



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Analyse des performances d'un
chauffe-air solaire.**

Réalisé Par :

**- MELLOUL NOUHAILA
- OUHSSAIN HASSNAE**

Encadré par :

- Pr A. MECHAQRANE (FST FES)

Soutenu le 06-07-2021 devant le jury

Pr A. MECHAQRANE (FST FES)

Pr F. ERRAHIMI (FST FES)

DEDICACE :

Nous dédions ce travail :

A nos parents,

Auxquels nous exprimons respect, amour, remerciements et reconnaissance qui constituent les moindres sentiments que nous puissions leur témoigner. Quoi que nous fassions, nous ne pourrions jamais les récompenser pour les conditions qu'ils nous ont préparées et les appuis matériels et moraux qu'ils nous ont fait bénéficier pour atteindre nos objectifs.

MERCI PARENTS.

A nos frères et sœurs,

Pour les meilleurs et sensibles sentiments qu'ils nous ont exprimés, la joie et la réussite qu'ils nous ont souhaités.

A nos chers amis,

Les expressions de tout notre respect et amour pour leurs aides morales et leurs soutiens.

MERCI A TOUS.

REMERCIEMENT

MERCI,

A mon bon Dieu qui nous a donné la force et le courage et la patience nécessaire pour réaliser ce modeste travail.

Il paraît très opportun d'entamer ce rapport par un témoignage de reconnaissance et de gratitude à tous ceux qui nous ont beaucoup soutenus au cours de ce stage. Leur attitude bienveillante et leur comportement constructif ont offert pour nous une occasion d'apprentissage et de renforcement de nos expériences.

Nous tenons à remercier, aussi, bien particulièrement notre encadrant **Mr. A. MECHAQRANE** pour sa disponibilité et pour les précieux conseils prodigués.

Nos remerciements vont également à tout le personnel de la FST pour le temps qui nous ont consacrés tout au long de cette période, sachant répondre à toutes nos interrogations; sans oublier leur participation au cheminement de ce rapport, et particulièrement **Mr. A. FARAH**.

Ainsi que tous ceux dont on n'a pas cité le nom, pour leur gentillesse, leur bonne humeur, on leur témoigne toute notre gratitude.

Notre profond respect, et nos vifs remerciements pour les professeurs: **Mme F.ERRAHIMI** et **Mr A. MECHAQRANE**, nous sommes très heureuses à l'honneur que vous faites en acceptant de juger notre travail.

RESUME

Un système solaire thermique exploite le rayonnement du Soleil afin de le transformer directement en chaleur (énergie calorifique).

On distingue deux types de technologies permettant d'exploiter l'énergie solaire thermique : La technologie solaire thermique à basse température et La technologie solaire thermique à haute température.

Nous intéressons dans notre projet sur La technologie solaire thermique à basse température et particulièrement la technologie solaire active qui désigne les applications à basse et moyenne température. Des capteurs solaires thermiques sont installés sur les toits des bâtiments. Ce sont des dispositifs conçus pour recueillir l'énergie provenant du Soleil et la transmettre à un fluide caloporteur. La chaleur est ensuite utilisée afin de produire de l'eau chaude sanitaire ou bien encore chauffer des locaux, c'est à dire la production de l'air chaud qui est l'intérêt de notre projet.

ABSTRACT

A solar thermal system uses the sun's radiation to transform it directly into heat (calorific energy).

There are two types of technologies for harnessing thermal energy: low temperature solar thermal technology and high temperature solar thermal technology.

We are interested in our project on Low temperature thermal solar technology and particularly active solar technology which designates low and medium temperature applications. Solar thermal collectors are installed on the roofs of buildings. These are devices designed to supply energy from the Sun and transmit it to a heat transfer fluid. The heat is then used to produce domestic hot water or even heat premises, that is to say the production of hot air which is the interest of our project.

Sommaire

DEDICACE

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION

CHAPITRE I : SECHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MEDICINALES

1. Plantes Aromatiques et Médicinales.....	11
1.1 Définition	11
1.2 Intérêt du séchage.....	12
1.3 Les paramètres qui influencent sur le séchage.....	12
2. Principe du séchage	12
1.1 Types de transfert.....	12
1.2 Phases de séchage	13
3. Mode de séchage	13
4. Technique de production de chaleur.....	13

CHAPITRE II: LE SECHAGE SOLAIRE

1. Types de séchage solaire.....	17
1.1 Capteur solaire plan.....	16
1.2 Séchoir expérimental.....	16
1.3 Séchage solaire directe.....	17
2. Processus de séchage solaire proposé	18
2.1 Chauffage de l'eau.....	18
a) Capteur thermique sous vide.....	18
b) Obtention de l'eau chaude.....	19
2.2 Echangeur de chaleur.....	20
a) L'échangeur eau-air.....	20
b) Obtention de l'air réchauffé.....	20

CHAPITRE III : REALISATION DU SYSTEME DE SECHAGE

1. Etude des plantes à sécher.....	22
1.1 La lavande.....	22
1.2 La sauge.....	22
2. Application.....	22
2.1 Réalisation de la commande de vitesse du ventilateur.....	22
a) Moteur DC.....	22
b) Utilisation du moteur DC pour varier la vitesse.....	23
2.2 Système d'acquisition de température.....	24
a) DS18B20.....	24
b) Enregistrement de données	24
2.3 Réalisation du montage et code Arduino.....	27
a) Simulation.....	27
b) Code Arduino.....	28

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES ABREVIATIONS

PMA : PLANTES AROMATIQUES ET MEDICINALE

Al-N/Al: ALUMINUM-NITROGEN / ALUMINUM

DC: DIRECT CURRENT

PWM: PULES WIDTH MODULATION

TTL: TIME TO LIVE

PLX-DAQ : PARALLAX - DISPOSITIF AMONT DE LA QUALIFICATION

LCD: LIQUID CRYSTAL DISPLAY

SD: SECURE DIGITAL

RTC : REAL TIME CLOCK

INTRODUCTION

En tant qu'étudiantes en licence génie électrique, nous devons compléter notre formation par un projet de fin d'études afin de pratiquer ce que nous avons acquis durant notre période d'étude à la Faculté des Sciences et Techniques. Dans ce cadre, nous avons effectué notre stage à la FST de Fès : (du 26/04/2021 au 26/06/2021).

Notre projet a été réalisé sur un chauffe-air solaire qui consiste à chauffer l'air à l'aide de l'eau chauffée à l'aide d'un capteur solaire à tubes sous vide.

On était amené à étudier les performances de notre système en fonction de nos besoins dans deux applications principales :

- ✓ Chauffage d'une serre agricole.
- ✓ Séchage des plantes aromatiques et médicinales.

Il sera question de:

- ✓ Étudier l'influence de la vitesse de l'air à l'entrée de l'échangeur c'est-à-dire réalisation d'un variateur de vitesse du ventilateur.
- ✓ Réaliser un système d'acquisition des températures de l'air à l'entrée et à la sortie de l'échangeur.

Ce rapport s'articule en trois chapitres :

- ✓ Le premier présente l'intérêt et les différentes modes de séchage.
- ✓ Le second représente une étude sur les séchoirs solaires, et la méthode que nous avons adoptée.
- ✓ Le troisième explique le processus de réalisation de notre système de séchage.

Présentation du lieu de stage :

Notre stage a été effectué au sein du laboratoire Systèmes Intelligents, Géo-ressources et Énergies Renouvelables (SIGER).

