



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine: Sciences et Technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Energies renouvelables en électrotechnique

Thème

Modélisation, contrôle et régulation du climat interne d'une serre agricole

Présenté par :

REBHI Maroua

ZAHOUANI Abderrahmane

Soutenue publiquement le : 18/06/2023

Devant le jury composé de :

Mohammed ARIF

MAA

Univ. Ghardaïa

Président

Kamel BOUARAOUR

MCA

Univ. Ghardaïa

Examineur

Djemoui LALMI

MCA

Univ. Ghardaïa

Encadrant

Abdelouahab BENSEDDIK

MCA

Univ. Ghardaïa

Co-encadrant

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions ALLAH,

Le tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Ce manuscrit est le fruit d'un an de travail, nous tenons ces quelques lignes à Exprimer notre reconnaissance envers tous ceux qui de près ou de loin y ont Contribué.

Le travail présenté dans ce mémoire de fin d'étude, sous la direction du

Dr. LALMI Djemoui
Dr Abdelouahab BENSEDDIK

Notre plus grande gratitude va à notre encadreur, pour sa disponibilité et la Confiance qu'il nous a accordé. On a profité pendant longtemps du savoir et du savoir-faire dont on a pu bénéficier au cours de nombreuses discussions.

*Notre reconnaissance va au président de jury
Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.*

L'expression de notre profond respect à notre chef de département, et à nos chers enseignants

A toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ce cursus universitaire.

Dédicaces

*Je tiens tout d'abord à remercier Allah qui m'a aidé à faire ce mémoire,
que je dédie :*

*A mes chers parents, dont le mérite, les sacrifices, les qualités humaines
m'ont permis de vivre ce jour. J'ai enfin gradué et finalisé ce long
cursus universitaire grâce à leurs encouragements et leurs prières
quotidiennes dont ils me donnaient de l'espoir, que dieu leur procure la
santé et la longue vie.*

*À mes chères sœurs Sarra, Asma, Chourouk et Israa
Pour votre inoubliables soutient, amour, aide et bien sûr votre patience
lors de mes examens, que dieu vous protège et qu'il vous réalise vos
rêves.*

*A tous mes collègues pour les moments inoubliables qu'on avait passé
ensemble pendant tout notre cursus étudiantin*

A vous chers lecteurs.

Maroua

RESUMER

La serre agricole présente une procédure compliquée puisque les fortes perturbations et les importants nombres de ses paramètres d'entrée, qui ont un grand potentiel et une grande capacité à influencer le climat à l'intérieur. Pour cette raison, l'objectif de ce travail est promouvoir un microclimat approprié en activant un actionneur (système de refroidissement avec pad) installés à l'intérieur de la serre avec le taux approprié. La modélisation de la serre étudiée présentée et simulée sous environnement pour être expérimentalement validé au sein de l'unité de Recherche appliquée en énergie renouvelable à Ghardaia. Les résultats obtenus illustrent une forte rentabilité du système de refroidissement proposé basé sur la température de l'air interne et humidité relative. De plus, la confrontation numérique présente une efficacité du modèle utilisé avec un faible pourcentage d'erreur pour obtenir un microclimat optimisé à l'intérieur de la serre agricole.

Mots Cles : Serre agricole, expérimentation, climat, système de refroidissement et modalisation

ABSTRACT

An agricultural greenhouse presents a complicated procedure since the strong disturbances and the important number of its input parameters, which have a great potential and a great capacity to influence the inside climate. For this reason, the objective of this work is to promote an appropriate microclimate by activating an actuator (cooling system with pad) installed inside the greenhouse with the appropriate rate. Modeling of the studied greenhouse presented and simulated under environment to be experimentally validated within the unit of applied research in renewable energy in Ghardaia. The obtained results illustrate a strong profitability of the proposed cooling system based on the internal air temperature and relative humidity. In addition, the numerical confrontation presents an efficiency of the model used with a low percentage of error to obtain an optimized microclimate inside the agricultural greenhouse.

Key Words: Agricultural greenhouse, experimentation, climate, cooling system and modalisation

المخلص

تمثل الدفيئة (البيت البلاستيكي الزراعي) الزراعية إجراءً معقدًا منذ الاضطرابات القوية والعدد المهم من معلمات المدخلات الخاصة بها، والتي لها إمكانيات وقدرة كبيرة على التأثير على المناخ الداخلي. لهذا السبب، فإن الهدف من هذا العمل هو تعزيز مناخ محلي مناسب من خلال تنشيط مشغل (نظام تبريد مع وسادة) مثبت داخل الدفيئة بالمعدل المناسب. نمذجة البيوت المحمية المدروسة المعروضة والمحاكاة في البيئة ليتم التحقق من صحتها تجريبياً ضمن وحدة البحث التطبيقي في الطاقة المتجددة بغرداية. توضح النتائج التي تم الحصول عليها ربحية قوية لنظام التبريد المقترح بناءً على درجة حرارة الهواء الداخلي والرطوبة النسبية. بالإضافة إلى ذلك، تقدم المحاكات العددية كفاءة للنموذج المستخدم مع نسبة خطأ منخفضة للحصول على مناخ محلي محسن داخل الدفيئة الزراعية.

الكلمات الرئيسية: الدفيئة الزراعية، التجريب، المناخ، نظام التبريد والتهوية

TABLES DES MATIÈRES

RESUMER	i
ABSTRACT	i
المخلص	i
TABLES DES MATIÈRES	ii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
INTRODUCTION GENERALE	1
Références Bibliographiques	4
Chapitre 1 : Généralités sur les serres	5
1.1. Introduction	5
1.2. Historique, définition et objectif de la plasticulture.....	5
1.3. Intérêt de la serre	6
1.4. Types de serres agricoles.....	6
1.4.1. Serre tunnel	6
1.4.1.1. Caractéristique des serres tunnel	7
1.4.2. Serre canarienne	7
1.4.2.1. Caractéristique des serres canariennes	7
1.4.3. Serres multi-chapelle	8
1.4.3.1. Caractéristique des serres multi-chapelle	9
1.4.4. Serre jardine	9
1.4.4.1 Caractéristique des serres serre jardine	9
1.5. Contrôle de l'exploitation de la serre	10
1.5.1. Paramètres de contrôle	10
1.5.1.1. La température.....	10
1.5.1.2. L'humidité	10
1.5.1.3. Concentration de dioxyde de carbone	11
1.5.1.4. Radiation solaire.....	11
1.5.2. Méthodes de contrôle du climat des serres.....	11
1.6. Systèmes de refroidissement dans les serres	12
1.6.1. Système de refroidissement par évaporation.....	12
1.6.1.1. Système de refroidissement par évaporation directe	13

