

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

Université EchahidHamma Lakhdar d'El-Oued



FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENTDEGENIEMECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTERACADEMIQUE

Domaine: Technologie

Filière: Electromécanique

Spécialité: Electromécanique

Thème

**Étude, Conception et Réalisation d'un Suiveur
Solaire destiné au séchage thermique**

Devant le jury composé de:

- Bebboukha Mouhamed
- Benomar Afaf
- Miloudi Khaled

Président
Examineur
Encadreur

Présenté par:

- Laib Ayoub
- Memmi Abdelhafid
- Ghemam Amara Abdelouahab
- Dogga Oussama

Année Académique 2023-2024



Remerciement

*Mes remerciements vont
premièrement au Dieu Le tout Puissant
pour la volonté,
la santé, et la patience, Qu'il nous a
donnée tout au long de nos années d'étude.*

*Nous tenons exprimer nos vifs
remerciements à notre promoteur Mr :
Khaled Miloudi pour ses judicieux
conseils, sa patience, sa persévérance toute
la
période de notre projet.*

*Nos remerciements les plus vifs vont
aussi à nos enseignants du département de
génie mécanique, faculté de la
technologie, université HammaLakhder
d'ElOued.*

*Nous remercions tous nos collègues
et mes amis pour leurs assistance et
soutiens, et tout ceux qui ont
contribué de proche ou de loin à la
réalisation de
ce travail.*



Dédicace

Louange à Allah et prière sur le bien-aimé Prophète Muhammad, ainsi que sur sa famille et ses compagnons. Après cela, louange à Allah qui nous a accordé le succès pour franchir cette étape dans notre parcours académique avec cette thèse, fruit de l'effort et de la réussite.

À celui que Dieu a honoré de majesté et de dignité, à celui qui m'a enseigné à donner sans rien attendre en retour, à celui dont je porte le nom avec fierté, mon cher père, et à mon ange dans la vie, à la signification de l'amour et de la tendresse (ma chère mère).

À toute ma précieuse famille, à mes enseignants et à tous ceux qui m'ont soutenu dans mon parcours académique.

AYOUB





Dédicace

À celui dont la vie est un exemple noble et la pensée, une lumière éclairante, car il a été le premier à contribuer à ma réussite dans l'enseignement supérieur (mon cher père), que Dieu prolonge sa vie.

À celle qui m'a guidé sur le chemin de la vie, qui m'a nourri de courage et m'a pris sous son aile jusqu'à ce que je devienne grand (ma chère mère), que Dieu agrée son âme.

À mes frères, qui ont eu un impact considérable dans surmontée de nombreuses difficultés et obstacles.

À tous mes chers professeurs, qui n'ont pas hésité à me tendre la main en toute circonstance.

OUSSAMA





Dédicace

Louange à Dieu par Sa grâce s'accomplissent les bonnes actions. Ô Seigneur, à Toi la louange jusqu'à ce que Tu sois satisfait, et à Toi la louange et le remerciement une fois que Tu es satisfait, et à Toi la louange et le remerciement après cette satisfaction. Après cela, Je dédie ma graduation à celle à qui le Seigneur - Gloire à Lui - a réservé le paradis sous ses pieds et l'a honorée dans Son noble Livre...

(Ma chère mère).

*À celui qui nous a quittés il y a des années,
(Mon vénéré père). Que Dieu ait pitié de lui.*

À ma respectée famille, mes proches, mes compagnons de route et à tous les professeurs qui ne nous ont jamais refusé leur aide, même un peu, je leur présente mes sincères remerciements et mon respect.

Et je prie Dieu, le Puissant et le Majestueux, de faire de ce travail une lumière pour tout étudiant en quête de connaissance.

ABD ELOUAHAB





Dédicace

Par la grâce et la miséricorde de Dieu, nous cherchons refuge, Le louons, et adressons nos prières au meilleur de Ses créatures, le bien-aimé Prophète, ainsi qu'à sa famille, ses compagnons et ceux qui les ont suivis dans la bienfaisance jusqu'au Jour du Jugement dernier. Des expressions de gratitude et de reconnaissance pour ce moment particulier dans ma vie, qui s'est produit grâce à la providence et à la volonté divine. Un salut spécial du fond du cœur à ma chère mère, qui a toujours été une bougie éclairant mon chemin de sa tendresse et de son soutien constant, ainsi qu'à mon défunt père qui a été une lumière dans ma vie. Son souvenir reste gravé dans mon cœur. Que Dieu ait son âme et lui accorde les plus hauts degrés du paradis. Je suis fier du soutien de ma noble famille, des conseils de mes excellents professeurs qui ont partagé avec moi mon voyage éducatif avec tout leur intérêt et dévouement, ainsi que de l'amitié de mes fidèles amis. Merci à vous tous pour votre présence dans ma vie et votre soutien constant.

ABD ELHAFID



Table des matières

Remerciement.....	
Dédicace.....	
SOMMAIRE.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I :Généralités sur le séchoir solaire	4
1.1. Introduction	5
1.2. Historique du développement des séchoirs solaires	5
1.3. Importance et avantages du séchage solaire	12
1.3.1. Importance	12
1.3.2. Avantages et Inconvénients	12
1.4. Principes de fonctionnement d'un séchoir solaire	13
1.5. Études techniques sur les composants électromécaniques	14
1.6. Applications et domaines d'utilisation des séchoirs solaires	15
1.6.1. Applications du séchage solaire	15
1.6.1.1. Le séchage solaire agricole	15
1.6.1.2. Le séchage solaire industrielle	15
1.6.2. Domaines d'utilisation des séchoirs solaires	15
1.6.2.1. Industrie agroalimentaire	16
1.6.2.2. Industrie du bois	16
1.6.3. Industries alimentaires et pharmaceutiques	16
1.6.4. Industrie papetière	16
1.6.5. Bouchons de liège	17
1.7. Études de cas de séchoirs solaires existants	17

1.7.1. Les séchoirs solaires directs	17
1.7.2. Type de séchoirs directs	18
1.8. Conclusion	19
 Chapitre II : Généralités sur les captures et la carte Arduino solaire	21
2.1. Introduction	22
2.1.1. Utilisation Les capteurs solaires	22
2.1.2. Chaîne de mesure	22
2.1.3. Rôle des capteurs solaire	23
2.1.4. Caractéristiques d'un capteur	23
2.2. Principes de fonctionnement des capteurs	23
2.3. Types de capteurs utilisés dans les applications solaires	24
2.3.1. Capteurs solaires non-concentrateurs ou stationnaires	24
2.3.1.1. Capteurs solaires plans	24
2.3.1.2. Capteurs à air	25
2.3.1.3. Capteur sous vide	26
2.3.2. Capteurs solaires concentrateurs	27
2.3.2.1. Concentrateur cylindro-parabolique	27
2.3.2.2. Concentrateur parabolique	28
2.3.2.3. Centrale à tour	28
2.4. Sélection des capteurs pour le suiveur solaire	29
2.4.1. Définition d'un suiveur solaire	29
2.4.2. Le principe de fonctionnement du suiveur	30
2.4.3. Les type des suiveurs solaires	30
2.4.3.1. Suiveur passif	31
2.4.3.2. Suiveur actif	32
2.5. Présentation de la carte Arduino	33
2.5.1. Définition du module Arduino	33

2.5.2. Architecture de la carte	34
2.5.3. Le principe du suiveur solaire avec circuit Arduino	34
2.6. Fonctionnement et caractéristiques de la carte Arduino	35
2.6.1. Câblage et fonctionnement	35
2.6.3. Présentation matériel de la plateforme Arduino	37
2.7. Utilisation de la carte Arduino dans les systèmes de suivi solaire	37
2.7.1. Les cartes Arduino les plus utilisées	37
2.8. Avantages et limites de l'utilisation de la carte.....	38
2.9.Conclusion	39
Chapitre III : Réalisation et Test du Prototype	40
3.2. Conception détaillée du suiveur solaire	41
3.2.1. Description des composants utilisés.....	41
3.2.2.Schéma de câblage et montage physique	43
3.3. Programmation de la carte Arduino	47
3.4. Étapes de montage du prototype	48
3.4.1. Assemblage des composants électroniques	48
3.4.2. Intégration mécanique du suiveur solaire	49
3.5. Procédures de test du prototype	49
3.5.1. Méthodologie de test	49
3.5.2. Évaluation des performances du suiveur solaire	51
3.6. Analyse des résultats expérimentaux	51
3.6.1. Précision du suivi solaire	51
3.6.2. Efficacité énergétique	52
3.7. Discussion des résultats et des conclusions provisoires	52
3.8.Conclusion	54

CONCLUSION GENERALE..... 55

Bibliographie.....57

Résume.....62

Listedes figures

Figure I.1 : Schéma descriptif du dispositif utilisé Boulemtafes and Semmar 1999 [3]	6
Figure I.2: Schéma descriptif du séchoir utilisé dans la référence [2].....	6
Figure I.3: Schéma descriptif de séchoir étudié par A.A. El-Sebaï et al [3]	7
Figure I.4: Séchoir solaire avec capteur solaire multi-passe incliné et un lit profond [4].....	8
Figure I.5: Séchoir solaire indirect multi-plateaux avec capteur solaire plan [5].....	8
Figure I.6: Deux types de séchoirs utilisés dans l'étude [6].....	9
Figure I.7: : Schéma descriptif d'un séchoir solaire avec stockage thermique [7].....	9
Figure I.8: Schéma descriptif du séchoir utiliser par Khalil, Al-Juamilly et al. 2007 [8].....	10
Figure I.9 : Séchoir solaire indirecte à convection forcée [9]	11
Figure I.10: Schéma de dispositif utilisé dans le travail de (Aoues, Moummi et al.2009) [10].....	11
Figure I.11 : Mode de transfert lors du séchage.....	13
Figure I.12 : Mode de transfert lors du séchage. [18]	14
Figure I.13 : Illustration d'un séchoir solaire directe (Amelin and Souriau, 2014) [20].....	17
Figure I.14 : Le séchoir solaire intégral (Amelin and Souriau 2014) [20].....	18
Figure I.15 : Le séchoir solaire coquillage à trois claies (Menouche, 2006) [23].....	19
Figure II.1: Chaîne de mesure d'un capteur [18].....	23
Figure II.2 : Chaîne d'action d'un capteur [18].....	24
Figure II.3 : Capteur plan vitré.....	25
Figure II.4 : Capteur plan non vitré.....	25
Figure II.5 : Capteur plan à air.....	26
Figure II.6 : Capteur sous vide.....	27
Figure II.7 : Schéma d'un capteur cylindro-parabolique.....	27
Figure II.8 : Concentrateur parabolique.....	28
Figure II.9 : Centrale à tour.....	29
Figure II.10 : Panneaux avec suiveur solaire [25].....	30
Figure II.11 : Types de suiveurs solaires.....	31
Figure II.12 : Exemple et fonctionnement du suiveur passif [29].....	32
Figure II.13 : Exemple et fonctionnement du suiveur actif [31].....	32
Figure II.14 : Architecture de la carte Arduino UNO.....	34
Figure II.15 : Câblage de circuit arduino [18].....	35
Figure III.1 : Symbole et Capteur LDR	41
Figure III.2 : Connectez le Contrôleur aux moteurs.....	42

Figure III.3 : Schéma de câblage.....44

Figure III.4 : Position des capteurs LDR.....45

Figure III.5 : prototype des quatre capteurs LDR.....45

Figure III.6 : Schéma synoptique de notre suiveur du soleil.....46

Figure III.7: Constitution de la carte Arduino UNO.....48

Figure III.8: Dispositif de suivi du Soleil.....50

Listedes tableaux

Tableau I.1: Avantages et inconvénients du séchage sous séchoir solaire [11].....	12
---	----



INTRODUCTION GENERALE

Introduction Général :

Le recours aux énergies renouvelables est devenu une préoccupation majeure dans un contexte mondial marqué par les enjeux environnementaux et la nécessité de réduire notre dépendance aux combustibles fossiles. Parmi ces sources d'énergie propres et inépuisables, l'énergie solaire se distingue par son potentiel immense et sa disponibilité constante dans de nombreuses régions du globe. Dans ce cadre, l'utilisation de l'énergie solaire pour le séchage thermique représente une solution prometteuse et écologique pour de nombreuses industries agroalimentaires, agricoles et artisanales.

L'essor des technologies de séchage thermique alimenté par l'énergie solaire suscite un intérêt croissant, tant dans les pays en développement que dans les économies développées. En effet, le séchage solaire présente des avantages indéniables, notamment en termes de coûts énergétiques réduits, de préservation des nutriments et des qualités organoleptiques des produits, ainsi que de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, pour optimiser l'efficacité du séchage solaire, il est essentiel de développer des dispositifs de suivi solaire qui permettent d'orienter les capteurs solaires de manière à maximiser la réception de l'énergie solaire tout au long de la journée. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, visant à concevoir et réaliser un suiveur solaire spécifiquement dédié au séchage thermique

La conception et la mise en œuvre d'un suiveur solaire adapté au séchage thermique soulèvent plusieurs défis techniques et pratiques. Parmi ces défis figurent la précision du suivi solaire, la fiabilité des composants électroniques et mécaniques, ainsi que l'intégration harmonieuse du suiveur solaire dans les systèmes de séchage existants. Ces problématiques nécessitent une approche méthodique et une recherche approfondie pour assurer le succès de la réalisation.

Les objectifs de cette étude sont multiples. Tout d'abord, il s'agit de réaliser une analyse approfondie des besoins en matière de suivi solaire pour le séchage thermique.

Ensuite, il convient de concevoir un suiveur solaire efficace et fiable, en sélectionnant judicieusement les composants et en développant des algorithmes de contrôle adaptés. Enfin, l'objectif ultime est de mettre en œuvre un prototype fonctionnel et de le tester rigoureusement pour évaluer ses performances et sa viabilité dans des conditions réelles d'utilisation.

Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie rigoureuse sera suivie. Elle comprendra une revue de la littérature approfondie sur les technologies de séchage solaire et les dispositifs de suivi solaire existants, une phase de conception détaillée du suiveur solaire, une réalisation pratique du prototype, ainsi qu'une série de tests et d'analyses pour évaluer ses performances.

Cette méthodologie sera guidée par une approche itérative, permettant d'ajuster et d'optimiser le suiveur solaire en fonction des résultats obtenus.

Chapitre I :

Généralités sur le séchoir solaire

Chapitre I : Généralités sur le séchoir solaire

1.1. Introduction:

des défis liés à la disponibilité saisonnière des produits agricoles et propose des solutions comme l'utilisation de serres, la congélation et le séchage. Il souligne l'importance cruciale du séchage pour la préservation des aliments en réduisant leur taux d'humidité et en empêchant la croissance des micro-organismes. De plus, il met en évidence les recherches en ingénierie alimentaire, en particulier sur les méthodes de séchage solaire, et examine en détail les principes sous-jacents. Enfin, il explore divers aspects des séchoirs solaires, y compris leurs avantages, leurs catégories et leur processus de fabrication, tout en mettant en avant les avancées technologiques telles que les systèmes de suivi solaire pour le séchage thermique.

1.2.Historique du développement des séchoirs solaires

Boulemtafes and Semmar (1999)[1].Une étude a été présentée portant sur la conception et la mise en œuvre d'un séchoir indirect agricole pour le séchage des fruits et légumes. Le séchoir est constitué d'une boîte rectangulaire alimentée en air chaud par un collecteur solaire plat. La partie expérimentale consiste à examiner les caractéristiques de l'air de séchage lors de son entrée dans la boîte de séchage, notamment la température, le niveau d'humidité, la vitesse, le débit et leurs variations tout au long d'une journée typique. De plus, la formulation d'équations pour les phénomènes de transfert de chaleur et de masse se produisant pendant le séchage permet de comparer la théorie et la pratique.