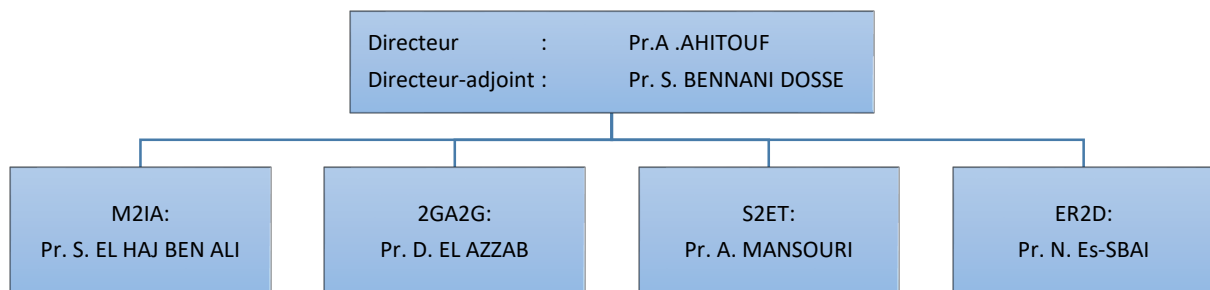
Equipes de recherche

Le laboratoire SIGER est constitué de quatre équipes de recherche:

- ① Mathématique, Informatique et Intelligence Artificielle (M2IA)
- ② Géologie et Géophysique appliquées aux Géo-ressources et Géo-risques (2GA2G)
- ③ Systèmes Embarqués, Électronique et Télécommunications (S2ET)
- ④ Energies Renouvelables et Développement Durable (ER2D)

Nous avons effectué notre stage au sein de l'équipe Energies Renouvelables et Développement Durable (ER2D).

Organigramme du laboratoire



Effectif & Etablissement d'accueil

- Le laboratoire a un effectif de :
 - 30 Enseignants chercheurs permanents
 - 77 Doctorants
 - 29 chercheurs associés
- Etablissement d'accueil: FST de Fès
- Etablissement membre: ENSA de Fès

Thématiques de recherche

Les différentes équipes du laboratoire SIGER travaillent dans différents domaines de recherche complémentaires et innovants. Les principales thématiques de recherche pour chaque équipe sont:

① Mathématique, Informatique et Intelligence Artificielle

- Problème de la médiane ordonnée d'un nombre fini de fonctions rationnelles, la Théorie de Localisation et ses applications pratiques, comme en gestion et valorisation des ressources naturelles et gestion des risques.
- Calcul Scientifique, Optimisation Polynomiale, Optimisation Multi-objectifs et la Programmation Semi-définie positive, utiles aux modélisations visant la connaissance, la maîtrise et la gestion des systèmes naturels et environnementaux;
- Services Web, Ingénierie dirigée par les Modèles, Adaptations et applications aux problèmes de gestion, voire d'anticipation de l'évolution des systèmes; • Risques et sécurité des systèmes d'information;
- L'innovation industrielle au service de l'environnement et de la technologie.

② Géologie et Géophysique appliquées aux Géo-ressources et Géo-risques

- Problème de la médiane ordonnée d'un nombre fini de fonctions rationnelles, la Théorie de Localisation et ses applications pratiques, comme en gestion et valorisation des ressources naturelles et gestion des risques.
- Calcul Scientifique, Optimisation Polynomiale, Optimisation Multi-objectifs et la Programmation Semi-définie positive, utiles aux modélisations visant la connaissance, la maîtrise et la gestion des systèmes naturels et environnementaux;
- Services Web, Ingénierie dirigée par les Modèles, Adaptations et applications aux problèmes de gestion, voire d'anticipation de l'évolution des systèmes; • Risques et sécurité des systèmes d'information;
- L'innovation industrielle au service de l'environnement et de la technologie.

③ Systèmes Embarqués, Électronique et Télécommunications

- Physique des composants et des capteurs de l'échelle micro à l'échelle nanométrique, capteurs intelligents et leurs applications;

Traitement de signaux, traitement d'image et traitement vidéo;

- Systèmes embarqués : Description matérielle, architectures parallèles, systèmes temps réel; Adéquation algorithme-architecture

- Conception des circuits intégrés analogiques et numériques multi-usagers.
- Télécommunications, Antennes microonde, propagation et RFID et exploration des opportunités de leurs usages prospectifs, y compris dans le domaine de l'environnement;

④ Énergies Renouvelables et Développement Durable

- Énergie solaire, énergie Éolienne, Gisement solaires, Gisement éolien
- Intégration dans les réseaux, Réseaux intelligents (smart grids)
- Véhicule électriques et hybrides, Batteries intelligents
- Solaire photovoltaïque et Photovoltaïque à concentration
- Micro-réseaux et sites isolés
- Efficacité énergétique dans le bâtiment, bâtiment vert, séchage solaire

Notre stage de projet de fin d'études a été effectué au sein de l'équipe Énergies Renouvelables et Développement Durable.

Chapitre 1 :

SECHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MEDICINALES

INTRODUCTION AU CHAPITRE :

L'efficacité des plantes médicinales et aromatiques est douée à cause de métabolites secondaires ou des principes actifs : les composés phénoliques, les alcaloïdes et les huiles essentielles...

Les plantes médicinales et aromatiques, rarement utilisées à l'état frais, doivent être conservées dans de bonnes conditions. Le séchage est le procédé le plus utilisé pour conserver les plantes médicinales et aromatiques, une bonne dessiccation évite la prolifération, sur la plante, des bactéries et des moisissures.

1. Plantes Aromatiques et Médicinales :

1.1 Définition

Les plantes médicinales et aromatiques (PAM) connaissent un développement international important, avec 3 500 plantes en cours de développement en 1998, la flore marocaine est estimée à 4 200 plantes et sous-espèces supérieures [1].



Figure.1: PAM

Aujourd'hui, la filière des PAM au Maroc est en pleine évolution. De nombreuses recherches ont été menées dans le domaine de l'extraction des huiles essentielles, et peu d'études se sont focalisées sur les problématiques liées à la protection des PAM. Cependant, si la plante n'est pas séchée dans de bonnes conditions, elle peut se détériorer et perdre toutes ses huiles essentielles.

Plantes aromatiques :

Les plantes aromatiques sont un groupe de plantes utilisées en cuisine et en phytothérapie en raison de l'arôme qu'elles dégagent et des huiles essentielles qui peuvent en être extraites. Ces plantes aromatiques sont plantées avec leurs feuilles, tiges, bulbes, racines, graines, fleurs, écorces, etc. selon les besoins. Elles s'utilisent fraîches ou séchées pour parfumer les plats ou préparer des tisanes. Ils sont également utilisés pour fabriquer des cosmétiques et des médicaments.

Plantes médicinales :

Les plantes médicinales sont des plantes supérieures dont les racines, les feuilles, les fleurs, les graines, l'écorce ou tout autre organe peuvent être utilisées à des fins thérapeutiques, médicinales et sanitaires, en particulier les plantes qui les guérissent en phytothérapie et remèdes naturels.

Une plante médicinale ou officinale est une plante, généralement une herbe, qui peut produire de nombreux composés ayant des fonctions biologiques. Utilisés en phytothérapie, leurs produits chimiques agissent sur le corps humain exactement de la même manière que les médicaments.

Exemples de plantes aromatiques et médicinales :

Parmi les principales PAM cultivées au Maroc, on peut citer : le géranium, la lavande, la rose, le jasmin, la verveine, la menthe et le safran, sauge. La culture des plantes aromatiques et médicinales est courante dans plusieurs régions du pays, avec une trentaine d'espèces.

1.2 Intérêt du séchage

Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes de conservation connues. Les primitifs ont séché les herbes, les racines, les fruits, etc., et les ont séchés au soleil. Dans un sens absolu, il n'y a pas d'herbe plus efficace que les plantes fraîchement récoltées. Cependant, dans toutes les conditions, des herbes complètement déshydratées, puis correctement stockées, peuvent être aussi efficaces que des plantes fraîches. Bien entendu, si des herbes fraîches sont disponibles et que la saison le permet, il est préférable de les utiliser, notamment pour la préparation de tisanes. Lors de la préparation de baumes ou d'huiles végétales ou d'huiles essentielles, les plantes séchées sont également préférables car l'eau contenue dans les herbes fraîches détruira l'huile.

