



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



UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR EL OUED

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE MEQUANICE

Mémoire de fin d'étude

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Thème

**Contribution d'amélioration d'un séchoir solaire pour
le séchage des cultures agricoles en Algérie**

Présenté par

- KHECHIM MADI Mohammed El Habib
- AYACHI AMOR Hamza
- CHOUACHI Khalifa
- CHOUAIA Mohammed

Soutenu devant le jury composé de

Pr. Aoun Yacine	Rapporteur	Univ.d'ElOued
Mr. Zoubiri oussama	Président	Univ.d'ElOued
Mr. Megdoud soufian	Examinatrice	Univ.d'ElOued

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

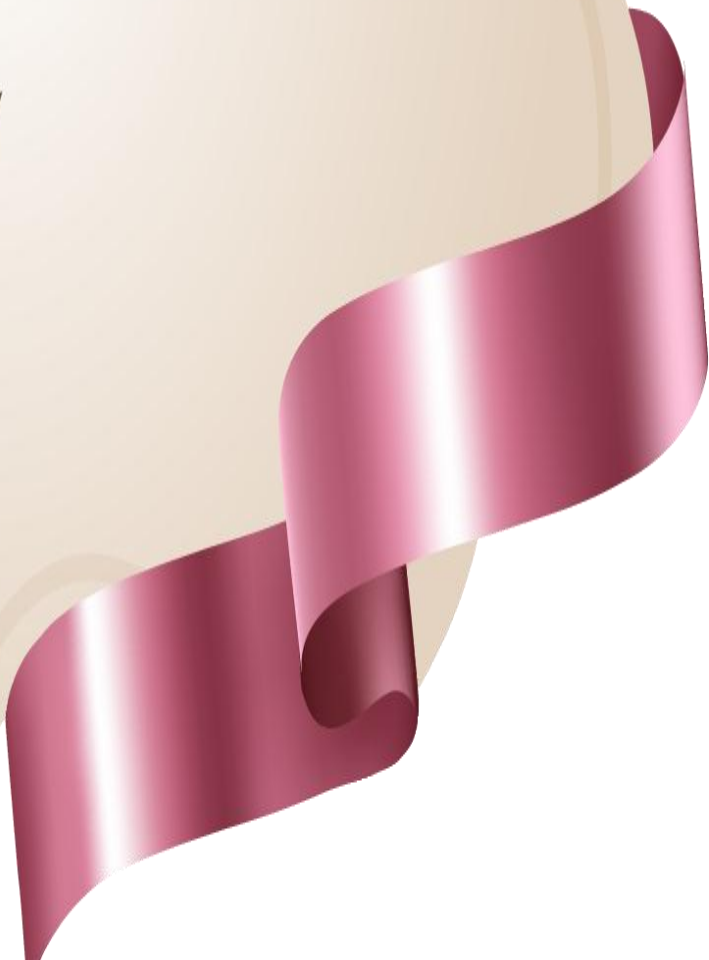
Nous remercions tout d'abord notre Dieu qui nous a donné la force et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous voudrions remercier notre encadreur **Pr Aoun Yacine** qui nous a aidé et nous a orienté tout au long de la préparation de cette mémoire. Il est toujours présent pour clarifier certains aspects de nos lacunes et de discuter de nos pensées. Ses critiques, commentaires et conseils ont certainement permis à cette mémoire d'être comme ce qu'elle est.

Nous remercions également Mr Zine Ali et Mr Aouini Abdel Djalil et menacer Nour Eddine de nous avoir aidés dans ce travail.

Nous remercions sincèrement ceux qui ont bien voulu prendre part à ce jury.

Notre reconnaissance va aussi à tous ceux qui ont collaboré à notre formation en particulier les professeurs du département de mécanique, université d'El-Oued.





Dédicaces

Je dédie ce travail

A

Mon père

A

Ma chère mère

A

Mes frères

A

Tous mes amis

Résumé

Ce travail est une étude appliquée d'un séchoir solaire indirect destiné au séchage des cultures agricoles de la région d'Oued. L'objectif principal de cette étude est de fabriquer un séchoir solaire indirect avec des spécifications adaptées aux cultures agricoles présentes dans la région.

Pour cela, nous avons travaillé sur l'utilisation de deux récepteurs en sel et en aluminium, mais disposés différemment. D'autre part, nous avons choisi de sécher des betteraves en raison de leurs caractéristiques distinctives et de leur abondance dans la région.

Les résultats étaient remarquables. La betterave placée dans le séchoir contenant un mélange de sel et d'aluminium a montré, durant les premier et deuxième jours, des résultats acceptables avec une perte de 81,68 % de son poids initial. Quant à l'échantillon de betterave placé dans le second séchoir, contenant également un mélange de sel et d'aluminium mais disposé en couches parallèles, il a obtenu un résultat similaire à celui du premier séchoir avec une perte de poids de 80,69 %

Mots-clés : séchage, l'absorbeur, séchoir solaire indirect, betterave, température.

Abstract

This work is an applied study of an indirect solar dryer intended for drying agricultural crops in the Oued region. The main objective of this study is to manufacture an indirect solar dryer with specifications adapted to the agricultural crops present in the region. To achieve this, we worked on using two receivers made of salt and aluminum, but arranged differently. Additionally, we chose to dry beets due to their distinctive characteristics and their abundance in the region. The results were remarkable. The beet placed in the dryer containing a mixture of salt and aluminum showed acceptable results during the first and second days, with a loss of 81.68% of its initial weight. As for the beet sample placed in the second dryer, which also contained a mixture of salt and aluminum but arranged in parallel layers, it achieved a similar result to the first dryer with a weight loss of 80.69%

Keywords: drying, absorber, indirect solar dryer, beet, temperature.

المخلص

هذا العمل هو دراسة تطبيقية لمجفف شمسي غير مباشر قصد تجفيف محاصيل زراعية تخص ولاية الوادي

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو صناعة مجفف شمسي غير مباشر ذو مواصفات تتوافق مع المحاصيل الزراعية الموجودة في المنطقة.

من اجل ذلك قمنا بالعمل على استعمال مستقبلين من مادتي الملح والالمنيوم ولكن مختلفين في طريقة الوضع.

ومن جهة أخرى اخترنا تجفيف (الشمندر) نظرا لخصائصها المميزة وتواجدها في المنطقة بكثرة.

النتائج كانت مثيرة حيث ان مادة الشمندر المتواجدة في المجفف الذي يحتوي على مزيج مختلط بين الملح والالمنيوم قد حققت خلال اليوم الأول والثاني نتائج مقبولة حيث فقدت العينة نسبة 81.68 % من وزنها

اما عينة الشمندر المتواجدة في المجفف الثاني الذي يحتوي على مزيج بين الملح والالمنيوم لكن بوضعية متوازية سطر بسطر حيث انه حقق نتيجة مقاربة لنتيجة المجفف الأول بلغة نسبة العينة المفقودة 80.69% من وزنها.

الكلمات المفتاحية: التجفيف، اللاقط الشمسي، المجفف الشمسي الغير مباشر، الشمندر، درجة الحرارة.



Sommaire



Sommaire

Remerciements

Résumé

Sommaire.....	1
Liste des figures.....	4
Liste des tableaux	5
Nomenclature.....	6

Introduction général

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire

I. Introduction.....	11
II. Soleil	11
III. Radiation solaire.....	11
III.1. Les Rayonnement solaire.....	12
III.1.1. Rayonnement direct.....	12
III.1.2. Rayonnement indirect	13
III.2. Constante solaire.....	13
III.3. Albédo du sol (ρ)	13
III.4. La durée d'insolation	14
IV. Coordonnées géographiques du soleil.....	14
IV.1. Longitude (l).....	15
IV.2. Latitude (φ).....	15
IV.3. Altitude	15
IV.4. Potentiel solaire en Algérie.....	15
IV.5. Station météorologique de référence	16
V. Paramètres climatologiques El-Oued.....	17
V.1. Température.....	17
V.2. Pluviométrie (précipitation).....	17
V.3. Humidité	18
V.4. Vent	19
V.5. Ensoleillement (Insolation).....	20
V.6. Evaporation.....	21
VI. Conclusion.....	22

Chapitre II: Le séchage indirect

I.	Introduction :	24
II.	Définition du séchage	24
III.	Pourquoi le séchage ?	24
IV.	Les séchoirs solaires	25
V.	Types de séchoirs solaires	25
V.1.	Les séchoirs-Tunnel	25
V.2.	Les séchoirs-stock	26
V.3.	Les séchoirs solaires directs (séchoirs-serre)	26
V.4.	Les séchoirs solaires indirects	27
V.4.1.	Séchoir solaire indirect passif	27
V.4.2.	Séchoir solaire indirect actif	28
V.4.3.	Les composants d'un séchoir indirect actif	28
VI.	Les différents produits qui sont utilisés dans le séchoir solaire indirect actif	29
VI.1.	Pratiques de pré- et post-séchage	29
VI.1.1.	Pour les légumes	30
VI.1.2.	Pour les fruits	30
VI.2.	Exigences de séchage de certaines cultures	30
VII.	Présentation de quelques travaux antérieurs sur le séchoir solaire indirect actif	32
VIII.	Conclusion	33

Chapitre III: Etude expérimentale

I.	Introduction	35
II.	Réalisation de séchoir solaire indirect	35
II.1.	Conception de séchoir solaire	35
II.1.1.	Matérielle de travail	35
II.1.2.	Réalisation de composants du séchoir solaire	37
III.	Échantillon séché :	42
III.1.	Description de l'échantillon :	42
III.2.	Caractéristiques de betterave rouge	42
III.2.1.	Humidité :	42
III.2.2.	Température maximale :	42
III.2.3.	Temps nécessaire pour le séchage :	42
IV.	Appareils de mesure d'occasion	42
V.	Expérience	44
V.1.	Installation du séchoir solaire	44

V.2.	Préparation de l'absorbeur	44
V.3.	Déplacement de capteurs de température	45
V.4.	Préparation des échantillons	46
V.4.1.	Les étapes de préparation des échantillons :	47
V.4.2.	Préparation des échantillons pour séchage (betteraves) :	50
V.4.3.	Positionnement de l'échantillon dans la chambre de séchage.....	51
V.5.	Entreprendre l'expérience.....	52
V.6.	Résulta d'expérience.....	53
VI.	Conclusion :	54

Chapitre IV: Resultats et duscussion

I.	Introduction.....	56
II.	Etude du comportement thermique du séchoir solaire indirect simple.....	56
II.1.	Conditions climatiques	56
II.1.1.	Radiations Solaire	56
II.1.2.	Température de l'ambient	57
II.1.3.	Vitesse de vent	57
III.	Evolution de la température à travers la chambre de séchage.....	59
IV.	Cinétique de séchage	61
V.	Conclusion	62
	Conclusion général.....	64
	Références bibliographiques.....	67

Liste des figures

Figure (I- 1): composantes de rayonnement solaire [20]	12
Figure (I- 2): Schéma de constante solaire	13
Figure (I- 3): Coordonnées géométriques [27].....	15
Figure (I- 4):Insolation globale quotidiennement reçue sur le plan horizontal du territoire Algérien aux mois de Juillet et Décembre [36].....	16
Figure (I- 5): montre les températures moyennes mensuelles en (°C) de l'ONM d'El- Oued durant la période (2015-2023). [37]	17
Figure (I- 6):montre les précipitations moyennes mensuelles en (mm) (2015-2023).....	18
Figure (I- 7):montre l'humidité relative moyenne mensuelle en (%) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009).[39]	19
Figure (I- 8):montre les vitesses moyennes mensuelles du vent en (Km/h) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009).[40]	19
Figure (I- 9): montre les distributions moyennes mensuelles de la durée d'ensoleillement en (h) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [41]	21
Figure (I- 10) :montre la variation de l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [42].....	22
Figure (II- 11):le séchoir tunnel [43].....	25
Figure (II- 12): Séchoir solaire direct portatif. [43]	26
Figure (II- 13): Séchoir solaire serre réalisé au CDER [44]	27
Figure (II- 14): Séchoir solaire indirect passif [45].....	27
Figure (II- 15) : Séchoir solaire indirect actif [45].....	28
Figure (II- 16): schéma descriptif du séchoir utilisé dans le travail de (Dilip R, et al. 2002) [49]	32
Figure (II- 17): (a) Schéma d'un séchoir solaire discontinu (b) Schéma du collecteur. (c) Schéma interne de la chambre séchage [51]	33
Figure (II- 18): Schématisation du collecteur plan à air [52].....	33
Figure (III- 19): Dimension des éléments séchoir solaire indirect	35
Figure (III- 20): Réalisation du support.....	37
Figure (III- 21):Réalisation chambre de séchage	38
Figure (III- 22): Couverture verrière (verre)	39
Figure (III- 23): Isolation thermique	39
Figure (III- 24): absorbeur (sel)	40
Figure (III- 25): absorbeur (aluminium).....	40
Figure (III- 26): absorbeur de 1 ^{er} capteur	40
Figure (III- 27): absorbeur de 2 ^{eme} capteur.....	41
Figure (III- 28): Capteur solaire	41
Figure (III- 29): séchoir solaire indirect	41
Figure (III- 30): La betterave rouge	42
Figure (III- 31): séchoir solaire	44
Figure (III- 32): l'installation de l'absorbeur étape 1	44
Figure (III- 33): l'installation de l'absorbeur étape 2.....	45
Figure (III- 34): Déplacement de capteurs de température	45
Figure (III- 35): Protocole de séchage de la betterave	46
Figure (III- 36): la betterave rouge.....	47
Figure (III- 37): Hacher la plante en petits morceaux	47
Figure (III- 38): pesé l'échantillon humide.....	48

Figure (III- 39): l'étuve de la boratoire	48
Figure (III- 40): l'échantillon séché	49
Figure (III- 41): tranché la betterave	50
Figure (III- 42): Poids de l'échantillon	51
Figure (III- 43): le porte-échantillon avec la betterave	51
Figure (III- 44): Placer l'échantillon à l'intérieur du séchoir solaire	52
Figure (III- 45): Mesures de température	52
Figure (III- 46): suivons l'échantillon	53
Figure (III- 47): Échantillon de chambre n°1	53
Figure (III- 48): Échantillon de chambre n°2	54
Figure (IV- 49): Evolution du rayonnement solaire durant deux journées	56
Figure (IV- 50): Evolution de la température ambiante durant deux journées	57
Figure (IV- 51): Evolution de la vitesse de l'air ambiant	58
Figure (IV- 52): Evolution de humidité de l'ambiant	59
Figure (IV- 53): Evolution de la température d'entrée à travers la chambre de séchage.....	60
Figure (IV- 54): Evolution de la température d'entrée à travers la chambre de séchage.....	60
Figure (IV- 55): Evolution de la perte de masse	61

Liste des tableaux

Tableau(I- 1):Caractéristiques principales du soleil [10].....	<u>11</u>
Tableau(I- 2) :Coefficients d'albédo usuels [25]	<u>14</u>
Tableau(I- 3):Potentiel solaire [34]	<u>16</u>
Tableau(I- 4): Caractéristiques géographiques de station climatique.	<u>16</u>
Tableau(I- 5): cracteristique du temperature	<u>17</u>
Tableau(I- 6): représente les précipitations moyennes mensuelles en (mm) (2015-2023)	<u>18</u>
Tableau(I- 7): représente l'humidité moyenne mensuelle en (%) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [39]	<u>18</u>
Tableau(III- 8): représente les vitesses moyennes mensuelles du vent en (Km/h) de l'ONM d' El-Oued durant la période (1985-2009). [40].....	<u>19</u>
Tableau(III- 9): représente les distributions moyennes mensuelles de la durée d'ensoleillement en (heure) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [41].....	<u>20</u>
Tableau(III- 10): représente l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [42].....	<u>21</u>
Tableau(III- 11): Exigences de séchage de certaines cultures [47].....	<u>32</u>
Tableau(III- 12): Les matières utilise dans l'expérience.....	<u>36</u>
Tableau(III- 13): Appareils de mesure d'occasion	<u>43</u>
Tableau(III- 14): Les poids d'échantillon.....	<u>49</u>
Tableau(III- 15): la quantité d'eau sur une base sèche.....	<u>49</u>
Tableau(III- 16): la quantité d'eau sur une base sèche.....	<u>50</u>

Nomenclature

Lettres latines		Unité Ac
	Surface du capteur	m ²
C _p	Chaleur spécifique	J / kg.K
I _g	Rayonnement solaire incident	W / m ²
m	Débit massique	kg/s
M _e	Masse d'eau	kg
M _h	Masse du produit humide	kg
M _s	Masse de la matière sèche	kg
T	Température	°C
t	Temps	h
V	Vitesse du vent	m / s



Introduction général



Introduction général

L'énergie solaire, émise par la lumière du soleil, est à la base de toutes les formes de production d'énergie. Aujourd'hui, elle est classée parmi les énergies renouvelables et peut être convertie en différentes formes. Principalement utilisée pour la production de chaleur et d'électricité, elle est largement exploitée dans divers secteurs. Le séchage solaire, l'un des moyens d'exploitation de l'énergie solaire, est un système couramment utilisé pour sécher des légumes, des fruits, du poisson et de la viande. Cette méthode de conservation des produits agroalimentaires réduit leur teneur en eau à des niveaux où la croissance des micro-organismes est inhibée.