1.6.1.2.Système de refroidissement par évaporation indirecte	14
1.6.1.3 Système de refroidissement par évaporation indirecte directe	15
1.6.1.4.Systèmes d'évaporation de toit	16
1.6.2..Systèmes de ventilation.....	17
1.6.2.1.Ventilation naturelle	17
1.6.2.2.Ventilation forcée	18
1.6.3.Système de brouillard.....	19
1.6.4.Systèmes déshydratants.....	19
1.6.5.Systèmes de refroidissement par pompe à chaleur.....	20
1.7.Ombrage de serre	21
1.8.Avantages et inconvénients	22
1.8.1.Avantages.....	22
1.8.2.Inconvénients	22
Conclusion.....	22
Références Bibliographiques.....	23
Chapitre 2 : Revue de la littérature	25
Introduction	25
Références Bibliographiques.....	46
Chapitre 3 : Partie expérimentale.....	49
3.1.Introduction	49
3.2. Potentiel de la région	49
3.3. Aperçu sur l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER)	52
3.4.Descriptions de la Serre.....	53
3.4.1.Emplacement de la serre	54
3.4.4.1.Les cotés.....	54
3.4.4.2.La porte des serres	55
3.4.4.3.Emplacement du capteur.....	56
3.4.1.Le principe de fonctionnement	57
3.4.1.1.Pad système	57
3.4.1.2.Humidification de tampon.....	60
3.4.1.3.1.La modélisation et la collecte des données	60
3.4.1.4. L'efficacité du tampon	60
3.5. Le générateur photovoltaïque	61
3.6.Système de commandes.....	62
3.7.Appareils de mesure Instruments	63

3.8.Acquisition et traitement des données	65
3.8.1.Rayonnement solaire.....	66
3.8.2.Modélisation du comportement thermique des prototype de serre tunnel par la méthode de réseaux de neurones.....	67
3.9.Conclusion.....	69
Références bibliographique	70
Chapitre 4 : Resultats et discussions	71
4.1. Introduction	71
4.2. Périodes de test.....	71
4.3. Analyse des performances.....	72
CONCLUSION GENERALE	83

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - 1 : Serre tunnel [3]	7
Figure 1 - 2 : Serre multi-chapelle [5]	8
Figure 1 - 3: Système de refroidissement par évaporation directe [8].....	14
Figure 1 - 4: Système de refroidissement par évaporation indirecte [9].....	15
Figure 1 - 5: Système de refroidissement par évaporation indirecte [11].....	16
Figure 1 - 6: Systèmes d'évaporation de toit [12].....	17
Figure 1 - 7: Ventilation naturelle [13].....	18
Figure 1 - 8 :Ventilation forcée [14].....	18
Figure 1 - 9: Système de brouillard [15]	19
Figure 1 - 10: Système de refroidissement déshydratant à assistance solaire [16].....	20
Figure 1 - 11: Systèmes de refroidissement par pompe à chaleur [18]	21
Figure 2 - 1: Croquis de la serre en plastique avec système de coussin de refroidissement [9].....	29
Figure 2 - 2: Croquis de la serre en plastique avec différents systèmes de coussinets [10].....	30
Figure 2 - 3: Disposition générale de la serre [11].	31
Figure 2 - 4 : Dimensions des tampons cellulosesiques [12].....	31
Figure 2 - 5 : (a) Photographie de fibres de noix de coco et (b) Photographie de fibres de palais[13].	32
Figure 2 - 6: Serre fonctionnant sous la combinaison d'un flux d'eau sur le toit et d'un système de ventilation en utilisant se'd comme matériau de refroidissement par évaporation (A) [15].	34
Figure 2 - 7 : Charbon de bois en vrac [16].....	34
Figure 2 - 8 : Tampon de refroidissement par évaporation. L'eau s'écoule le long du tuyau de distribution et s'écoule dans le matériau du tampon. Le puisard doit être suffisamment grand pour contenir tout le ruissellement lorsque la pompe est arrêtée [17]	35
Figure 2 - 9: Schéma de la serre expérimentale utilisé [18]	36
Figure 2 - 10: Configuration de la culture, du système d'irrigation goutte à goutte, du système de refroidissement Fan-Pad et des filets d'ombrage dans la serre expérimentale [18].....	37
Figure 2 - 11: Fibres d'eucalyptus [22].....	39
Figure 2 - 12: Système de refroidissement par évaporation à ventilateur [23].....	40
Figure 2 - 13: Matériaux du coussin de refroidissement (a) Coussin en mousse de charbon actif et (b) Coussin en luffa [24].	41
Figure 2 - 14: Le montage expérimental [25].....	42
Figure 2 - 15: Volume de contrôle du coussin de refroidissement [26].	43
Figure 2 – 16 : (a) Palmier dattier, (b) Fibres de palmier dattier (maille) entourant le tronc ; (c) Coussinet en fibres de palmier dattier [27].....	44
Figure 2 - 17 : La garniture de cellulose et la configuration du tuyau de distribution d'eau[28].	44
Figure 3 - 1: L'emplacement de Ghardaïa.....	50
Figure 3 - 2: Variation de l'irradiation solaire globale mensuelle pour 2016 en Algérie [4-5]	51
Figure 3 - 3: Evolution Température pour les quatre saisons [4]	51
Figure 3 - 4: Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER) Ghardaïa.....	52
Figure 3 - 5: Dimensions identiques des serres.	53
Figure 3 - 6: (a)la serres témoin, (b) la serre expérimentale.....	54
Figure 3 - 7: (a) Ventilation Latérale, (b) mailles fines a).....	55
Figure 3 - 8: Les portes de serre témoins.	55
Figure 3 - 9: Les portes de serre expérimentale.....	56
Figure 3 - 10: Emplacement du capteur dans les serres.	57
Figure 3 - 11: Principe de système de refroidissement.....	58
Figure 3 - 12: Etapes de réalisation de système pad.....	58
Figure 3 - 13 : Positionnement des thermocouples dans le prototype de la serre développée.....	61
Figure 3 - 14: carte Arduino.	62