A noter également que les principes actifs des plantes déshydratées sont plus concentrés que les herbes fraîches (l'eau a un effet solvant). Ils sont également disponibles toute l'année.

Le séchage est l'une des opérations les plus importantes dans la production et la vente de plantes aromatiques et médicinales. Il protège les principes actifs des plantes et les préserve de toute dépréciation ou pourriture.

1.3 Les paramètres qui influencent le séchage

a) Débit de l'air

Un paramètre important qui affecte le processus de séchage est le débit d'air (vitesse du ventilateur). Si le débit d'air sec devient important, l'efficacité de séchage diminuera car l'air sec ne peut pas avoir suffisamment de temps de contact avec le produit pour réduire sa teneur en eau.

b) Teneur en eau

Le calcul du taux d'humidité de la plante est réalisé en connaissant la masse initiale du produit séché et la masse finale après séchage.

Elle se calcul en utilisant la relation suivante :

$$Tn = \frac{Mi - Mf}{Mi}$$

c) Durée de séchage

Elle varie en fonction du taux d'humidité et de l'aspect ou de la granulométrie du produit à sécher, de l'humidité relative de la température de l'air et de la quantité d'air traversant les plantes (ventilation).

2. Principe de séchage

2.1 Types de transfert

Le séchage implique deux types de transfert :

- Le transfert d'énergie thermique de l'environnement vers le produit à sécher. C'est le transfert de chaleur de l'air chaud vers le corps humide sous l'effet d'un gradient de température
- Le transfert de masse, de l'intérieur du solide vers sa surface, puis vers la phase vapeur. C'est le transfert de matière (eau) de l'objet vers le gaz sous l'effet du gradient de pression partielle.

2.2 Phases du séchage

Le séchage peut être divisé en trois étapes :

• 1ère étape :

La vitesse de séchage est la plus élevée et le liquide sur la surface solide est évaporé. Pour cette étape, seules les conditions extérieures (surface de contact, pression partielle du liquide, température, volatilité du liquide) ont l'influence principale. Le transfert de chaleur se produit entre la phase gazeuse et la surface liquide, et le transfert de masse se produit de la même manière, mais dans des directions différentes.

• 2ème étape :

La vitesse reste constante car la quantité de liquide a été réduite au point où des zones sèches apparaissent sur la surface solide. Étant donné que le transfert de masse et le transfert de chaleur se produisent à travers la surface de contact gaz-liquide et que cette dernière diminue, la vitesse diminue proportionnellement.

• 3ème étape :

La vitesse de séchage diminue avec le temps, car la surface solide est sèche, et le liquide doit migrer de l'intérieur du solide vers sa surface. La chaleur traverse la surface solide et est transférée du solide au liquide situé dans le vide. La force motrice limitant est généralement la conduction thermique des solides. On peut distinguer plusieurs étapes du phénomène de séchage. La courbe (a) montre

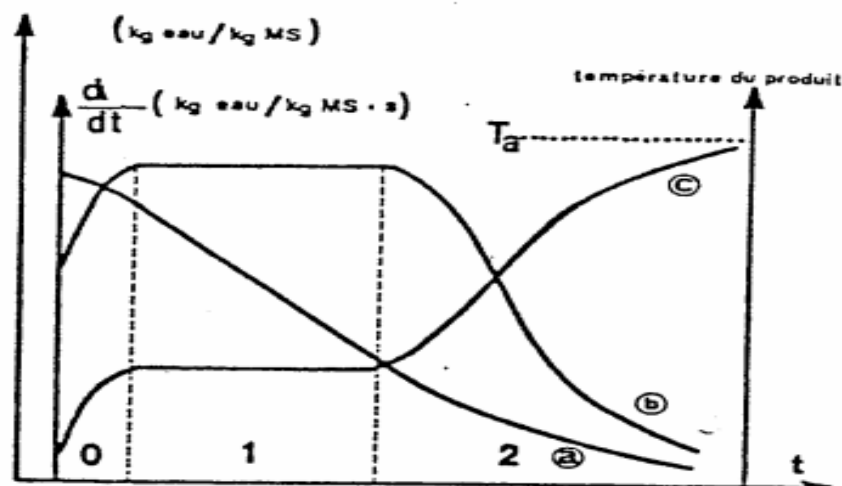


Figure.2

: L'évolution de la teneur en eau, la vitesse de séchage, la température du produit à sécher en fonction du temps [10]

l'évolution de la teneur en eau (le rapport de la masse d'eau contenue dans le produit à la masse sèche) du produit séché par convection. Il y a trois étapes : la courbe (b) peut également voir l'évolution de la vitesse de séchage avec le temps t , tandis que la courbe (c) illustre l'évolution de la température du produit avec le temps.

3. Mode de séchage

Il existe plusieurs façons de sécher ou de conserver les plantes. Certaines plantes conviennent à une ou plusieurs méthodes de séchage et doivent être testées selon les méthodes et les variétés disponibles.

- **Séchage à l'ombre et sous abri :**

Les plantes sont dispersées sur des étagères ou suspendues en grappes dans des hangars ou des séchoirs bien ventilés. Cette méthode est très longue et est toujours faite à la main.

- **Séchage par l'air chaud :**

C'est la procédure la plus utilisée car elle a l'avantage d'être rapide et permet d'opérer dans des conditions bien définies, en fonction du médicament. Dans la plupart des cas, le séchage doit être terminé.

Parmi les autres procédés utilisés : on peut citer le séchage sous vide :

- Rarement utilisé à chaud

- A froid, c'est la lyophilisation : c'est le séchage par sublimation directe de l'eau de plantes préalablement congelées.

Très intéressant pour les souches antibiotiques, il est cher, et donne des résultats irréguliers pour les plantes médicinales

- **Séchage aux micro-ondes :**

Le moyen le plus rapide de sécher les plantes est aux micro-ondes. Cependant, il est préférable d'effectuer quelques tests à l'avance pour déterminer le temps de séchage exact.

- **Séchage au four :**

La technique utilisée pour sécher les plantes dans un four chaud est presque la même que le séchage dans un four à micro-ondes.

- **Le séchage industriel :**

Des plus traditionnelles aux plus innovantes, il existe une multitude de solutions de séchage adaptées aux processus industriels. Selon vos besoins, le temps de traitement, la qualité du produit final ou l'efficacité du traitement peuvent varier considérablement. Ce qui suit décrit les différentes méthodes de séchage utilisées selon l'application et le produit : Séchage à l'air chaud, Séchage au soleil, Séchage de contacts, Séchage à l'infrarouge, Séchage en lit fluidisé, Séchage diélectrique. [2]

4. Technique de production de chaleur :

Il existe différentes méthodes pour produire de la chaleur. La source d'énergie est choisie en fonction de la situation du lieu et des ressources locales : **l'électricité, le gaz, le bois, le solaire, le fuel.** [9] L'investissement dans l'énergie propre

contribuera à accroître la sensibilisation à l'environnement et l'intérêt de la communauté. En réduisant les émissions de dioxyde de carbone, vous améliorerez le bilan énergétique positif et des performances optimales au fil du temps.

L'énergie solaire est une source d'énergie propre qui n'émet pas de gaz à effet de serre. En remplacement de l'énergie fossile, c'est l'une des solutions les plus appréciées des familles.

C'est une source inépuisable et n'aura aucun impact destructeur sur l'environnement à long terme.