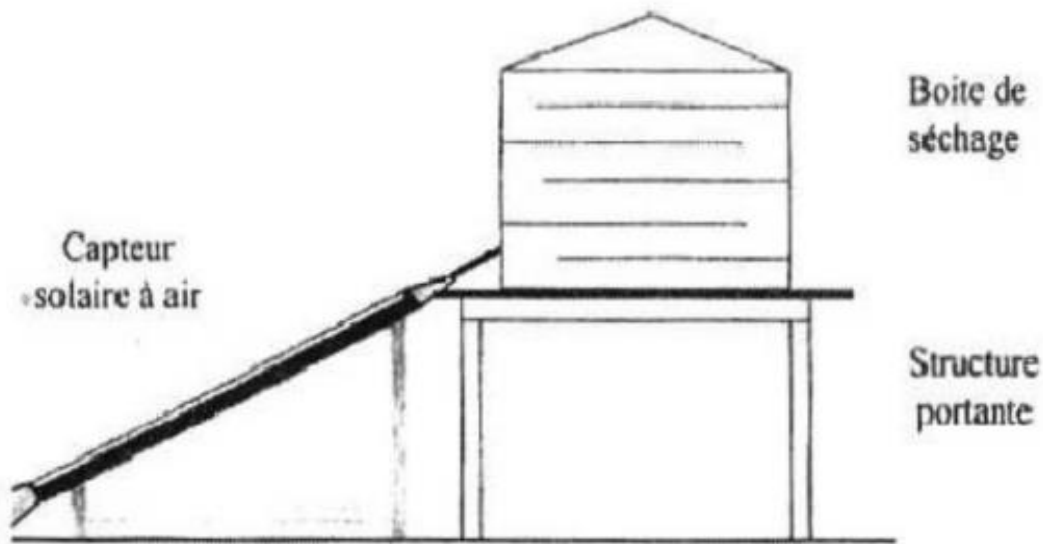


Figure I.1 : Schéma descriptif du dispositif utilisé Boulemtafes and Semmar1999 [1]

(Dilip R, Sawhney et al., 2002)[2]. a utilisé un séchoir solaire indirect fonctionnant par convection naturelle. Leur séchoir comprend un collecteur solaire et une chambre de séchage. Les résultats obtenus avec ce séchoir sont prometteurs, avec une température de sortie variant entre 50°C et 55°C. Pendant la période expérimentale s'étalant de mars à mai, ils ont noté que le séchage des raisins à l'aide de ce système prend 4 jours, alors que les méthodes de séchage traditionnelles nécessitent de 7 à 15 jours.

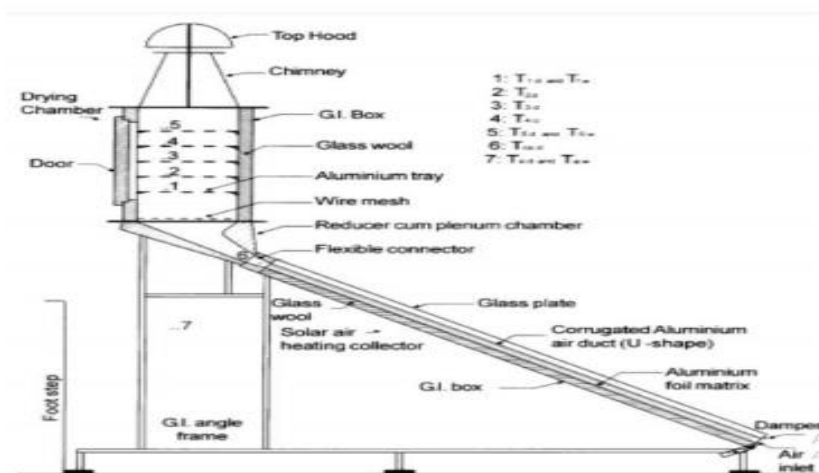


Figure I.2 : Schéma descriptif du séchoir utilisé dans la référence [2]

Chapitre I : Généralités sur le séchoir solaire

En 2002, El-Sebaï et Aboul-Enein (2002) ont entrepris une série d'expériences portant sur le séchage des figes. Les figes, préalablement coupées en tranches et traitées chimiquement, ont été soumises à un processus de séchage dans un séchoir solaire indirect.

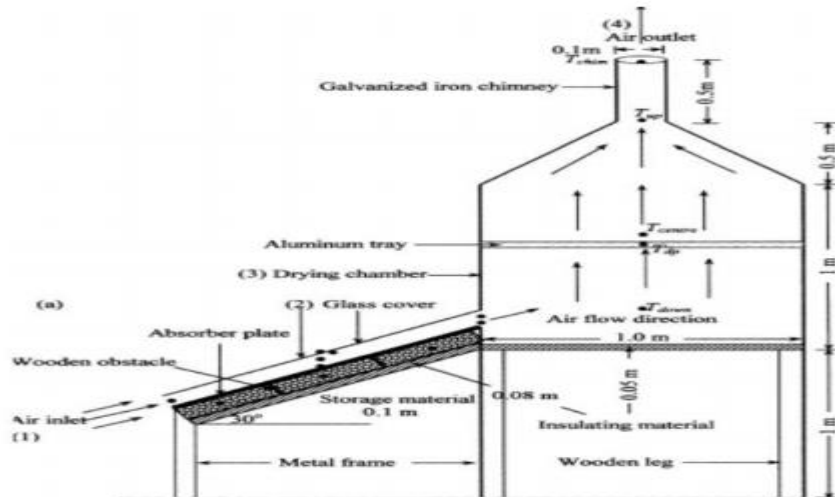


Figure I.3 : Schéma descriptif de séchoir étudié par A.A. El-Sebaï et al [3]

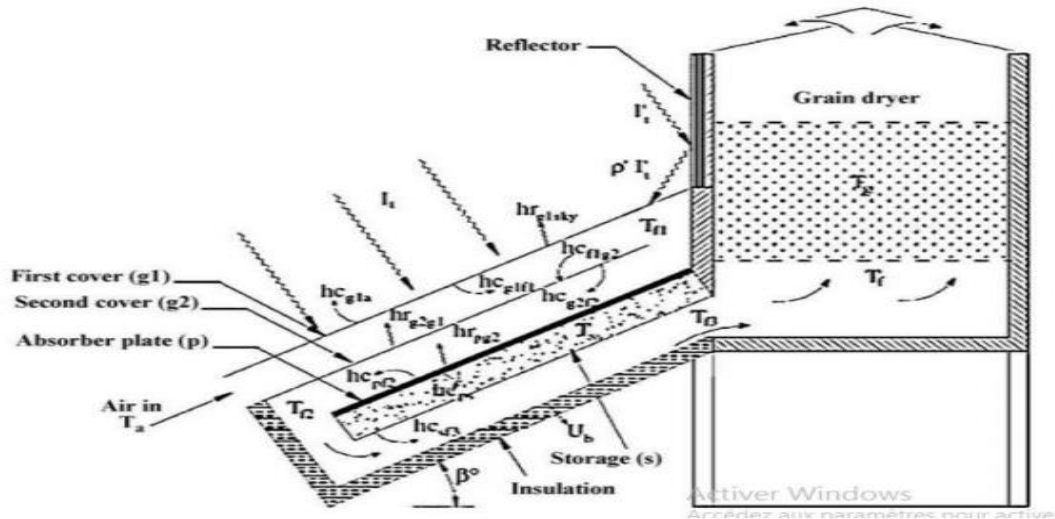
Parmi les conclusions de cette étude, il ressort que le processus de séchage des figes dans leur état naturel, une fois coupées et traitées, a été examiné. De plus, il a été observé que la taille du produit est le facteur déterminant influant sur le processus de séchage solaire.

En 2004, une étude expérimentale de Dilip Jain et al [4] présente un modèle analytique en régime transitoire avec stockage thermique pour le séchage du riz. L'étude se compose d'un capteur solaire plan à air incliné avec double vitrage et un réflecteur sur l'armoire de séchoir, les graviers de granite, placés sous la plaque absorbante, sont utilisés et considérés comme matière de stockage (**Figure I.4**). Cette étude paramétrique a été effectuée sous les conditions climatiques de Delhi pour une journée du mois d'Octobre, et cela dans le but d'étudier l'influence de l'angle d'inclinaison, la longueur et la largeur de collecteur et aussi le débit massique sur la température du grain. Ils ont observé que la teneur en humidité du lit diminue avec le temps de la journée.

Ils ont conclu aussi que le taux de séchage et l'humidité de l'air

Chapitre I : Généralités sur le séchoir solaire

augmentent avec l'augmentation de la profondeur du lit de séchage.



Figure

I.4: Séchoir solaire avec capteur solaire multi-passe incliné et un lit profond [4]

En 2005, **Dilip Jain**[5] a présenté une analyse périodique du séchage d'agriculture multi plateaux muni d'un capteur solaire (**figure I.5**), sous les mêmes conditions climatiques de l'étude précédente. Il a observé que la teneur en humidité de la récolte diminue avec le temps de séchage de la journée.

Il a révélé également que l'efficacité thermique de séchage augmente avec l'augmentation de masse de l'agricol

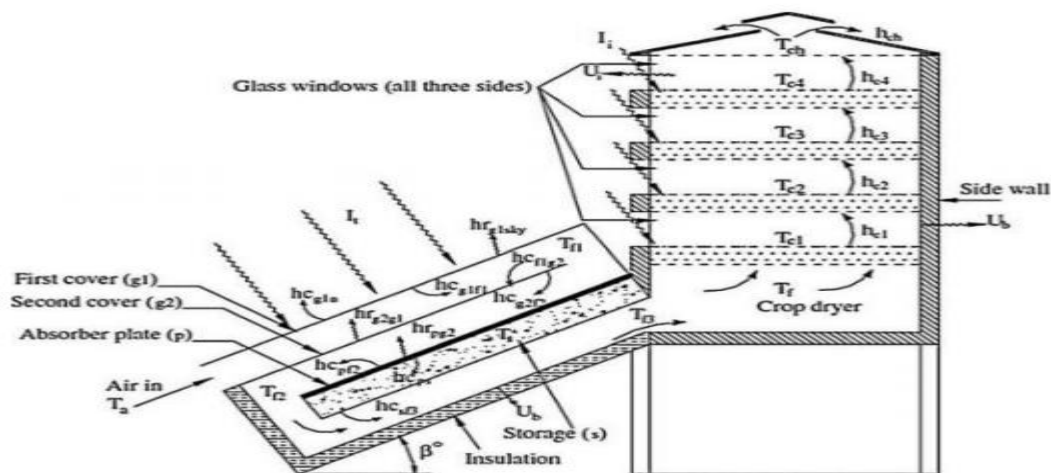


Figure I.5 : Séchoir solaire indirect multi-plateaux avec capteur solaire plan [5]

En 2005, **Benkhelfellah et El Mokretar**[6] ont réalisé une étude comparative sur le processus de séchage des produits agroalimentaires utilisant des séchoirs

Chapitre I : Généralités sur le séchoir solaire

solaires directs et indirects. Leur objectif était d'évaluer le bilan énergétique des modèles expérimentaux de ces deux types de séchoirs afin de comprendre la cinétique de séchage des produits agroalimentaires dans des conditions environnementales spécifiques. La Figure I.6 illustre les deux types de séchoirs examinés dans cette recherche.



Séchoir solaire de type direct



Séchoir solaire de type indirect

Figure I.6 : Deux types de séchoirs utilisés dans l'étude de (Benkhelfellah, El mokretaret *al.* 2005) [6]

En 2007, **Dilip Jain [8]** a développé un séchoir à convection naturelle novateur, équipé d'une unité de stockage thermique permettant de maintenir l'air chaud pendant les périodes sans ensoleillement. Ce dispositif comprend un réchauffeur d'air plat relié à un réflecteur polygonal afin de maximiser la réflexion du rayonnement solaire incident, comme présenté dans la Figure I.7. Ce séchoir a été spécifiquement conçu pour le séchage des oignons, avec une capacité de 90 kg.

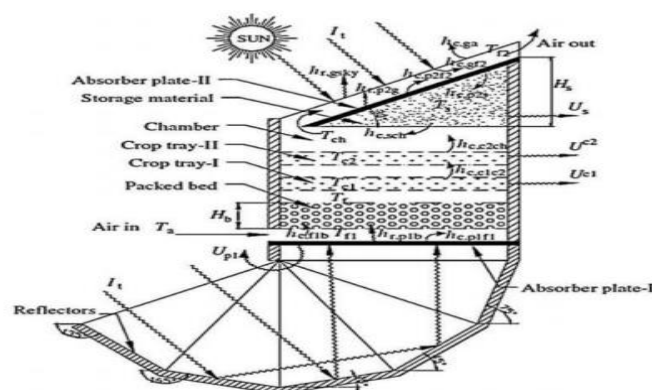


Figure I.7 : Schéma descriptif d'un séchoir solaire avec stockage thermique [7]

La recherche expérimentale réalisée par **Khalil, Al-Juamilly [8]** et leurs

Chapitre I : Généralités sur le séchoir solaire

collègues se concentre sur l'évaluation de l'efficacité thermique d'un séchoir solaire indirect à convection forcée, composé de trois éléments principaux : un collecteur solaire, une chambre de séchage et un ventilateur, comme représenté dans la Figure I.8

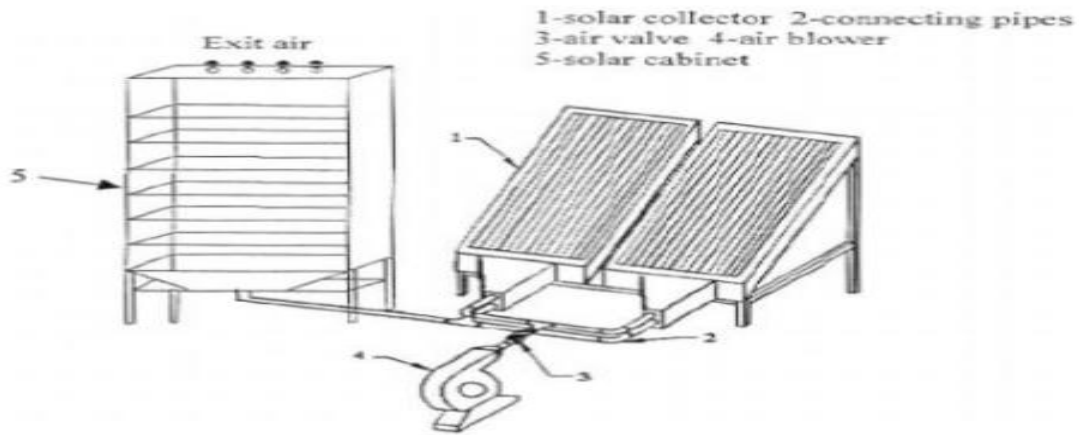


Figure I.8: Schéma descriptif du séchoir utiliser par **Khalil, Al-Juamilyet al. 2007 [8]**

Ce modèle de séchoir est spécifiquement conçu pour déshydrater une variété de produits tels que le raisin, l'abricot et les haricots.

Les tests ont été effectués à trois débits d'air différents : $0,076 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,046 \text{ m}^3/\text{s}$. Les résultats des expériences mettent en évidence que la température de l'air à la sortie du dispositif est le principal facteur influent, montrant une tendance où une augmentation du débit entraîne une diminution de la température.

Shanmugama and Natarajanb 2006 [9]. a développé un séchoir solaire à convection forcée fonctionnant de manière indirecte, construit et testé dans des conditions climatiques chaudes et humides en Inde, dans le but d'analyser l'efficacité thermique et l'élimination de l'humidité pendant le processus de séchage de 75 kg de pois. Ce système est intégré à un collecteur solaire orienté au sud pour maximiser le rayonnement solaire incident. Les résultats concluent que le séchage dans un séchoir intégré se poursuit pendant les heures non ensoleillées. De plus, la qualité du produit s'améliore avec un débit d'air compris entre $0,01$ et $0,03 \text{ kg/s}$ par rapport au séchage continu des produits. L'efficacité thermique atteint 63% (voir Figure I.9), et le taux d'extraction d'humidité varie de $0,55$ à $0,85 \text{ kg/kWh}$.

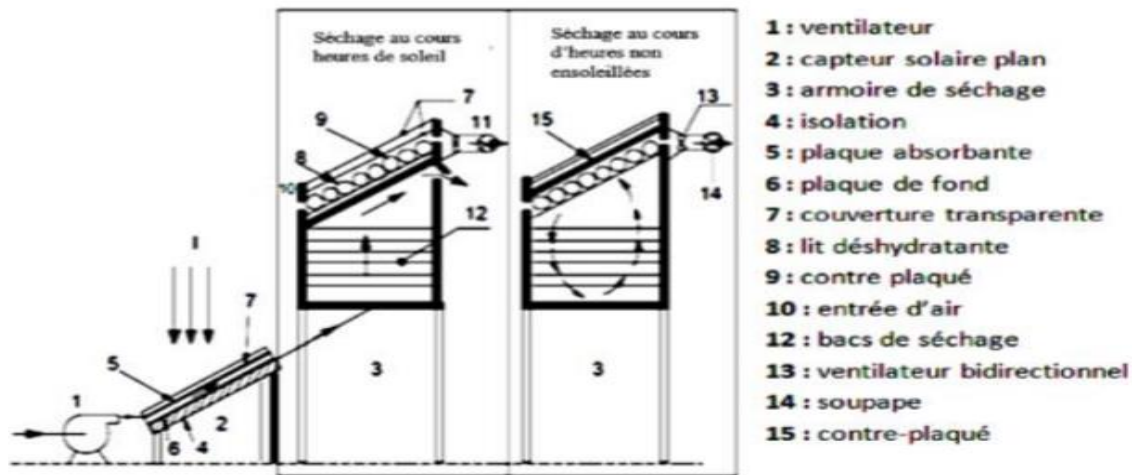


Figure I.9 : Séchoir solaire indirecte à convection forcée []

En 2009, **Aoues, Moumimi et al .[10]** leurs collègues ont entrepris une étude visant à améliorer les performances thermiques d'un collecteur solaire d'air. Ils ont conduit une série de tests expérimentaux sur un collecteur solaire plat. Leur dispositif expérimental complet englobait la mesure du rayonnement solaire total, la vitesse du vent, le débit d'air, ainsi que les températures ambiantes, de l'air à l'entrée et à la sortie du collecteur.