Figure 3 - 15: Schéma synoptique du système.	63
Figure 3 - 16: System d'acquisition de données	66
Figure 3 - 17: Photographie des Appareillages de mesures de rayonnement.....	66
Figure 4 - 1: Variation des températures (Tg) dans les deux serres pendant les jours du 17 au 22 mai 2023, avec l'utilisation de pailles	72
Figure 4 - 2: Evolution de la température ambiante, humidité et rayonnement dans les jours d'expérience cas de paille.	73
Figure 4 - 3: Variation des températures (Tg) dans les deux serres pendant les jours du 25 au 26 mai 2023, avec l'utilisation de la laine	74
Figure 4 - 4: Les conditions climatiques dans le jour de teste de laine	75
Figure 4 - 5: Variation des températures (Tg) dans les deux serres pendant le jour de 30 mai 2023, avec l'utilisation des fibres de palmier dattier	76
Figure 4 - 6: les résultats deb rayonnement d'humidité et de température dans la journée de test	77
Figure 4 - 7: Evolution de la température mesure (Tpad), prédite et l'erreur de prédiction.....	78
Figure 4 - 8: Evolution de la régression pour le cas apprentissage test, validation et globale du modelé ANN	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3 - 1: Caractéristiques des matériaux.....	59
Tableau 3 - 2: Les caractéristique de panneau solaire utilisé	61
Tableau 3 - 3: Les composants utilisés.....	63
Tableau 4 - 1: Paramètres statiques	80

I. INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

En raison de la rareté de l'eau douce, de la faible humidité relative, de l'évapotranspiration potentielle élevée et des températures élevées, les environnements arides nécessitent une agriculture protégée pour soutenir la production agricole (Al-Jamal, 1994 ; Al-Ismaïli et Jayasuriya, 2016). L'efficacité accrue de l'utilisation de l'eau est essentielle dans l'agriculture protégée par un climat aride (Mahmoudi et al., 2010). Avec la croissance démographique, les problèmes de sécurité alimentaire et la prise de conscience croissante de la diminution de la disponibilité de l'eau douce, l'agriculture protégée est une tendance croissante dans les régions arides. Les régions arides et semi-arides représentent environ 30 % de la superficie totale mondiale et sont habitées par environ 20 % de la population mondiale totale (Sivakumar et al., 2005 ; Peel et al., 2007). Les régions arides et semi-arides du monde abritent environ 24 % de la population totale en Afrique, 17 % dans les Amériques et les Caraïbes, 23 % en Asie, 6 % en Australie et en Océanie et 11 % en Europe (Sivakumar et al., 2005). Un climat aride a généralement de très faibles précipitations annuelles et une grande évapotranspiration potentielle annuelle. Un climat steppique aride (BS) reçoit des précipitations annuelles inférieures à l'évapotranspiration potentielle annuelle, mais pas extrêmement, alors qu'un climat désertique aride (BW) reçoit très peu de précipitations annuelles, parfois aucune, et connaît une évapotranspiration élevée (Kotttek et al., 2006). La réduction du stress thermique et le contrôle de l'évapotranspiration sont nécessaires dans les climats arides et semi-arides. Dans des conditions désertiques où les températures sont élevées et l'humidité relative très faible, l'augmentation de l'humidité relative à l'intérieur de la serre entraîne une réduction souhaitable de l'évapotranspiration des cultures de près de 60 % à 80 % (Al-Ismaïli et Jayasuriya, 2016). Dans de nombreuses régions du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, les températures diurnes moyennes en été à l'intérieur des serres peuvent atteindre 46°C, avec une température extérieure moyenne supérieure à 38°C, avec très peu ou pas d'approvisionnement en eau douce (Mattara et al., 2015). Dans Al-Jamal (1994), la température maximale dans une serre sans ventilation dans le sud-est de la Jordanie a été mesurée à 75°C alors que la température ambiante extérieure était d'environ 37°C. En raison de l'échange de rayonnement infrarouge avec les interactions avec la couverture de la serre, la température intérieure était en fait inférieure à la température de l'air ambiant extérieur pendant les premières heures du matin.

Dans une étude réalisée par Al-Helal (2007) à Al-Muzahmyah, en Arabie saoudite, la température extérieure et l'humidité relative moyennes variaient de 31,7 °C à 38,7 °C et de 11,2 % à 16,7 %, respectivement, de la nuit au jour. Une observation intéressante de cette étude est que la température intérieure moyenne, avec les cultures, a chuté à 23,3 °C pendant la nuit.

De nombreuses solutions sont disponibles pour les serriculteurs dans les climats chauds et arides afin de contrôler l'environnement de la serre. Cependant, la plupart de ces solutions impliquent l'utilisation de mesures actives qui nécessitent une grande consommation d'énergie pour réduire la température de l'air et l'évapotranspiration. Dans cette optique, les travaux actuels visent à combiner des solutions passives avec des solutions actives pour rendre le refroidissement des serres plus efficace dans les climats arides.

Des recherches récentes sur l'agriculture protégée dans les régions semi-arides ont suggéré que le refroidissement par évaporation passive par brumisation couplée à l'ombrage est la méthode la plus efficace pour créer un environnement végétal amélioré (Meca et al., 2013). D'autres études ont également exploré des techniques alternatives de refroidissement par évaporation adaptées aux serres en climat aride, réduisant la dépendance à la ventilation forcée des systèmes classiques de ventilateurs et de pad (McCartney et al., 2018). Cependant, aucune de ces études n'a encore examiné les techniques de refroidissement à faible coût utilisant des matériaux disponibles localement. Dans le cadre de ce mémoire, une étude expérimentale a été menée sur deux serres tunnels, qui ont été équipées de capteurs permettant d'analyser leur comportement thermique en présence et en l'absence de systèmes de refroidissement. La première serre, sans système de refroidissement, sert de serre témoin, tandis que la deuxième serre a été modifiée pour évaluer l'effet des systèmes de refroidissement et toute autre modification apportée. Le dispositif expérimental a été installé à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa, située à une latitude de 32,37° Nord et une longitude de 3,77° Ouest. La collecte des données expérimentales a été assurée par un système d'acquisition pendant une période d'environ un mois. Ces données ont ensuite été combinées avec les données météorologiques spécifiques au site d'étude (URAER) afin de prédire la température interne de la serre à l'aide de réseaux de neurones artificiels (ANN).

L'objectif de ce mémoire est donc d'évaluer l'efficacité de système de refroidissement évaporatif dans les serres tunnels en climat aride, en se concentrant sur des solutions à faible coût utilisant des matériaux localement disponibles. Les résultats obtenus contribueront à la

compréhension des stratégies de refroidissement les plus efficaces dans de telles conditions et pourront être utiles pour les serriculteurs de la région de Ghardaïa et d'autres régions similaires.