Le séchage peut se faire de manière directe, exposant le produit au soleil, ou de manière indirecte, où l'air de séchage est chauffé par un capteur solaire avant d'entrer dans la chambre de séchage.

L'objectif principal est la fabrication d'un séchoir solaire indirect répondant aux spécifications des cultures agricoles locales. Pour cela, nous avons utilisé deux récepteurs en sel et en aluminium, différenciés par leur méthode de placement. Nous avons opté pour la betterave comme matière à sécher en raison de ses propriétés distinctives et de sa prévalence dans la région.

Après une introduction générale, la thèse est structurée comme suit :

Nous examinerons dans le premier chapitre le soleil du point de vue de ses caractéristiques et de ses rayons, ainsi que la température, l'humidité et les vents, pour la région d'El oued Souf.

En utilisant l'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable, nous sommes sur le point de réaliser une transformation majeure dans notre approche de l'énergie. Le séchoir solaire indirect est l'une des innovations remarquables dans ce domaine, offrant une solution efficace et sûre pour les opérations de séchage. Grâce à des technologies avancées, ce séchoir se distingue par sa capacité à atteindre une efficacité élevée sans compromettre la sécurité.

Dans le deuxième chapitre, nous vous présentons des informations sur le séchage et le séchoir solaire, le séchoir solaire indirect comprenant un ensemble d'éléments clés qui travaillent en harmonie pour assurer une performance optimale dans le processus de

Introduction générale

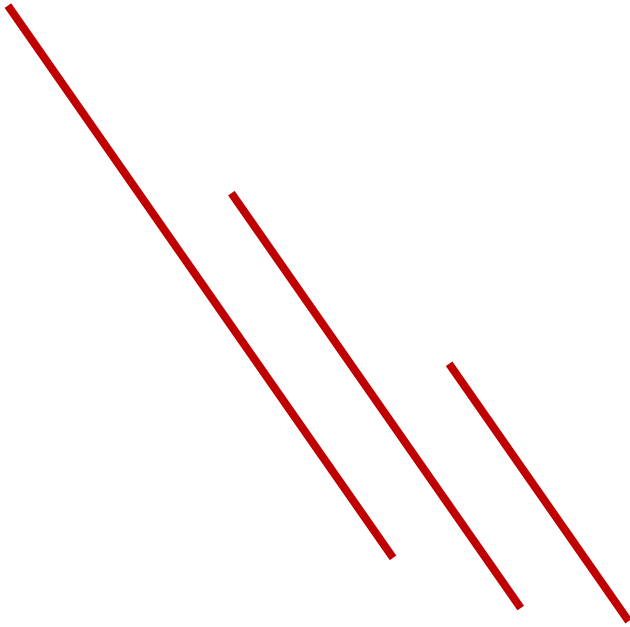
séchage. Il se distingue également par sa conception intelligente qui lui permet de s'adapter efficacement aux différents besoins de séchage.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons une vue d'ensemble complète des composants de ce séchoir, ainsi qu'une explication de la méthode de construction et de test. Nous expliquerons également le processus de séchage à l'aide de ce séchoir à travers une expérience de séchage de la betterave à sucre, ce qui nous permettra d'évaluer l'efficacité et l'efficience de cet appareil dans des conditions réelles.

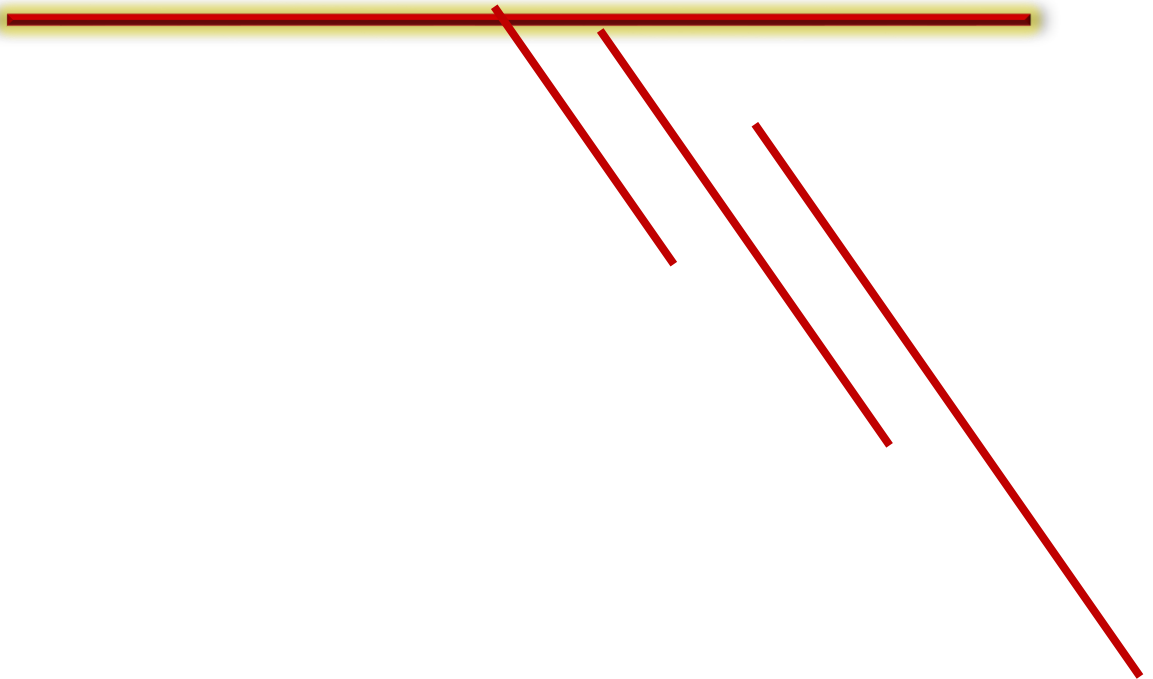
Dans le quatrième chapitre, nous présenterons également les résultats de la série finale de données du séchoir solaire indirect, en mettant l'accent sur les éléments clés qui ont contribué au développement de cette innovation. Nous analyserons en détail la courbe de séchage pour l'échantillon de betterave à sucre, mettant en lumière les résultats et renforçant notre compréhension de l'efficacité de cette technologie dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie alimentaire.

Enfin, une conclusion générale retraçant l'essentiel du travail de recherche effectuée ainsi que les perspectives.

Chapitre I



Généralités sur l'énergie solaire



I. Introduction

L'énergie solaire, émise par la lumière du soleil, est à la base de toutes les formes de production d'énergie. Aujourd'hui, elle est classée parmi les énergies renouvelables et peut être convertie en différentes formes. Principalement utilisée pour la production de chaleur et d'électricité, elle est largement exploitée dans divers secteurs.

Nous étudierons dans ce chapitre le soleil du point de vue de ses caractéristiques et de ses rayons, en déterminant la température, l'humidité et les vents, le tout pour la région d'oued Souf.

II. Soleil

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

Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil [7, 9].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau (1) :

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2×10^{30}
Surface (km ²)	6.09×10^{12}
Volume (km ³)	1.41×10^{18}
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	2.5×10^{17}

Tableau(I- 1: Caractéristiques principales du soleil [10].

III. Radiation solaire

Le soleil atteint l'atmosphère terrestre sous forme de rayonnements électromagnétiques, dont une partie est composée de rayonnement visible [15].

Le rayonnement solaire en un endroit se compose d'une composante directe et d'une composante diffuse [17].

L'énergie radiative du soleil subit d'importantes modifications lorsqu'elle

traverse l'atmosphère, en raison de l'absorption et de la diffusion. Le rayonnement solaire parvient à la couche supérieure de l'atmosphère à une moyenne de 1367 W/m. [18].

Dans l'atmosphère, le rayonnement est altéré en intensité et en polarisation par diffusion sur les molécules d'air, les gouttelettes d'eau, les poussières et autres particules d'aérosol. Il est également affecté par l'absorption due aux composants atmosphériques, ainsi que par l'absorption et la réflexion à la surface de la Terre.

III.1. Les Rayonnement solaire

L'énergie reçue au niveau du sol est inférieure à 1367 W/m² (la constante solaire) car une partie du rayonnement solaire est absorbée par l'atmosphère (environ 15%) et réémise dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. De plus, une autre partie du rayonnement solaire est réfléchi par l'atmosphère vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol est donc défini comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. Figure (1) L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée [19]

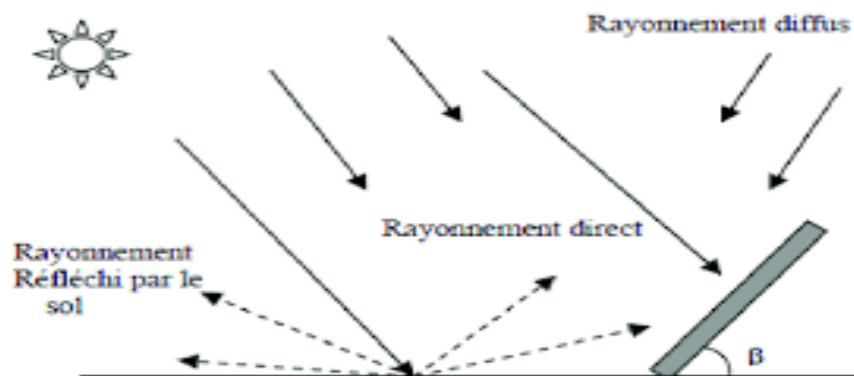


Figure (I- 1) : composantes de rayonnement solaire [20]

III.1.1. Rayonnement direct

Exactement ! Le rayonnement direct se compose de la lumière solaire qui parvient directement à la surface de la Terre sans être déviée ni dispersée par les particules atmosphériques. Cela se produit généralement lorsque le ciel est clair et sans nuages. Ce rayonnement est important pour de nombreuses applications, telles que la capture d'énergie solaire dans les panneaux solaires, la photosynthèse des plantes et la perception de la lumière par les organismes vivants [19].

III.1.2. Rayonnement indirect

Exactement ! Le rayonnement diffus est composé de la lumière solaire qui est dispersée dans toutes les directions par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère, telles que les molécules d'air, les particules de poussière, ou les gouttelettes d'eau. Contrairement au rayonnement direct qui provient directement du soleil, le rayonnement diffus ne suit pas une direction privilégiée et est donc réparti de manière plus uniforme dans le ciel. Cela donne souvent au ciel une luminosité générale, même en l'absence directe du soleil, comme lors d'une journée nuageuse [19].

III.2. Constante solaire

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

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

$$I_{sc} = \sigma T^4 \frac{R_s}{D_{st}}$$

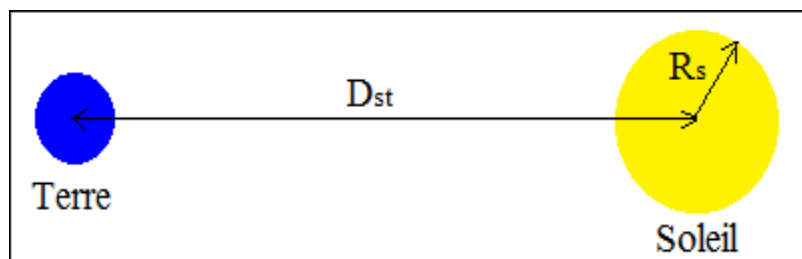


Figure (I- 2) : Schéma de constante solaire

- ✓ R_s : Rayon du soleil (Km).
- ✓ D_{ST} : Distance terre-soleil (Km).
- ✓ σ : Constante de Stéphane-Boltzmann $=5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.
- ✓ T_s : Température à la surface du soleil (K).

III.3. Albédo du sol (ρ)

En réalité, la Terre n'est pas un corps noir ; une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi par l'atmosphère, principalement par les nuages, ainsi que par la surface terrestre. Cette quantité est appelée le flux d'albédo. L'albédo est généralement défini comme

le rapport entre l'énergie solaire réfléchiée par une surface et l'énergie solaire incidente. On utilise une échelle graduée de 0 à 1 pour l'albédo, où 0 correspond au noir absolu (aucune réflexion) et 1 correspond à un miroir parfait (diffusion dans toutes les directions sans absorption du rayonnement visible reçu). Le tableau (I.2) présente les valeurs d'albédo pour différentes surfaces. [24] :

Type de surface	Albédo (ρ)
Surface de lac	0.02 à 0.04
Forêt de conifères	0.05 à 0.15
Forêt tropicale	0.12
Herbe verte	0.25
Sable léger et sec	0.25 à 0.45
Sol sombre	0.05 à 0.15
Glace	0.30 à 0.40
Mer chaude	0.05
Mer froide	0.15
Neige tassée	0.60
Neige fraîche	0.85
Nuage	0.86
Verre à vitres	0.10

Tableau(I- 2 :Coefficients d'albédo usuels [25]

III.4. La durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell– Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments, où le soleil est bien visible, sont enregistrés. On parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et elle dépend du fait que le soleil levant soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. A défaut de l'héliographe, il est possible de partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre et d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil [26, 23].

IV. Coordonnées géographiques du soleil

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques ; longitude et latitude, ainsi que par son altitude (figure 3).

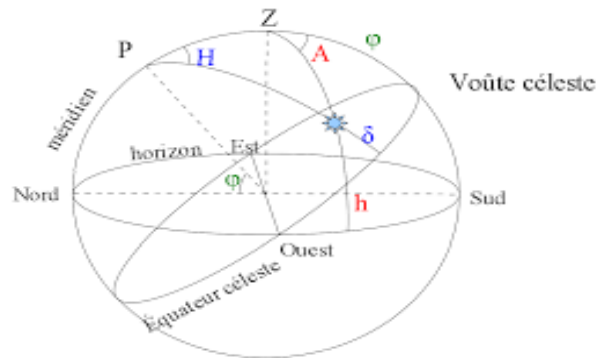


Figure (I- 3): Coordonnées géométriques [27]

IV.1. Longitude (l)

Correspond à l'angle que fait le plan passant par le méridien du point en question avec le plan passant par le méridien d'origine, c'est-à-dire, le méridien de Greenwich 0° (Royaume-Uni). La longitude définit donc le positionnement est/ouest d'un point. Par convention, on affecte le signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et de Signe (-) les méridiens situés à l'Ouest. La longitude sera désignée ici par la terre (l), elle peut être comprise entre -180° et $+180^\circ$ [28].

IV.2. Latitude (φ)

La latitude d'un lieu correspond à l'angle formé par le rayon joignant le centre de la Terre à ce lieu et le plan équatorial. Ainsi, l'équateur terrestre est caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par une latitude de $+90^\circ$, et le pôle sud par une latitude de -90° . Conformément à cette convention, les lieux de l'hémisphère nord sont marqués positivement (+), tandis que ceux de l'hémisphère sud sont marqués négativement (-). La latitude est désignée ici par la lettre (φ) et elle peut varier entre -90° et $+90^\circ$. [28].

IV.3. Altitude

D'un point correspond à la mesurée selon la verticale du lieu, qui sépare ce point d'une surface de référence appelée géoïde. Le géoïde est la surface moyenne des océans. En générale il est exprimé par mètre [28].

IV.4. Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie possède l'un des plus importants gisements solaires au monde. La durée d'ensoleillement sur l'ensemble du territoire national varie de plus de 2000 heures à 3900 heures, surtout dans les hauts plateaux et le Sahara. Sur la majeure partie du territoire, une surface horizontale d'un mètre carré reçoit chaque jour plus de 5 kWh. Cela équivaut à

près de 1700 kWh/m²/an dans le nord et à 2263 kWh/m²/an dans le sud du pays.