Selon l'ADEME, agence de la transition écologique, en France, un panneau photovoltaïque émet en moyenne **55 grammes de CO₂ par Kilowatt** produit. [12]

Pour les autres sources d'énergies [11]:

Energie	Equivalent CO ₂ par tonne
Charbon	384 kWh
Fioul	300 kWh
Gaz (Propane)	274 kWh
Gaz naturel	234 kWh
Électricité	60 kWh
Bois	13 kWh

3 .Tableau : Empreinte carbone des différentes techniques de production de chaleur

CONCLUSION:

La technique de séchage des plantes consiste à extraire l'eau contenue dans la plante. Généralement, le séchage se fait par évaporation de l'eau de la plante dans l'air.

Chapitre 2 :

LE SECHAGE SOLAIRE

INTRODUCTION AU CHAPITRE:

Les séchoirs solaires sont souples, demandent très peu d'entretien et ménagent l'environnement. C'est pour cela que leur utilisation tend à se répandre principalement dans les pays en voie de développement. Ceux-ci offrent beaucoup plus d'avantages par leur simplicité, leur bas prix de revient et principalement leur faible coût en énergie.

1. TYPES DE SECHAGE SOLAIRE

1.1 Capteur solaire plan

Les capteurs solaires planaires à air agissent comme des isolants et permettent le chauffage de l'air sec. C'est un collecteur en verre monocouche à cycle unique. Il se compose d'un caisson en tôle galvanisée et d'un absorbeur noir, recouvert de verre transparent pour éviter le rayonnement solaire. La boîte est isolée avec de la mousse de polyuréthane. L'air circule entre le matériau isolant et l'absorbeur dans le couloir en bois. Deux buses sont placées à l'entrée et à la sortie du capteur pour l'admission et l'échappement d'air.

-Une boîte de séchage parallélépipédique entièrement en tôle galvanisée. Sur sa façade, une double porte permet le chargement et le déchargement du produit à sécher. Ils sont disposés sur un écran qui laisse passer l'air. [3]



Figure.4: Photographie du séchoir solaire indirect

1.2 Séchoir à air recyclé

Le séchoir à air recyclé est un séchoir indirect qui utilise un mélange d'air (air ambiant + air recyclé). Le système fonctionne par convection forcée et chauffage solaire partiel. Cette conception permet de récupérer l'air sortant de la chambre de séchage et de le réinjecter dans la chambre de séchage.

Par rapport aux séchoirs solaires sans circulation d'air, le séchoir à air recyclé vise les améliorations suivantes : temps de séchage plus court, gain d'énergie et meilleure qualité des produits séchés. [4]



Figure.5: Séchoir à air

1.3 Séchoir solaire direct

Les séchoirs directs sont des systèmes faciles à utiliser et à fabriquer. Ils offrent un large éventail de possibilités de conception : des séchoirs à caisses transportables

adaptés à la petite production aux séchoirs à cabine qui permettent un traitement à grande échelle via de petits séchoirs à tentes.

La lumière du soleil éclaire directement sur le produit. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce, qui peut être utilisée comme chambre de séchage et comme capteur solaire.

Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur. Les panneaux en plastique polyéthylène transparent sont couramment utilisés pour les toits, mais d'autres matériaux plus coûteux, tels que le verre ou les plastiques spéciaux, peuvent également être utilisés. Selon la météo, le temps de séchage des fruits et légumes avec des séchoirs solaires directs varie de quelques heures à 4 jours [5].



Figure.6 Séchoir solaire directe

2- PROCESSUS DE SECHAGE SOLAIRE PROPOSE (ECHANGEUR DE CHALEUR)

2.1 Chauffage de l'eau

a) Capteur thermique sous vide

Un capteur solaire sous vide est constitué d'une série de tubes de verre à travers lesquels passe le tube de récupération de chaleur (ou circulation de fluide caloporteur). La paroi du tube est à double couche et à un vide; les sommets des deux tubes sont fusionnés et l'air dans l'espace entre les deux morceaux de verre est pompé hors du tube lorsqu'il est exposé à des températures élevées.

L'« échappement » de ce gaz forme un vide, ce qui est un facteur important affectant les performances du tube à vide. Le tube est recouvert d'un revêtement sélectif spécial (Al-N / Al), qui présente une excellente absorption du rayonnement solaire et des caractéristiques de réflexion minimales. La chaleur étant piégée dans le tube, l'effet thermos obtenu permet d'obtenir de meilleures performances en hiver. La forme tubulaire du réflecteur et du capteur optimise la capture d'énergie lorsque l'exposition au soleil est faible (en début et en fin de journée) ou lorsque l'exposition du toit n'est pas idéale. [6]



Figure.7 : Capteur thermique sous vide



Figure.8 : Vue interne des capteurs à tubes

Le tube est évacué pour empêcher la perte de chaleur par convection de l'absorbeur, et l'absorbeur subit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement. Par conséquent, des capteurs solaires à haut rendement peuvent être produits sans ajouter de matériaux d'isolation thermique ou de boîtiers de protection.

b) Obtention de l'eau chaude

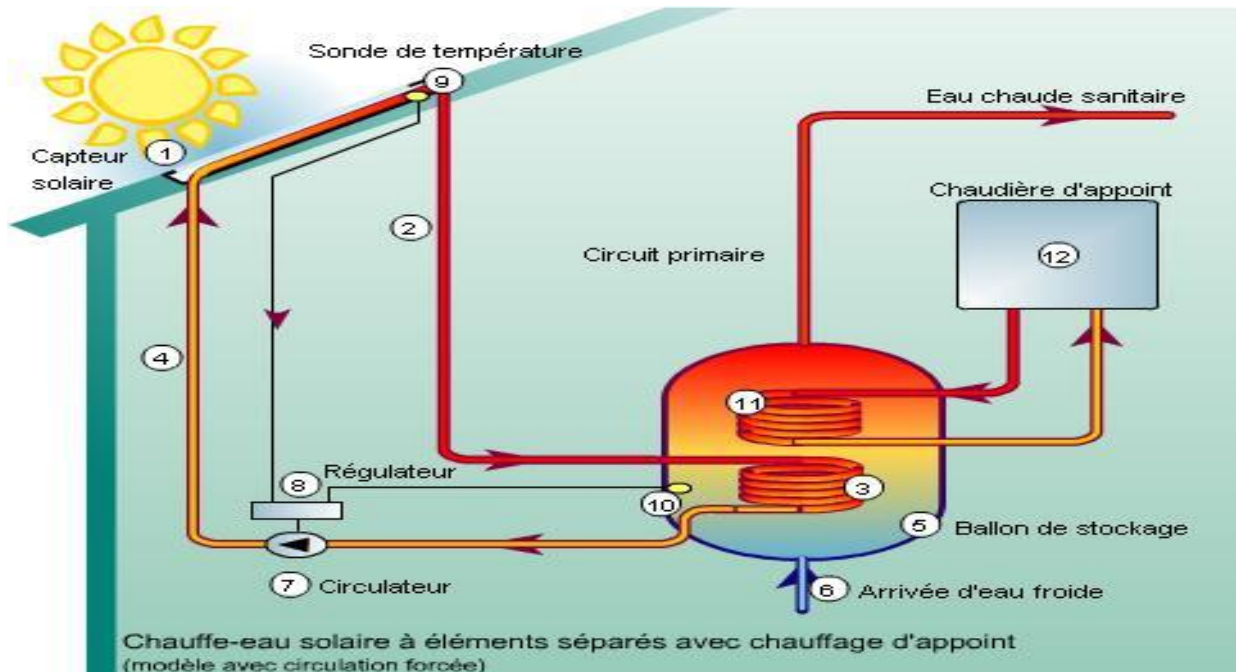


Figure.9 : Processus pour obtenir de l'eau chaude [13]