Ce mémoire de Master est structuré de la manière suivante :

Chapitre 1 : Introduction

- Historique et différents types de serres
- Paramètres à contrôler et méthodes pour obtenir les meilleurs résultats

Chapitre 2 : Revue de littérature

- Revue des travaux précédents sur le développement et l'optimisation des serres
- Aperçu des avancées réalisées dans ce domaine

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

- Description détaillée du prototype de serre spécifiquement conçu pour cette étude
- Méthodes utilisées pour la mise en place et l'installation du système de refroidissement par évaporation
- Description des matériaux naturels utilisés dans la construction de la serre

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

- Présentation des résultats obtenus à partir des mesures de température et d'humidité
- Comparaison entre les systèmes de refroidissement par évaporation
- Résumé des principales conclusions de l'étude
- Perspectives futures et recommandations pour des améliorations potentielles

En somme, ce mémoire de Master vise à évaluer l'efficacité du système de refroidissement par évaporation dans les serres tunnels en utilisant des matériaux naturels à faible coût. Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre les avantages de ce système par rapport au système traditionnel et ouvriront la voie à de nouvelles perspectives dans le domaine de l'optimisation des serres en climat aride.

Références Bibliographiques

- Al-Ismaili, A. M., & Jayasuriya, H. (2016). Seawater greenhouse in Oman: A sustainable technique for freshwater conservation and production. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 54, 653-664. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.016>
- Al-Jamal, K. (1994). Greenhouse cooling in hot countries. *Energy*, 19(11), 1187-1192. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90075-2)
- Al-Ismaili, A. M., & Jayasuriya, H. (2016). Seawater greenhouse in Oman: A sustainable technique for freshwater conservation and production. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 54, 653-664. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.016>
- Sivakumar, M. V., Das, H. P., & Brunini, O. (2005). Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. *Climatic Change*, 70(1-2), 31-72. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5937-9>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Mahdavi, S., Kafi, M., Naderi, R., & Sadat, T. (2012). Vertical mobile planting system consistent with the pattern of solar radiation and effects of system on light exposure and growth of *Gerbera* cut flowers (*Gerbera jamesonii* cv. Antibes), in greenhouse culture. *J. Agric. Technol.*, 8, 1461-1468.
- Al-Helal, I. M. (2007). Effects of ventilation rate on the environment of a fan-pad evaporatively cooled, shaded greenhouse in extreme arid climates. *Appl. Eng. Agric.*, 23(2), 221-230. <https://doi.org/10.13031/2013.22605>
- Meca, D., Lopez, J. C., Gázquez, J. C., Baeza, E., Parra, J. P., & Zaragoza, G. (2013). A comparison of three different cooling systems in parral type greenhouses in Almeria. *Spanish J. Agric. Res.*, 5(3), 285-292. <https://doi.org/10.5424/sjar/2007053-5341>
- McCartney, L., & Lefsrud, M. (2018). Protected agriculture in extreme environments: a review of controlled environment agriculture in tropical, arid, polar, and urban locations. *Applied engineering in agriculture*, 34(2), 455-473. doi: 10.13031/aea.12590

Chapitre 1

GENERALITÉS SUR LES SERRES

Chapitre 1 : Généralités sur les serres

1.1.Introduction

Une serre est un dispositif créé pour modifier à moindre coût l'action des facteurs naturels et l'adapter au mieux aux besoins des plantes.

Par son existence, la serre crée, à partir du milieu naturel, un milieu semi-artificiel qui permet la culture de plantes qui, sans elle, ne pousseraient ni ne porteraient de fruits, ou pourraient pousser avec de maigres rendements dans des conditions climatiques normales. Les serres classiques comprennent un bâti en dur, supportant une ossature en bois ou en métal, garnie de vitrages avec vasistas, en cas d'usage hivernal, un chauffage est ajouté, un éclairage artificiel peut être prévu en appoint plus d'autres équipements selon le besoin [1].

Les serres de production sont des abris destinés à la production des légumes ou des fruits, et. Elles sont utilisées pour soustraire ces cultures aux contraintes climatiques extérieures afin de gérer au mieux les besoins des plantes, accélérer leur croissance et étendre les périodes production pendant toute l'année. La réussite des plantes cultivées sous serres dépend en général de la couverture (en verre ou plastique), la source de chaleur, l'humidité et la lumière. Donc la différence essentielle entre la culture en plein air (espace ouvert) et la culture sous abri (sous serre) repose donc sur une maîtrise totale de l'environnement de la serre.

1.2. Historique, définition et objectif de la plasticulture

La plasticulture est une pratique agricole qui utilise des matériaux plastiques pour diverses applications, telles que la construction d'abris, la fabrication de serres, de filets d'ombrage, de systèmes de drainage, de paillis, d'emballage et de protection des récoltes. Son objectif principal est d'améliorer les conditions de production agricole en modifiant l'environnement pour augmenter les rendements et la qualité des produits.

Au niveau mondial, la plasticulture a connu une expansion significative. Le Japon est le principal utilisateur d'abris plastiques, suivi par l'Italie et l'Espagne. Les serres plastiques et les petits tunnels sont de plus en plus utilisés, avec une croissance constatée dans de nombreux

Pays. En termes de superficie totale, les chiffres indiquent une présence importante de serres plastiques dans des pays comme le Japon, la Chine, l'Espagne, l'Italie, la Corée, la Turquie, le Maroc, la Colombie, le Portugal, la Pologne, la Jordanie, l'Arabie Saoudite, la Tunisie et l'Égypte.

En Algérie, l'introduction des abris en plastique remonte aux années 1969/1970, grâce à un projet de la FAO. L'utilisation de la plasticulture s'est développée progressivement, notamment dans la wilaya de Ghardaïa, où l'extension de la culture sous serre et la superficie consacrée aux arbres fruitiers sont des priorités pour le développement agricole.

En Ghardaïa le plan d'action établi dans la wilaya de Ghardaïa met en avant le développement du maraîchage sous serre et l'augmentation de la superficie dédiée à la culture des arbres fruitiers comme principaux objectifs pour promouvoir le secteur agricole.

1.3. Intérêt de la serre

La serre offre la possibilité de s'affranchir des restrictions climatiques externes. Il est conçu pour créer un environnement spécifique. Il permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'arrosage et de la fertilisation, l'enrichissement en dioxyde de carbone et le contrôle de l'humidité. La serre permet d'obtenir une production végétale dans de meilleures conditions que celles qui existent naturellement, et ce grâce à une meilleure qualité des produits. Pour atteindre ces résultats, il est nécessaire de répondre précisément aux exigences de la culture aux différents facteurs qui interfèrent avec sa croissance et son développement[2].