Le tableau (I.3) : résume le potentiel solaire en Algérie [33].

Régions	Sahara	Hauts Plateaux	Région côtière
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² .an)	1700	1900	2650

Tableau(I- 3:Potentiel solaire [34]

Une évaluation par satellite réalisée par l'agence spatiale allemande a révélé que l'Algérie possède le plus grand potentiel solaire de tous les pays méditerranéens [34].

Il est de 169,440 TWh/an pour le solaire thermique et de

713,9 TWh/an pour le photovoltaïque [35].

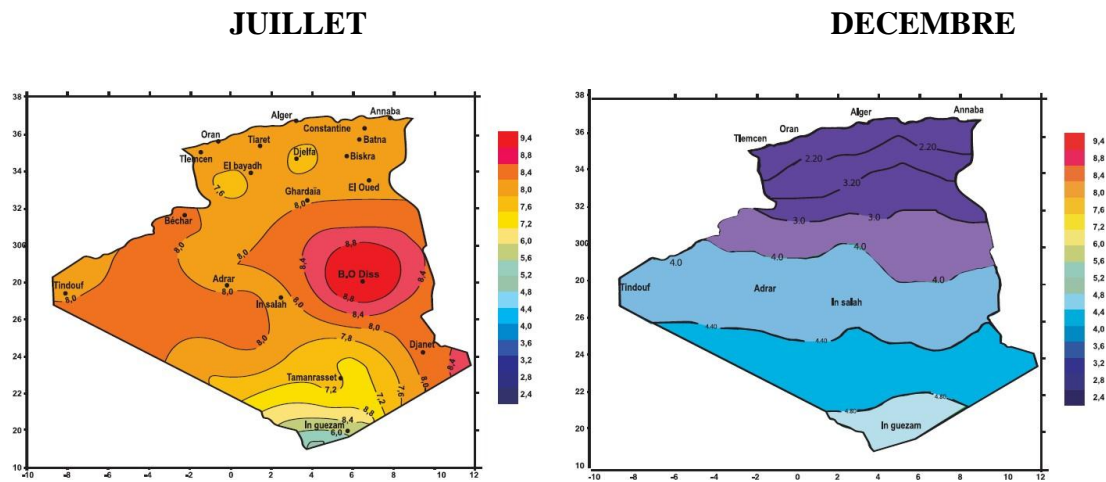


Figure (I-4) :Insolation globale quotidiennement reçue sur le plan horizontal du territoire Algérien aux mois de Juillet et Décembre [36]

IV.5. Station météorologique de référence

La station climatique (ONM) l'Office National Météorologique est située dans la Daïra de Guemar au Nord de la ville d'El Oued.

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Guemar	13 04 09	64	06°47'E	33°30'N

Tableau(I- 4: Caractéristiques géographiques de station climatique.

V. Paramètres climatologiques El-Oued

V.1. Température

La région d'El-Oued est caractérisée par une température moyenne d'environ 29,67°C. La température est très élevée en été, atteignant respectivement 42,2°C au mois juillet. En hiver, Température la plus basse est 18.0 est en janvier.

Les données représentées dans le tableau (5) nous permettent d'établir une représentation graphique de la température sous forme de bâtons suivante.

Mois	Jan	Fév.	Mars.	Avril	Mai.	Juin	Jui	Aut	Sept	Oct	Nov	Déc	T _{moy}
T (°C)	18.0	20.01	23.9	28.5	34.0	39.5	42.2	40.9	36.6	30.3	23.0	19.1	29.67

Tableau(I- 5):cracteristique du temperature

Les données représentées dans le tableau(I.5) nous permettent d'établir une représentation graphique du vent sous forme débâtons suivante.

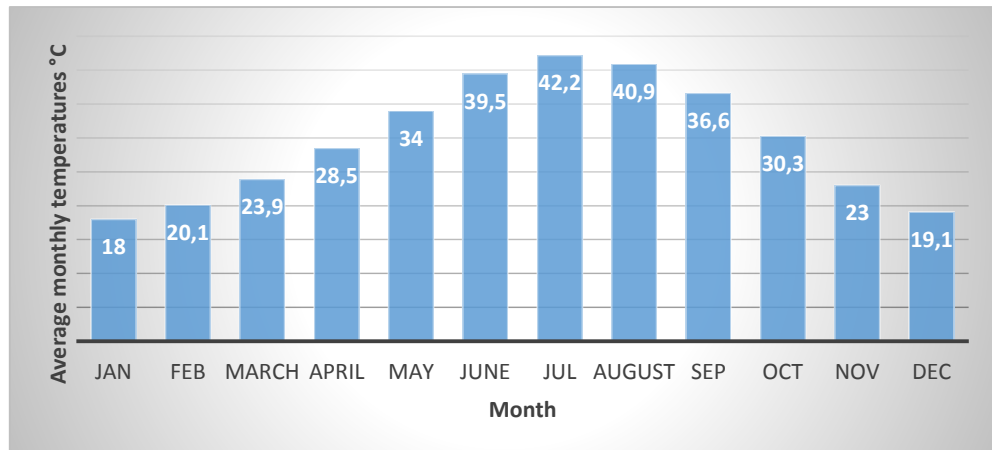


Figure (I- 5) : montre les températures moyennes mensuelles en (°C) de l'ONM d'El-Oued durant la période (2015-2023). [37]

V.2. Pluviométrie (précipitation)

La précipitation est généralement très rare et irrégulière, leurs répartitions moyennes annules sont de l'ordre de 4.8 mm/an, le mois le plus pluvieux est septamber avec 11.3 mm, les mois de Juin et de Juillet sont les moins les plus sèches avec 0 mm à 0.2 mm

Tableau(I- 6):représente les précipitations moyennes mensuelles en (mm) (2015-2023)

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Dec	P _{moy}
P (mm)	0.4	9.3	5.3	11.2	4.8	0.0	0.2	2.3	11.3	1.8	8.6	2.8	4.8

Les données représentées dans le tableau (I.6) nous permettent d'établir une représentation graphique de précipitation d'insolation sous forme de bâtons suivante.

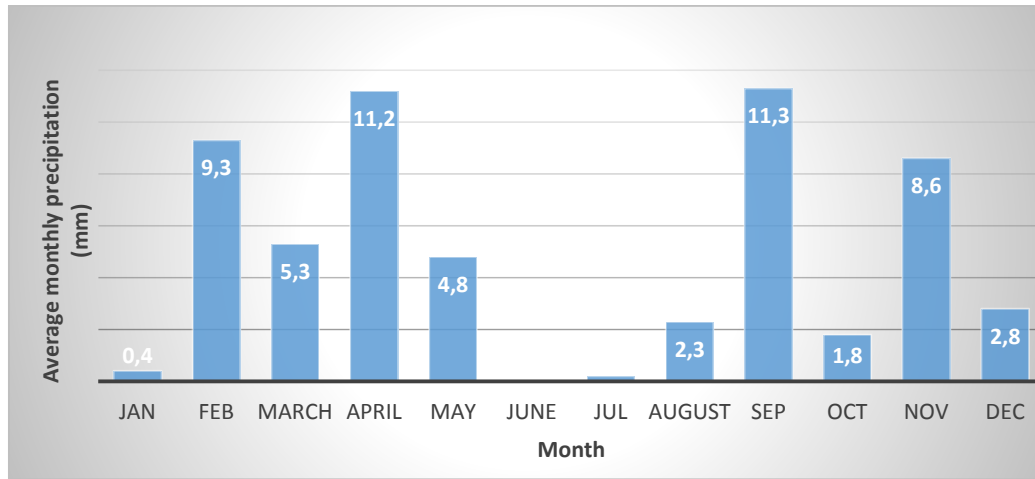


Figure (I- 6) : montre les précipitations moyennes mensuelles en (mm) (2015-2023)

V.3. Humidité

L'humidité relative de l'air correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression.

L'humidité est très faible au cours de l'année, elle est en moyenne de 48.19%.

Les mois les plus humides sont de décembre et de janvier.

Les mois les plus secs sont de juin et de juillet avec 34.23% et 32%. [39]

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui.	Aout	H _{moy}
H (%)	45.45	53.54	60.53	66.5	64.4	55.9	48.87	43.3	38.8	34.23	32	34.8	48.19

Tableau(I- 7) :représente l'humidité moyenne mensuelle en (%) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [39]

Les données représentées dans le tableau (I.7) nous permettent d'établir une représentation graphique de l'humidité sous forme de bâtons suivante.

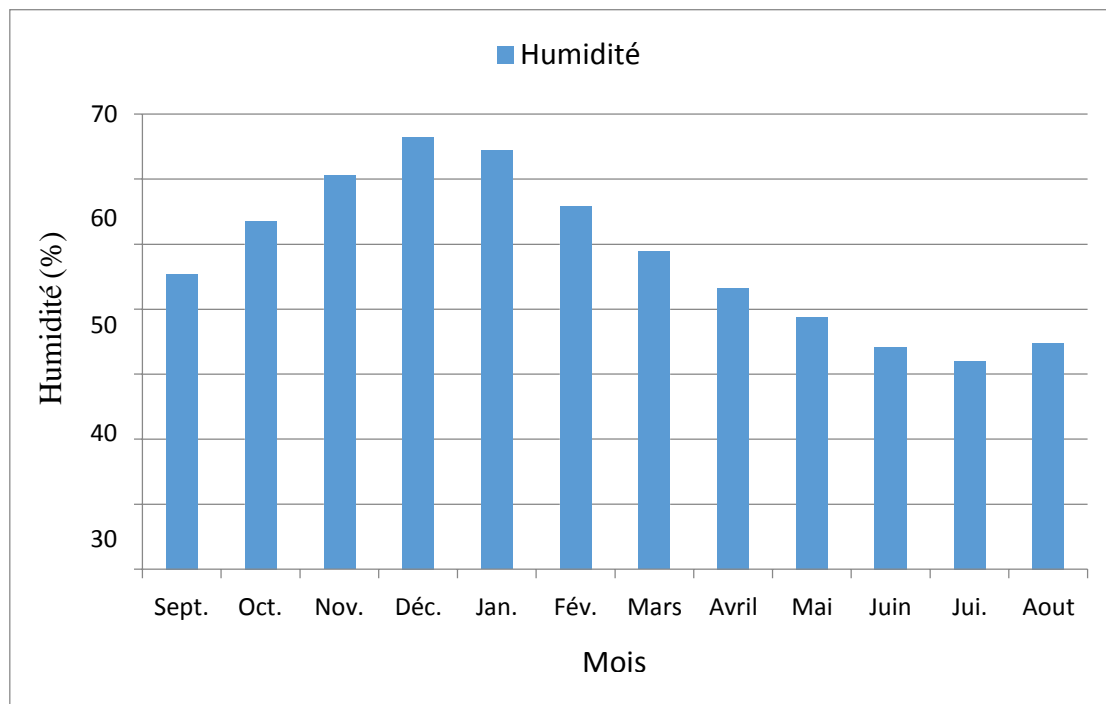


Figure (I-7):montre l'humidité relative moyenne mensuelle en (%) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009).[39]

V.4. Vent

Dans la région que nous étudions, les vents dominants soufflent principalement de l'est, du nord-est, de l'ouest-est et du sud-ouest, avec notamment le sirocco qui se caractérise par des températures extrêmement élevées. En général, les vents les plus actifs se produisent au printemps lors de la pollinisation des plantes. Ils transportent des particules de sable et atteignent des vitesses dépassant les 30 km/h. Ces vents chauds et secs entraînent simultanément une baisse de l'humidité atmosphérique et une forte augmentation de la température, ce qui favorise l'évaporation.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui.	Aout	V _{moy}
V(Km/h)	3.21	2.31	2.16	2.33	2.18	2.73	3.38	4.15	4.27	4.06	3.6	3.12	3.12

Tableau(I- 8) :représente les vitesses moyennes mensuelles du vent en (Km/h) de l'ONM d' El-Oued durant la période (1985-2009). [40]

Les données représentées dans le tableau (I.8) nous permettent d'établir une représentation graphique du vent sous forme de bâtons suivante.

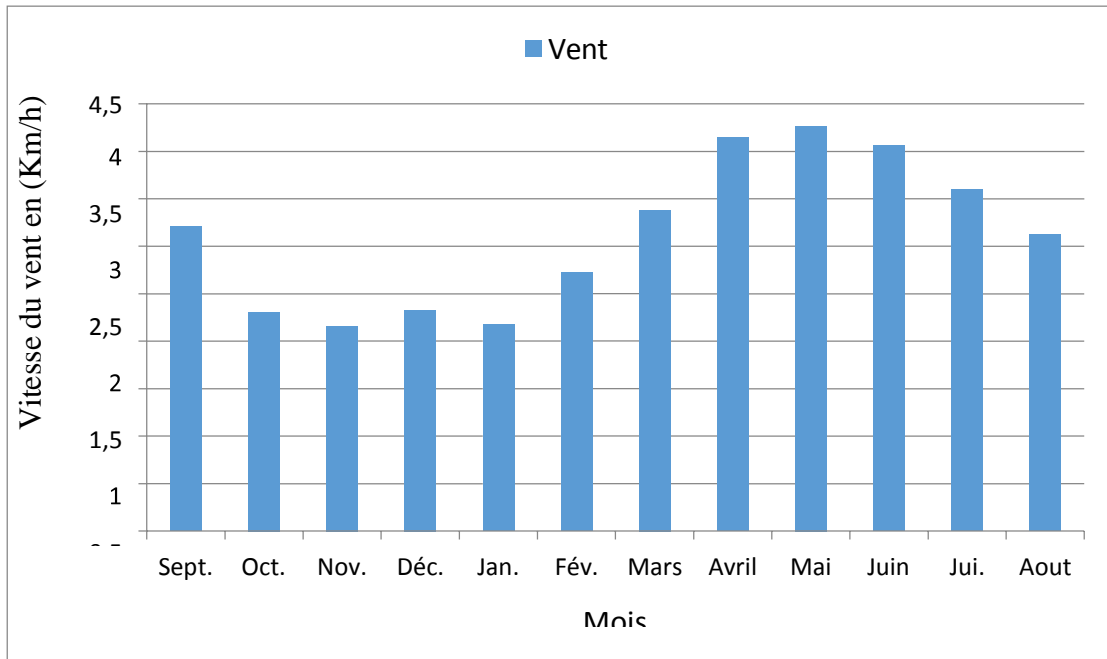


Figure (I- 8) : montre les vitesses moyennes mensuelles du vent en (Km/h) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009).[40]

V.5. Ensoleillement (Insolation)

L'irradiation est appelée aussi l'insolation est la quantité de lumière solaire reçue en un lieu ou une chose. Il est mesuré par nombre d'heures par an à l'aide d'héliographes. La région d'El Oued est caractérisée par une quantité importante de la lumière solaire à cause de faibles nébulosités.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui.	Aout	I _{moy}
I (h)	275	261.2	237	225	237.9	247.9	281.5	284	312	341.2	352	329	281.97

Tableau(I- 9): représente les distributions moyennes mensuelles de la durée d'ensoleillement en (heure) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [41]

Les données représentées dans le tableau (I.9) nous permettent d'établir une représentation graphique de l'insolation sous forme de bâtons suivante

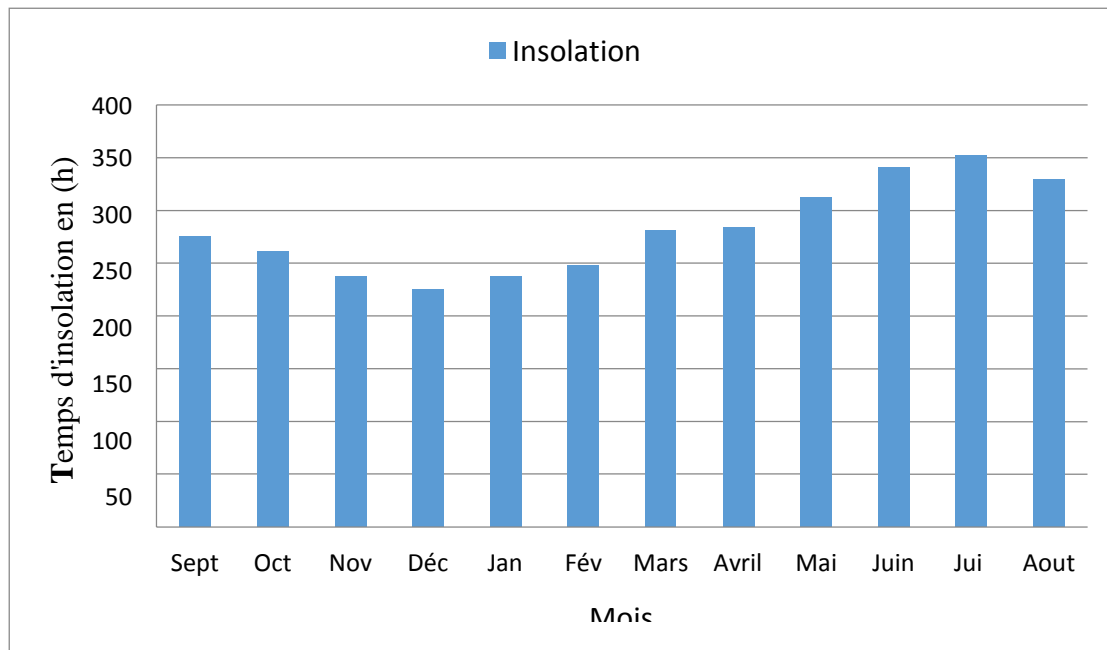


Figure (I-9) : montre les distributions moyennes mensuelles de la durée d'enseillement en (h) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [41]

La distribution moyennes mensuelles d'irradiation nous permet de constater que l'irradiation solaire moyenne est maximale au mois de juillet avec 352 heures et minimale en décembre avec 225 heures.