Pour améliorer les performances thermiques, des aspérités artificielles de différentes formes et dispositions ont été intégrées dans le parcours de l'air dynamique du capteur. Après une évaluation comparative, une configuration a été choisie parmi les quatre examinées, présentant ainsi le rendement optimal du capteur.

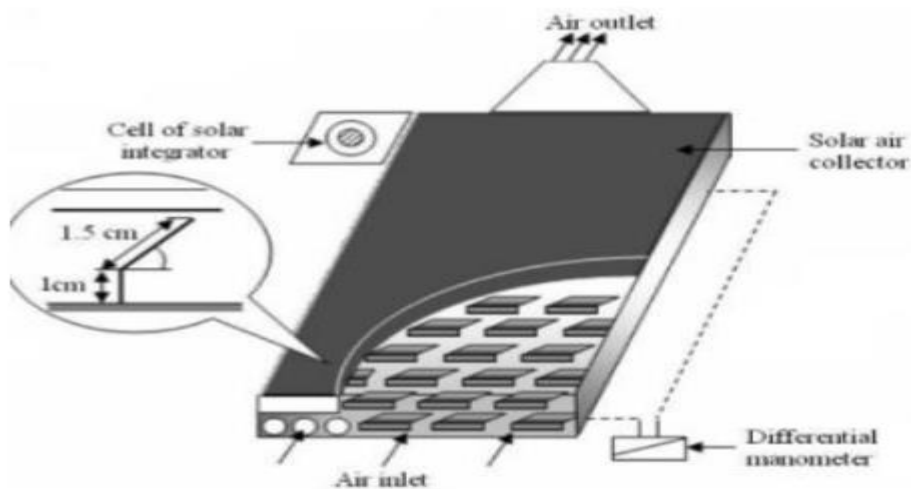


Figure I.10: Schéma de dispositif utilisé dans le travail de (**Aoues, Moumimi et al. 2009**) [10]

1.3 Importance et avantages du séchage solaire :

1.3.1. Importance :

Le séchage constitue l'un des principaux moyens de conservation des denrées alimentaires périssables. En effet, en éliminant l'eau, on inhibe l'action des germes microbiens (levures, moisissures, bactéries) responsables du pourrissement.

Le processus de séchage est également crucial dans la conservation de certains produits, car l'élimination de l'eau réduit leur poids et leur volume. En résumé, le séchage améliore la conservation des produits, facilite leur transport, réduit les risques de pertes après la récolte et surtout, élargit leur commercialisation en les rendant disponibles toute l'année.[11]

1.3.2. Avantages et Inconvénients :

Avantage	Inconvénients
• Diminution de la durée deséchage. • Contrôle de l'humidité finale souhaitée. • Préservation du produit contre les rayons ultraviolets. • Protection contre les intempéries, les insectes et les champignons. • Gestion optimale du processus de séchage. • Utilisation d'une source d'énergie gratuite. • La simplicité de la méthode. • La durée de conservation des aliments séchés augmente de plusieurs mois. • Désactiver les enzymes responsables de la détérioration des aliments. • Ce processus est respectueux de l'environnement.	• Utilisation d'énergie traditionnelle (électricité, gaz, bois, etc.) en cas de système hybride. • Coût initial considérable. • Nécessité de personnel qualifié.Être exposé aux rayons ultraviolets qui peuvent endommager les aliments. • Perte de couleur et d'odeur des aliments. • Durée de séchage des produits alimentaires. • Fournir un rayonnement solaire permanent.

Tableau I.1: Avantages et inconvénients du séchage sous séchoir solaire [11]

1.4. Principes de fonctionnement d'un séchoir solaire :

Le séchage est caractérisé par un transfert de chaleur et masse (l'eau sous forme de vapeur). L'eau est transférée de l'intérieur du produit vers l'interface produit-air par le phénomène de diffusion et de l'interface vers l'air asséchant par le phénomène de convection. [12]

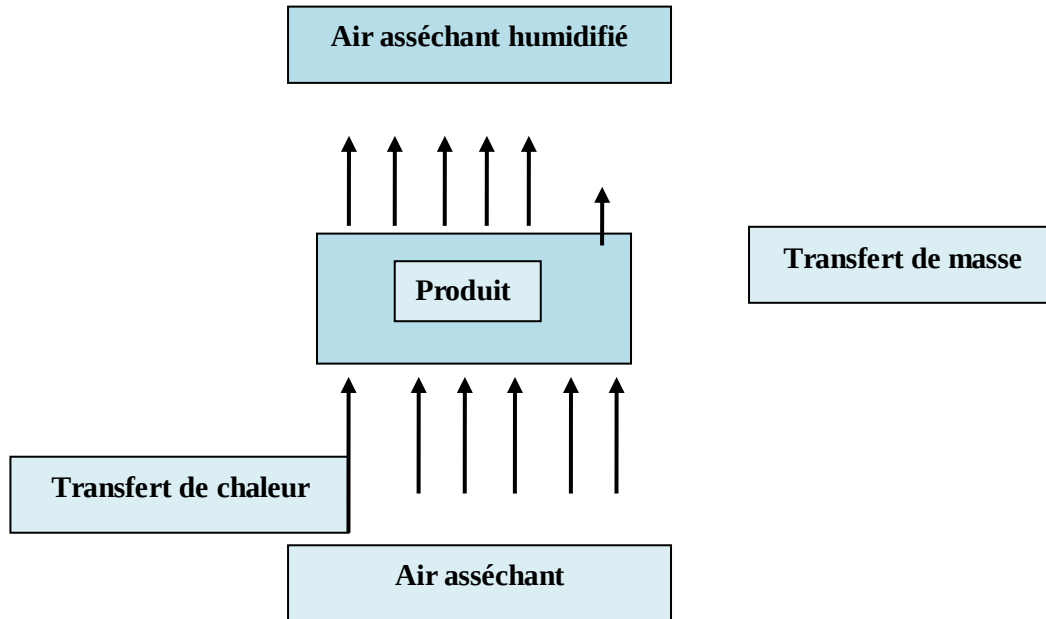


Figure I.11 : Mode de transfert lors du séchage.

Ce processus de transfert de chaleur, qui fournit l'énergie nécessaire pour activer et libérer les molécules d'eau, se déroule en deux phases distinctes :

✓ **Transfert par convection :**

L'air qui déshydrate apporte de la chaleur à la surface du produit conformément à la loi de Newton :

$$\phi_{cv} = h \cdot S (T_{a,a} - T_{s,p}) \quad (\text{I. 1})$$

Avec :

ϕ_{cv} : Flux de chaleur par convection (W)

S : La surface d'échange (m²).

h : Le coefficient d'échange par convection (W/m² . k)

($T_{a,a}$ et $T_{s,p}$) : Températures en Kelvin de l'air asséchant et la surface du produit respectivement.

✓ Transfert par conduction :

La chaleur provenant de l'air de séchage chauffe la surface du produit, puis cette énergie thermique est conduite vers les couches internes du produit par conduction. Ce processus est régulé par la loi de Fourier :

$$:\phi_{cv} = -\lambda . S . \frac{\partial T_p}{\partial x} \text{ (I. 2)}$$

Avec :

Conductivité thermique du produit ($W/m . k$).

1.5. Études techniques sur les composants électromécaniques

Cette phase est dédiée à la conception et à l'analyse approfondie de certains composants essentiels qui composent notre système de suivi.

Le schéma du système de suivi que nous avons développé est illustré dans la **(figure I.12)**. Notre choix s'est porté sur l'utilisation d'un microcontrôleur ATmega intégré dans la carte Arduino, des capteurs LDR, des servomoteurs, un relais et des composants mécaniques servant d'axes. [18]

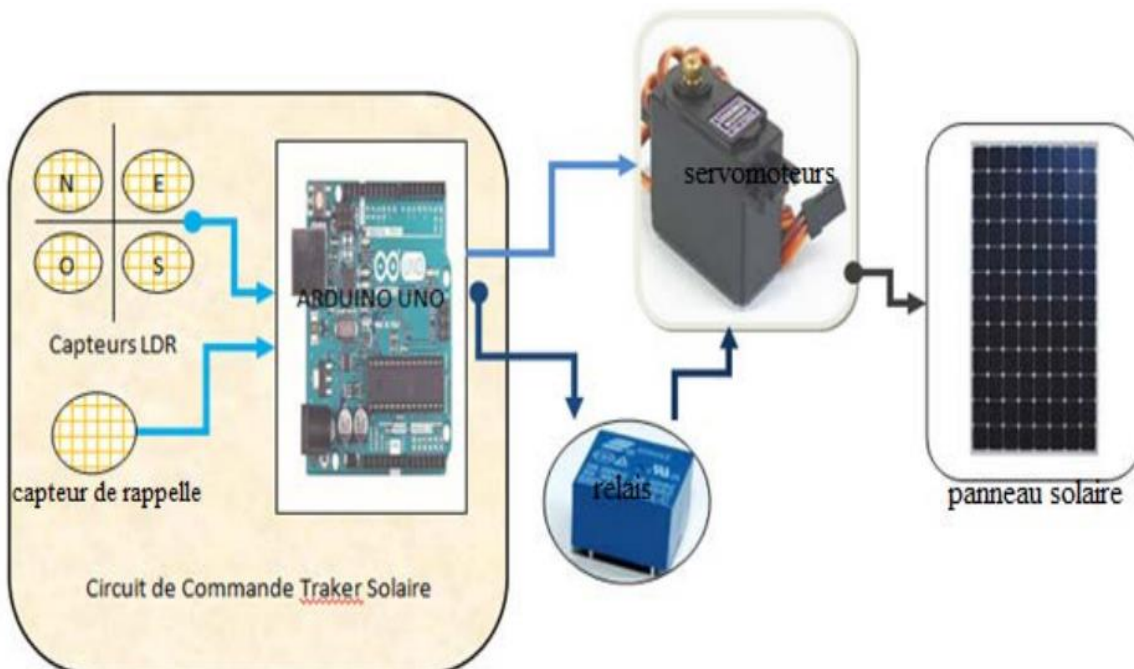


Figure I.12 : Mode de transfert lors du séchage. [18]

1.6. Applications et domaines d'utilisation des séchoirs solaires :

1.6.1. Applications du séchage solaire :

Les nombreuses applications de séchage solaire sont classées en deux catégories principales, à savoir agricoles et industrielles :[13]

1.6.1.1. Le séchage solaire agricole :

Est un processus essentiel dans la préservation des cultures agricoles telles que le paddy, les graines oléagineuses, la carotte, les herbes et épices, et les légumes.[13]

1.6.1.2. Le séchage solaire industrielle :

De nombreux types de sécheurs peuvent être aptes à sécher un même produit.

Le choix doit être guidé par les besoins spécifiques de l'utilisateur. Cependant, les caractéristiques physico-chimiques et le comportement du produit pendant le processus de séchage doivent également être des considérations essentielles. Le sécheur peut rencontrer des problèmes qui ne sont pas liés au processus de séchage lui-même, mais plutôt à la détérioration ou à la non-conformité du produit en raison des effets secondaires induits par l'opération de séchage. Ces problèmes peuvent inclure une détérioration due à une élévation excessive de la température altérant les caractéristiques souhaitées du produit, ou une détérioration causée par une oxydation indésirable résultant d'un temps de séchage trop long. [14]

1.6.2. Domaines d'utilisation des séchoirs solaires :

La nécessité d'une importante consommation d'énergie pour le processus de séchage souligne son importance dans différents domaines industriels. Ces secteurs sont souvent responsables de la production de biens qui ont un impact significatif sur notre quotidien.

- Diverses motivations peuvent conduire à décider d'opter pour un processus de séchage.: [15]
- Le produit humide a une durée de conservation limitée.
- Il est nécessaire de retirer le liquide pour permettre la poursuite du processus.

- L'élimination de l'eau est essentielle pour obtenir la texture et la structure finales du produit, constituant ainsi une étape distincte du processus.

1.6.2.1. Industrie agroalimentaire :

De nombreux produits alimentaires que nous consommons ont été traités par séchage, une étape souvent indispensable pour garantir leur conservation. Dans l'industrie alimentaire, on recense moins de 200 types de séchoirs industriels. Parmi ceux-ci, on trouve:[16]

- Les pâtes alimentaires.
- Le sucre cristallisé, produit par évaporation.
- Les jus de fruits, élaborés à partir d'un concentré obtenu par évaporation.
- Le sel, extrait des mines, est concassé, dissous, purifié, puis séché pour obtenir du sel raffiné.
- Divers produits en poudre, comme le cacao et le lait.

1.6.2.2. Industrie du bois :

Le bois récemment coupé et scié contient une importante quantité d'humidité, ce qui rend son utilisation immédiate dans des conditions idéales impossible, car cela pourrait entraîner des altérations de taille et de forme du bois. [17].

1.6.3. Industries alimentaires et pharmaceutiques :

- Séchage des plantes médicinales sur le site agricole.
- ✓ Séchage des feuilles de menthe verte.

(Dans cette situation, la méthode de lyophilisation est employée, impliquant la sublimation de l'eau, qui passe directement de l'état solide à l'état gazeux. Ce procédé est habituellement réalisé sous vide, sur le produit préalablement gelé).[16]

1.6.4.Industrie papetière :

Dans ce secteur industriel, la fabrication de papier implique le séchage de la pâte à papier sur des cylindres rotatifs chauffés. [15]

1.6.5. Bouchons de liège :

Pour garantir une maturation optimale des vins, une grande attention est portée à la qualité des bouchons en liège. Lors de leur fabrication, il est crucial de surveiller de près le processus de séchage afin d'éviter tout risque de contamination du vin par un goût de moisi. [15]

1.7. Études de cas de séchoirs solaires existants :

Il y a plusieurs types de séchoirs solaires, notamment les modèles directs, indirects et hybrides.

1.7.1. Les séchoirs solaires directs :

Dans ces types de séchoirs, les produits sont directement exposés aux rayons du soleil. Comme le montre la figure (04), le séchoir solaire direct est composé d'une seule unité qui fait à la fois office de chambre de séchage et de collecteur solaire. Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour améliorer son pouvoir d'absorption de la chaleur, tandis qu'un matériau transparent tel que le plastique ou le polyéthylène est généralement utilisé comme couverture. Cependant, d'autres matériaux plus coûteux comme le verre ou des plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles) peuvent également être employés. Malgré cela, l'exposition directe du produit aux rayons solaires entraîne une détérioration de sa qualité et une perte de ses nutriments. (Madhlopa, Jones *et al.*, 2002) [19]

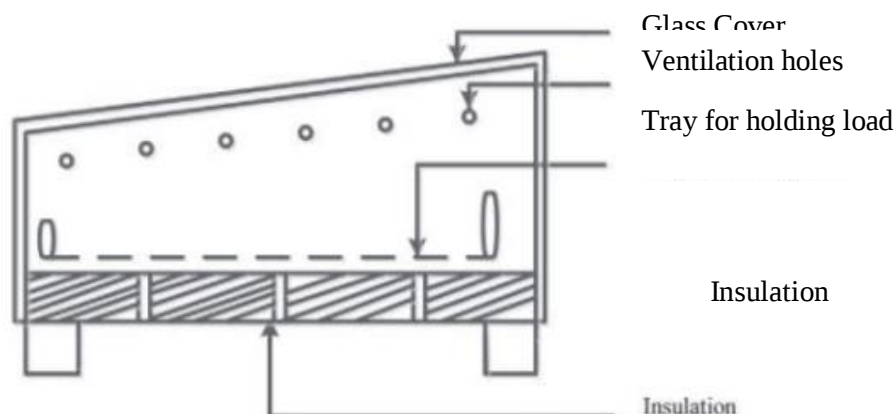


Figure I.13 : Illustration d'un séchoir solaire directe (Amelin and Souriau, 2014) [20]

1.7.2. Type de séchoirs directs :

✓ Le séchoir intégral à convection naturelle

Ceci est un séchoir direct où les articles sont placés dans une chambre de séchage équipée de parois transparentes, ce qui permet aux rayons solaires d'atteindre directement les produits. Cette exposition directe au rayonnement solaire favorise une maturation adéquate en accélérant la coloration des fruits verts et en facilitant la décomposition de la chlorophylle dans les tissus.