1.4. Types de serres agricoles

La classification des serres peut présenter des défis en raison de la diversité des formes des structures qui les composent.

1.4.1. Serre tunnel

Une serre tunnel est une structure allongée en forme de tunnel utilisée principalement pour la culture de plantes. Elle est généralement constituée d'une armature en arceaux métalliques ou en PVC, recouverte d'un matériau transparent tel que du plastique ou du

Polycarbonate, permettant le passage de la lumière solaire. Les serres tunnel offrent un environnement contrôlé, protégeant les plantes des intempéries, des ravageurs et des variations climatiques. Elles sont couramment utilisées pour prolonger la saison de croissance, favoriser la croissance des plantes et améliorer les rendements agricoles [3].



Figure 1 - 1 : Serre tunnel [3]

1.4.1.1. Caractéristique des serres tunnel

- La hauteur typique d'une serre tunnel se situe entre 2 et 2,50 mètres.
- La largeur habituelle varie de 3 à 5 mètres.
- Il est recommandé d'avoir une surface au sol minimale de 6 m².
- Si la longueur de la serre tunnel dépasse 6 mètres, il est conseillé d'ajouter une deuxième porte.

1.4.2. Serre canarienne

La serre canarienne est une structure composée de tresses et de câbles. Initialement conçue pour les serres de taille moyenne et petite, elle est désormais utilisée pour des serres couvrant plusieurs hectares en raison de sa stabilité à long terme et de sa résistance aux vents et aux conditions climatiques extérieures sèches et venteuses [4].

1.4.2.1. Caractéristique des serres canariennes

- Structure en treillis avec poutres et câbles pour une grande stabilité et résistance.

- Conception spécifique pour résister aux vents forts et conditions climatiques difficiles.
- Investissement durable grâce à leur structure solide et capacité à faire face aux conditions climatiques.
- Adaptées aux régions venteuses grâce à leur résistance aux forces exercées par le vent.
- Offrent une stabilité à long terme, assurant la protection des cultures sur le long terme [4].

1.4.3. Serres multi-chapelle

Les serres multi-chapelle sont des structures de serre qui se composent de plusieurs sections ou chapelles connectées les unes aux autres. Chaque chapelle est généralement formée d'arceaux métalliques reliés entre eux, avec une couverture en plastique, en verre ou en polycarbonate. Ces serres offrent un espace intérieur spacieux pour la culture des plantes et sont conçues pour maximiser l'utilisation de la lumière solaire grâce à l'inclinaison optimisée de leurs arceaux. Les serres multi-chapelle permettent aux agriculteurs de cultiver une plus grande quantité de plantes tout en maintenant un contrôle efficace de l'environnement, notamment en termes de température, d'humidité et de ventilation [5]



Figure 1 - 2 : Serre multi-chapelle [5]

1.4.3.1. Caractéristique des serres multi-chapelle

- Les serres multi-chapelles sont recouvertes de différents matériaux tels que du film plastique, des plaques semi-rigides ou des plaques rigides.
- Leur construction utilise des éléments en aluminium et des profils d'ancrage.
- Ces serres offrent un volume intérieur spacieux.
- De plus, l'inclinaison des arceaux est spécialement conçue pour optimiser l'utilisation de la lumière solaire, afin d'en tirer le meilleur parti [5].

1.4.4. Serre jardine

Une serre de jardin est une structure dédiée à la culture des plantes dans un environnement contrôlé. Elle est fabriquée à partir de matériaux transparents comme le verre ou le plastique, ce qui permet à la lumière du soleil de pénétrer tout en créant un effet de serre. Les serres de jardin offrent une protection contre les conditions météorologiques défavorables et permettent de contrôler la température, l'humidité et la ventilation pour favoriser la croissance des plantes dans des conditions optimales.

1.4.4.1 Caractéristique des serres serre jardine

a) Les matériaux fréquemment utilisés pour l'armature de la serre

- L'utilisation fréquente de structures en aluminium.
- Les structures en acier sont également couramment utilisées.
- Certaines serres sont construites avec des structures en bois.

b) Les matériaux fréquemment utilisés pour les panneaux de la serre

- Le verre horticole est fréquemment utilisé comme matériau de revêtement.
- Le verre trempé est également une option courante pour les panneaux de serre.
- Le polycarbonate alvéolaire est un autre matériau populaire utilisé pour les panneaux de serre.

1.5. Contrôle de l'exploitation de la serre

La gestion du climat dans les serres dépend de divers facteurs interdépendants tels que le rayonnement solaire, la température de l'air, l'humidité relative et la concentration de dioxyde de carbone. En contrôlant et en régulant ces paramètres, il est possible d'obtenir des conditions de croissance optimales pour les cultures, tout en réalisant des économies d'énergie et en régulant l'utilisation de l'eau. Cependant, la complexité réside dans l'interaction de ces paramètres et leur dépendance vis-à-vis des changements climatiques. Par exemple, l'humidité relative est influencée par les émissions d'humidité des plantes, l'évaporation du sol et la température, qui, à leur tour, dépendent du rayonnement solaire et des conditions météorologiques. Par conséquent, la surveillance et le contrôle de ces paramètres posent un véritable défi dans la gestion climatique des serres.

1.5.1. Paramètres de contrôle

1.5.1.1. La température

Les cultures sous serre ont besoin d'une température appropriée pour leur bonne croissance. La température à l'intérieur de la serre est principalement assurée par le rayonnement solaire. Ce dernier permettant l'augmentation de la température à l'intérieur avec l'effet de serre, en effet, environ 50 à 80% (selon le type de murs) traversent la serre. Des échanges thermiques par conduction des parois peuvent aussi entraîner une perte de chaleur lorsque l'air extérieur est plus froid ou au contraire un gain de chaleur lorsqu'il est plus chaud., il y a aussi des échanges de chaleur entre l'air de la serre et le sol, ainsi que le phénomène de la convection naturelle (montée de l'air chaud) [6].