La durée d'enseillement est de moyen annuelle de 3383.7 h/an ce qui causée par une évaporation très élevée.

V.6. Evaporation

L'évaporation se produit lorsque l'eau liquide se transforme en vapeur d'eau, et ce processus est généralement plus rapide en présence de vents chauds et de températures élevées.

Dans notre zone d'étude, l'évaporation moyenne annuelle atteint 2146 mm/an. La moyenne mensuelle maximale est de 309 mm en juillet, tandis que la moyenne mensuelle minimale est de 73 mm en décembre.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Jui	Aout	E_{moy}
E (mm)	198	148	99	73	76	101	148	196	248	276	309	274	2146

Tableau(I- 10):représente l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [42]

Ces données nous permettent de représenter graphiquement l'évaporation sous forme de diagramme à barres.

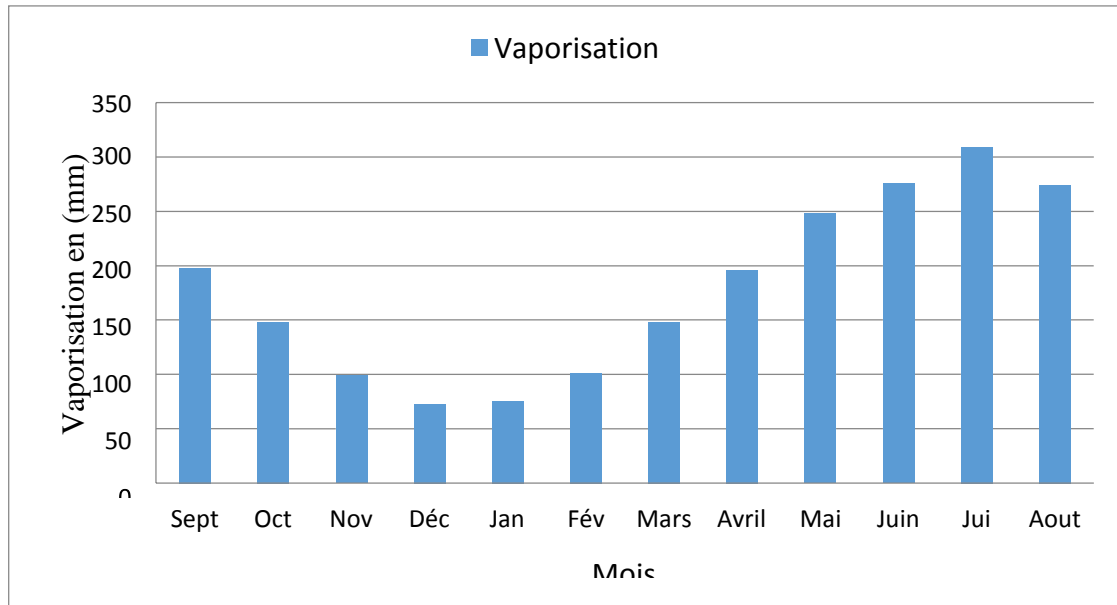


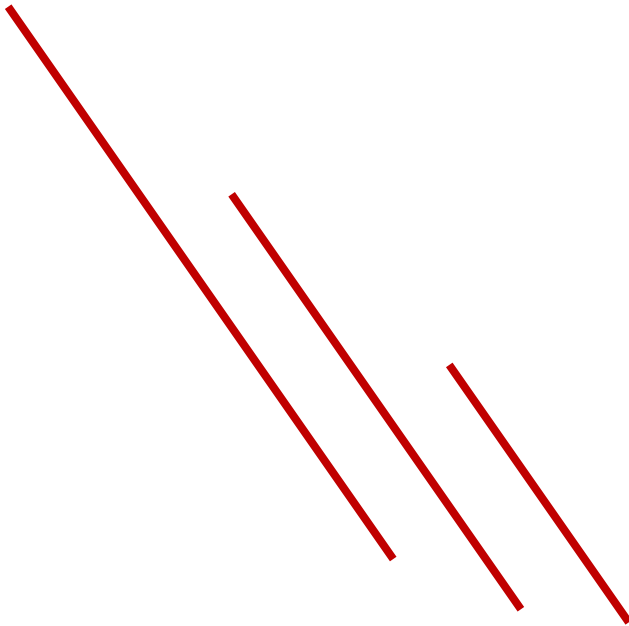
Figure (I- 10) :montre la variation de l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de l'ONM d'El-Oued durant la période (1985-2009). [42]

VI. Conclusion

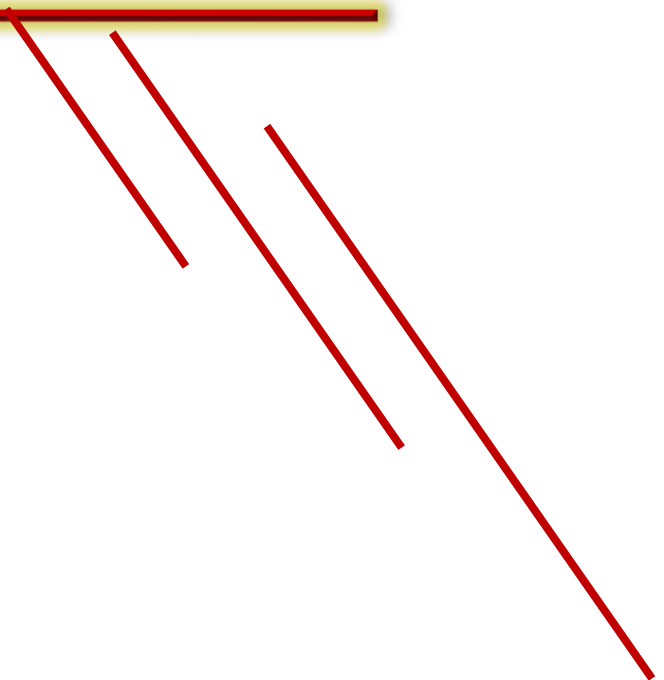
Dans ce chapitre, nous avons fait une étude approfondie sur l'énergie solaire et leur importance, nous avons montré que la connaissance de la quantité du rayonnement solaire incident dans un endroit est parmi les plus importants facteurs pour traiter un système énergétique solaire [39]. De plus nous avons cité quelques notions et informations sur le gisement solaire du monde et de l'Algérie, à la fin nous avons fait une étude sur les paramètres climatologiques de la région d'El-Oued.

Dans le deuxième chapitre, nous aborderons également l'étude du séchage et des séchoirs solaires, en particulier le séchoir solaire indirect. De plus nous analyserons et étudierons la plante de betterave rouge.

Chapitre II



Le séchage indirect



I. Introduction :

Applications basées sur la conversion de basses températures solaires en énergies thermiques multiples et variées. Ceux-ci comprennent le chauffage solaire de l'eau domestique, le chauffage et le refroidissement des bâtiments et le séchage solaire des produits agricoles. Le séchage, un processus important dans toute transformation de produits de l'industrie alimentaire, est un processus énergivore. Cela explique l'utilisation croissante des énergies renouvelables et de l'énergie solaire principalement grâce à l'utilisation de séchoirs solaires. Ainsi, nous étudierons le processus de séchage ainsi que les séchoirs solaires afin de nous plonger dans son étude de séchoir solaire indirect qui est le premier objectif de notre étude, ainsi que d'analyser les propriétés de la plante séchée nécessaires à notre étude de séchage.

II. Définition du séchage

Par définition, le séchage est une technique de purification visant à débarrasser un mélange homogène ou hétérogène d'un constituant liquide. Sécher un produit consiste à apporter l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau du produit (chaleur latente de vaporisation), puis à évacuer la vapeur formée. Le but d'une telle opération est, soit de rendre à une substance traitée ses qualités mécaniques ou physico-chimiques initiales, soit de faciliter son stockage et sa conservation. Il existe plusieurs procédés de séchage : les procédés mécaniques (presse, décantation ou centrifugation), les procédés physico-chimiques (adsorption, absorption, réfrigération et séchage par évaporation). Ce dernier consiste à transférer le liquide à éliminer dans la phase gazeuse qui le baigne. Le changement de phase exige un apport de chaleur assez considérable. Il peut être direct (chauffage par échangeur, par effet joule, par radiations infrarouges ou par courants de haute fréquence) ou bien c'est la phase gazeuse elle-même qui assure l'apport de chaleur nécessaire (air chaud). Le séchage par évaporation est un processus très complexe qui fait intervenir un double transfert. Le premier est un transfert de chaleur destiné à réduire la teneur en eau dans le produit. Le second est un transfert de masse qui implique un déplacement du fluide de l'intérieur du produit vers sa surface. Ces deux transferts exigent un apport de chaleur considérable, d'où l'intérêt d'utiliser une source de chaleur renouvelable. C'est le cas des séchoirs solaires. [43]

III. Pourquoi le séchage ?

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 pourrisse- ment. C'est aussi une étape nécessaire dans la congélation de certains produits, car l'élimination de l'eau diminue leur poids et leur volume. En résumé, le séchage permet d'améliorer la conservation des produits, de faciliter leur transport, de réduire les risques de pertes de produits après récolte et surtout d'élargir la commercialisation de ces produits en les rendant disponibles toute l'année.

IV. Les séchoirs solaires

Le séchage naturel connu et pratiqué par nos ancêtres consiste à exposer le produit à sécher directement au soleil, en l'étalant au sol sur des nattes ou des claies. Ce type de séchage, bien qu'il soit simple et gratuit, a l'inconvénient de nécessiter de longues durées de séchage, d'exposer le produit à la poussière, à la pluie et aux insectes. D'où altération de la qualité et risque de pourrissement et de moisissures qui peuvent atteindre jusqu'à 50% des récoltes.

Ce n'est qu'au 20^{ème} siècle avec l'apparition du concept de l'activité de l'eau (water activity A_w) et la connaissance des mécanismes de transfert de l'humidité dans les produits que furent développés les premiers séchoirs artificiels conçus selon des règles scientifiques.[16]

V. Types de séchoirs solaires

V.1. Les séchoirs-Tunnel

Ce sont des séchoirs industriels destinés au séchage des grandes récoltes et dans les processus de conservation de certains aliments. Ils se composent d'un champ de capteurs solaires et d'un circuit aéraulique, le tout constituant le générateur d'air chaud. Le produit à sécher est disposé dans des chariots montés sur des rails, qui traversent un tunnel de quelques mètres de façon continue (Figure1).



Figure (II- 11): le séchoir tunnel [43]

V.2. Les séchoirs-stock

Appelés aussi séchoirs étuves, ce sont des séchoirs immobiles, ou le produit à sécher est entreposé sur des claies ou étagères. Les séchoirs stocks peuvent être directs ou indirects.

V.3. Les séchoirs solaires directs (séchoirs-serre)

Dans ce type de séchoirs, l'isolateur (capteur solaire) et le stock (chambre de séchage) forment un seul bloc. Le séchoir est constitué d'un caisson isolé à sa base et recouvert d'une vitre ou d'un plastique clair. Les aliments à sécher reçoivent directement les rayons du soleil à travers la couverture transparente (Figure 2). Ce type de séchoir est adapté au séchage des fruits et légumes dont la teneur en eau initiale est importante et qui nécessitent de longues durées de séchage (Figure 3).



Figure (II- 12) : Séchoir solaire direct portable. [43]

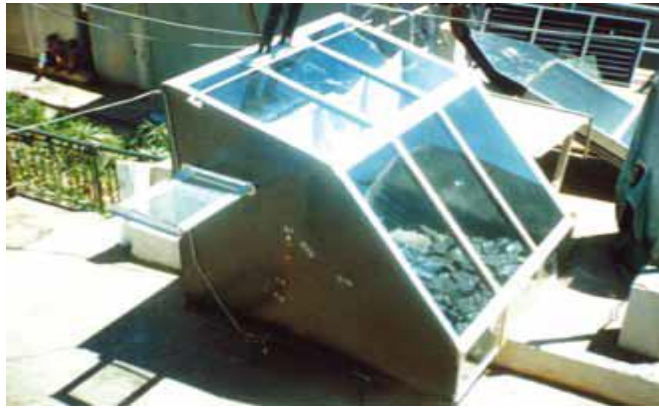


Figure (II- 13) : Séchoir solaire serre réalisé au CDER [44]

V.4. Les séchoirs solaires indirects

Ils sont composés d'isolateurs couplés à une chambre de séchage. L'isolateur sert à chauffer l'air et à l'envoyer dans cette dernière (Figure 4). En convection naturelle, ceci ne suffit pas à réchauffer l'air à la température désirée, ce qui explique l'ajout d'une cheminée. L'énergie supplémentaire qui se trouve à la base de la cheminée améliore considérablement le fonctionnement du séchoir en augmentant le débit de l'air dans la masse du produit à sécher.

Le séchoir solaire indirect est divisé en deux types :

V.4.1. Séchoir solaire indirect passif

L'air circule dans ce sèche-linge par circulation Convection naturelle et décharge à travers Trous de ventilation ou cheminée pour faciliter les déplacements Air vertical. Pour augmenter la capacité de ces séchoirs, étagères ou les plateaux sont placés verticalement et espacés pour permettre Avec une bonne circulation d'air chaud entre eux. [45]



Figure (II- 14): Séchoir solaire indirect passif [45]

V.4.2. Séchoir solaire indirect actif

En plus du capteur solaire, il comprend ces ventilateurs d'extraction de sèche-linge maintiennent le taux débit suffisant dans la chambre de séchage permettant l'évaporation. Séchage uniforme. [45]

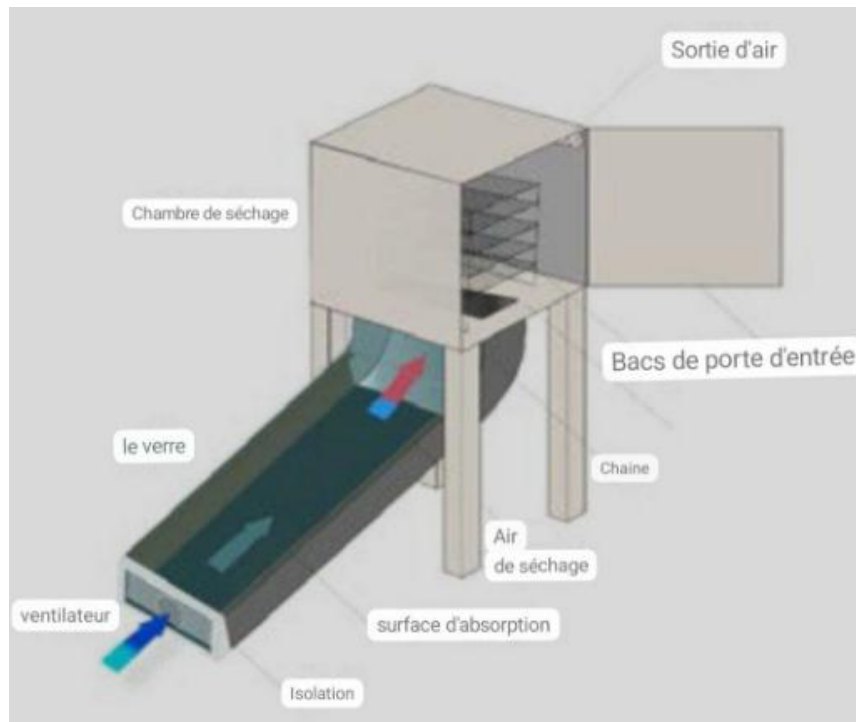


Figure (II- 15) : Séchoir solaire indirect actif [45]

V.4.3. Les composants d'un séchoir indirect actif

Le séchoir solaire indirect actif se divise en deux parties :

V.4.3.1. Chambre de séchage

C'est l'endroit où est placé le matériau à sécher

V.4.3.2. Capteurs solaires

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie thermique et transmettre à un fluide caloporteur (gaz ou liquide) par convection à travers une surface d'échange thermique.