Pour certaines variétés de raisins et de dattes, il est considéré comme nécessaire d'exposer directement les fruits au rayonnement solaire afin d'obtenir la couleur désirée dans le produit séché.

Le séchoir est équipé d'une cheminée solaire qui peut être utilisée pour renforcer la force de flottabilité exercée sur le courant d'air, ce qui permet ainsi d'augmenter le débit d'air et d'obtenir une vitesse de séchage plus élevée. (Ekechukwu et Norton, 1999). [21]

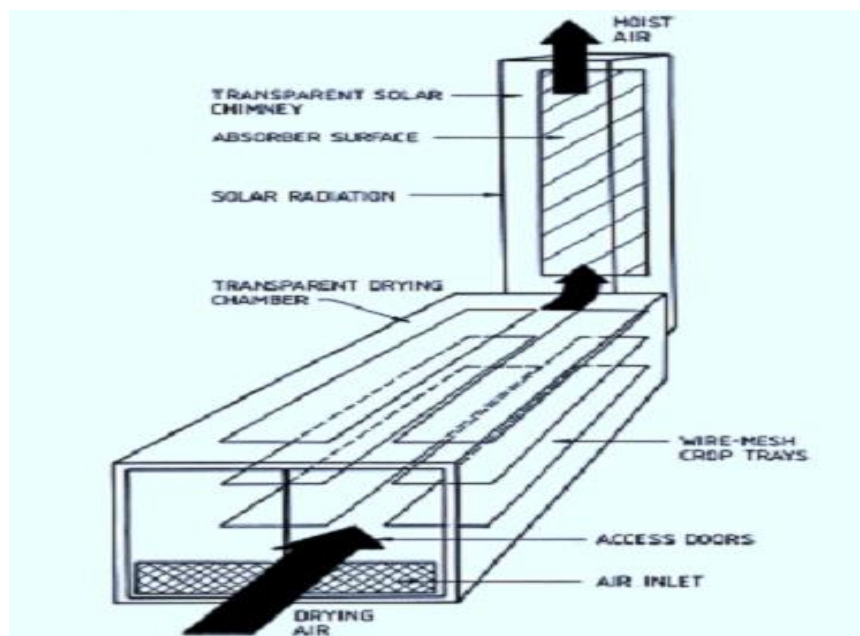


Figure I.14 : Le séchoir solaire intégral (Amelin and Souriau 2014) [20]

✓ La boîte de séchage ou séchoir coffre:

Le séchoir à caisson est une conception simple qui peut être fabriquée facilement par des artisans en utilisant des matériaux disponibles localement. Il est

principalement employé pour la préservation des fruits, des légumes, du poisson et de la viande.. (Pangavhane et Sawhney, 2002). [22]

✓ Le séchoir solaire "coquillage"

Le séchoir coquillage est un appareil solaire direct à convection naturelle conçu pour l'autoconsommation et la vente locale, principalement utilisé par des familles et des groupes de femmes. Ce modèle est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière. La surface métallique, peinte en noir, assure une absorption efficace du rayonnement solaire, tandis que des perforations dans les parties supérieure et inférieure permettent la circulation de l'air. L'efficacité de ce séchoir est influencée par les conditions climatiques. (Mennouche, 2006)

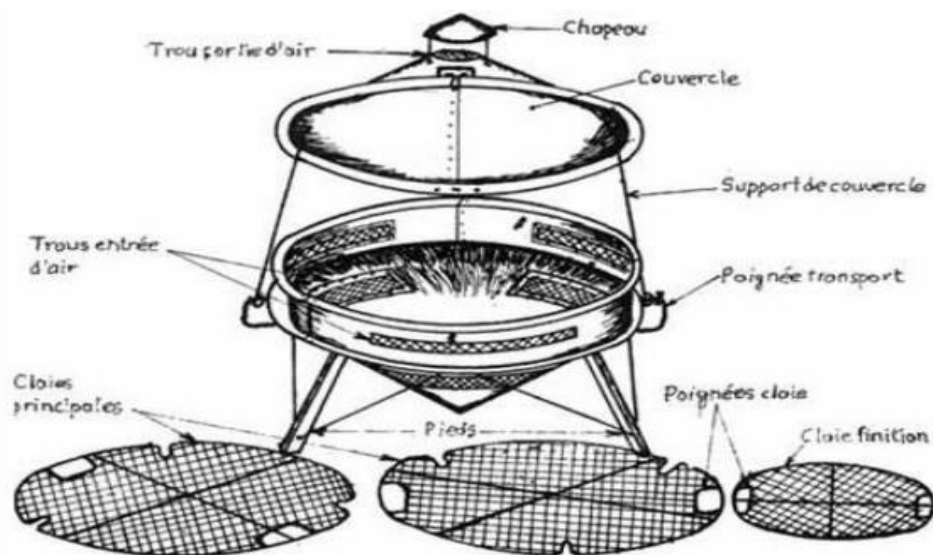


Figure I.15 : Le séchoir solaire coquillage à trois claies (Mennouche, 2006) [23]

1.8. Conclusion:

Le chapitre offre une introduction complète au séchage solaire, soulignant son importance dans la conservation des produits agricoles et alimentaires. Il explore les différentes techniques de séchage solaire, ainsi que les recherches et développements associés. Les séchoirs solaires, efficaces et abordables, sont présentés avec leurs différents modes de fonctionnement. L'historique du développement des séchoirs

Chapitre I :Généralités sur le séchoir solaire

solaires est également examiné, avec des études de cas sur divers modèles.

En outre, le chapitre aborde les principes de fonctionnement des séchoirs solaires, les études techniques sur les composants électromécaniques, les applications et domaines d'utilisation, ainsi que les avantages et inconvénients du séchage solaire. Enfin, des études de cas sur des séchoirs solaires existants sont présentées

Chapitre II :

***Généralités sur les captures
et la carte Arduino solaire***

ChapiterII : Generalites sur les capteurs et la cartArduino

2.1. Introduction:

Un capteur est un dispositif qui convertit une grandeur physique analogique (comme la pression, la température, le déplacement, le débit, etc.) en un signal analogique pouvant être transmis et utilisé par un système de traitement (comme le courant électrique, le rayonnement lumineux ou la radiofréquence). Il constitue la partie d'une chaîne de mesure qui entre en contact direct avec la grandeur à mesurer. Dans la plupart des cas, le signal de sortie est électrique en raison de la facilité de transmission de l'information par ce moyen (par câblage), bien que les signaux optiques transmis par fibre soient de plus en plus courants. La tension ou l'intensité de ce signal représente alors la grandeur mesurée selon une loi continue, idéalement linéaire ou affine.

2.1.1. Utilisation Les capteurs solaires :

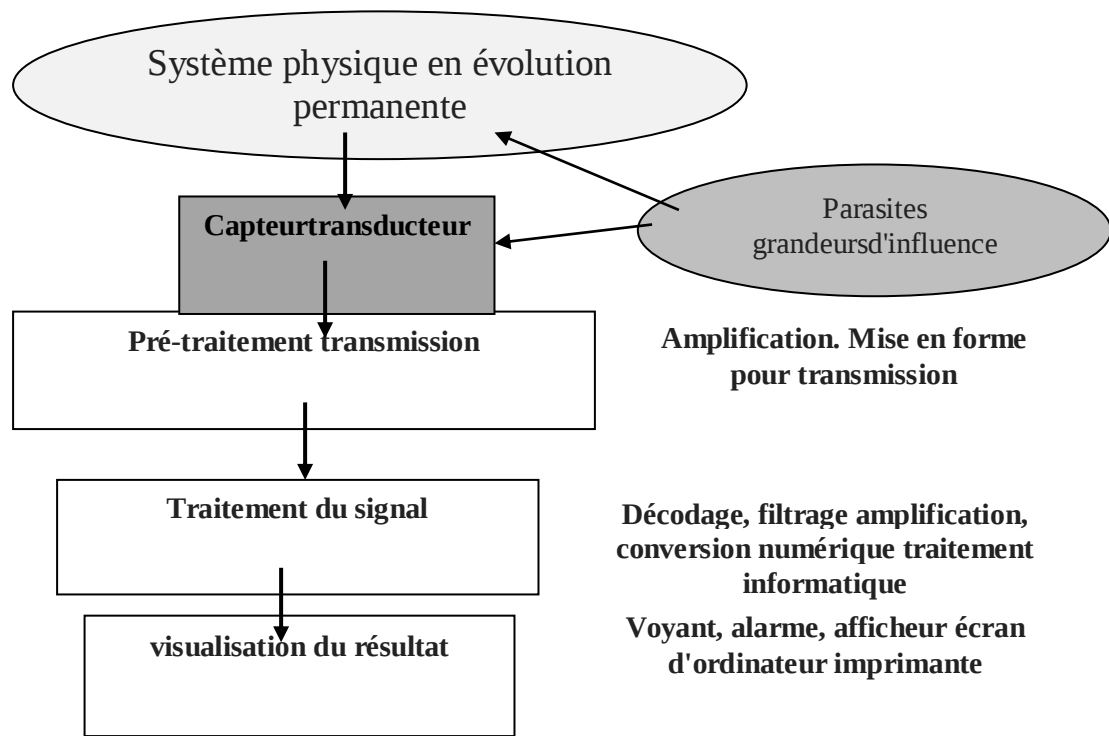
Un capteur solaire thermique est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie solaire et la transférer à un fluide caloporteur. [18]

2.1.2. Chaîne de mesure :

Habituellement, le signal émis par un capteur n'est pas utilisable tel quel. La chaîne de mesure comprend tous les circuits ou dispositifs qui amplifient, adaptent, convertissent, linéarisent et numérisent ce signal avant qu'il ne soit lu par le dispositif de sortie.

Pour obtenir une mesure d'une grandeur physique, la chaîne de mesure peut impliquer plusieurs processus distincts. Par exemple, pour mesurer un débit, plusieurs étapes peuvent être nécessaires :

- ✓ Conversion du débit en une pression différentielle.
- ✓ Conversion de la pression différentielle en déformation mécanique d'une membrane.
- ✓ Conversion de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézoélectrique) à travers un circuit électrique associé.



FigureII.1:Chainedemesured'un capteur [18]

2.1.3.Rôle des capteurs solaire :

Un capteur solaire thermique a pour fonction de convertir le rayonnement solaire en chaleur exploitable, souvent en utilisant un fluide caloporteur tel que (l'eau ou l'air). [16]

2.1.4. Caractéristiques d'un capteur :

Plage de mesure : Les valeurs les plus extrêmes que le capteur peut mesurer.

Résolution : La plus petite variation de la grandeur mesurable par le capteur.

Sensibilité : La variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Précision : La capacité du capteur à fournir une mesure proche de la vraie valeur.

Réactivité : Le temps de réponse du capteur. La réactivité est liée à la bande passante.

Linéarité : Cela indique l'écart de sensibilité sur toute la plage de mesure. [18]

2.2. Principes de fonctionnement des capteurs :

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et la carte Arduino

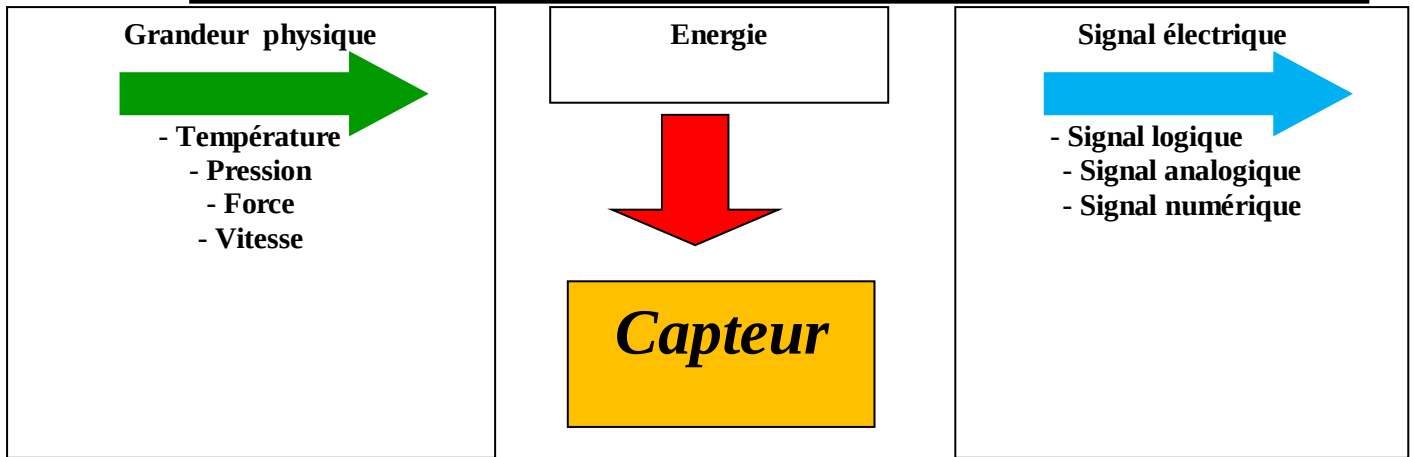


Figure II.2 : Chaîne d'action d'un capteur [18]

2.3. Types de capteurs utilisés dans les applications solaires :

Il existe essentiellement deux types de capteurs solaires: [24]

2.3.1. Capteurs solaires non-concentrateurs ou stationnaires :

Qui peuvent être classés, à leur tour, en trois catégories : [24]

2.3.1.1. Capteurs solaires plans :

Les capteurs plats sont employés dans des applications où les températures sont faibles à modérées.

Parmi ces capteurs, on peut mentionner :

a. Capteurs plan vitrés

Il s'agit d'un dispositif simple constitué d'un absorbeur métallique qui convertit le rayonnement solaire en chaleur et la transmet à un liquide caloporteur. Cet absorbeur est placé dans un boîtier isolé, recouvert d'un matériau transparent hautement synthétique.

Habituellement, l'absorbeur est doté d'une couche noire sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement.

Pour des températures comprises entre 35°C et 90°C, il est recommandé d'utiliser des capteurs équipés de vitrage. Dans ce cas, l'absorbeur est métallique (en cuivre ou en aluminium), placé dans un boîtier isolé à l'arrière et recouvert de vitrage à l'avant. Le vitrage permet de piéger le rayonnement solaire en créant un effet de serre. La figure I.3 illustre la structure d'un capteur plat vitré. [25]

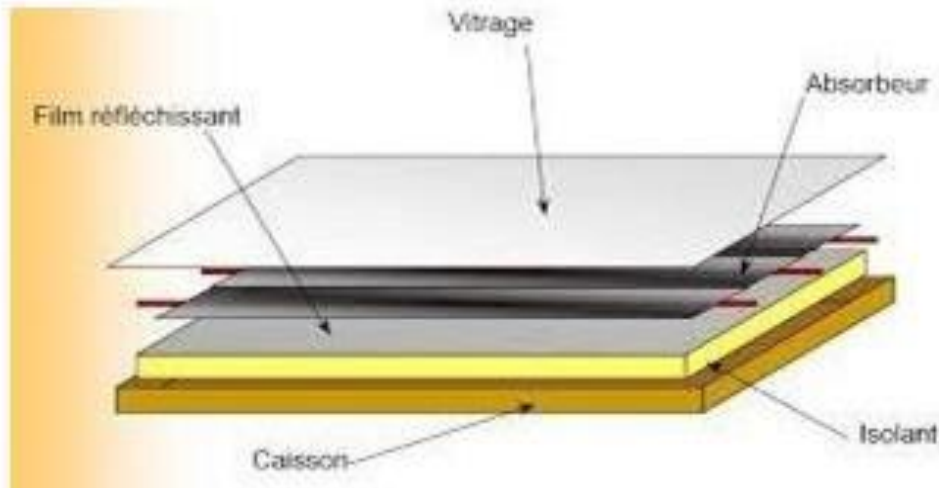


Figure II.3 : Capteur plan vitré

b. Capteurs plans non vitrés

Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse températures en métal revêtu d'une couche sélective, se compose d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres [25].