1.5.1.2. L'humidité

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ambiant, elle influe sur la croissance de la plante et sur le développement des maladies. En pratique quand on parle de la mesure de l'humidité on fait allusion au taux d'humidité exprimé en % [6]. L'humidité de l'air joue un rôle majeur dans la culture sous serre, elle dépend principalement des conditions climatiques extérieures. Il affecte également la température et contribue ainsi au réchauffement climatique [6]

1.5.1.3. Concentration de dioxyde de carbone

Le contrôle de la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) est crucial dans les environnements des serres pour obtenir une croissance optimale des cultures. Pour garantir une croissance saine des cultures, il est recommandé de maintenir une concentration optimale de CO₂ comprise entre 700 et 900 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Pour obtenir des résultats optimaux, il est conseillé de contrôler simultanément les taux de ventilation et la concentration de CO₂ à l'intérieur des serres, en particulier dans les climats chauds caractérisés par des taux de ventilation élevés. [6]

1.5.1.4. Radiation solaire

Le rayonnement solaire est un paramètre climatique essentiel pour évaluer la pertinence d'une région pour la culture protégée. Dans une serre, le rayonnement solaire direct est la principale source de chaleur, contribuant à l'élévation de la température diurne. Il est également crucial pour la photosynthèse des plantes, où il est transformé en énergie chimique pour soutenir leur croissance et leur développement. Le rayonnement solaire utilisé par les plantes est appelé rayonnement photo-synthétiquement actif (PAR), mesuré en termes de densité de flux de photons photosynthétiques (PPFD) ou de rayonnement PAR.

1.5.2. Méthodes de contrôle du climat des serres

La régulation du climat à l'intérieur des serres vise à créer des conditions environnementales optimales pour la croissance des cultures tout en minimisant la consommation d'eau et d'énergie. Différents systèmes de contrôle sont utilisés, qu'ils soient manuels, automatiques ou intelligents, et la serre peut être équipée d'un système de surveillance des données via Internet.

Les composants du système de contrôle comprennent des capteurs, des contrôleurs et des actionneurs. Les paramètres clés tels que la température, l'humidité relative, la concentration en CO₂ et le débit d'air sont mesurés par divers capteurs positionnés à l'intérieur et à l'extérieur de la serre, y compris au niveau des plantes ainsi que des entrées et sorties des composants de contrôle. Les principaux composants de contrôle comprennent les systèmes de refroidissement, de chauffage, de ventilation, d'ombrage et de brumisation.

Des études approfondies ont été réalisées pour analyser les interactions entre les différents paramètres environnementaux, afin d'améliorer la précision des stratégies de contrôle des serres à faible consommation d'énergie. Il est nécessaire d'étudier la relation entre ces paramètres pour optimiser les performances du système de contrôle.

Des algorithmes de contrôle et des modèles numériques ont été développés pour simuler la complexité de la régulation de l'environnement de la serre. Ces modèles précis permettent de gérer le contrôle du climat et de réduire la consommation d'énergie tout en offrant un environnement propice à la croissance des plantes. Des études ont montré que l'utilisation de méthodes de contrôle optimales pouvait réduire la consommation d'énergie de refroidissement jusqu'à 15 % et l'injection de CO₂ jusqu'à 10 %.

Il est important de souligner que les méthodes de contrôle du climat des serres peuvent varier en fonction des besoins spécifiques des cultures, des conditions environnementales et des préférences des agriculteurs.

1.6. Systèmes de refroidissement dans les serres

Le contrôle de la température et de l'humidité relative à l'intérieur de la serre est assuré par diverses technologies de refroidissement, telles que la ventilation, les systèmes de refroidissement externes utilisant des échangeurs de chaleur, des systèmes d'évaporation et des séchoirs. Les processus de réfrigération peuvent être classés en deux types principaux : les systèmes (actifs) et (passifs). Le refroidissement « actif » fait référence à tous les systèmes de refroidissement qui utilisent des équipements électriques, tels que des pompes, des ventilateurs et des pompes à chaleur, de l'eau ou de l'énergie. Le rafraîchissement « passif » d'une serre fait essentiellement référence à une démarche de conception (forme, matériau de couverture, événements) visant à réduire la température sans consommer d'eau ou d'énergie supplémentaire. Il peut fournir l'intégration de technologies de refroidissement passif suivies d'un refroidissement actif.

1.6.1. Système de refroidissement par évaporation

Le système de refroidissement par évaporation est l'une des technologies de refroidissement les moins chères et les plus anciennes. Le système de refroidissement par évaporation conventionnel est largement utilisé dans les applications domestiques dans les

zones chaudes et sèches. Un système de refroidissement par évaporation à plusieurs étages aide à surmonter ce problème. La combinaison d'un système de refroidissement par évaporation direct et indirect aide à réduire la température de l'air. Une diminution supplémentaire de la température de l'air peut être obtenue à l'aide d'un serpentin de refroidissement entraîné par un système à pression de vapeur. L'énergie consommée par le système de refroidissement par évaporation est inférieure à celle du système de refroidissement par évaporation. Le système de refroidissement par évaporation peut fonctionner à l'aide de l'énergie solaire. Le tampon de refroidissement traditionnel utilisé dans le système de refroidissement par évaporation peut être remplacé par des fibres naturelles disponibles localement [7].

1.6.1.1.Système de refroidissement par évaporation directe

Le système de refroidissement par évaporation directe est l'un des systèmes de refroidissement par évaporation les plus populaires et sa conception est simple. Le système de refroidissement par évaporation directe se compose d'un ventilateur ou d'un soufflet, d'un réservoir d'eau, d'une pompe, d'un milieu d'évaporation mouillable et d'un système de distribution d'eau. Ce système a une meilleure efficacité que les autres types de systèmes de contrôle électronique. Dans ce système, il y a un contact direct entre l'eau et l'air. L'eau est pulvérisée dans l'air sous forme de fines gouttelettes. Ces gouttelettes absorbent la chaleur de l'air et changent la phase de la phase liquide à la phase vapeur. L'évaporation est un processus de refroidissement adiabatique et l'enthalpie de l'air reste constante au cours de ce processus.[8] L'eau absorbe une chaleur raisonnable de l'air soufflé et la température de l'air baisse. L'humidité de l'air augmente en raison de l'évaporation de l'eau dans le flux d'air.L'effet de refroidissement produit par le système de refroidissement par évaporation est bon, mais la consommation d'énergie du système de refroidissement par évaporation est très faible par rapport au système de refroidissement traditionnel.[9]