Le capteur solaire (1) absorbe l'énergie des rayons du soleil et la restitue sous forme de chaleur. Le capteur est généralement placé sur le toit ; le circuit primaire (2) transmet la chaleur. Il est étanche, isolé et contient de l'eau additionné d'antigel. Ce liquide est réchauffé lors du passage dans le tube collecteur et pénètre dans le ballon de stockage ; l'échangeur de chaleur (3) (serpentin) transfère sa chaleur solaire à l'eau sanitaire ; le liquide refroidi retourne au collecteur (4) ou tant que le soleil est efficace, Il peut être réchauffé ; le ballon de stockage d'eau (5) ou ballon d'eau solaire est un ballon d'eau métallique, qui constitue la réserve d'eau sanitaire ; l'eau froide du réseau (6) remplace l'eau chaude puisée, et réchauffe le liquide dans le circuit primaire ; Lorsque le liquide chaud est plus chaud que l'eau sanitaire dans le ballon d'eau, le circulateur (7) fait se mettre en mouvement le liquide caloporteur ; Son fonctionnement est contrôlé par le dispositif de régulation (8) agissant sur la différence de température : si la température de la sonde ballon (10) est supérieure à la température de la sonde (9), la régulation coupera le circulateur. Dans le cas contraire, le circulateur redémarre et le liquide primaire chauffe l'eau sanitaire dans

le ballon d'eau ; en hiver ou en cas d'intempéries de longue durée, l'énergie solaire ne peut garantir la production de la totalité de l'eau chaude, un dispositif d'appoint (résistance ou serpentin) raccordé à une chaudière d'appoint (12) prend donc le relais et reconstitue un stock d'eau chaude [13].

2.2 Echangeur de chaleur

a) l'échangeur eau-air

Les échangeurs de chaleur sont une partie importante des systèmes de chauffage, de climatisation et de réfrigération. Ils assurent le transfert de chaleur entre deux fluides sans les mélanger. Cette transmission s'effectue à travers des parois à haute conductivité. Il existe plusieurs types d'échangeurs de chaleur utilisés dans différents domaines.



Figure.10 : Radiateur eau-air

Le rôle de l'échangeur de chaleur est de transférer l'énergie thermique d'un fluide à un autre sans les mélanger. Dans le cas des systèmes de chauffage ou de production d'eau chaude, le premier fluide dit "chauffé", qui est considéré comme le fluide principal, est utilisé pour chauffer le fluide auxiliaire. Pour un bon échange, les deux fluides doivent avoir des températures différentes, c'est pourquoi l'un est chaud et l'autre est froid. Afin de réaliser un transfert de chaleur, l'échangeur de chaleur a besoin d'un matériau suffisamment conducteur pour optimiser l'échange tout en minimisant les pertes de chaleur.

b) Obtention de l'air réchauffé

L'échangeur de chaleur comporte des réseaux parallèles dans lesquels circulent des fluides de températures différentes. Ils sont séparés par des parois ayant la meilleure conductivité électrique. C'est la différence de température entre les deux fluides qui permet l'échange de chaleur.

L'échangeur utilise de l'air frais soufflé par un ventilateur à vitesse variable, qui circule entre les tubes de l'échangeur, qui contient de l'eau chaude qui a été obtenue par les tubes à vide, on obtient donc de l'air réchauffé à la sortie de l'échangeur.

CONCLUSION:

Les absorbeurs à revêtement très sélectif capturent une quantité particulièrement importante d'énergie solaire et assurent ainsi un rendement élevé. L'emploi de tubes sous vide garantit en outre une isolation thermique d'une remarquable efficacité. Ils permettent aussi de convertir un rayonnement solaire même faible en chaleur utile.

Chapitre 3 :

REALISATION DU SYSTEME DE SECHAGE

INTRODUCTION AU CHAPITRE:

Avant d'appliquer le processus de séchage aux plantes choisies, il faut faire une étude sur les normes de température et temps correspond et après une étude sur le matériel utilisé et le code de programmation.

1. Etude des plantes à sécher

1.1 La lavande

La lavande est une plante aromatique vivace, de la famille des Labiacées, à petites fleurs bleues ou violacées, très odorantes, disposées en épis terminaux, et qui croît sur les terrains secs et rocailleux.

La température et le temps nécessaire pour le séchage :

- **Température:** La zone de séchage idéale est de 30° à 32°.
- **Temps de séchage:** 6 h à 12 h pour une fleur type mauve.



Figure.11: La lavande

1.2 La sauge

La sauge fait référence à une plante dans laquelle sont plantées des espèces à fleurs rouges ornementales, la plus courante étant la sauge. La sauge a des fleurs violettes et a des propriétés nourrissantes. C'est une plante ligneuse de la famille des Lamiacées, dont certaines sont réputées pour leurs propriétés médicinales, ou sont utilisées dans diverses préparations culinaires ou cultivées comme plantes ornementales.

La température et le temps nécessaire pour le séchage :

- **Température:** La température idéale pour sécher la sauge est comprise entre 35 et 45 °C.
- **Temps de séchage:** la sauge peut prendre entre 1 à 4 heures à sécher.



Figure.12: la sauge

2. Application

2.1 Réalisation de la commande de vitesse du ventilateur

a) Moteur DC

Le moteur à courant continu est entièrement laminé. Ce sont des moteurs à 4 pôles. Il n'y a pas de chambre de compensation. La classe d'isolation est H (températures que pourront supporter les enroulements 180 °C dans notre cas). Le moteur à courant continu doit fonctionner près de la valeur nominale.

b) Utilisation d'un driver pour varier la vitesse

Le driver L298N peut contrôler 2 moteurs continus ou 1 moteur pas à pas. Il peut faire fonctionner le moteur en vitesse continue ou en mode PWM. En outre, il comprend également des diodes de circuit de protection, des résistances de rappel et des dissipateurs thermiques pour les charges lourdes.

L298N est un double pont en H, c'est-à-dire qu'il permet au moteur de tourner dans un sens ou dans l'autre sans modifier la connexion, grâce à sa forme en H, son nom vient de ce qu'il passe dans un sens ou dans l'autre Courant. [7]

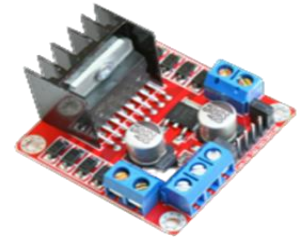


Figure.13 : Module L298N

C'est un module très utile pour contrôler les robots et les composants mécanisés. Il est conçu pour supporter des tensions plus élevées et des courants élevés tout en fournissant une commande logique TTL (basse tension et faible courant, il est donc très approprié pour les microcontrôleurs).

Le câblage qui permet la variation de vitesse avec cette carte :