Figure II.4 : Capteur plan non vitré

2.3.1.2. Capteurs à air :

Les capteurs d'air produisent de l'air chaud et sont employés dans diverses applications telles que la ventilation, la ventilation douce, le chauffage des espaces intérieurs et le chauffage à air. Un exemple particulier de leur utilisation est le

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et la carte Arduino

séchage du foin. Leur poids léger et l'absence de problèmes de refroidissement ou d'ébullition sont des avantages par rapport aux capteurs à liquide. Un exemple de capteur plat à air est illustré dans la figure I.5. [26]

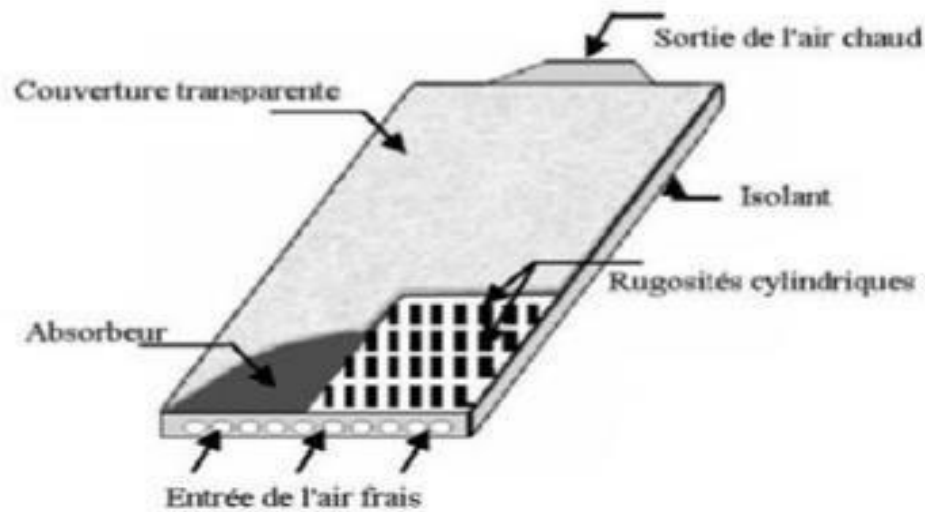


Figure II.5 : Capteur plan à air

2.3.1.3. Capteur sous vide :

Le capteur sous vide se compose d'une série de tubes en verre hermétiquement scellés, dépourvus d'air, avec un absorbeur à l'intérieur de chaque tube en verre. À l'intérieur de ces tubes en verre se trouve un tube en cuivre à travers lequel circule un fluide caloporteur. Ce fluide est progressivement chauffé lors de sa circulation à travers les tubes en cuivre. La Figure I.6 présente ce dispositif de capteur sous vide. [25]

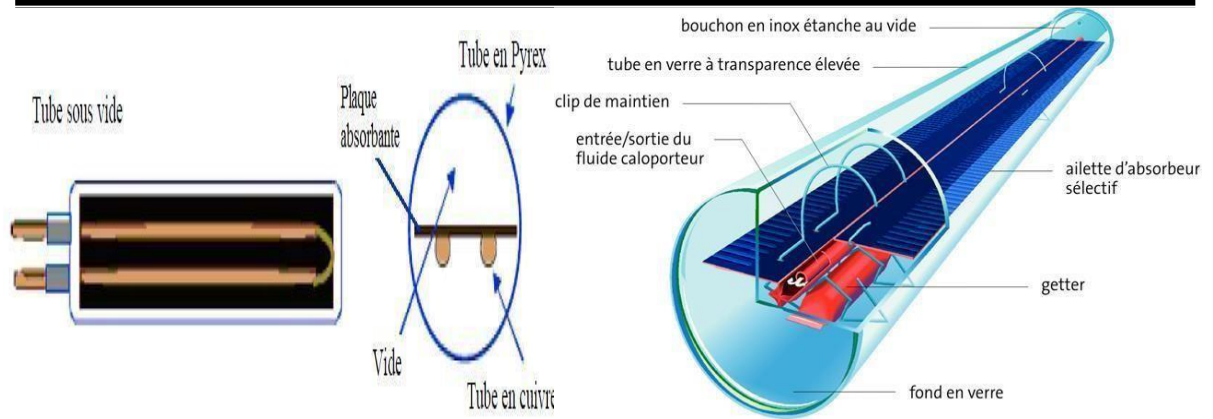


Figure II.6 : Capteur sous vide

2.3.2. Capteurs solaires concentrateurs :

Les capteurs à concentration utilisent un mécanisme de suivi solaire, soit en concentrant la lumière solaire vers un point précis (suivi sur deux axes), soit en la concentrant le long d'une ligne (suivi sur un axe). Les températures obtenues varient en fonction de cette concentration. Les types principaux de capteurs à concentration sont :

2.3.2.1. Concentrateur cylindro-parabolique :

Les capteurs à concentration cylindro-paraboliques dirigent la lumière vers un absorbeur linéaire en suivant uniquement une direction solaire. **La Figure I.7** illustre ce type de concentrateur cylindro-parabolique. [26]

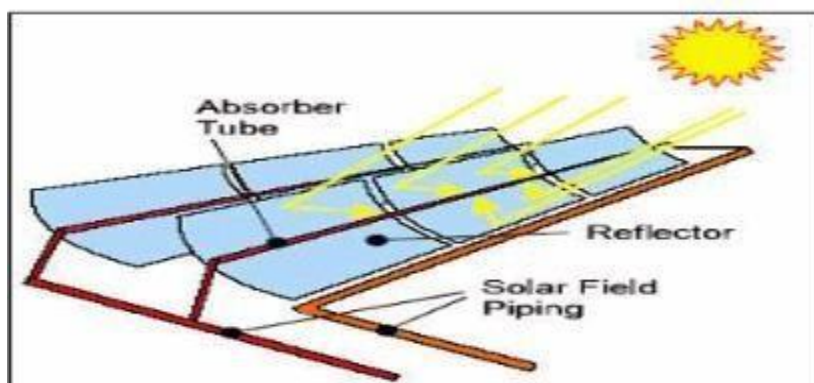


Figure II.7 : Schéma d'un capteur cylindro-parabolique

2.3.2.2. Concentrateur parabolique :

Ces appareils utilisent des surfaces paraboliques réfléchissantes pour diriger les rayons solaires vers un point spécifique où se trouve le récepteur (l'absorbeur) qui recueille la chaleur concentrée. Naturellement, ces dispositifs de concentration solaire doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent produire des températures plus élevées, pouvant atteindre jusqu'à 1500°C sur le récepteur. La Figure I.8 présente le schéma d'un concentrateur parabolique. [28]

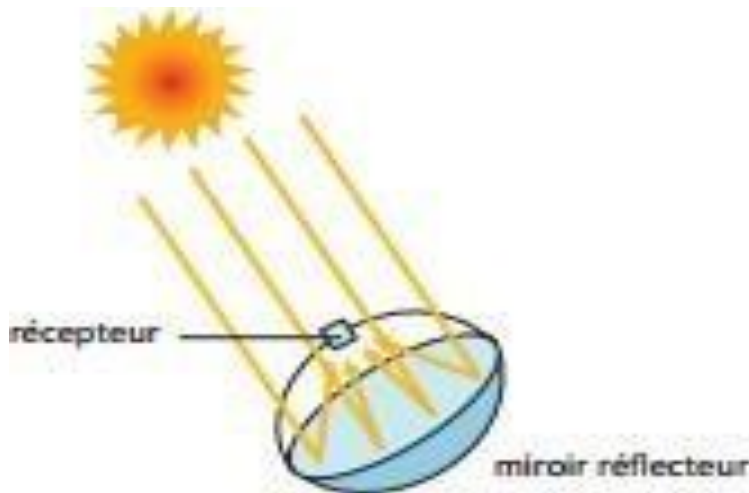


Figure II.8 :Concentrateur parabolique

2.3.2.3. Centrale à tour :

Les installations de ce type concentrent la lumière sur un absorbeur ponctuel, à l'aide de miroirs (appelé "héliostats") qui suivent le soleil selon deux directions, sur une chaudière située au sommet d'une tour. De ce fait, le facteur de concentration est plus important, ainsi que les températures atteintes. Compte tenu du grand nombre de miroirs, les puissances peuvent atteindre plusieurs MW. Une telle centrale (Thémis) a été expérimentée dans les années 80, et devrait reprendre du service prochainement.

Ces systèmes permettent d'atteindre des températures de 400 à 800 °C, pour des puissances de plusieurs MW [26]. La fig I.9 présente une centrale à tour. [27]

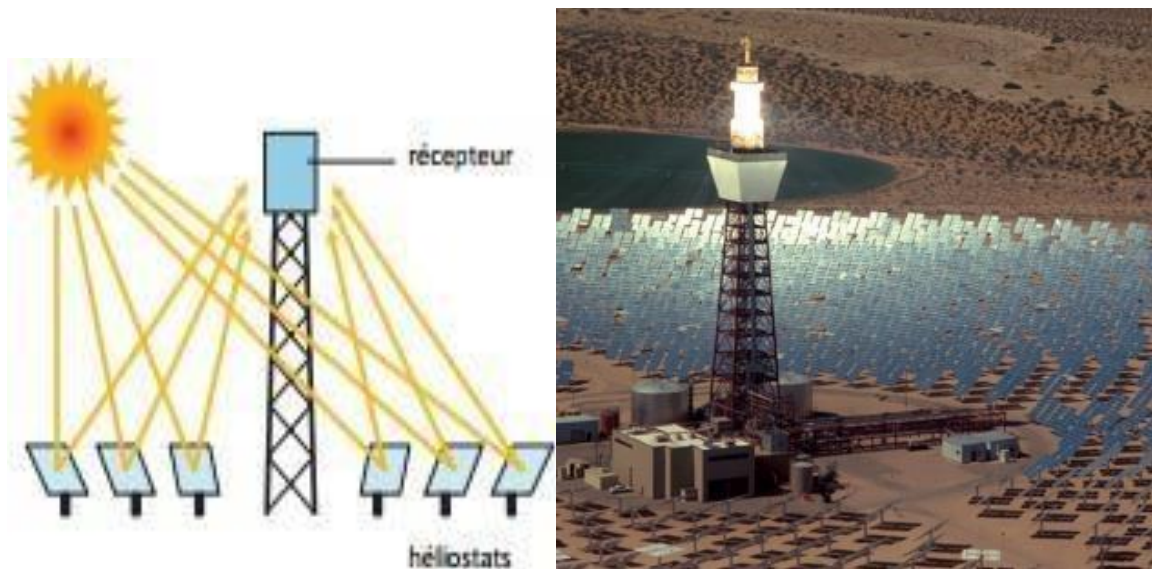


Figure II.9 : Centrale à tour

Ces variétés de capteurs présentent des écarts significatifs en termes de qualité, d'efficacité, de conception et de prix.

2.4. Sélection des capteurs pour le suiveur solaire :

2.4.1. Définition d'un suiveur solaire :

Le système de suivi solaire est une structure qui permet d'ajuster l'orientation des panneaux solaires en fonction de la position du soleil, ce qui améliore leur rendement. [28]

L'idée sous-jacente est que l'excès d'énergie généré par l'ajustement des panneaux compensera largement l'énergie nécessaire pour les orienter de manière optimale

En effet, un dispositif de suivi solaire peut améliorer l'efficacité d'un panneau jusqu'à 40 % par rapport à un panneau immobile. [28]

L'orientation optimale implique que les rayons solaires frappent perpendiculairement les panneaux. Pour suivre le soleil, deux axes sont nécessaires :

l'azimut, qui évolue d'Est en Ouest au cours de la journée, et l'élévation, qui varie selon la saison et l'heure. Le suivi solaire idéal se fait donc avec un système à deux axes, mais il existe également des dispositifs à un seul axe, qui dépendent de l'azimut, l'angle des panneaux par rapport au sol étant calculé de manière optimale en fonction de la latitude. [28]

2.4.2. Le principe de fonctionnement du suiveur :

Le suiveur solaire permet de faire pivoter le panneau solaire sur un ou deux axes afin d'optimiser l'exposition au rayonnement solaire, avec pour objectif d'augmenter la production d'énergie. [25]

Effectivement, le soleil se déplace continuellement tout au long de la journée et au cours des différentes saisons de l'année. On distingue deux types de suiveurs solaires : les mono-axiaux et les bi-axiaux. Le suivi solaire peut se faire sur deux axes : l'azimut, d'est en ouest, et en hauteur, en fonction des saisons et de l'avancement des périodes.

Le suiveur solaire est positionné sous le panneau solaire, ce qui permet un mouvement selon les deux axes. [25]

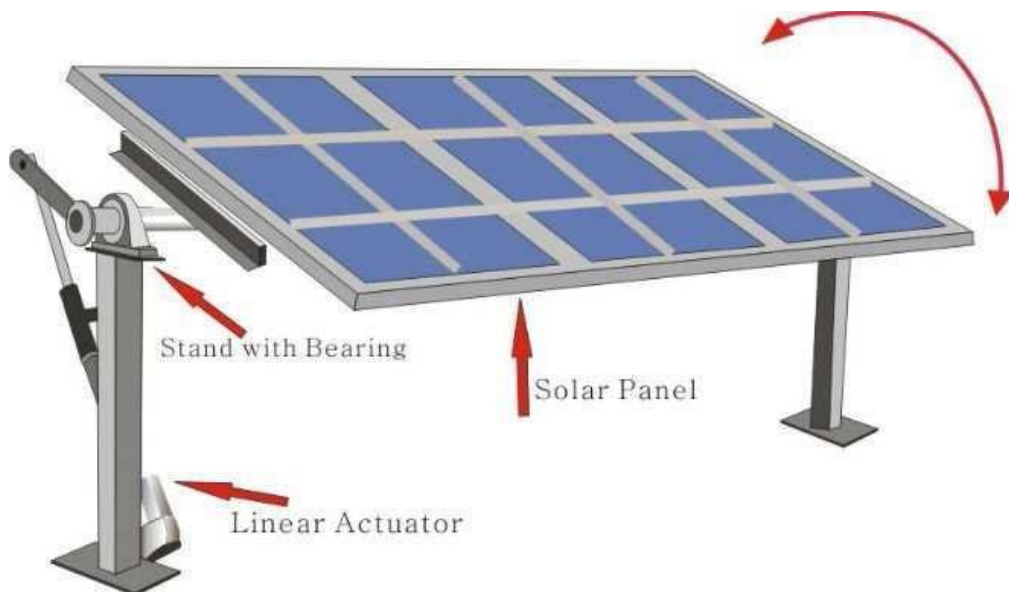
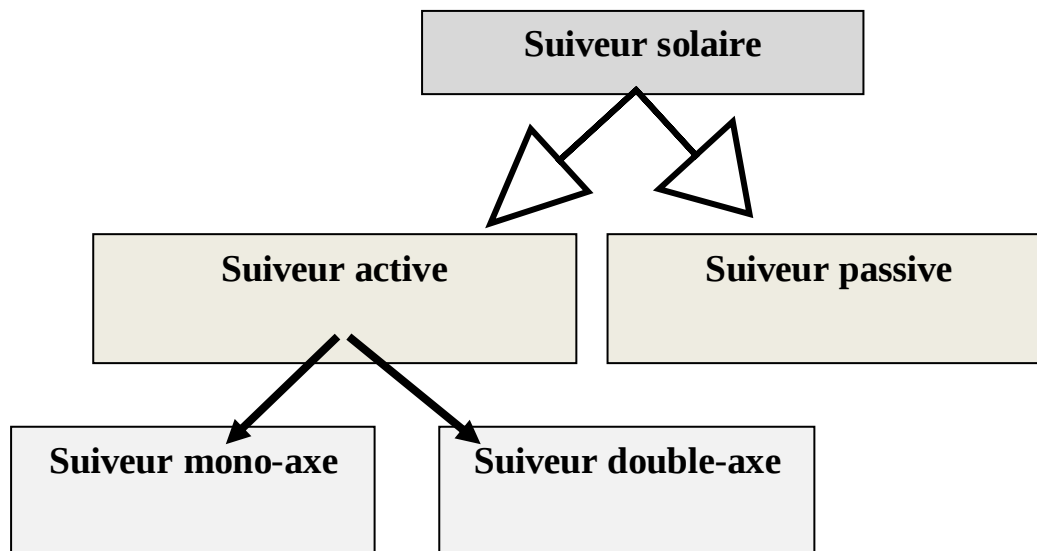


Figure II.10 : Panneaux avec suiveur solaire [25]

2.4.3. Les type des suiveurs solaires :

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires : les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe.

FigureII.11.