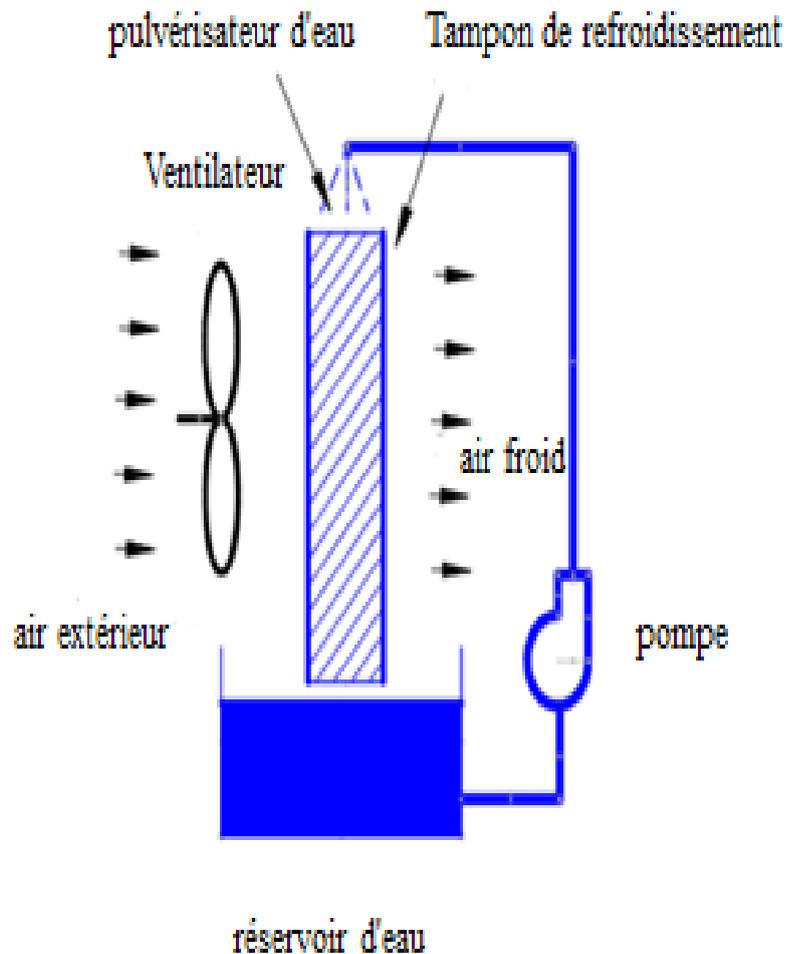


Figure 1 - 3: Système de refroidissement par évaporation directe [8]

1.6.1.2. Système de refroidissement par évaporation indirecte

Dans Système de refroidissement par évaporation indirecte, la température de l'air est réduite sans faire varier l'humidité. C'est l'avantage de ce Système de refroidissement par évaporation indirecte par rapport Système de refroidissement par évaporation directe. [10]

Les principaux composants de ce type de Système de refroidissement par évaporation directe sont le ventilateur, la pompe, le réservoir d'eau, le système de distribution d'eau et l'échangeur de chaleur indirect. La figureI.8 montre le schéma de Système de refroidissement par évaporation indirecte. [9]

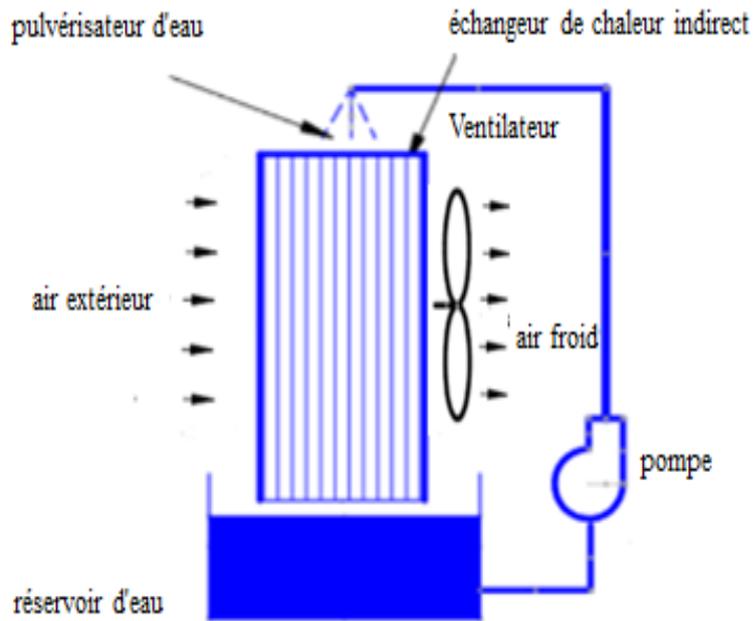


Figure 1 - 4: Système de refroidissement par évaporation indirecte [9]

1.6.1.3 Système de refroidissement par évaporation indirecte directe

L'efficacité du système de refroidissement par évaporation directe est supérieure à celle du système de refroidissement par évaporation indirecte, mais le système de refroidissement par évaporation directe entraîne une efficacité moindre dans des conditions d'humidité élevée. La combinaison d'un système de refroidissement par évaporation indirecte et d'un système de refroidissement par évaporation se traduit par une capacité de refroidissement plus élevée, un meilleur contrôle de l'humidité et une efficacité plus élevée, par rapport à une seule opération. Cela fait de ce type de système une alternative au système de refroidissement traditionnel pour réduire le réchauffement climatique. Les parties importantes de ce type de système de refroidissement par évaporation sont le coussin de refroidissement par évaporation, l'échangeur de chaleur indirect, les réservoirs d'eau, le ventilateur, le système de circulation d'eau.[10–11].

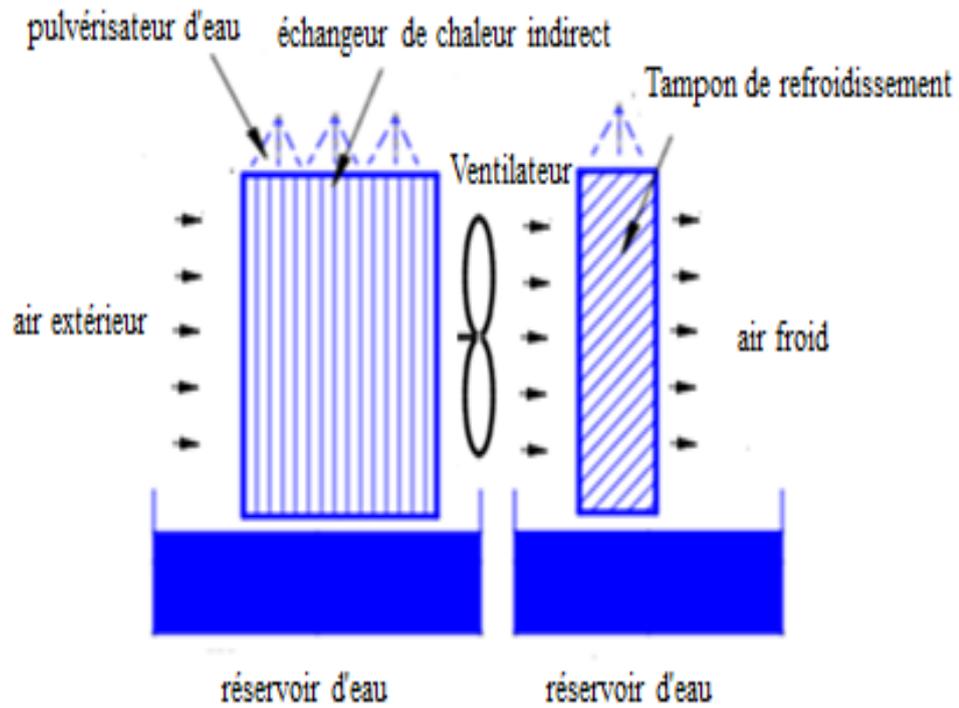


Figure 1 - 5: Système de refroidissement par évaporation indirecte directe [11]

