'assurer la conservation des aliments d'une manière isolée de tout facteur extérieur qui peut changer les caractéristiques naturelles des aliments. Par ceci, on peut dire qu'on a assuré au consommateur des aliments conservés d'une manière sanitaire et naturelle.

Conclusion générale

Le séchage des aliments améliore leur durée de vie et minimise les pertes durant le stockage, et diminue leur coût de transport. Dans le but de bien maîtriser les techniques de séchage, nous avons procédé à la réalisation d'un séchoir solaire plan et dans le but d'avoir les critiques sur cette réalisation et de connaître les modifications et les corrections qu'il faut apporter à cette réalisation.

Dans ce travail, une étude expérimentale a été faite de mettre en œuvre un modèle d'un séchoir solaire plan avec suiveur solaire à l'aide d'une méthode de commande automatique *Arduino* pour le séchage des produits alimentaires

Le système automatisé (séchoir, contrôle automatique) a été préparé et testé pendant une journée de 6h00 à 18h00. ce modèle réussi a été réalisé en séchage.

Et selon le succès du prototype et du séchage des abricots, on peut dire que ce prototype de séchoir solaire donne des résultats très satisfaisants dans le processus d'avancement du séchage car cette méthode de séchage permet pour s'assurer que l'aliment est conservé à l'abri de tout facteur extérieur pouvant conduire à modifier les propriétés de l'aliment naturel. Grâce à cela, on peut dire que le consommateur était assuré de conserver les produits alimentaires de manière saine et naturelle.

Bibliographie

- [1] P. Henri Communay, "Héliothermique: legisement solaire methodes et calculs", Groupede recherché et d'édition. 2002.
- [2] C. Zidani, F. Benyarou et B. Benyoucef, "Simulation de la position apparente dusoleil etestimation des énergie solaires incidentes sur un capteur plan pour la ville de Tlemcen enAlgérie", Rev. Energ. Ren, Vol.6, pp. 69-76, 2003.
- [3] A. Baig, P. Akhter and A. Mufti, "A novelapproech to estimate the clear day globalradiation", Renewable Energy, Vol.1, pp. 119-123, 1991.
- [4] EL H. Aroudam, M. EL Hammouti and H. Ezbakhe, "Determination of correlations ofsolar measured in Tetouan", Renewable Energy, Vol.2, No. 4/5, pp. 473-476, 1992.
- [5] A. Mechagrane, M. Chaoui-Roquai, J. Buret-Bahraoui, "Modèle d'estimation de l'irradiation solaire globale d'une surface horizontale au sol à partir des images satellitaires", Journal de physique III, Vol.3, pp.1005-1019, 1993.
- [6] A. Moumami, N. Hamani, N. Moumami et Z.Mokhtari, "Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra", 8ème Séminaire International sur la Physique Energétique, Centre Universitaire de Béchar- Algérie, 11, 12 Novembre 2006.
- [7] Y. Jannot, "Thermique solaire", Octobre 2003.
- [8] Amelin et Souriau, 2014 : Fabrication de cuiseurs et de séchoirs solaires, CTA.
- [9] Bonazzi et Dumoulin, 2011: "Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes."
- [10] Bonazzi, C., E. Dumoulin, et al., 2008: "Le séchage des produits alimentaires." Industrie Alimentaire Agricole 125(03-04): 12-22.
- [11] Boroze, T. T. E, 2011: "Outil d'aide à la conception de séchoirs pour les produits agricoles tropicaux."
- [12] Boulemtafes, A, 2011: "Le séchage solaire des produits agricoles."

-
- [13] Boulemtafes et Benaouda, 2006: Le Séchage Solaire des Plantes Médicinales et Aromatiques-Application au Séchage de la Menthe, 1er Séminaire Maghrébin sur les Sciences et Technologies de Séchage, 'SMSTS.
- [14] Cruz, J.-F et al., 1988 : Conservation des grains en régions chaudes, Ministère de la coopération et du Développement.
- [15] Cronquist, A. and A. L. Tahtadzhi an (1981). An integrated system of classification of flowering plants, Columbia University Press.
- [16] D. Jain and G.N. Tiwari, 'Thermal Aspects of Open Sun Drying of Various Crops', Energy, Vol. 28, N°1, pp. 37 – 54, 2003.
- [17] G. Wisniewski, 'Market Development of the Solar Crops Drying Technologies in Poland and Europe', Renewable Energy, Vol. 16, N°1, pp. 1278 – 1283.
- [18] J. Kiebling and T. Solare, 'Eine Tabellarische Übersicht' (in German), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, OE 402.2, Information and Advisory Service for Appropriate Technology (ISAT), Projekt Number: 88.2000.3-03-100, 1996.
- [19] R.J. Fuller, 'A Review of Solar Drying of Fruit, Vegetables and Other Food Crops', Australia: Agriculture Victoria (A division of the Dept. of Natural Resources and Environment), 1995.
- [20] O.V. Ekechukwu and B. Norton, 'Review of Solar-Energy Drying Systems II: An Overview of Solar Drying Technology', Energy Conversion and Management, Vol. 40, N°6, pp. 615 – 655, 1999.
- [21] FAO. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 'Assessment Collection of Data on Post-Harvest Food-Grain Losses', Econ. Social Development Paper 13, pp. 1 – 70, 1980.
- [22] International Labour Organization, ILO, 'Solar Drying: Practical Methods of Food Preservation', International Labour Office-Geneva, 1986.

Résumé

Dans ce travail nous avons réalisé une étude expérimentale, et selon le succès du prototype et du séchage des abricots, on peut dire que ce prototype de séchoir solaire donne des résultats très satisfaisants dans le processus d'avancement du séchage car cette méthode de séchage permet pour s'assurer que l'aliment est conservé à l'abri de tout facteur extérieur pouvant conduire à modifier les propriétés de l'aliment naturel. Grâce à cela, on peut dire que le consommateur était assuré de conserver les produits alimentaires de manière saine et naturelle.

Mots clés : séchage solaire, séchoir solaire, capteur solaire, processus de séchage,

الملخص

في هذا العمل قمنا بإجراء دراسة تجريبية، ووفقاً لنجاح النموذج الأولي وتجفيف المشمش، يمكننا القول إن هذا النموذج الأولي من المجفف الشمسي يعطي نتائج مرضية للغاية في عملية تقدم التجفيف لأنه هذه الطريقة في التجفيف يسمح بضمان أن يتم حفظ الغذاء بمعزل عن أي عوامل خارجية قد تؤدي إلى تعديل خصائص الغذاء الطبيعي. بفضل هذا، يمكن القول إن المستهلك كان مطمئناً إلى الحفاظ على المنتجات الغذائية بطريقة صحية وطبيعية.

الكلمات المفتاحية: التجفيف الشمسي، المجفف الشمسي، المجمع الشمسي، حركية التجفيف

Abstract:

In this work we carried out an experimental study, and according to the success of the prototype and the drying of apricots, we can say that this prototype of solar dryer gives very satisfactory results in the process of drying progress because this drying method allows to ensure that the food is kept safe from any external factor that could lead to modifying the properties of the natural food. Thanks to this, it can be said that the consumer was assured of preserving the food products in a healthy and natural way.

Key words: solar drying, solar dryer, solar collector, drying process.