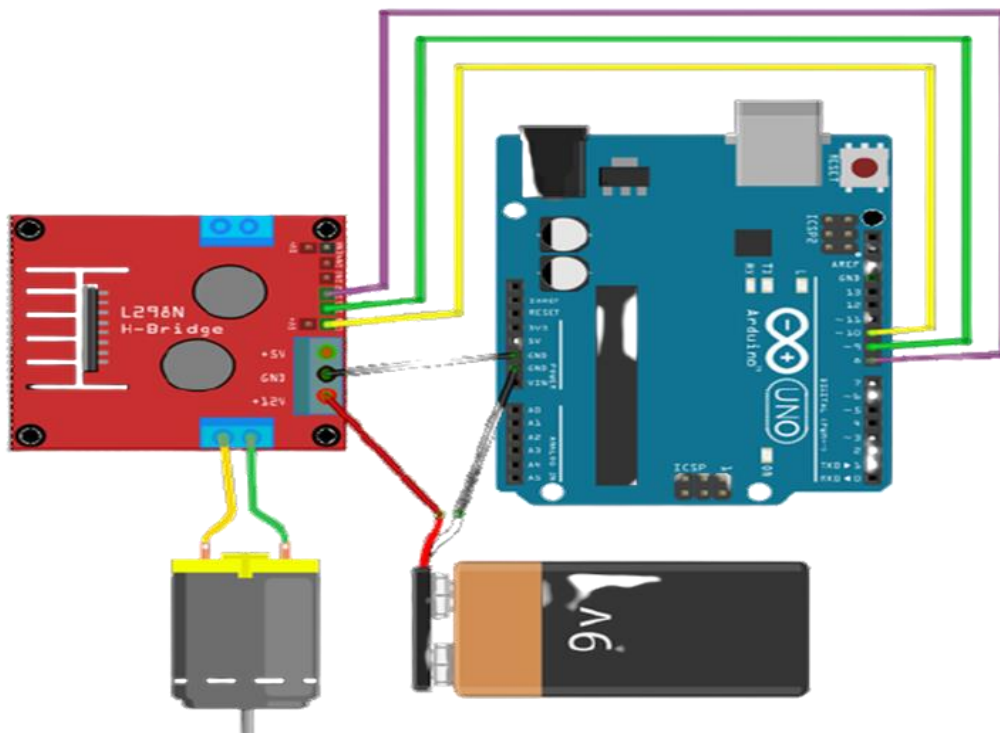


Figure.14 : Câblage de moteur avec la L298N pour la variation de vitesse

2.2 Système d'acquisition de température

La chaîne d'acquisition de données est un ensemble d'éléments nécessaires pour « capturer » des données (analogiques ou numériques) et les transmettre au récepteur et à l'utilisateur. Cet utilisateur peut souhaiter utiliser ces données immédiatement ou les stocker pour une utilisation ultérieure.

Le but de la chaîne de collecte de données est de transférer des informations entre les différents éléments du système.

On peut faire une acquisition de donnée par : module Wifi, module Bluetooth, capteurs....

a) DS18B20

Le DS18B20 est un capteur de température numérique produit par DALLAS US. Il peut être utilisé pour quantifier la température ambiante.

La plage de température est de $-55 \sim 125^{\circ}\text{C}$ et la résolution de température est de $0,5^{\circ}\text{C}$. Il a une sortie série 9-12 bits. Il ne connecte que 3 fils (5v, 0v et fil de données). Plusieurs capteurs peuvent être branchés sur la même ligne de données. [8]



Figure.15: Capteur de température DS18B20

b) Enregistrement de données

Nous avons fait l'enregistrement de données de température par 2 méthodes :

- ✓ Excel en utilisant PLX-DAQ ;

PLX-DAQ est une macro Excel développée par Parallax, qui permet aux microcontrôleurs vendus par celle-ci d'envoyer des données vers Excel. Il est gratuit et peut être utilisé avec n'importe quel microcontrôleur capable de communiquer en série, y compris bien sûr la carte Arduino.

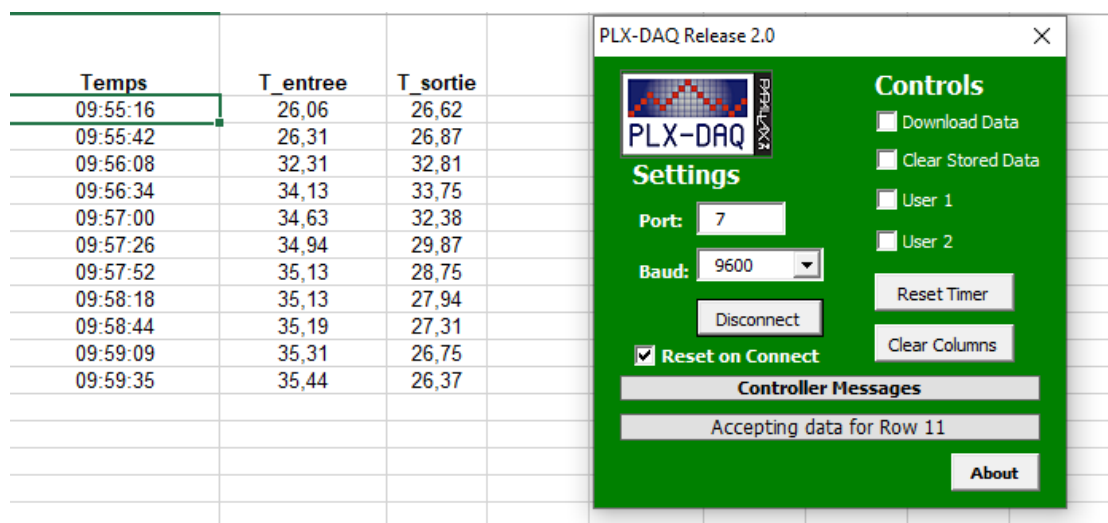


Figure.16 : Système d'enregistrement de données avec Excel

- ✓ Carte SD et module RTC ;

Contrairement aux ordinateurs de bureau, la carte Arduino n'a pas d'horloge intégrée, ce qui n'est pas nécessaire pour de nombreuses applications. Par contre, pour l'enregistreur de données, nous utilisons le module Grove-RTC, qui contient un microprocesseur de synchronisation DS1307.



L'horloge en temps réel nécessite une source de tension supplémentaire sous la forme d'une pile bouton 3V (CR1225) afin de maintenir l'heure définie même lorsque la carte Arduino est éteinte. La communication passe par le système de bus I²C (bus informatique permet de relier facilement un microprocesseur et différents circuits). Tout type de connexion I²C peut être utilisé.

Figure.17: Shield data logger SD card DS1307 RTC real time clock

Démarrage et arrêt automatique selon la température :

Si la température de sortie du radiateur est inférieure à la température minimale (30 degrés) ou bien supérieure à la température maximale (45 degrés), le système doit être arrêté. C'est pourquoi nous avons utilisé un relais 5v pour démarrer et arrêter automatiquement et le ventilateur trois vitesses (220V) et le ventilateur contrôlé par Arduino.



Ce relais est un interrupteur commandable, qui permet d'isoler la partie commande de la partie alimentation. C'est un composant largement utilisé lorsque l'on veut établir une connexion entre l'électronique et l'électricité. Il permet d'ouvrir ou de fermer le contacteur du circuit de puissance selon un signal compris entre 0 et 5V.

Figure.18 : Relai 5V

Résultat des mesures effectuées :

Nous avons mesuré la température à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur afin de comprendre son évolution dans le temps selon les besoins (une température comprise entre 30 et 45).

Nous avons placé deux sondes de température, une à l'entrée du radiateur et l'autre à sa sortie. Nous avons utilisé le Shield SD pour stocker la température et vérifier son changement pendant plusieurs jours pour le maintenir dans l'intervalle de temps défini.

Les mesures de température :

- Ces mesures sont obtenues par la première vitesse du ventilateur à 3 vitesses.
- On remarque qu'elles sont dans l'intervalle voulue.