FigureII.11 : Typesdesuiveurs solaires

2.4.3.1 Suiveur passif :

Le premier type de suiveurs passifs est constitué de deux tubes en cuivre fixés sur les côtés Est et Ouest du panneau photovoltaïque (PV). Ces tubes en cuivre (**illustrés dans la figure II.12**) renferment des fluides chimiques qui peuvent s'évaporer à basse température. Ainsi, lorsque l'ensoleillement augmente la température d'un côté du panneau, le composé contenu dans le tube en cuivre se vaporise.[29]

La partie gazeuse du composé occupe davantage de volume interne, tandis que sa partie liquide se déplace vers le côté ombragé. Ce transfert de masse permet d'ajuster l'équilibre du panneau en le faisant pivoter vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne nécessite aucune dépense d'énergie pour réorienter le panneau.



Figure II.12 : Exemple et fonctionnement du suiveur passif [2]

2.4.3.2. Suiveur actif :

Les suiveurs solaires actifs utilisent la détection de la lumière pour suivre la course du soleil et maximiser l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Cette classification comprend deux variétés : les suiveurs mono-axe et les suiveurs double-axe.

En comparaison avec les suiveurs passifs, ces dispositifs fournissent un suivi plus précis et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajustements. [30]

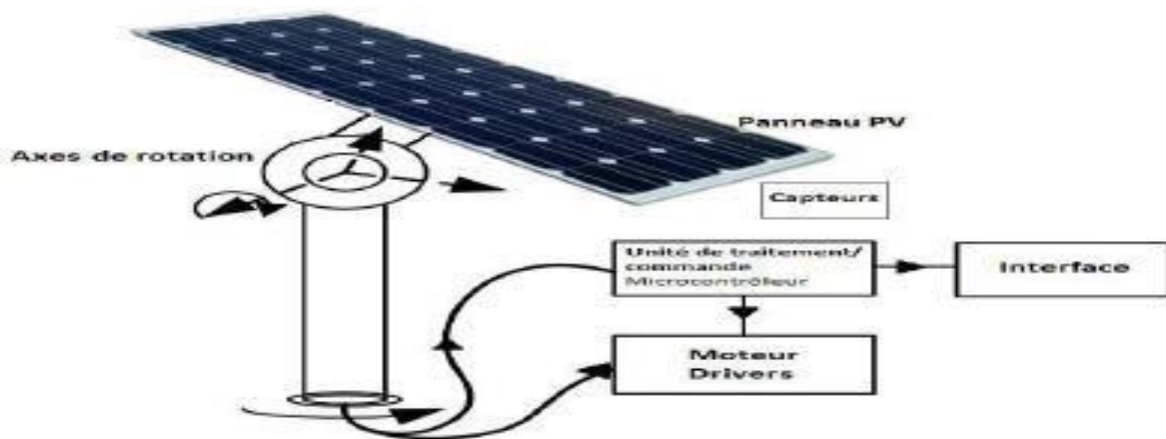


Figure II.13 : Exemple et fonctionnement du suiveur actif [31]

2.5 Présentation de la carte Arduino :

2.5.1. Définition du module Arduino :

Le module Arduino est une plateforme de contrôle sous forme de circuit imprimé en matériel libre, dont les schémas de la carte elle-même sont rendus publics sous licence libre. Cependant, certains composants de la carte, tels que le microcontrôleur et les composants associés, ne sont pas soumis à une licence libre.

Un microcontrôleur programmé est capable d'analyser et de produire des signaux électriques pour exécuter une grande variété de tâches. L'Arduino est largement utilisé dans de nombreux domaines, notamment l'électrotechnique industrielle et embarquée, le modélisme, la domotique, mais également dans des contextes artistiques contemporains et pour le contrôle de robots, la gestion de moteurs, la création d'effets lumineux, la communication avec un ordinateur, et le contrôle d'appareils mobiles.

Chaque module d'Arduino possède :

- un régulateur de tension +5 V.
- un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).

Pour programmer le microcontrôleur on utilise une carte Arduino. [20]

2.5.2. Architecture de la carte :

La figure suivante illustre le schéma synoptique de la carte Arduino

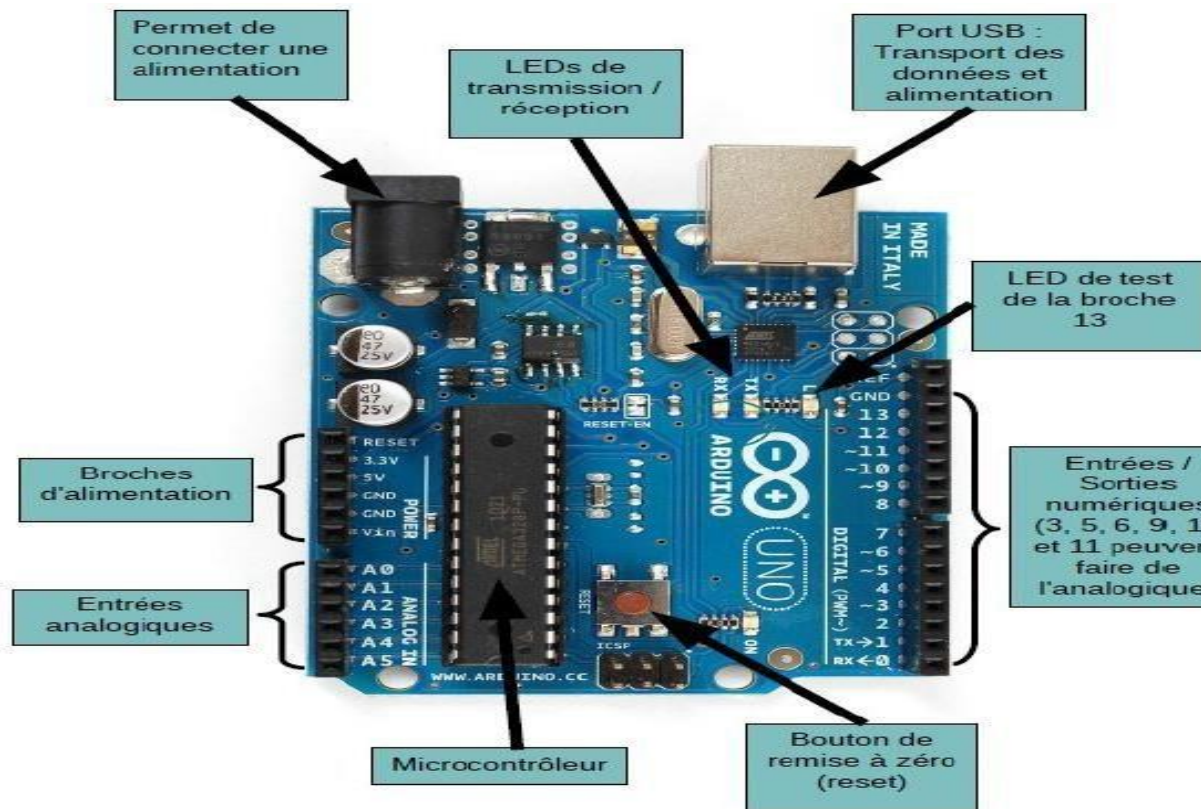


Figure II.14 : Architecture de la carte Arduino UNO

2.5.3. Le principe du suiveur solaire avec circuit Arduino :

La création d'un suiveur solaire utilisant un circuit Arduino se base essentiellement sur un dispositif automatisé capable de suivre une source de lumière en s'ajustant de manière optimale pour être orienté vers les rayons du soleil. [32]

Les rotations se réalisent selon deux axes (vertical et horizontal), ce qui demande l'emploi de deux moteurs contrôlés par la carte Arduino, qui est équipée d'un microcontrôleur. [32]

Ce processus est comparable à celui de la rétroaction. Le panneau solaire est doté de quatre capteurs photosensibles, et son alignement est influencé par la luminosité captée par chacun de ces capteurs. Le logiciel compare ensuite les niveaux de luminosité captés par les capteurs et ajuste la position si une disparité est

remarquée. Par exemple, si les capteurs situés en haut captent davantage de lumière que ceux en bas,

Le logiciel identifie cette disparité et ajuste l'orientation du panneau vers le haut pour la compenser, ce principe étant également valable pour les mouvements à gauche et à droite.[32]

La configuration de la carte Arduino a été requise pour assurer le fonctionnement autonome de l'ensemble, sans nécessiter de connexion à un ordinateur, grâce au stockage du code sur la carte Arduino.

De plus, une carte électronique spécifique a été élaborée pour servir de base, éliminant ainsi le besoin de câblage supplémentaire. Les panneaux solaires et les capteurs sont fixés directement sur cette carte électronique, tandis que le microcontrôleur Arduino est positionné en dessous. [32]

2.6 Fonctionnement et caractéristiques de la carte Arduino :

2.6.1. Câblage et fonctionnement :

Le principe repose sur l'idée que la lumière captée par les trois photorésistances est équilibrée lorsque le capteur (ensemble des trois photorésistances) est aligné avec la source lumineuse. Par conséquent, il est essentiel de quantifier la lumière captée par chaque photorésistance en évaluant la tension à leurs bornes. Cette évaluation est réalisée en reliant les ports 1 à 3 de la carte, configurés en ports analogiques, afin d'effectuer la mesure. [18]

Après cela, le programme compare ces tensions et instruit les servomoteurs de tourner vers la direction des photorésistances qui reçoivent le moins de lumière. [18]

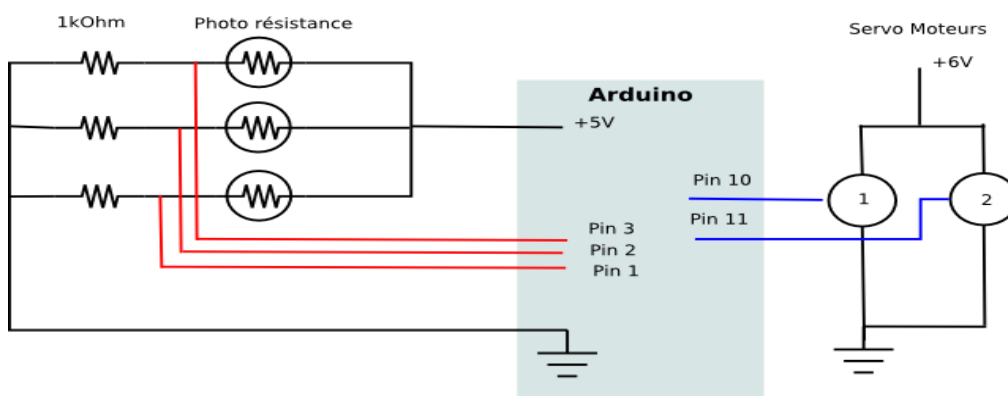


Figure II.15 : Câblage de circuit arduino [19]

2.6.2. Caractéristique de la carte Arduino

Voici quelques-unes des principales caractéristiques de la carte Arduino que nous avons identifiées : [18]

- **Pas cher** : Voici les éléments clés de la carte Arduino que nous avons identifiés .

- **Multiplateforme** : Le langage de programmation Arduino, basé sur Java, fonctionne sans problème sur les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux, ce qui le différencie de la plupart des autres plates-formes de microcontrôleurs souvent restreintes à Windows.

- **Un environnement de programmation claire et simple** : L'interface de développement Arduino est conçue pour être accessible aux débutants tout en proposant une flexibilité qui permet aux utilisateurs expérimentés de l'exploiter pleinement.

- **Logiciel open source est extensible** : Le logiciel Arduino et le langage Arduino sont distribués sous une licence open source, accessible à tous et modifiable par des programmeurs expérimentés.

- **Matériel open source est extensible**: Les cartes Arduino intègrent différents microcontrôleurs tels que l'Atmel ATMEGA2560, ATMEGA168, ATMEGA328, et d'autres encore. Les schémas des modules sont diffusés sous licence Creative Commons, offrant ainsi aux concepteurs de circuits l'opportunité de personnaliser et d'améliorer les cartes Arduino en les adaptant selon leurs besoins spécifiques.

- La carte Arduino peut enregistrer et exécuter un programme.
- Elle peut recevoir des données d'entrée analogiques ou numériques et produire des données de sortie analogiques ou numériques.

- Le microcontrôleur analyse ces données et les envoie vers les sorties numériques.

- Il rassemble les informations provenant des capteurs pour les transmettre à l'interface de commande (PC) et interpréter les directives afin de contrôler les actionneurs.

2.6.3. Présentation matériel de la plateforme Arduino :

L'Arduino se compose de deux éléments intrinsèquement liés :[18]

- La carte, qui représente la composante matérielle avec laquelle on interagit pour réaliser des projets.
- La plateforme logicielle Arduino IDE, fonctionnant sur un ordinateur personnel, facilite le développement et le transfert du programme qui sera ensuite exécuté par la carte Arduino.

2.7 Utilisation de la carte Arduino dans les systèmes de suivi solaire :

Arduino est un projet open source. En effet, les plans de la carte, les schémas, etc. sont accessibles et libres de droits. La grande communauté d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions et apporte un travail énorme de documentation au projet.

L'Arduino est employé dans divers domaines tels que l'électrotechnique industrielle, la domotique, la robotique, etc.

Les projets Arduino peuvent fonctionner de manière autonome ou interagir avec d'autres logiciels installés sur un ordinateur, tels que Flash, Processing, MaxMPS, Matlab. [35]

2.7.1. Les cartes Arduino les plus utilisées :

Il y a une grande diversité de modèles Arduino, se différenciant par le nombre d'entrées et de sorties, ainsi que par des caractéristiques comme le type de microcontrôleur et la capacité de mémoire. La figure I.11 illustre quelques-uns de ces modèles Arduino, tandis que le tableau II.1 présente les spécifications des différentes cartes Arduino. [33].

2.8. Avantages et limites de l'utilisation de la carte :

Il existe diverses variantes de cartes Arduino, mais le modèle Uno est le plus courant et offre déjà une gamme étendue de fonctionnalités. [34]

L'ArduinoUno est équipé de spécifications techniques adéquates pour débiter efficacement en programmation : il offre 14 entrées/sorties numériques, 6 entrées

analogiques, une mémoire flash de 32 Ko, une SRAM de 2 Ko, ainsi qu'une EEPROM de 1 Ko. Si ces termes vous semblent obscurs, ne vous inquiétez pas ! Il vous suffira de consulter les nombreux tutoriels disponibles en ligne pour en apprendre davantage.

Un avantage évident de ce microcontrôleur est sa simplicité d'utilisation, le rendant accessible à tous. Vous n'avez pas besoin d'être un expert en informatique ; même les débutants peuvent s'en sortir facilement grâce aux nombreux guides explicatifs disponibles en ligne ! La carte se connecte facilement à un ordinateur via un câble USB inclus.

Sur le marché, il existe une variété de modules préprogrammés conçus pour différentes fonctions. Il est envisageable de les acquérir et de les intégrer à la carte Arduino.[34]

Ce système a pour avantage de vous éviter d'avoir à approfondir considérablement l'apprentissage des langages de programmation tels que le C ou le C++. Il vous permet d'accomplir de nombreuses actions sans avoir à maîtriser ces langages en profondeur.

Un autre avantage de l'ArduinoUno est sa grande accessibilité. En effet, il est largement disponible sur internet à un prix abordable d'environ 25 €.

Facile à utiliser: Arduino est très facile à apprendre et à utiliser, même pour les débutants en électronique.

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et la carte Arduino

Disponibilité des ressources : Il existe un grand nombre de ressources disponibles pour Arduino, comme des forums, des tutoriels, des bibliothèques, etc.

Faible coût : le matériel Arduino est assez peu coûteux par rapport aux autres microcontrôleurs.

Flexibilité : Arduino est hautement personnalisable et peut être utilisé dans une grande variété de projets. [34]

2.9.Conclusion :

Ce chapitre traite des fondamentaux des capteurs et de la carte Arduino. Il commence par présenter les capteurs, qui transforment les grandeurs physiques en signaux utilisables par des systèmes électroniques. Ensuite, il explore les capteurs solaires et leur rôle dans la conversion de l'énergie solaire en chaleur exploitable. Il définit également la chaîne de mesure, qui englobe les processus de conversion et de traitement du signal.

Ensuite, il examine divers types de capteurs solaires, notamment les capteurs plans vitrés et non vitrés, ainsi que les capteurs à air et sous vide. Il présente également les capteurs concentrateurs, tels que les concentrateurs cylindro-paraboliques et paraboliques, ainsi que les centrales à tour, en expliquant leurs principes de fonctionnement.