Il est composé de :

V.4.3.3. Couverture transparente :

Le verre est considéré comme une couverture pour les installations solaires thermiques. Cette matière permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre.

V.4.3.4. Fluide caloporteur

Le fluide (air) est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide échangeur thermique appelé fluide de travail.

V.4.3.5. Isolant

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement vers l'extérieur.

Les matériaux utilisés comme isolant sont le bois, les polystyrènes, la laine de verre...

V.4.3.6. Le coffre ou la cadre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, ferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.

V.4.3.7. Absorbeur

Est l'élément essentiel dans le capteur, il absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur, et transmet celle-ci à un fluide caloporteur. L'absorbeur n'est qu'une tôle métallique (Aluminium, Acier, Cuivre), il peut également être constitué d'autres matériaux (sel, sable, gravier, etc...) ces matières sont toutes de bonnes conductibilités thermiques.

VI. Les différents produits qui sont utilisés dans le séchoir solaire indirect actif

VI.1. Pratiques de pré- et post-séchage

Il convient également de noter que plusieurs considérations doivent être prises

en compte

Pratiques de pré- et post-séchage en préparation Produits séchés de haute qualité que nous mentionnons dans La section suivante comprend les principales pratiques appliquées à

Fruits et légumes :

VI.1.1. Pour les légumes

La température idéale pour sécher les légumes est d'environ 60°C pour éviter la formation de moisissures et la perte de saveur. Après la récolte, les légumes doivent être lavés, préparés et éventuellement blanchis pour arrêter l'action enzymatique. Ensuite, ils sont disposés en couche sur un plateau de séchage et séchés jusqu'à ce qu'ils atteignent une texture ferme, avec un taux d'humidité d'environ 10 %. Une fois secs, ils doivent être refroidis et stockés dans des récipients hermétiques dans un endroit frais et sombre. Les légumes séchés ont une durée de conservation plus courte que les fruits, généralement entre quatre et 12 mois.

VI.1.2. Pour les fruits

Pour sécher les fruits, lavez, pelez et coupez-les uniformément. Certains peuvent être séchés entiers, sans les trancher. Certains fruits, comme les bananes et les pommes, peuvent nécessiter un prétraitement pour éviter le noircissement, comme les tremper dans du jus de fruit ou du miel. Généralement, les fruits sont séchés à environ 60°C jusqu'à ce que leur teneur en humidité atteigne environ 20 %. Ils doivent avoir une texture ferme mais pas dure. Après le séchage, refroidissez et conditionnez les fruits dans des contenants hermétiques et résistants à l'humidité, comme des bocaux en verre ou des sacs en plastique de haute densité. Stockez-les dans un endroit frais, sec et sombre. Les fruits peuvent nécessiter un conditionnement avant l'emballage final pour uniformiser la teneur en humidité et réduire les risques de détérioration. Pour ce faire, placez-les dans des récipients pendant quelques jours et secouez-les pour vérifier s'il reste de l'humidité. Si nécessaire, séchez-les davantage avant de les emballer correctement. [47]

VI.2. Exigences de séchage de certaines cultures

Les séchoirs solaires sont utilisés pour sécher un lot Une variété de cultures et de produits tels que des céréales et des fines herbes Légumes, fruits, produits laitiers et poisson. Et pour chaque Type, la conception du séchoir solaire doit être adaptée pour que La température et le débit d'air soient optimaux pour atteindre Un bon séchage tout en conservant

un produit de qualité Bien. Il lui faut des aliments humides comme les mangues, les ananas et les tomates nécessitent deux jours complets de séchage au soleil. Même si les aliments peuvent être séchés d'autres, comme les pommes, les noix de coco, les pommes de terre, les oignons, en un jour. Quant aux produits feuillus, comme les herbes cela ne prend qu'une partie de la journée [46].

Le tableau 10 comprend des informations sur la teneur en humidité température initiale, finale et maximale autorisé pour le séchage de certaines cultures [47]

La récolte	Teneur en humidité initiale (pour cent)	Teneur en humidité finale (pour cent)	Chaleur maximale Autorisé pour le séchage (° C)
Riz cru	22-24	11	50
Riz bouilli	30-35	13	50
du maïs jaune	35	15	60
Blé	20	16	45
Maïs	24	14	50
le riz	24	11	50
Les légumineuses	20-22	9-10	40-60
Graines oléagineuses	20-25	7-9	40-60
Petits pois	80	5	65
Chou-fleur	80	6	65
Carottes	70	5	75
Haricots verts	70	5	75
Oignons	80	4	55
l'ail	80	4	55
Chou	80	4	55
patate douce	75	7	75
Patates	75	7	75
Épices	80	5	65
Abricot	85	18	65
Pommes	80	24	70
Raisins	80	15-20	70
la banane	80	15	70
Goyave	80	7	65

Gombo	80	20	65
Ananas	80	10	65
Tomates	96	10	60
Betterave rouge	80-90	5	70
Aubergine	95	6	60

Tableau (II- 11): Exigences de séchage de certaines cultures [47]

VII. Présentation de quelques travaux antérieurs sur le séchoir solaire indirect actif

Au sein de l'école de l'énergie et études environnementales en Inde, PANGAVHANE Dilip et al. 2002, Ont utilisés un séchoir solaire indirect, fonctionnant à convection naturelle, Les résultats obtenus par ce séchoir sont encourageantes, dont la température à la sortie varie entre 50 °C et 55 °C. Durant la période d'expérimentation qui s'étale de Mars à Mai, Ils ont observé que le séchage des raisins par ce système prend 04 jours, alors que le séchage traditionnel nécessite une durée allant de 07 à 15 jours. [48]

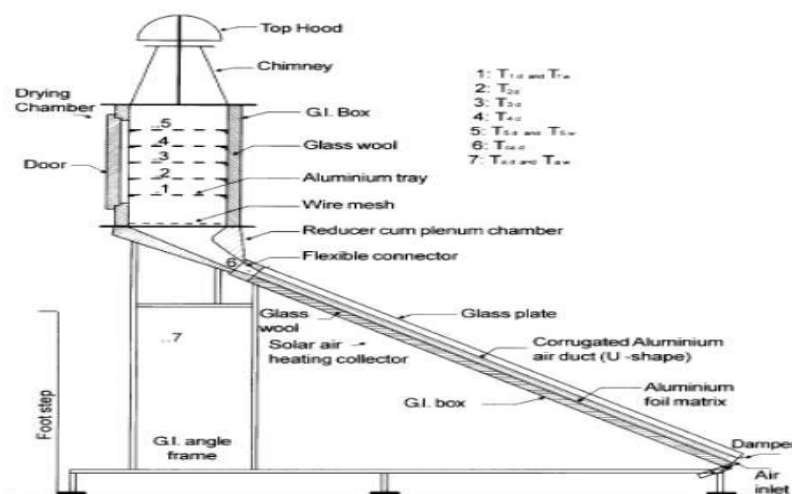


Figure (II- 16): schéma descriptif du séchoir utilisé dans le travail de (Dilip R, et al. 2002) [49]

L'étude de Bennamoun and Belhamri 2003, montre l'importance du séchage solaire utilisant l'appoint de chauffage par rapport au séchage sans appoint, dans un séchoir solaire de type indirect fonctionnant en convection forcée pour sécher les oignons. La conclusion de ces résultats ont montré que la teneur en eau du produit sans utilisation d'appoint de chauffage, n'a pu atteindre la valeur voulue en fin de séchage, par contre, la teneur en eau du produit avec utilisation d'appoint atteint la valeur voulue, un gain de temps de séchage est obtenu, il est évalué peu après 15 h en général. L'utilisation d'un appoint peut réduire

considérablement le temps de séchage voir figure. [50]

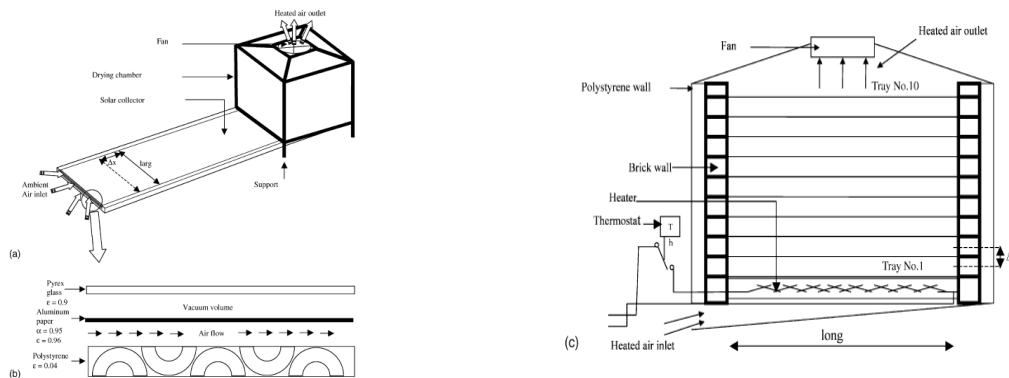


Figure (II- 17): (a) Schéma d'un séchoir solaire discontinu (b) Schéma du collecteur. (c) Schéma interne de la chambre séchage [51]

Plusieurs études ont été faites sur la première catégorie des séchoirs solaires indirects, ainsi que sur la réalisation des capteurs solaires, parmi, on cite le travail de Semmar, Betrouni et al. 1998.

Ce travail porte sur l'étude et la conception d'un capteur solaire à air destiné à la production d'air chaud. Simuler ce comportement par un programme informatique utilisant un modèle mathématique où tous les paramètres caractérisant la performance du système sont évalués instantanément durant la période d'ensoleillement. [52]

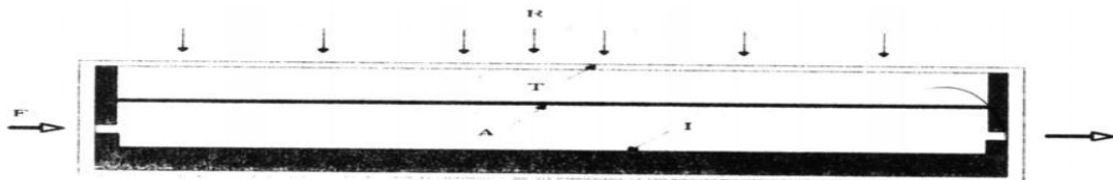


Figure (II- 18): Schématisation du collecteur plan à air [52]

VIII. Conclusion

A travers ce deuxième chapitre nous avons donné les différentes notions de base et la définition du séchage solaire ainsi qu'une partie est réservée aux différents types de séchoirs existants.

Puis, on a cité les caractéristiques de l'air humide et d'un solide humide ceci est dans le but de trouver leurs humidités relatives, la température et la variation de la cinétique de séchage pour le produit à sécher.

Dans le prochain chapitre, nous introduirons le séchoir spécifique à notre expérience et procéderons à l'expérimentation.

Chapitre III

Etude expérimentale

The page features a decorative design of red lines. Three parallel red lines slope downwards from the upper left towards the center. Below the text 'Etude expérimentale', a thick horizontal red line is centered, with a soft yellow-to-orange glow or shadow beneath it. From the center of this horizontal line, three more parallel red lines slope downwards towards the bottom right.

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous vous présenterons les composants de ce séchoir ainsi que la méthode de construction et d'essai. Nous allons sécher la matière de betterave dans deux chambres différentes en même temps afin de pouvoir évaluer l'efficacité de chaque séchoir.

II. Réalisation de séchoir solaire indirect

Le séchoir solaire étudié a été réalisé au laboratoire de Génie mécanique de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.

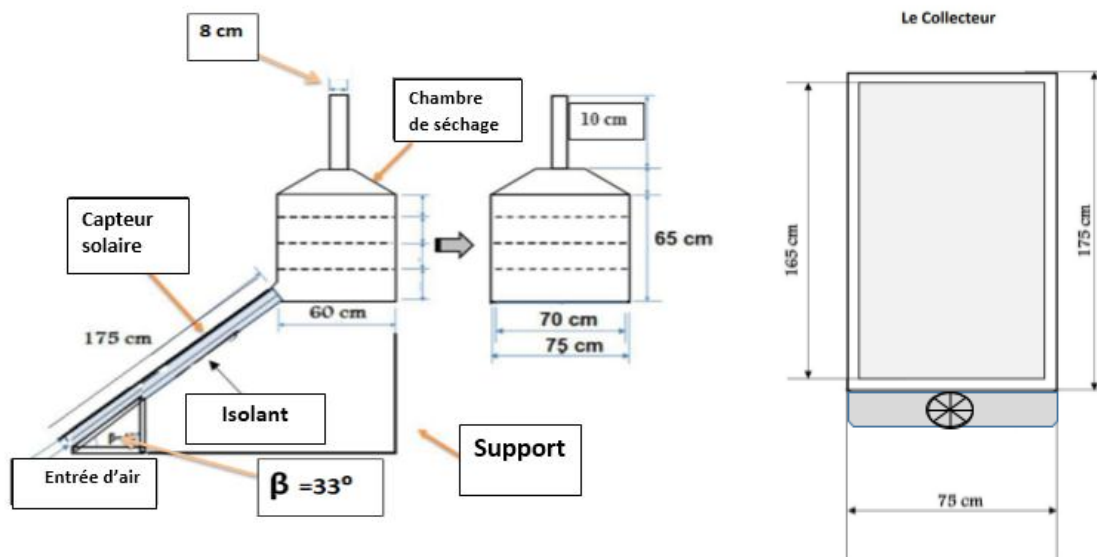
Le capteur est essentiellement constitué les éléments suivantes :

1. support
2. Chambre de séchage
3. Capteur solaire

Pour réaliser cette structure on doit passer par plusieurs étapes constructives après les mesures des différentes parties du capteur pour obtenir l'objectif de structure désigner.

II.1. Conception de séchoir solaire









Sur la base d'une étude antérieure l'équipe a choisi la conception présentée dans la figure (III.1)




Figure(III- 19): Dimension des éléments séchoir solaire indirect

II.1.1. Matérielle de travail

Ce tableau représente tous les équipements utilisés dans cette expérience

Matière	Dimensions	Quantité	Photo
Canne en fer en forme de L	6m	3	
Canne en fer en forme carre	6m	3	
Paumelle de grille acier	///	4	
Baguette soudeur	3mm	45	
silicone	///	1	
ventila taire	(0.12m*0.12m)	2	
chemine	0.1m*0.08m)	2	
Peinture noire (black mat)	///	11	

Peinture noire	///	1	
----------------	-----	---	---

Tableau(III- 12): Les matières utilise dans l'expérience

II.1.2. Réalisation de composants du séchoir solaire

II.1.2.1. Support

IL y a un support disponible au laboratoire de l'institut des sciences et de la technologie, il est propre pour nos expériences après d'ajouter quelques modifications. Le support que nous avons fait de canne en fer en forme de L, longueur 2 m, largeur 1.20 m, hauteur 50 cm et angle d'inclinaison 33°



Figure (III- 20): Réalisation du support

II.1.2.2. Chambre du séchage

Nous avons fabriqué la pièce avec le même type de bois et suivi les premières mesures et installé les isolateurs de la bonne façon afin que l'efficacité de séchage soit bonne.



Figure (III- 21):Réalisation chambre de séchage

II.1.2.3. Capteur solaire :

Pour réaliser notre capteur, nous avons appliqué ses propres mesures à notre séchoir afin de nous assurer qu'il était installé correctement et nous avons également mis des isolants en place afin que l'efficacité du réchauffement climatique soit forte et que nous évitions l'effet de facteurs externes

Notre capteur sont compose les éléments suivants

- Couverture transparente
- Isolant
- Le coffre ou la cadre
- Absorbeur

II.1.2.3.1. Couverture transparente (verre)

Pour sa simplicité et sont bas coût, on a utilisé du verre ordinaire. Car ce type de capteur solaire plan à air ne nécessite pas des techniques avancées.