*SONDE4 - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
25,63	40,00	MAR	29/06/2021	15:24:48
33,56	40,25	MER	30/06/2021	15:24:49
33,63	41,16	MER	30/06/2021	15:26:15
33,56	42,00	MER	30/06/2021	15:28:22
33,56	42,68	MER	30/06/2021	15:30:53
33,56	43,56	MER	30/06/2021	15:32:54
33,56	44,00	MER	30/06/2021	15:34:55
33,56	44,10	MER	30/06/2021	15:36:57
33,56	44,16	MER	30/06/2021	15:38:58
33,56	44,20	MER	30/06/2021	15:40:59
33,56	43,85	MER	30/06/2021	15:42:01
33,50	43,78	MER	30/06/2021	15:44:22
33,50	43,30	MER	30/06/2021	15:46:03
33,50	42,35	MER	30/06/2021	15:48:36
33,50	42,39	MER	30/06/2021	15:50:06
33,50	42,43	MER	30/06/2021	15:52:11
33,50	42,46	MER	30/06/2021	15:54:08
33,50	42,56	MER	30/06/2021	15:56:10
33,50	42,10	MER	30/06/2021	15:58:11
33,44	41,88	MER	30/06/2021	16:00:12
33,50	41,80	MER	30/06/2021	16:02:15
33,44	41,76	MER	30/06/2021	16:04:18
33,44	41,63	MER	30/06/2021	16:06:24
33,44	40,58	MER	30/06/2021	16:08:27
33,44	40,45	MER	30/06/2021	16:10:29
33,44	40,42	MER	30/06/2021	16:12:20
33,44	40,39	MER	30/06/2021	16:14:28
33,44	40,35	MER	30/06/2021	16:16:23
33,44	40,25	MER	30/06/2021	16:18:24
33,44	40,18	MER	30/06/2021	16:20:25
33,44	40,00	MER	30/06/2021	16:22:26

Figure.19 : Mesure de température pour la première vitesse

- Pour les trois vitesses on a obtenu cette courbe qui résume la variation de la température pendant 24h :

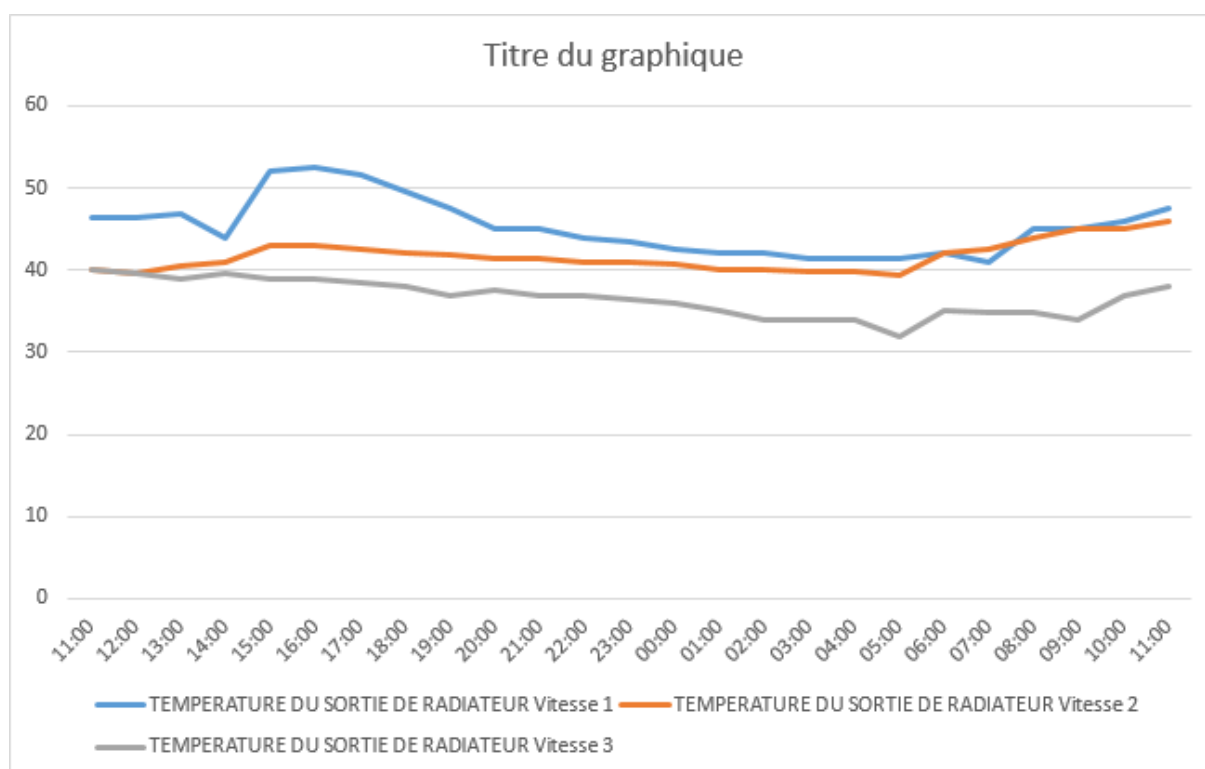


Figure.20 : Courbe d'évolution de la température pendant 24h

2.3 Réalisation du montage et code Arduino

a) Simulation

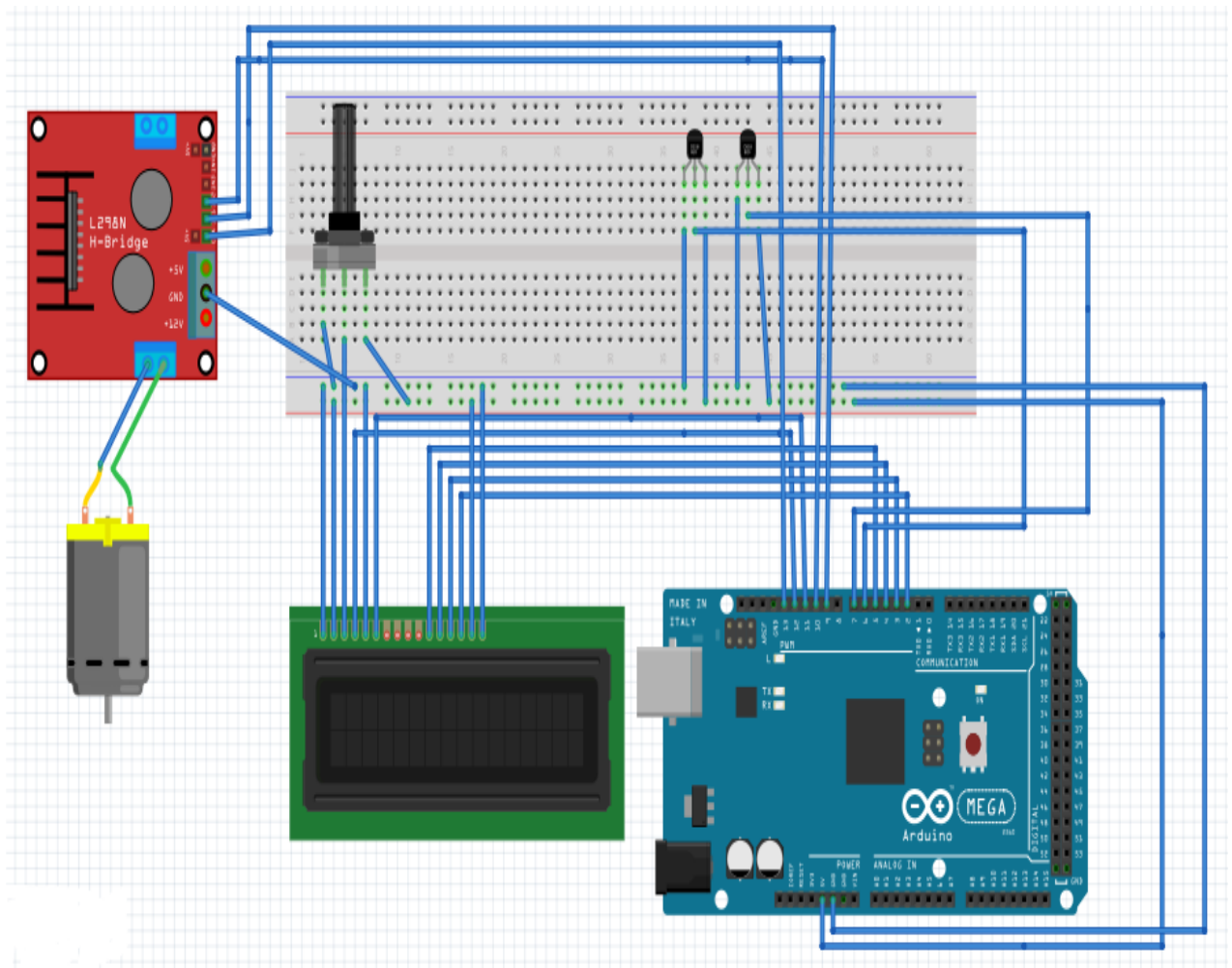


Figure.21 : Montage final (simulation)