Le chapitre se penche ensuite sur les suiveurs solaires, des dispositifs qui ajustent l'orientation des panneaux solaires pour améliorer leur efficacité. Il détaille les suiveurs passifs et actifs, chacun avec ses mécanismes et avantages spécifiques. Enfin, il introduit la carte Arduino, en présentant son architecture, ses fonctionnalités et son utilisation dans les systèmes de suivi solaire. Les avantages de l'utilisation de la carte Arduino, tels que sa facilité d'utilisation, sa disponibilité des ressources et son faible coût, sont également abordés, soulignant son rôle central dans la réalisation de divers projets électroniques.



***C**hapitre III :*

Réalisation et Test du Prototype

3.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous passons de la phase de conception à la réalisation concrète de notre suiveur solaire. Nous allons assembler les composants électroniques et mécaniques pour créer un prototype fonctionnel, puis le soumettre à une batterie de tests pour évaluer ses performances. Enfin, nous discuterons des résultats obtenus et de leurs implications.

3.2. Conception détaillée du suiveur solaire :

3.2.1 Description des composants utilisés:

Capteurs de lumière : Les capteurs de lumière, tels que les photorésistances ou les cellules solaires, détectent la position du soleil dans le ciel. Ces capteurs peuvent être disposés sur un bras mobile ou à différents endroits autour du panneau solaire pour une précision accrue. [36]

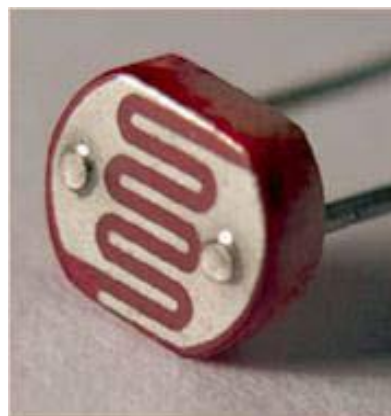
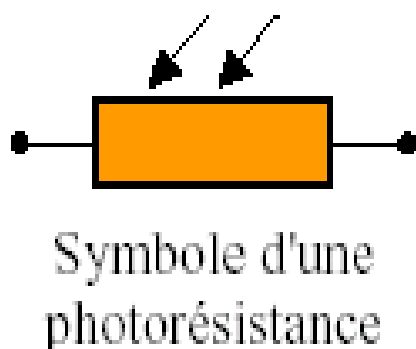


Figure III.1 : Symbole et Capteur LDR

Unité de contrôle : Une unité de contrôle électronique reçoit les signaux des capteurs de lumière et calcule la position optimale du panneau solaire en fonction de la trajectoire du soleil. Cette unité de contrôle peut être basée sur un microcontrôleur ou un ordinateur embarqué. [37]

Moteurs : Des moteurs électriques contrôlés par l'unité de contrôle ajustent l'orientation du panneau solaire horizontalement et verticalement pour suivre la trajectoire du soleil. [38]



Figure

III.2:Connectez le Contrôleur aux moteurs

Supports et mécanismes de rotation : Le panneau solaire est monté sur des supports qui permettent une rotation horizontale et verticale. Ces mécanismes de rotation peuvent être basés sur des engrenages, des poulies ou d'autres systèmes mécaniques. [39]

Alimentation électrique : Une source d'alimentation électrique est nécessaire pour alimenter l'unité de contrôle et les moteurs. Cela peut être fourni par des panneaux solaires supplémentaires, des batteries rechargeables ou une connexion au réseau électrique. [40]

Programmation : La programmation de l'unité de contrôle prend en compte des facteurs tels que la latitude et la longitude de l'installation, la saison, l'heure du jour et les conditions météorologiques pour calculer avec précision l'orientation optimale du panneau solaire. [41]

Sécurité : Des dispositifs de sécurité sont intégrés pour protéger le suiveur solaire contre les dommages causés par les conditions météorologiques extrêmes. Des capteurs de vent et de température peuvent être utilisés pour détecter les conditions dangereuses et mettre le suiveur solaire en position de sécurité. [42]

En combinant ces éléments avec les références fournies, un suiveur solaire peut être conçu et mis en œuvre pour maximiser la production d'énergie solaire en ajustant automatiquement l'orientation des panneaux solaires pour suivre la trajectoire du soleil tout au long de la journée.

Voici une description du schéma de câblage et du montage physique d'un suiveur solaire avec des références.

3.2.2 Schéma de câblage et montage physique :

Schéma de câblage :

- L'unité de contrôle, généralement basée sur un microcontrôleur ou un ordinateur embarqué, est connectée aux capteurs de lumière pour recevoir les données de position du soleil. Les capteurs de lumière peuvent être des photorésistances ou des cellules solaires. [36]

- Les capteurs de lumière sont reliés à l'unité de contrôle à l'aide de câbles appropriés. La communication peut se faire via des interfaces telles que l'I2C ou l'UART. [43]



Figure III.3: Schéma de câblage

Position des capteurs LDR :

Pour le fonctionnement de notre model, nous avons placé les capteurs dans chaque position, pour cela, on à utiliser une boucle de forme plus (×) pré-calculée, afin d'isoler les capteurs et pour couvrir toutes les directions et avoir une meilleurs précision.



Figure III.4 :Position des capteurs LDR



Figure III.5: prototype des quatre capteurs LDR

- Les moteurs utilisés pour ajuster l'orientation du panneau solaire sont également connectés à l'unité de contrôle. Des ponts en H sont souvent utilisés pour contrôler la direction du mouvement. [44]

-L'alimentation électrique, provenant de panneaux solaires, de batteries ou d'une source d'alimentation externe, est connectée à l'unité de contrôle pour alimenter l'ensemble du système. [45]

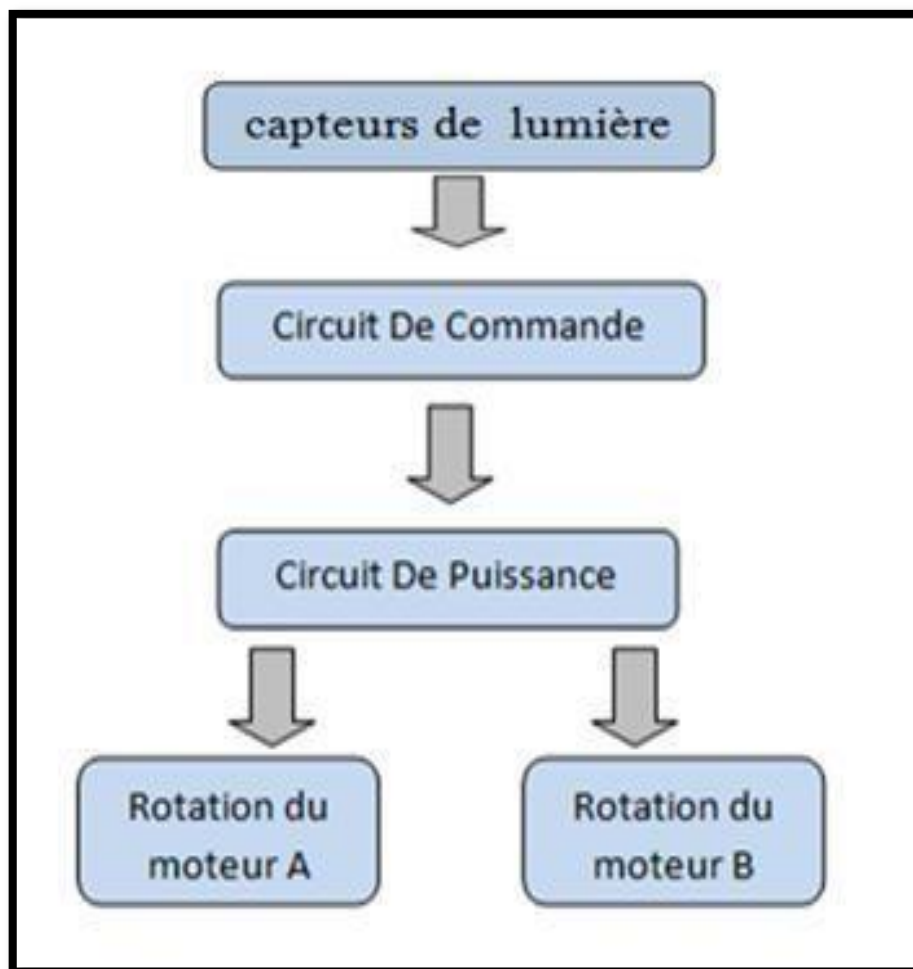


Figure III.6 : Schéma synoptique d'un suiveur de soleil

Montage physique :

- Les capteurs de lumière sont montés sur un support fixe ou mobile à un endroit offrant une exposition maximale au soleil. Ils sont souvent installés de manière à minimiser les ombres portées. [46]

- Les moteurs sont montés sur le mécanisme de rotation du panneau solaire, permettant le mouvement horizontal et vertical du panneau. Des supports solides et résistants aux intempéries sont utilisés pour assurer la stabilité. [47]

- Le panneau solaire est fixé aux moteurs et monté sur des supports lui permettant de pivoter en fonction des commandes de l'unité de contrôle. Les connexions mécaniques doivent être sécurisées pour éviter tout desserrage pendant le fonctionnement. [48]

- Tous les composants électriques sont installés dans un boîtier étanche et résistant aux intempéries pour protéger le système des éléments extérieurs. [49]

En suivant ces directives et en utilisant les références fournies, un schéma de câblage et un montage physique efficaces peuvent être mis en place pour un suiveur solaire.

3.3. Programmation de la carte Arduino :

La conception d'un suiveur solaire avec des mesures de courant et de tension numériques basées sur un microcontrôleur est un système qui peut suivre automatiquement la direction du soleil en fonction du capteur LDR. Le principe de fonctionnement de cet outil est de diriger les panneaux solaires pour suivre automatiquement la direction du soleil et le courant et la tension peuvent être surveillés numériquement à l'aide d'un enregistreur de données. Le résultat de cette conception est que le suiveur solaire est programmé en utilisant ArduinoUno comme centre de contrôle, un capteur LDR pour détecter la lumière du soleil en tant que déterminant de l'inclinaison du panneau solaire vers le soleil. Pour le piloter, il utilise deux (2) moteurs de vitre électrique qui sont contrôlés à l'aide du pilote de moteur BTS7960, et utilise le capteur INA219 pour mesurer le courant et la tension. Le courant et la tension de sortie du panneau solaire sont affichés sur l'écran LCD (Liquid Crystal Display) et peuvent être surveillés à l'aide de l'enregistreur de données PLX-DAQ.[50]

Programmation :

La carte Arduino UNO est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino. Il suffit de sélectionner "Arduino UNO" dans le menu Outils > type de carte.

Afin d'injecter du code dans le microcontrôleur, un logiciel de programmation des cartes Arduino, fait en langage Java et libre en plus d'être multiplateforme, sert comme éditeur et compilateur.

Le langage de programmation utilisé pour coder et éditer le code que l'on va injecter est le C++.

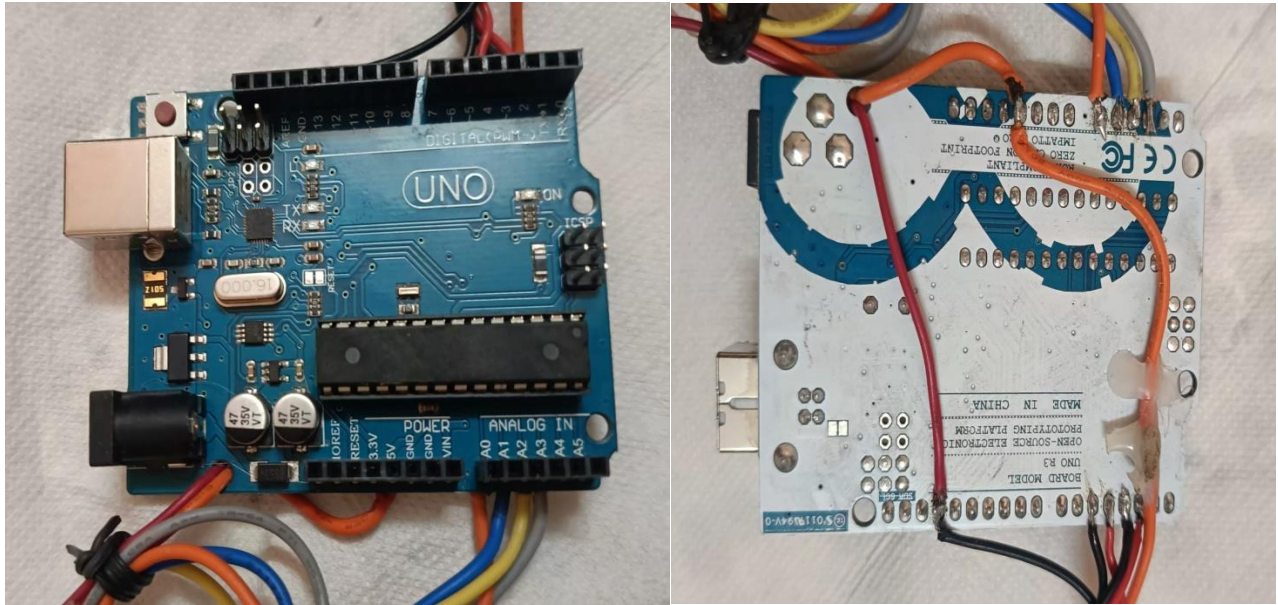


Figure III.7: Constitution de la carte Arduino UNO

3.4. Étapes de montage du prototype:

3.4.1. Assemblage des composants électroniques :

L'assemblage des composants électroniques pour un suiveur solaire peut être une tâche complexe mais gratifiante. Voici une procédure générale que vous pourriez suivre :

Liste des composants:

Assurez-vous d'avoir tous les composants nécessaires, y compris les capteurs de lumière, les moteurs, les contrôleurs, les composants électroniques (résistances, condensateurs, etc.) et tout le matériel de montage.

Schéma électronique:

Créez ou téléchargez un schéma électronique pour votre suiveur solaire. Cela vous aidera à comprendre comment chaque composant est connecté.

Préparation des composants:

Avant de commencer l'assemblage, assurez-vous que tous les composants sont fonctionnels et prêts à être utilisés.

Assemblage mécanique:

Montez les moteurs et les capteurs sur la structure mécanique de votre suiveur solaire. Assurez-vous qu'ils sont bien sécurisés et alignés correctement pour suivre le mouvement du soleil.

Assemblage électronique :

Suivez le schéma électronique pour connecter tous les composants électroniques. Assurez-vous de suivre les bonnes polarités et de bien isoler les connexions pour éviter les courts-circuits.

Test initia :

Une fois l'assemblage terminé, effectuez un test initial pour vous assurer que tous les composants fonctionnent correctement ensemble. Vérifiez que les moteurs réagissent aux signaux des capteurs de lumière.

Calibration:

Calibrez votre suiveur solaire en ajust

3.4.2. Intégration mécanique du suiveur solaire :

En raison de la crise énergétique actuelle dans le monde, il est important d'explorer les sources d'énergie renouvelables, telles que les systèmes photovoltaïques. Dans ce contexte, cette recherche analyse un système de capture réactive appelé Girassol, qui vise à améliorer l'efficacité de la production d'énergie. Des tests ont été réalisés sur le mécanisme afin d'évaluer les avantages et les inconvénients de l'utilisation du suiveur solaire par rapport aux systèmes fixes. Les tests ont été effectués à l'aide du prototype physique et d'outils informatiques pour comparer les résultats. La méthodologie utilisée était la recherche en sciences de la conception, qui vise à développer et à améliorer des solutions abordables, basées sur des expériences et des simulations informatiques. Par rapport au prototype physique, il a été possible d'observer une plus grande amélioration énergétique du Girassol, principalement aux moments initiaux et finaux des heures d'ensoleillement..[51]

3.5. Procédures de test du prototype :

3.5.1. Méthodologie de test :

Dans cet article, un suiveur solaire à logique floue a été conçu et mis en œuvre pour augmenter l'efficacité d'un système photovoltaïque en mettant à jour la position du panneau tout au long de la journée pour une utilisation optimale du rayonnement solaire. Dans la conception et la mise en œuvre du suiveur solaire, différentes stratégies de contrôle ont été analysées, concluant que le contrôle flou satisfait toutes

les exigences du système photovoltaïque avec un suiveur solaire, le prototype développé a subi différents tests sur une période déterminée pour valider les performances du système de suivi solaire par rapport à celui avec une position fixe, atteignant une augmentation de 40% par rapport aux systèmes solaires fixes. [52]



Figure III.8:Dispositif de suivi du Soleil

3.5.2. Évaluation des performances du suiveur solaire :

Le suivi solaire améliore généralement les performances d'un séchoir solaire en optimisant l'angle d'incidence des rayons solaires tout au long de la journée. Sans suivi solaire, le séchoir est généralement fixe, ce qui signifie que son efficacité peut varier en fonction de la position du soleil dans le ciel.