Les dimensions de la vitre sont :

- Longueur : 1.65m
- Largeur : 65 cm.
- L'épaisseur : 0.5 cm.

On a choisi un verre ordinaire pour leur bonne conductivité thermique, leur bonne transmission du rayonnement visible et leur mouillabilité.

Pour assurer une bonne étanc



Figure(III- 22): Couverture verrière (verre)

II.1.2.3.2. Isolation thermique

Pour isoler les surfaces des capteurs, Polistiren doit être utilisé comme isolant pour résister aux températures de fonctionnement. Polistiren de 4 cm d'épaisseur a été utilisé.



Figure (III- 23): Isolation thermique

II.1.2.3.3. Absorbeur

Employez-nous dans l'absorbeur d'expérience de sel avec le refroidisseur en aluminium

- Epaisseur du sel : 3 mm

- Epaisseur du refroidisseur en aluminium : 3mm



Figure(III- 24): absorbeur (sel)



Figure (III- 25): absorbeur (aluminium)

Dans le premier capteur mélange aléatoire figure. (26)



Figure (III- 26): absorbeur de 1^{er} capteur

Le deuxième capteur : contient un mélange de lignes avec une ligne figure.(29)



Figure (III- 27): absorbeur de 2^{eme} capteur

La forme finale du capteur solaire :



Figure (III- 28): Capteur solaire

Après les étapes nous obtenons la structure suivante :



Figure (III- 29): séchoir solaire indirect

III. Échantillon séché :

III.1. Description de l'échantillon :

La betterave rouge, également appelée betterave rouge ou simplement betterave, est la racine tubéreuse de la plante de betterave. La betterave rouge contient une haute concentration de bêta carotène, une substance qui lui confère sa couleur rouge et est considérée comme l'un des antioxydants les plus puissants



Figure (III- 30): La betterave rouge

III.2. Caractéristiques de betterave rouge

III.2.1. Humidité :

Le taux d'humidité dans la betterave rouge varie généralement entre 86.5%

III.2.2. Température maximal :

Les betteraves rouges peuvent résister à des températures allant jusqu'à environ 70 ° C pendant le processus de séchage

III.2.3. Temps nécessaire pour le séchage :

En règle générale, il faut 8 à 12 heures pour sécher complètement les tranches de betterave dans le séchoir, à une température de 50 à 70 degrés Celsius.

IV. Appareils de mesure d'occasion

Dans cette expérience, nous avons utilisé les appareils répertoriés dans le

tableau(III.1)

<p>capteurs thermiques</p>	
<p>Anémomètre</p>	
<p>Equilibre laboratoire</p>	
<p>L'étuve de l'laboratoire</p>	
<p>Equilibre</p>	

Tableau(III- 13): Appareils de mesure d'occasion

V. Expérience

V.1. Installation du séchoir solaire

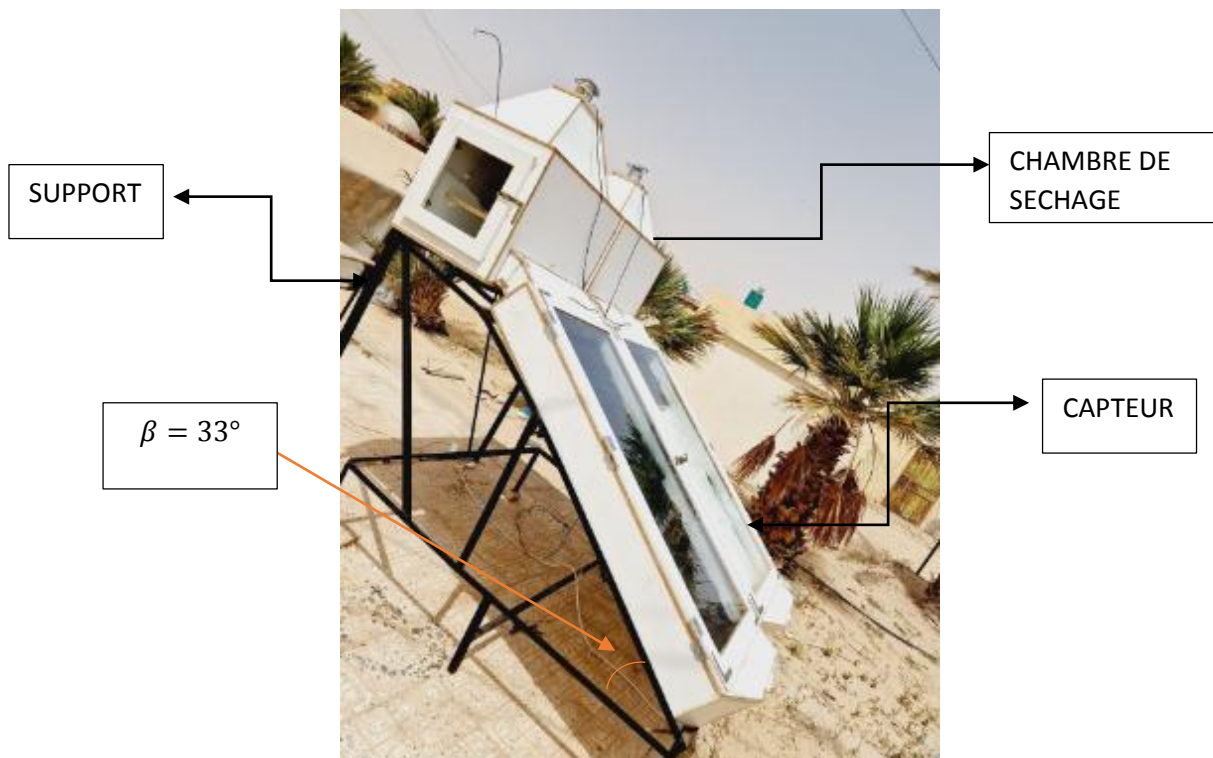


Figure (III- 31): séchoir solaire

V.2. Préparation de l'absorbeur

Mesurer la quantité de minéraux contenus dans l'absorbeur (sel + refroidisseur d'aluminium) afin qu'ils soient égaux entre les deux séchoirs solaires le premier sécheur est mélangé et la deuxième ligne est ligne par ligne et les joindre dans les tiroirs, puis les coller en noir et les mettre en place.



Figure (III- 32): l'installation de l'absorbeur étape 1



Figure (III- 33): l'installation de l'absorbeur étape 2

V.3. Déplacement de capteurs de température

Capteurs thermiques de l'essentiel du séchoir solaire afin qu'il nous aide à connaître la chaleur à différents points du séchoir solaire indirect afin que nous l'avons distribué d'une manière associée. Figure 36 montre ceci

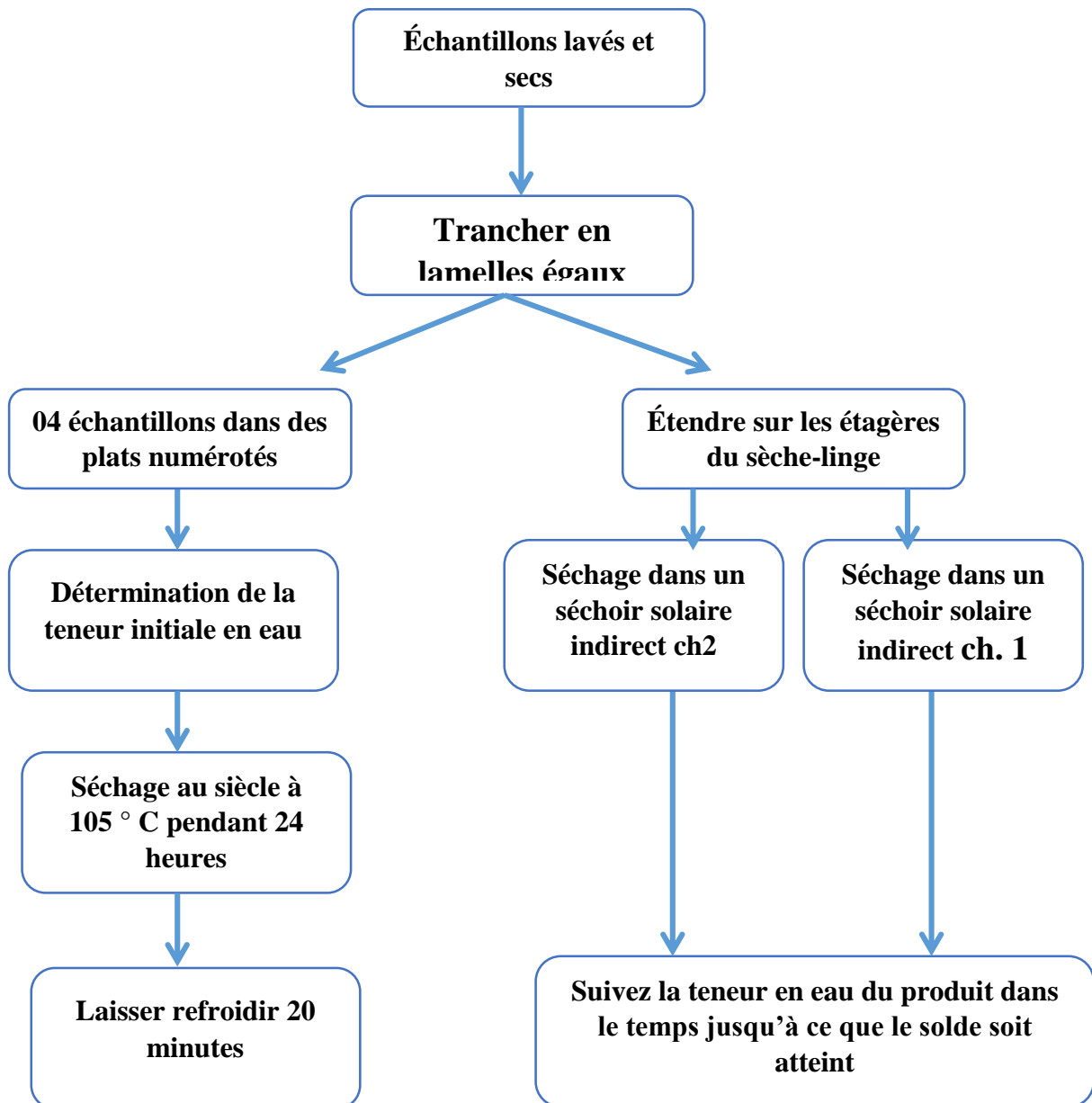


Figure (III- 34): Déplacement de capteurs de température

V.4. Préparation des échantillons

La préparation de l'échantillon passe par plusieurs étapes comme le montre le

FIGURE 1 1



Figure(III- 35): Protocole de séchage de la betterave

V.4.1. Les étapes de préparation des échantillons :

V.4.1.1. Connaissance des caractéristiques de l'échantillon (betterave)

Pour connaître les caractéristiques de l'échantillon nous avons fait plusieurs étapes :

- ✓ Nous avons pris l'échantillon (betterave) de la source directement à l'informateur pour en découvrir les propriétés



Figure(III- 36): la betterave rouge

✓ Nous l'avons emmené au laboratoire et l'avons découpé en petits échantillons
Les photos suivantes montrent quelques étapes :



Figure (III- 37): Hacher la plante en petits morceaux

- ✓ Nous avons pesé l'échantillon humide et l'avons enregistré dans un tableau (**Tableau (III.2)**) :



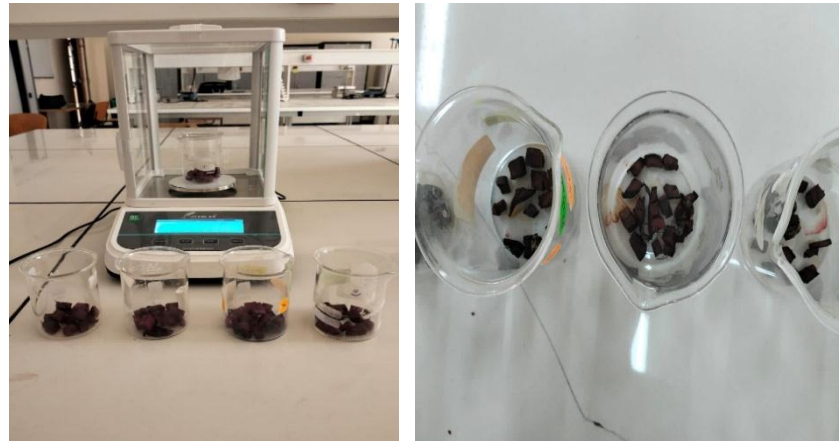
Figure (III- 38): pesé l'échantillon humide

- ✓ Nous avons placé l'échantillon à l'étuve à 105 C° pendant 24 heures



Figure (III- 39): l'étuve de la boratoire

- ✓ Nous avons prélevé l'échantillon séché, l'avons pesé et avons consigné les résultats dans le tableau.



Figure(III- 40): l'échantillon séché

Le poids	1	2	3	4
Le poids vide	54.681	52.193	52.209	52.610
Poids dans l'échantillon humide	63.151	60.049	61.260	62.533
Poids en échantillon sec	55.786	53.295	53.409	53.932
l'échantillon sec	1.105	1.102	1.2	1.322
l'échantillon humide	8.47	7.856	9.051	9.923

Tableau(III- 14): Les poids d'échantillon

V.4.1.2. Calculer le pourcentage d'eau dans l'échantillon

- ✓ Calculer la quantité d'eau sur une base sèche

$$X = \frac{m_h - m_s}{m_s}$$

Numéro de l'échantillon	1	2	3	4	la quantité d'eau finale
X	6.665158	6,128857	6.5425	6,506051	6,460642

Tableau(III- 15): la quantité d'eau sur une base sèche

La quantité d'eau sur une base sèche finale égale 6.460642

- ✓ Le pourcentage d'eau dans l'échantillon sur une base humide (%):

$$X_h = w = \frac{m_h - m_s}{m_h} \times 100$$

Numéro de l'échantillon	1	2	3	4	Pourcentage finale
W(%)	86,95396	85,97251	86,7418	86,67742	86,58642

Tableau(III- 16): la quantité d'eau sur une base sèche

Le pourcentage d'eau dans l'échantillon sur une base humide finale égale **86.5%**

V.4.2. Préparation des échantillons pour séchage (betteraves) :

Pour être prêt à sécher, nous l'avons préparé selon les étapes suivantes :

- ✓ Tout d'abord, nous coupons l'œil en bandes égales. Comme présente sur la photo (III.23)



Figure (III- 41): tranché la betterave

- ✓ Poids de l'échantillon à sécher en condition élémentaire



Figure (III- 42): Poids de l'échantillon

- ✓ Mettre les lanières de betterave dans le porte-échantillon



Figure (III- 43): le porte-échantillon avec la betterave

V.4.3. Positionnement de l'échantillon dans la chambre de séchage

- ✓ Nous prenons les deux échantillons et les plaçons à l'intérieur du séchoir solaire au-dessus de la balance à l'intérieur de chaque pièce afin de maintenir la température à l'intérieur de chaque pièce.