Figure.22 : Photo pendant la réalisation et la collecte des mesures

b) Code Arduino

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 1000;
OneWire oneWire1(7);
OneWire oneWire2(6);
DallasTemperature sensors(&oneWire1);
DallasTemperature sensors1(&oneWire2);
DeviceAddress sensorDeviceAddress;
const int digPin = 8;
int ena = 13;
int in1 = 9;
int in2 = 10;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("Initialize System"));
  //Init pwm output
  pinMode(digPin, OUTPUT);
  pinMode(ena, OUTPUT);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" BIENVENUE  ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" MESURE TEMP  ");
  delay(3000);
  lcd.clear();
  sensors.begin();
  sensors.getAddress(sensorDeviceAddress, 0);
  sensors.setResolution(sensorDeviceAddress, 12);
  sensors1.getAddress(sensorDeviceAddress, 0);
  sensors1.setResolution(sensorDeviceAddress, 12);}
void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    sensors.requestTemperatures();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TEMP : ");
    lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print("DEGRES");

    sensors1.requestTemperatures();
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("TEMP : ");
    lcd.print(sensors1.getTempCByIndex(0));
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("DEGRES");
  }

  if (sensors.getTempCByIndex(0)<=30 ||
  sensors.getTempCByIndex(0)>45){
    digitalWrite(digPin,HIGH);
    digitalWrite(in1,0);
    digitalWrite(in2,0);
    analogWrite(ena,0);  }
  else {
    digitalWrite(digPin,LOW);
    digitalWrite(in1,1);
    digitalWrite(in2,0);
    analogWrite(ena,250);
    delay(30000);
    analogWrite(ena,75);
    delay(6000);
    analogWrite(ena,50);
    delay(6000);}}}
```

CONCLUTION

Le fait d'avoir effectué un stage à la FST nous a donné l'opportunité d'acquérir plusieurs informations concernant le domaine pratique et d'améliorer le travail en groupe.

Notre sujet avait pour but de faire un séchage solaire des PAM automatiquement en connaissant la température qu'ils nécessitent.

Dans un premier temps, nous avons commencé par voir le fonctionnement du système avec lequel nous avons fait le séchage, et nous avons constaté que pour arriver à produire de l'air chaud on passe par plusieurs étapes.

Après avoir analysé les données relevées du projet a réalisé, nous avons utilisé de nombreux outils et matériels qui nous ont permis de bien maîtriser et résoudre la problématique.

Nous avons proposé comme actions à mettre en places, de réaliser un système de ventilation avec vitesse variable afin de régler la température et le volume d'air ventilé, la commande d'un arrêt automatique du système de ventilation lorsque la température de l'air à la sortie de l'échangeur est inférieure à 30 °C ou supérieure à 45 °C, la commande d'une mise en marche automatique du système lorsque la température de l'air à la sortie de l'échangeur est entre 30 °C et 45 °C, et enfin, un système d'acquisition et d'enregistrement des températures d'entrée et de sortie de l'air au niveau de l'échangeur. Un afficheur LCD a été utilisé pour la visualisation directe de ces températures.

Notre PFE avait pour nous un double bénéfice; Il nous a d'abord permis d'appliquer les connaissances théoriques acquises dans notre cursus et de vivre une expérience très enrichissante.

Perspectives :

- ✓ Adoption de l'énergie solaire pour l'alimentation complète de notre système y compris la ventilation.
- ✓ Création d'une interface graphique pour que l'utilisateur puisse appliquer le processus de séchage à n'importe quelle plante (réglage des températures de consigne).

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Exemples de plantes aromatiques et médicinales

Figure 2 : L'évolution de la teneur en eau, la vitesse de séchage, la température du produit à sécher en fonction du temps

Tableau 3 : Empreinte carbone des différentes techniques de production de chaleur

Figure 4 : Photographie du séchoir solaire indirect

Figure 5 : Séchoir à air recyclé

Figure 6 : Séchage solaire direct

Figure 7 : Capteur thermique sous vide

Figure 8 : Vue interne des capteurs à tubes sous vide

Figure 9 : Processus pour obtenir de l'eau chaude

Figure 10 : Radiateur échangeur de chaleur eau-air

Figure 11 : La lavande

Figure 12 : La sauge

Figure 13 : Module moteur L298N

Figure 14 : Câblage de moteur avec la L298N pour la variation de vitesse

Figure 15 : Capteur de température DS18B20

Figure 16 : Système d'enregistrement de données avec Excel

Figure 17 : Shield data logger SD card DS1307 RTC real time clock

Figure 18 : Relai 5V

Figure 19 : Mesure de température pour la première vitesse

Figure 20 : Courbe d'évolution de la température pendant 24h

Figure 21 : Montage final (simulation)

Figure 22 : Photo pendant la réalisation et la collecte des mesures

REFERENCE ET BIBLIOGRAPHIE

[1]

<https://om.ciheam.org/om/pdf/c23/CI011066.pdf>, Plantes alimentaires, aromatiques, condimentaires, médicinales et toxiques au Maroc ;
Livre: Recherches sur les plantes aromatiques et médicinales.

[2]

http://193.194.92.19/documents/Archive/Archive%20Faculte%20des%20Sciences%20et%20Technologies%20et%20des%20Sciences%20de%20le%20Matiere/smsts2015/Nesrine_OUAFI_25.pdf, Mode de séchage des PAM.

[3]

https://www.researchgate.net/publication/282733010_Etude_des_performances_d'un_sechoir_solaire_pour_plantes_aromatiques_et_medicinalesPAM,
Description du capteur solaire plan.

[4]

https://www.cder.dz/download/smsts08_27.pdf, séchoir à air recyclé.

[5]

<http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0unesco--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-0l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0---4---0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL1.6&d=HASH18c36e612d321afca86063.5.1.6.3>=1>, Les séchoirs solaires directs.

[6]

<https://www.lepanneausolaire.net/les-differents-concepts-capteurs-tubes-sous-vide.php>, Les différents concepts de capteurs à tubes sous vide.

[7]

<https://ardwinner.jimdo.free.com/arduino/iv-les-moteurs-continus/3-faire-tourner-un-moteur-dc-bidirectionnel-avec-un-module-l298n/>, shield L298N.

[8]

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>, Description Ds18b20.

[9]

<https://www.qualibat.com/particulier/fiches-pratiques/production-chaleur-appareils-generateurs-sources/>, Techniques de production de chaleur.

[10]

<http://csidoc.insa-lyon.fr/these/2008/touati/these.pdf> L'évolution de la teneur en eau.

[11]

<https://selectra.info/energie/guides/environnement/empreinte-carbone>
empreinte carbone.

[12]

<https://www.greenly.earth/blog/empreinte-carbone-electricite-solaire>
empreinte Carbone d'énergie solaire.

[13]

[https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/chauffe-eau-solaire/fonctionnement-chauffe-eau-solaire/#:~:text=Le%20capteur%20solaire%20\(1\)%20absorbe,'eau%20additionn%C3%A9e%20d'antigel](https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/chauffe-eau-solaire/fonctionnement-chauffe-eau-solaire/#:~:text=Le%20capteur%20solaire%20(1)%20absorbe,'eau%20additionn%C3%A9e%20d'antigel). Processus pour obtenir de l'eau chaude.