Avec un suivi solaire, le système peut ajuster sa position pour maximiser l'exposition au soleil, ce qui se traduit par une augmentation potentielle de la température à l'intérieur du séchoir et donc une accélération du processus de séchage. Cela peut être particulièrement bénéfique dans les régions où l'ensoleillement est variable ou lorsque le séchage doit être accéléré pour des raisons pratiques ou commerciales.

En résumé, un séchoir solaire avec suivi solaire peut offrir des performances supérieures en termes de vitesse de séchage et d'efficacité énergétique par rapport à un séchoir solaire statique. Cependant, le coût et la complexité de mise en œuvre d'un suivi solaire doivent également être pris en compte lors de l'évaluation de son efficacité globale.

3.6. Analyse des résultats expérimentaux :

Pour analyser les résultats expérimentaux et la précision du dispositif de suivi solaire, plusieurs facteurs peuvent être pris en compte :

3.6.1. Précision du suivi solaire :

Précision du suivi :

Cela concerne la capacité du dispositif à déterminer avec précision la position du soleil et à le suivre correctement tout au long de la journée. La précision du suivi peut être mesurée en comparant la position réelle du soleil à celle suivie par le dispositif.

Réactivité du dispositif :

Cela fait référence à la rapidité avec laquelle le dispositif réagit aux changements de position du soleil. Le dispositif doit être capable d'ajuster sa position rapidement pour faire face aux variations d'angle du soleil.

Stabilité du suivi :

Il s'agit de la capacité du dispositif à maintenir une trajectoire de suivi stable, sans oscillations importantes ou déviations indésirables.

3.6.2. Efficacité énergétique :

Efficacité énergétique :

Le dispositif doit être efficace dans l'utilisation de l'énergie pour suivre le soleil sans gaspillage.

Résistance environnementale :

Le dispositif doit être capable de résister à différentes conditions environnementales, y compris les vents forts, la pluie et les variations de température.

Coût et maintenance :

Le coût du dispositif doit être raisonnable et sa maintenance facile pour assurer sa durabilité à long terme.

3.7. Discussion des résultats et des conclusions provisoires :

Augmentation de la production d'énergie :

Une des principales conclusions positives du suiveur solaire est l'augmentation de l'efficacité de production d'énergie solaire. Le dispositif oriente précisément les panneaux solaires vers le soleil, augmentant ainsi l'utilisation de la lumière solaire et la quantité d'énergie produite.

Amélioration des performances tout au long de la journée :

Grâce à sa capacité à suivre le mouvement du soleil, le suiveur solaire améliore les performances des panneaux solaires tout au long de la journée. Cela signifie que la productivité n'est pas limitée à une période spécifique, mais qu'elle est continue pendant la journée, améliorant ainsi l'efficacité globale du système.

Amélioration du retour sur investissement :

En considérant l'augmentation de la production d'énergie solaire, le suiveur solaire peut améliorer le retour sur investissement des projets solaires. Si le coût supplémentaire du dispositif est acceptable par rapport à l'augmentation de la productivité, cela rend l'investissement dans cette technologie plus attrayant.

Défis potentiels :

Cependant, il existe également des défis potentiels à prendre en compte, tels que les coûts supplémentaires d'installation et de maintenance du dispositif, les effets potentiels des conditions météorologiques extrêmes sur son fonctionnement, ainsi que les défis techniques potentiels liés à la fiabilité à long terme du dispositif.

Durabilité et environnement :

Le suiveur solaire peut contribuer à la durabilité en augmentant l'utilisation de l'énergie solaire, considérée comme propre et renouvelable. Par conséquent, le dispositif peut jouer un rôle important dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et dans la lutte contre le changement climatique.

En résumé, le suiveur solaire présente de nombreux avantages potentiels, mais une étude approfondie des résultats et une analyse complète sont nécessaires pour évaluer la faisabilité de l'utilisation de cette technologie à grande échelle, ainsi que pour identifier les défis et opportunités futures.

3.8.Conclusion :

La conception détaillée du suiveur solaire offre un aperçu complet des composants nécessaires et de leur fonctionnement intégré. Les capteurs de lumière, l'unité de contrôle, les moteurs, les supports de rotation, l'alimentation électrique, la programmation et les dispositifs de sécurité sont tous essentiels pour assurer le bon fonctionnement du système. Le schéma de câblage et le montage physique détaillent la manière dont ces composants sont connectés et assemblés pour former un suiveur solaire fonctionnel.

La programmation de la carte Arduino est cruciale pour coordonner les actions des différents composants et assurer un suivi précis du soleil. Les étapes de montage du prototype fournissent un guide pratique pour l'assemblage des composants électroniques et mécaniques, tandis que les procédures de test et l'évaluation des performances du prototype permettent de vérifier son efficacité et sa fiabilité.

L'analyse des résultats expérimentaux met en lumière des aspects clés tels que la précision du suivi solaire, l'efficacité énergétique, la résistance environnementale et les coûts associés. Les conclusions provisoires soulignent les avantages potentiels du suiveur solaire en termes d'augmentation de la production d'énergie, d'amélioration des performances tout au long de la journée et d'amélioration du retour sur investissement. Cependant, des défis potentiels tels que les coûts supplémentaires et les défis techniques doivent également être pris en compte.

En fin de compte, bien que le suiveur solaire présente de nombreux avantages, une évaluation approfondie de sa faisabilité et de ses implications à grande échelle est nécessaire pour une adoption généralisée et durable de cette technologie.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion Général :

Tout d'abord, l'étude a mis en évidence l'importance croissante du séchage solaire en tant que méthode durable et économique pour préserver les aliments et d'autres produits. Les avantages du séchage solaire par rapport aux méthodes traditionnelles ont été clairement démontrés, notamment en termes de réduction des coûts et de préservation de la qualité des produits.

En ce qui concerne le suivi solaire, l'utilisation de capteurs et de la carte Arduino a permis de développer un système efficace pour maximiser l'utilisation de l'énergie solaire. L'intégration de ces technologies dans un prototype fonctionnel a été un succès, comme en témoignent les résultats des tests expérimentaux.

L'analyse des performances du suiveur solaire a révélé une précision satisfaisante dans le suivi du soleil ainsi qu'une efficacité énergétique améliorée par rapport aux systèmes fixes. Cela confirme l'utilité et l'efficacité de cette technologie pour augmenter la production d'énergie solaire dans diverses applications, y compris le séchage solaire.

Enfin, bien que les résultats soient encourageants, il reste des défis à relever, notamment en termes de coûts et de maintenance. Une analyse approfondie des coûts et des avantages à long terme est nécessaire pour évaluer pleinement la viabilité économique du suivi solaire à grande échelle. De plus, des travaux supplémentaires peuvent être envisagés pour ce projet, tels que l'accent mis sur l'amélioration de la précision du système de suivi pour obtenir de meilleures performances, ainsi que le développement de techniques visant à accroître l'efficacité de conversion de l'énergie solaire en électricité.

En résumé, cette recherche a mis en évidence les avantages potentiels du séchage solaire et du suivi solaire pour répondre à la demande croissante en énergie renouvelable tout en préservant les aliments. Avec davantage de recherches et d'investissements, ces innovations pourraient jouer un rôle essentiel dans la transition vers un avenir plus écologique et énergétiquement efficient.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] HOUHOU HATE, Etude de théorique et expérimental du séchage solaire de certains produits agro-alimentaires, thèse de Magister, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [2] Dilip R. Pangavhane, R.L. Sawhney and P.N. Sarsavadia. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer, Energy 27 (2002).
- [3] A. El-Sebaili, S. Aboul-Enein, M.R.I. Ramadan and H.G. El-Gohary, Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables, Energy 27
- [4] Dilip Jain and Rajeev Kumar Jain, Performance évaluation of an incline multi-pass solar air heater with in-built thermal storage on deep-bed drying application, Journal of Food Engineering 65.
- [5] Dilip Jain, Modeling the system performance of multi-tray crop drying using an inclined multipass solar air heater with in-built thermal storage, Journal of Food Engineering 71 .
- [6] Benkhelfellah, R., S. El mokretar, et al. SECHOIRS SOLAIRES. ETUDE COMPARATIVE DE LA CINETIQUE DE SECHAGE DES PRODUITS AGROALIMENTAIRES DANS DES MODELES DE TYPE DIRECT ET INDIRECT. 12èmes Journées Internationales de Thermique, Tanger, Maroc.
- [7] Dilip Jain, Modeling the performance of the reversed absorber with packed bed thermal storage natural convection solar crop dryer, Journal of Food Engineering 78 .
- [8] Khalil E.J. Al-Juamili, Abdul Jabbar N. Khalifa, Tadahmun A. Yassen, Testing of the performance of a fruit and vegetable solar drying system in Iraq, Desalination 209 .
- [9] V. Shanmugama, E. Natarajan, Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer, Renewable Energy 31.
- [10] A. Labed, N. Moumni, K. Aouès, M. Zellouf et A. Moumni, Etude théorique et expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle, Université Mohamed Khider, Biskra, thèse de Magister.

- [11] H. Ahmed Amer, A. Hakim Selkh, AMELIORATION DES PERFORMANCES THERMIQUE ET DYNAMIQUE D'UN CAPTEUR DESTINE AU SECHAGE, Mémoire de master, Université de Ghardaia .
- [12] BELACHI, Warda. Application de séchage solaire pour la conservation des produits agroalimentaire. Mémoire de Magister en physique énergétique, Université KasdiMerbahOuargla.
- [13] Aboltins, Aivars, et al. "Investigations of air solar collector efficiency." Proceedings of the 8th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development Engineering for Rural Development. Vol. 1.
- [14] TOUATI TLIBA. M& DRIHEM.B. Etude expérimentale du séchage solaire des plantes feuillues .
- [15] A .Saf, S. Reddam, Technologies de séchage. Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve, Mémoire de master, Université A. MIRA – Bejaia .
- [16] R. BENAMMAR, K.GOURI. Séchage Solaire des Produits Agricoles), Mémoire de master, Université KasdiMerbah- Ouargla .
- [17] A. BEN LAHBIB, N. SAOULI. Contribution à l'amélioration du rendement thermique des capteurs solaires plans à air dans la région du sud Algérien (Ouargla), Mémoire de master, Université KasdiMerbah- Ouargla .
- [18] A. AOUNE, Conception et Réalisation d'un tracker solaire intelligent à Base d'une Carte Arduino-Uno, Mémoire de master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [19] Madhlopa et al: "A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration." Renewableenergy 27(1).
- [20] Amelin et Souriau : Fabrication de cuiseurs et de séchoirs solaires, CTA.
- [21] Ekechukwu, O. V. et B. Norton, 1999 : "Review of solar-energy drying systems II: an Over view of solar drying technology." Energy conversion and management 40(6): 615-655.
- [22] Pangavhane et Sawhney: "Review of research and development work on solar dryers for grape drying." Energy conversion and management 43(1): 45-61.
- [23] Mennouche, 2006 : "Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire." Mémoire de Magister, Université de Ouargla.

- [24] F. Z. Attia, A. N. Bensaada, Conception d'une installation hybride Solaire-conventionnelle, MEMOIRE DE MASTER, Université Amar Thelidji-Laghouat.
- [25] GUIDEnR.SOLAIRE THERMIQUE,
[Eligne] <http://www.solairethermique.guidenr.fr/>
- [26] INES., Institut National de l'Energie Solaire.
[En ligne] <http://www.inessolaire.org>
- [27] Syndicat des Energies Renouvelables « Principe de fonctionnement de la solaire thermodynamique », Agence International pour l'Energie.
- [28] <http://www.clg-champagnelemesnil.fr/IMG/pdf/les-energies-solaires.pdf>
- [29] K. Zakaria, « Etude d'une centrale solaire thermique », Mémoire de Magister, Université Annaba.
- [30] J'apprends l'énergie, GDF SUEZ, (énergie renouvelable).
- [31] [www.encyclopedie-energie.org/stockage-hydraulique-et-production-d'électricité](http://www.encyclopedie-energie.org/stockage-hydraulique-et-production-d-electricite).
- [32] [related:fr.rs-online.com/web/p/ldr/0596141/](http://fr.rs-online.com/web/p/ldr/0596141/) Spécifications et limites du Capteur LDR NSL-19M.
- [33] H. WAFAI, « Arduino du débutant à professionnel », Homs, Syrie, 2018.
- [34] <https://www.arduino-france.com/review/arduino-uno/>
- [35] <https://search.proquest.com/openview/e32ec3951f66642270d67f95c9c89d1c/>.
- [36] "A Robust Solar Tracking System with Adaptive Control for PV Power Plants" par Y. A. R. I. Mohamed, A. K. Hamouda, et al.
- [37] "Design and Development of a Solar Tracking System" par S. J. Raj et al.
- [38] "Development and performance evaluation of dual-axis solar tracker system for grid-tied photovoltaic panels" par M. E. Elbelkasy et al.
- [39] "Design and implementation of a single-axis sun tracking system with PLC control" par M. M. Kasim et al.
- [40] "Development of a microcontroller-based solar tracking system with standalone energy management system" par A. B. M. Saifullah et al.
- [41] "Design and implementation of automatic dual-axis solar tracking system for maximum power generation" par A. S. Bashi et al.

- [42] "Solar tracking system with single axis auto-positioning using microcontroller" par S. G. Kareem et al.
- [43]"Design and Implementation of Solar Tracking System using Microcontroller" par S. B. Srinivas et al.
- [44]"Development and performance evaluation of automatic solar tracking system for photovoltaic panels" par S. Mekhilef et al.
- [45]: "Design and Implementation of an Autonomous Solar Tracker" par R. K. H. Galal et al.
- [46]"Design and Construction of an Automatic Solar Tracking System" par M. T. Doki et al.
- [47]"Design and implementation of a solar tracking system with PLC control" par M. M. Kasim et al.
- [48]"Design and Development of a Dual-Axis Solar Tracking System for Improving Energy Capture" par Z. A. E. B. El Fadil et al.
- [49]"Development of an Automatic Solar Tracker for Thermal Applications" par A. Elkelani et al.
- [50]Rizana, Fauzi., Tan, Suryani, Solli. "Rancangbangun solar tracker denganpengukuranarusdantegangansecara digital berbasmikrokontroler." Foristek: Forum TeknikElektrodanTeknologiInformasi, undefined . doi: 10.54757/fs.v14i1.254
- [51] (2023). Open-source responsive solar tracker performance evaluation: a comparative study. Blucher Design Proceedings,
- [52] Francisco, Eneldo, López, Monteagudo., Rafael, Villela, Varela., Aurelio, Beltrán, Telles., Claudia, Reyes, Rivas. Design and construction of a fuzzy logic solar tracker prototype for the optimization of a photovoltaic system. Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, doi: 10.5935/jetia.v9i40.857

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude de la conception et de la réalisation d'un dispositif de suivi solaire spécifiquement conçu pour le séchage thermique. Après une introduction générale, le document explore en détail les aspects clés, notamment les processus de séchage thermique, les capteurs optiques, et l'utilisation de la carte Arduino dans ce contexte. Le dernier chapitre présente une analyse détaillée du processus de conception du modèle, ainsi qu'une évaluation des résultats et des conclusions préliminaires.

Mots Clés :

Photovoltaïque, Arduino UNO, Suiveur du soleil, capteur LDR

ملخص :

هذا البحث يستكشف فوائد استخدام الطاقة الشمسية في عمليات التجفيف الحراري، مما يوفر حلاً بيئياً لمختلف القطاعات. يهدف البحث إلى تصميم متابع شمسي دقيق لتعظيم كفاءة عملية التجفيف. على الرغم من النتائج الإيجابية الأولية، تبقى بعض التحديات فيما يتعلق بالتكاليف وصيانة الأجهزة. ومع ذلك، فإن هذه التقنية تمتلك إمكانيات كبيرة لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة المتجددة وفي نفس الوقت الحفاظ على جودة المنتجات، مما يستدعي المزيد من الأبحاث والاستثمارات لتبنيها على نطاق واسع.

الكلمات المفتاحية :

LDR جهاز استشعار، أردوينو أونو، متتبع الشمس، الطاقة الشمسية

Abstract :

This research explores the benefits of using solar energy in thermal drying processes, providing an eco-friendly solution for various sectors. Its aim is to design a precise solar tracker to maximize drying efficiency. Despite the initial positive results, challenges remain in terms of equipment costs and maintenance. However, this technology holds significant potential to meet the growing demand for renewable energy while preserving product quality, requiring further research and investment for widespread adoption.

Keywords:

Photovoltaic, Arduino UNO, Solar tracker, LDR sensor