Figure(III- 44): Placer l'échantillon à l'intérieur du séchoir solaire

V.5. Entreprendre l'expérience

- ✓ Nous avons surveillé la chaleur pendant l'essai à travers l'ordinateur associé à des capteurs toutes les 30 minutes voire Figure 50

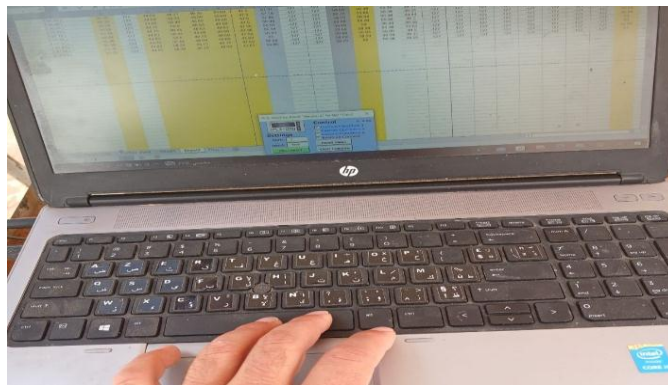


Figure (III- 45): Mesures de température

- ✓ Nous devons suivre l'échantillon pendant le séchage où nous avons pesé l'échantillon toutes les demi-heures pendant deux heures, puis toutes les heures pendant quatre heures et nous avons pris les poids de l'échantillon toutes les deux heures le deuxième jour. regardée **Figure 51**



Figure(III- 46): suivons l'échantillon

- ✓ Pour la température, l'humidité, la vitesse du vent et le rayonnement solaire, nous nous sommes appuyés sur l'échelle de l'Université Hamma Lakhdar

V.6. Résulta d'expérience

Après la fin de l'expérience, nous avons obtenu quelques résultats, illustrés par les images suivantes **Figure .49** représente les résultats de l'échantillon séché dans le premier séchoir solaire



Figure(III- 47): Échantillon de chambre n°1

Figure. (51) représente les résultats de l'échantillon séché dans le premier séchoir solaire



Figure(III- 48): Échantillon de chambre n°2

VI. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué comment nous avons installé le séchoir solaire et étudié la betterave en termes d'humidité et l'avons séchée étape par étape et dans le chapitre suivant, nous examinerons et analyserons les données de l'expérience

Chapitre IV

Résultats et discussion

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats de la série de données finales des résultats des éléments essentiels nécessaires au séchoir solaire, qui est les éléments clés sur lesquels nous nous sommes appuyés dans le développement de notre séchoir solaire et nous en discuterons. Nous analyserons également la courbe de séchage de l'échantillon de betteraves que nous avons étudiée dans cette note

II. Etude du comportement thermique du séchoir solaire indirect simple

II.1. Conditions climatiques

II.1.1. Radiations Solaire

Les tests ont été menés sur deux jours les 21 et 22 mai 2024 à l'Université de Hama Lakhdar. Le rayonnement solaire (soleil) et l'air ambiant sont des facteurs climatiques qui affectent sérieusement le processus de séchage, et jusqu'à ce que l'expérience devienne plus précise, ces facteurs doivent être observés, indiquant la forme III.1 la vallée se trouve au nord-est du désert algérien à une altitude de 80 mètres au niveau de la mer. La température moyenne en hiver est de 10 °C, tandis que la température moyenne en été est de 34 °C.

Nous notons une différence significative dans le rayonnement solaire dans les deux jours, c'est-à-dire qu'il y aura un impact sur les résultats de séchage par rapport aux deux jours

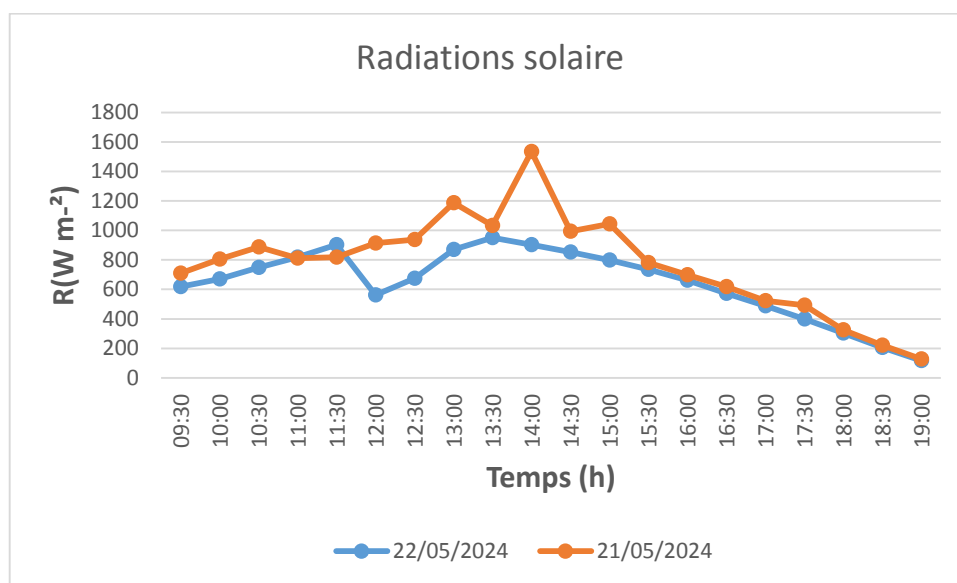


Figure (IV- 49): Evolution du rayonnement solaire durant deux journées

II.1.2. Température de l'ambient

La figure (IV 1), la figure (IV 2) montre la variation quotidienne du rayonnement solaire et la température de l'air ambient en fonction du temps. L'aspect de la température et du **rayonnement** solaire est identique, car plus le rayonnement solaire est élevé, plus la température de l'air est élevée. Notez que le rayonnement solaire atteint une valeur maximale de 1534 W/m² à midi (14 h 00). Le rayonnement solaire varie entre (128 - 1534 W/m²) le premier jour est entre (951 - 117 W/m) le deuxième jour, la valeur maximale de la température de l'air ambient est de 39 °C à 15 h 30 le premier jour est de 38 °C le deuxième jour, elle est comprise entre (28,2 °C - 39 °C) en général.

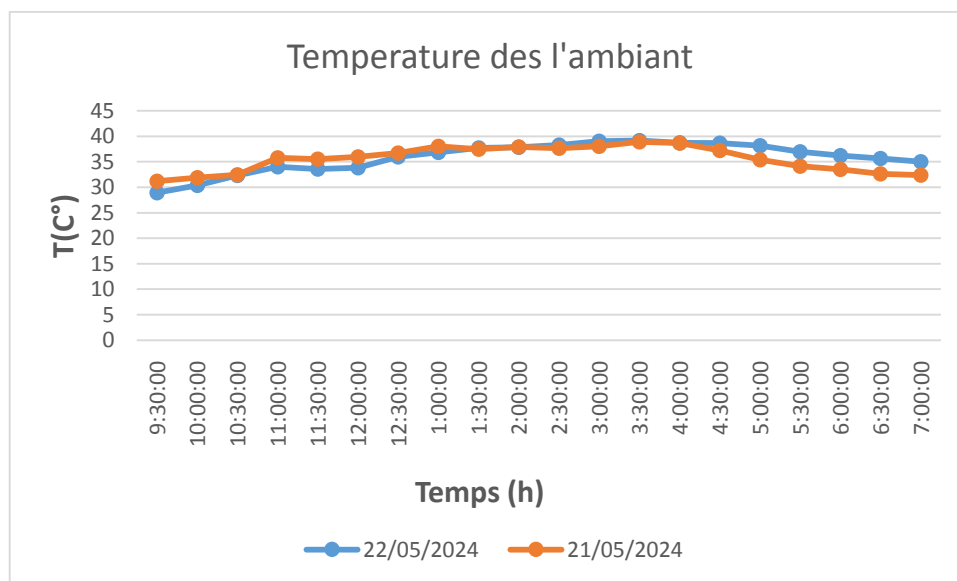


Figure (IV- 50): Evolution de la température ambiante durant deux journées

II.1.3. Vitesse de vent

La vitesse de l'air extérieur a un effet sur le processus de séchage en termes de contrôle et peut affecter ses valeurs de la roue à l'intérieur du séchoir solaire et donc l'efficacité du séchage peut changer.

22 mai 2024 :

Début de la journée (09:30 - 10 :00) : La vitesse du vent commence à environ 4,5 m/s, puis baisse légèrement à environ 3,8 m/s.

Milieu de la journée (11:00 - 14 :00) : La vitesse du vent se stabilise entre 3,0 et 3,5 m/s.

Après-midi (15:00 - 17 :00) : La vitesse du vent continue de diminuer progressivement pour atteindre environ 2,5 m/s.

Soirée (18:00 - 19 :00) : La vitesse du vent se stabilise autour de 2,5 m/s avec quelques

fluctuations mineures.

Analyse des données du 21 mai 2024 :

Début de la journée (09:30 - 10 :00) : La vitesse du vent commence plus basse qu'au jour précédent, à environ 3,0 m/s, puis augmente légèrement à environ 3,2 m/s.

Milieu de la journée (11:00 - 14 :00) : La vitesse du vent se stabilise entre 2,5 et 3,0 m/s.

Après-midi (15:00 - 17 :00): La vitesse du vent diminue progressivement pour atteindre environ 2,5 m/s.

Soirée (18:00 - 19 :00): La vitesse du vent se stabilise autour de 2,0 m/s.

Comparaison entre les deux jours :

Début de la journée : La vitesse du vent est nettement plus élevée le 22 mai par rapport au 21 mai.

Milieu de la journée : Les deux jours montrent une stabilisation de la vitesse du vent entre 2,5 et 3,5 m/s, mais le 22 mai reste légèrement plus élevé.

Après-midi et soirée : Le 22 mai, la vitesse du vent est généralement plus élevée comparée au 21 mai.

En conclusion :

22 mai 2024 : La journée commence avec des vents forts qui se stabilisent ensuite à des niveaux moyens à élevés avant de diminuer progressivement à des niveaux moyens en soirée.

21 mai 2024 : La journée commence avec des vents moins forts qui se stabilisent à des niveaux moyens avant de diminuer progressivement à des niveaux plus faibles en soirée.

En général, la vitesse du vent était plus élevée le 22 mai 2024 par rapport au 21 mai 2024 pendant la majeure partie de la journée.

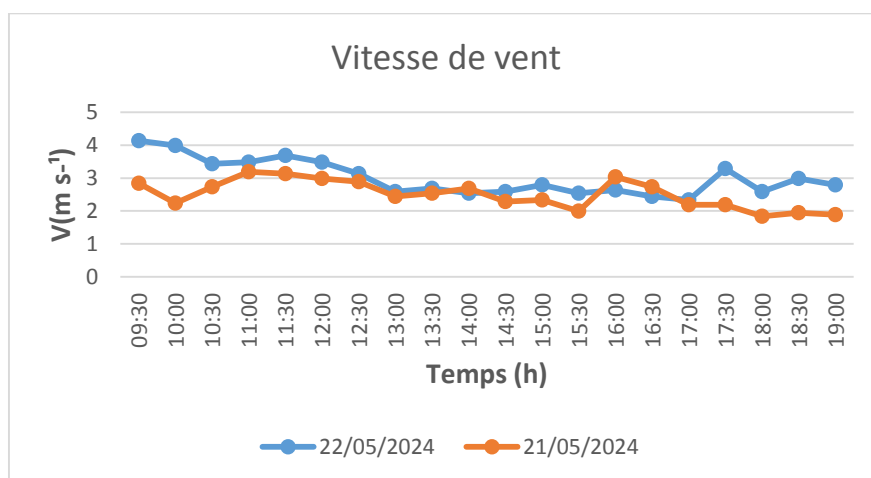


Figure (IV- 51): Evolution de la vitesse de l'air ambiant

II.1.4 Humidité

Tendance de l'humidité :

Le 22/05/2024 l'humidité relative commence à environ 60% à 9h30 et diminue progressivement tout au long de la journée pour atteindre environ 20% à 19h00.

Le 21/05/2024 l'humidité relative commence à environ 40% à 9h30 et diminue légèrement pour atteindre environ 15% à 19h00.

Fluctuations de l'humidité :

On observe des fluctuations marquées de l'humidité pendant l'après-midi (de 12h30 à 14h30) le 21/05/2024, comparé au 22/05/2024 où la tendance est plus stable.

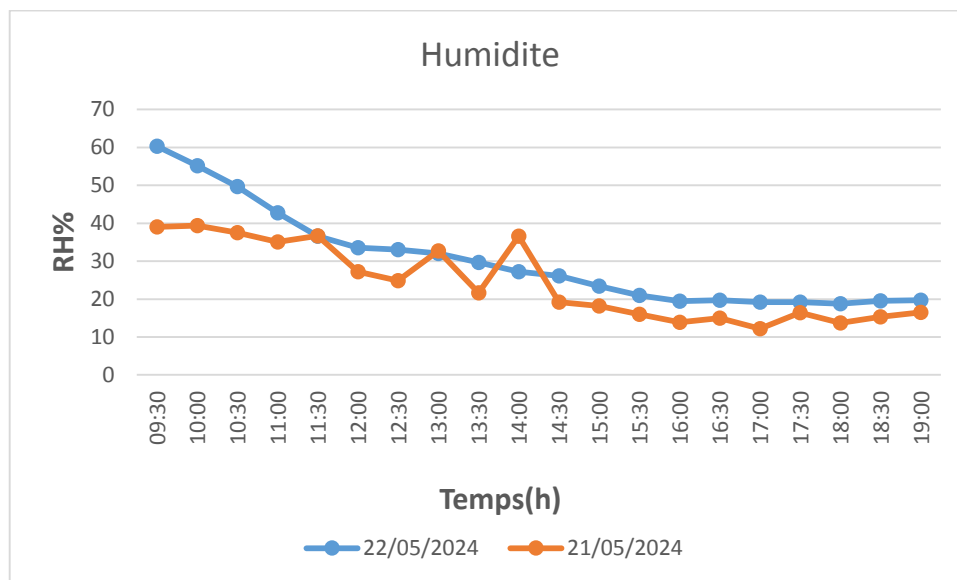


Figure (IV- 52): Evolution de humidité de l'ambient

III. Evolution de la température à travers la chambre de séchage

La Figure (IV.5 et 6) Evolution de la température d'entrée à travers la chambre de séchage

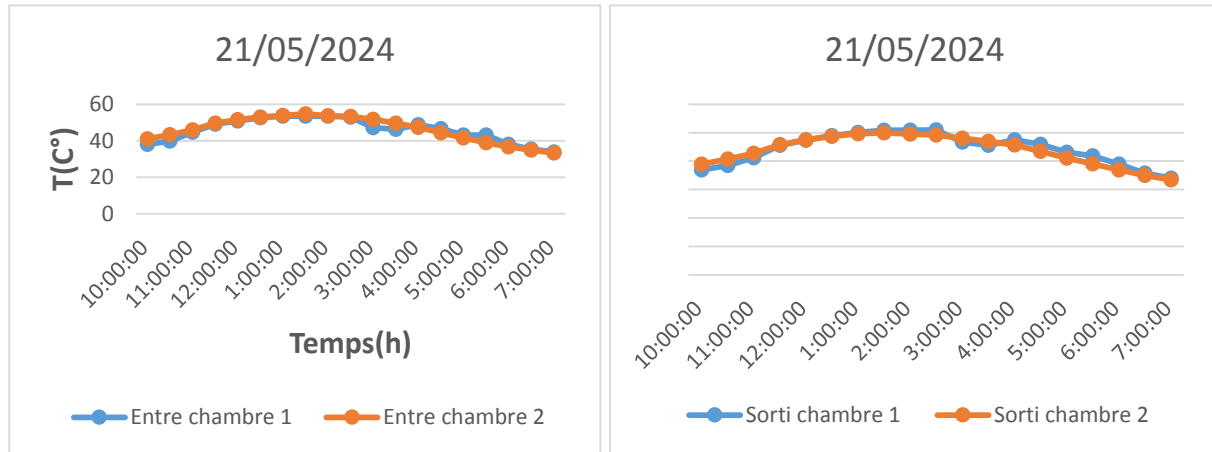
Présente l'évolution de la température en fonction du temps à différentes positions de la chambre de séchage

Premier jour :

Pour le collecteur mixte, la température maximale à la sortie de la chambre était de 52,88 °C à 13 h 30 et dans l'entrée est 53,44 C° Dans le cas du collecteur côte à côte, la température maximale à la sortie de la chambre était de 48,69 °C à 13 h 30. et dans l'entrée

est 54.69C°

À partir de ces résultats, nous notons que le séchoir avec une combinaison de température mixte est légèrement supérieur au deuxième séchoir.



Figure(IV- 53): Evolution de la température d’entrée à travers la chambre de séchage

Deuxième jour :

Pour le collecteur mixte, la température maximale à la sortie de la chambre était de 51,06 °C à 14 h.et dans l’entrée est 54.63 C°. Dans le cas du collecteur côte à côte, la température maximale à la sortie de la chambre était de 49,69 °C à 13 h 30.et dans l’entrée 52.44 C°

À partir de ces résultats, nous notons que le séchoir avec une combinaison de température mixte est légèrement supérieur au deuxième séchoir.

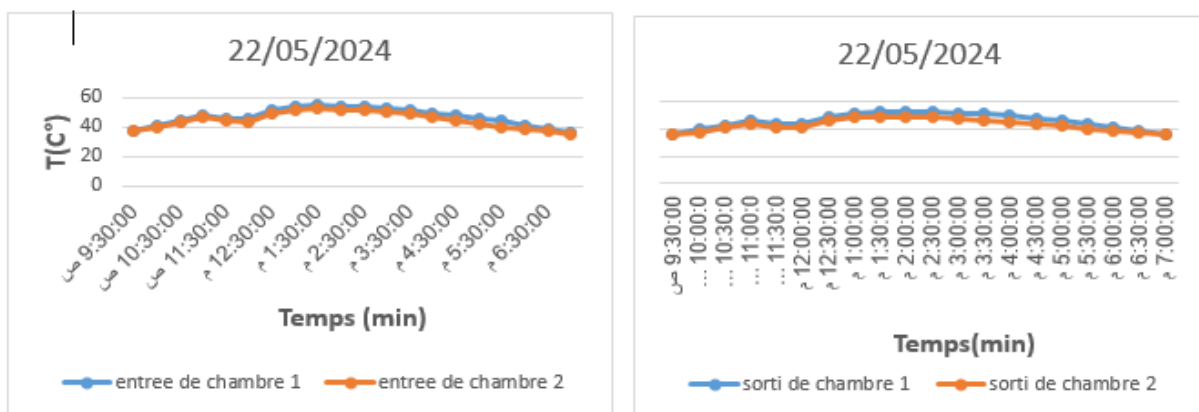


Figure (IV- 54): Evolution de la température d’entrée à travers la chambre de séchage

IV. Cinétique de séchage

Ce graphique montre la variation de la masse des échantillons séchés dans deux chambres différentes (chambre 1 et chambre 2) sur une période allant de 10h30 du matin à 18h00. Voici une analyse détaillée du graphique :

Début :

- Les deux chambres commencent avec une masse approximativement égale, autour de 200 grammes à 10h30.

Évolution au cours de la journée :

- La masse des échantillons diminue continuellement dans les deux chambres au fil du temps.
- À 11h00, il y a une diminution notable de la masse dans la chambre 1 par rapport à la chambre 2.

- La diminution progressive de la masse continue dans les deux chambres jusqu'à 13h00, avec la masse restant légèrement plus élevée dans la chambre 2 par rapport à la chambre 1 pendant cette période.

Période suivante :

- À partir de 13h00, les échantillons dans les deux chambres continuent de perdre de la masse de manière constante, mais la chambre 2 montre une diminution relativement moindre comparée à la chambre 1.

- De 15h30 à 16h00, les masses dans les deux chambres se rapprochent considérablement.

Fin :

À 18h00, la masse se stabilise dans les deux chambres à un niveau approximativement égal, inférieur à 50 grammes.

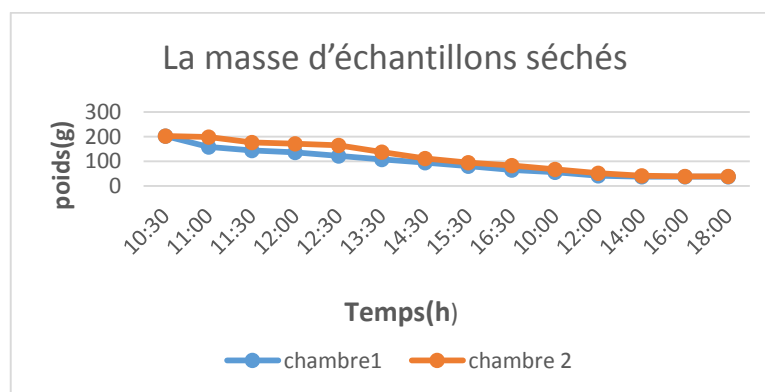


Figure (IV- 55): Evolution de la perte de masse

V. Conclusion

Après notre étude expérimentale du complexe solaire à air plat, incliné à un angle de 33 degrés, nous avons analysé les résultats des différences de température et des pertes de masse déshydratée au cours du processus de séchage dans chaque chambre. Nous avons également pris en compte les mesures du rayonnement solaire, de la température de l'océan, de la vitesse du vent et de l'humidité pendant la journée, ainsi que les températures d'entrée et de sortie de chaque chambre.

Les résultats montrent que le rayonnement solaire a atteint une valeur maximale de 1534,02 W/m² le premier jour et 950,71 W/m² le deuxième jour. La température maximale quotidienne était de 39°C le premier jour et de 38°C le deuxième jour. La vitesse du vent a atteint 3,18 m/s le premier jour et 4,13 m/s le deuxième jour. L'humidité relative a varié, atteignant une valeur maximale de 39,34% le premier jour et 60,33% le deuxième jour.

En ce qui concerne les températures d'entrée et de sortie des chambres :

Le premier jour, la température d'entrée de la chambre 1 était de 53,44°C et la sortie de 52,88°C. Pour la chambre 2, la température d'entrée était de 54,69°C et la sortie de 48,69°C.

Le deuxième jour, la température d'entrée de la chambre 1 était de 54,63°C et la sortie de 51,06°C. Pour la chambre 2, la température d'entrée était de 52,44°C et la sortie de 49,69°C.

La courbe de masse montre que la masse la plus basse atteinte était de 36g pour la première chambre et de 39g pour la deuxième chambre.

En conclusion, l'étude a révélé des variations significatives des conditions environnementales et des performances des chambres de séchage sur deux jours consécutifs. Ces données sont essentielles pour optimiser le processus de séchage solaire, en tenant compte des fluctuations météorologiques et des paramètres environnementaux pour améliorer l'efficacité et la qualité du séchage.



Conclusion général



Conclusion général

Dans cette étude, nous avons mené une analyse détaillée du séchoir solaire indirect et de son application dans le séchage de la betterave rouge. Nous avons examiné la quantité de rayonnement solaire reçue dans la région spécifique, démontrant ainsi comment cette connaissance contribue à améliorer les performances du séchoir solaire.

Nous avons réalisé d'un prototype de séchoir solaire compact de type indirect. Il est composé d'un capteur solaire plan couplé à une chambre de séchage. Contrairement aux séchoirs classiques, l'air de séchage entre du haut de la chambre de séchage

Après notre étude expérimentale du complexe solaire à air plat, qui tend à un angle de 33 degrés, nous avons enregistré les résultats des différences de température et de degré de perte de masse déshydratée au cours du processus de séchage à chaque chambre, et inclus la mesure du rayonnement solaire, de la température de l'océan, de la vitesse du vent et de l'humidité pendant la journée ainsi que la mesure de la température d'entrée et de sortie de chaque chambre d'après les résultats, on peut voir que le rayonnement solaire a une valeur maximale de 1534,02 W/m². Le deuxième jour, il a atteint 950,71 W/m² comme sa valeur maximale

La température maximale quotidienne était de 39 C° le premier jour. Pour le deuxième jour, il faisait 38 C° dans la mesure maximale

La Vitesse du vent pour le premier jour jusqu'à 3,18 m/s et le deuxième jour était 4,13.m/s

L'humidité le premier jour était de 39,34% comme valeur maximale, tandis que pour le deuxième jour, elle était de 60,33% dans le premier jour :

La température de l'entrée de la première pièce est de 53,44 et la sortie est de 52,88C° Pour la chambre 2, la température d'entrée est de 54,69C° et pour la sortie de 48,69C°

Jour 2 : La température de l'entrée de la chambre 1 est de 54.63 C° soit pour la sortie 51.06 C°

La température d'entrée de la Chambre 2 était de 52,44C°, tandis que pour la sortie, elle était de 49,69 C° maximums

-La courbe de masse à la valeur la plus basse de 36g pour la première pièce et pour la chambre 2 la masse finale a atteint 39g

Conclusion générale

Sur la base des résultats, nous concluons que le séchoir solaire indirect représente une solution efficace et durable pour les opérations de séchage, et peut jouer un rôle important dans la promotion de la durabilité environnementale et économique dans les régions aux conditions climatiques favorables.

En perspective de ce travail, on prévoit l'installation d'une unité de stockage thermique pour pallier au problème de l'intermittente de l'énergie solaire



Références bibliographiques



Références bibliographiques

- [1] mohamed mogharbi, daoud halassa. Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air. MEMOIRE de MASTER en Mécanique Energétique, Université de Ouargla, 2011, pp1.
- [2] Nadir Nadia. 2021. Approche théorique et expérimentale du séchage solaire des produits agroalimentaires. Thèse de Doctorat en Physique Énergétique, Université Kasdi Merbah-Ouargla, pp1.
- [3] Bouragbi Lakhdar. 2008. Etude et amélioration du rendement de la conversion photothermique du capteur solaire. Thèse de Magister en Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar –Annaba, pp.19.
- [4] kamelia, helali. Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative, mémoire de magister en électrotechnique, Université de Tizi-Ouzou, 2012.
- [5] Sellami mohamed hassen, étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérien (Ouargla), thèse de doctorat en sciences physiques option: physique énergétique, université d'Ouargla, 2014, pp 46, 47.
- G. Menguy, M.Schwartz ; le rayonnement solaire conversion thermique et Application. Paris. Vol. 55 (1980), pp 92-93.
- [6] Sellami mohamed hassen, Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérienne (Ouargla), thèse de doctorat, université d'Ouargla, 2014.
- [7] J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [8] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [9] Z, Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).
- [10] saadi souad, effet des parametres operationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, mémoire de Magistère en physique, universite mentouri deconstantine, 2010.
- [11] R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation. (1979).
- [12] J, A, Duffie; W, A, Beckman. Solar engineering of thermal processes, JohnWiley and Sons. (1980).
- [13] A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique etDocumentation, Paris. (1981).
- [14] Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique etDocumentation,

Références bibliographiques

Paris. (1982).

[15] (F.Miguet et B.Paule, 1981), (Commande d'un panneau solaire à l'aide d'un microcontrôleur ATMEGA), Mémoire de Master en Electricité, Université d'El-Oued, 2017/2018, pp 19,20

[16] Mr BAILEK Nadiem, Etude et modélisation du Flux Solaire globale sur surface inclinée dans la région de Touat. Thèse de doctorat 2017-2018.

[17] (A.Liébard, A.De Herde, 2005), SIG pour le suivi de la remontée des eaux de la wilaya d'El Oued Souf, Université Mentouri de Constantine. Conference Paper · November 2005.

[18] (F. Harouadi et Al, 2007), Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs, International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004), pp 229–243.

[19] Arafakaddouri, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes » Mémoire de Projet de fin d'étude » Ingénieur d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, 2015.

[20] Lauger. A et Roger. A, 1981, Les photopiles solaires techniques et documentation, Edition Français.

[21] Mr bailek nadiem, Etude et modélisation du flux solaire globale sur surface inclinée dans la région de touat, thèse de doctorat, sciences exactes université de sidi bel abbes, 2012.

[22] HADJOU SMIR Hachmi, CHOGUEUR Amine, (Etude technico-économique de l'irrigation par pompage solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers. Etude de cas), Mémoire de Master, Université Tlemcene, 19/06/2018, pp 6.

[23] M. Boubekri, A. Chaker et I. Zeghib, « Contribution numérique à l'étude du rayonnement solaire incident sur un capteur plan pour le site de Constantine », Laboratoire de Physique Energétique, Université Mentouri, Constantine.

[24] MERAD Faiza, Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem. mémoire de Magister en Physique, Université de Mostaganem, 2013.

[25] (A.Liébard, A.De Herde.2005).

- Djarallah.M, 2008, Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique, Thèse de Doctorat en Science, université de Batna.

[26] <https://www.fondation-lamap.org/fr/>

Références bibliographiques

- [27] Mr BAILEK Nadiem, Etude et modélisation du Flux Solaire globale sur surface inclinée dans la région de Touat. Thèse de doctorat 2017-2018.
- [28] Gisement solaire, <http://displace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6837/1/Analyse-des-pertes-thermiques.pdf> (03/2024).
- [29] Oudrane Abdellatif, Contribution à la Modélisation et au Développement de Système de Chauffage Solaire à Usage Individuel, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, Ecole National polytechnique d'Oran-Maurice Audin, 2018.
- Activation thermique de la dalle béton-systèmes de chauffage et rafraîchissement REHAU SA : Ambachtenlaan 22 – Ambachtszone Haasrode 3326 – 3001 Heverlee – www.rehau.be.03/2024.
- [30] Safa SKOURI, « Contribution à l'Étude des Concentrateurs Solaires », Mémoire Docteur En énergétique, Mai 2016, École Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Tunis, Laboratoire d'études des systèmes thermiques et énergétiques, Université de Monastir et Technopôle de Borj Cédria, Centre de recherches et de technologies de l'énergie, Laboratoire des procédés thermiques.
- [31] Boudjelka Ammar, Guessoumi Farid, (Commande d'un panneau solaire à l'aide d'un microcontrôleur ATMEGA), Mémoire de Master en Electricité, Université d'El-Oued, 2017/2018, pp 19,20.
- [32] M. Salmi, « Contribution à La Quantification De L'irradiation Solaire Globale En Algérie Et Applications Aux Générateurs Photovoltaïques », Thèse de doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas de Sétif (2012).
- [33] <http://www.enerzine.com/1/235+algerie-le-nouvel-eldorado-solaire-energie+.html> (consulté mois du 03/2024).
- [34] R. Sellami, M. Abbas, H. Bendjebbas, Installation et étude d'un chauffe-eau solaire couple a un cumulus pour alimenter la cuisine de l'udes en eau chaude, Rapport préliminaire. Centre de Developpement des Energies Renouvelables, Algérie (2007).
- [35] Mohamed lakhdar louazene, contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation dans les zones sahariennes – application zone de Ouargla, Thèse de doctorat en sciences, université de Batna, 2015.
- [36] Dr Mohamed-Khireddine Kholadi, SIG pour le suivi de la remontée des eaux de la wilaya

Références bibliographiques

- d'El Oued Souf, Université Mentouri de Constantine. Conference Paper · November 2005.
- [37] Noun Mohamed Sedik, Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire, Mémoire de Master en Génie mécanique énergétique, université-Annaba.
- [38] A.K. Singh and al; optimization of orientation for higher yield of solar still for a given location. *Energy Conversion and Management*. Vol.36 (1995), pp 175-187.
- [39] D, K, Edwards. *Capteurs solaires*, Edition SCM, paris. (1979).
- [40] J, Bernard. *Energie solaire calculs et optimisation*, Ellipse Edition Marketing.(2004).
- [41] R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz. *Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications*, Technique et Documentation. (1979).
- [42] http://www.ctmnc.fr/pages/images/doc/DIDEMRapport_de_vulgarisation-2.pdf (mars 2024).
- [43] S.El Mokretar et al. Etude du Bilan d'Energie et de Masse d'UN Séchoir de Type Serre-Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires *Rev. Engr. Renn*. Vol. 7 (2004).
- [44] Visa vale, Ganesh. (2012). Principles, Classification, and Selection of Solar Dryers. In *Solar drying: Fundamentals, Applications and Innovations*, Ching Lik Hii, Sachin Vinayak Jangam, Sze Pheng Ong and Arun Sadashiv Mujumdar, eds., Singapore, pp. 1-50.
- [45] Al-Busoul, Mamdoh (2017). Design of Fruits Solar Energy Dryer under Climatic Condition in Jordan. *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 5, No. 2 (February), pp. 123-137.
- [46] Prakash, Om, and Kumar, Anil. (2013) Historical Review and Recent Trends in Solar Drying Systems, *International Journal of Green Energy*, vol. 10, No.7, pp. 690-738.
- [47] BOUSSALIA, Amar. Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Mémoire de Magister en Génie climatique, université MANTOURI-CONSTANTINE, soutenu le 27/06/2010.
- [48] PANGAVHANE, Dilip R.; SAWHNEY, R. L.; SARSAVADIA, P. N. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 2002, vol. 27, no 6, p. 579-590.

Références bibliographiques

- [49] MESAI AHMED, A.; TEMACINI, Bachir. Etude expérimentale du séchage solaire des produits agroalimentaires de la région d'el-oued. Mémoire de Master Académique, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2017-2018.
- [50] BENNAMOUN, Lyes; BELHAMRI, Azeddine. Design and simulation of a solar dryer for agriculture products. Journal of food engineering, 2003, vol. 59, n° 2-3, p. 259-266.
- [51] SEMMAR, D., BETROUNI, S., et LAFRI, D. Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air?. Revue des énergies renouvelables (CDER). Issn, 1998, p. 1112-2242.
- [52] Khadija Kabidi, Expérimentation et modélisation du comportement énergétique et thermique d'un séchoir solaire sous le climat de la région de Rabat, Thèse de doctora, Université Mohammed V – Agdal(2014).