1.6.1.4. Systèmes d'évaporation de toit

Le refroidissement par évaporation des toits est réalisé en faisant circuler un demi- mètre d'eau réduisant l'énergie solaire thermique, qui est absorbée par le toit, refroidissant ainsi le toit et l'air ambiant sous le toit. À la suite de ce processus, la température de l'air diminue et l'humidité à l'intérieur de la serre augmente, ce qui nous permet de conclure que ce système fonctionne très efficacement dans des conditions chaudes et sèches. [12]

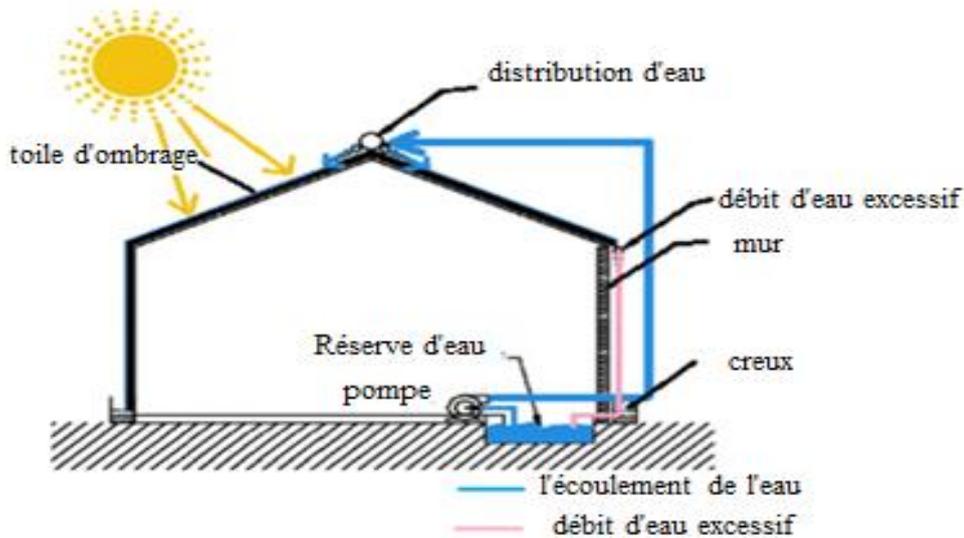


Figure 1 - 6: Systèmes d'évaporation de toit [12]

1.6.2..Systèmes de ventilation

Les systèmes de ventilation sont couramment utilisés pour maintenir un environnement approprié à l'intérieur de la serre, en particulier pour la déshumidification de l'air et pour diminuer la température. Deux types de systèmes de ventilation sont utilisés dans les serres : la ventilation naturelle et la ventilation forcée. La ventilation naturelle s'effectue principalement par le toit ou les ouvertures des murs latéraux, sans aucun apport extérieur. C'est donc la technique de ventilation la plus simple et la plus rentable pour contrôler l'humidité et la température. Cependant, dans les environnements de serre à taux d'humidité élevé, dans certaines conditions, une ventilation forcée est nécessaire et peut être réalisée à l'aide de ventilateurs.

1.6.2.1.Ventilation naturelle

La ventilation naturelle permet le renouvellement de l'air chaud intérieur par de l'air frais extérieur. Il est réalisé au moyen d'ouvertures permanentes ou temporaires dans le toit, dans les murs latéraux ou dans les murs avant. C'est le système le moins cher et le plus utilisé. L'efficacité de la ventilation, quantifiée par le taux de renouvellement d'air (R), dépend des conditions climatiques :

- Vitesse et direction du vent extérieur.

- La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre. Ces deux effets, l'effet vent et l'effet thermique, génèrent des différences de pression qui forcent l'air à se déplacer d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression. L'efficacité de la ventilation dépend également des caractéristiques des ouvertures (superficie et position) [13].



Figure 1 - 7: Ventilation naturelle [13]

1.6.2.2. Ventilation forcée

La ventilation forcée nécessitera une installation électrique spécifique dans la serre : boîtiers électriques avec protections des circuits, démarreurs, lignes, canaux électriques ... Par la suite vous pourrez installer votre ventilateur : Il s'agit habituellement de ventilateurs de type hélicoïdal avec des persiennes, fonctionnant extracteur d'air en mode. Par son action ces types de ventilateurs fournissent le renouvellement du volume d'air logé dans la serre et permettent l'extraction du CO₂ et le ré équilibrage du climat général peuvent être réglés selon le débit désiré, la plupart des modèles proposent trois à quatre niveaux de ventilation. Ces ventilateurs Doivent de préférence être installés à l'opposé des vents dominants. [14]



Figure 1-8 Ventilation forcée [14]

1.6.3. Système de brouillard

Le système de refroidissement par brouillard repose sur la pulvérisation de très petites gouttelettes d'eau à l'intérieur de la serre. Les gouttelettes dans le brouillard doivent avoir de petits diamètres pour créer une grande surface d'évaporation, et les gouttelettes ne doivent pas tomber dans la zone de culture mais doivent s'évaporer en tombant librement dans le flux d'air à l'intérieur de la serre.

Le système de refroidissement par brouillard se compose d'un adoucisseur d'eau, de filtres fins pour éviter le colmatage des buses, d'un réservoir d'eau, de pompes, de vannes de régulation de pression et de tubes avec buses installés au-dessus de la culture. Les débits d'eau et d'air dépendent des conditions climatiques intérieures souhaitées ainsi que de la température et de l'humidité de l'air ambiant [15].



Figure 1 - 9: Système de brouillard [15]

1.6.4. Systèmes déshydratants

Les systèmes de réfrigération à dessiccation sont efficaces pour les applications dans plusieurs climats, y compris les zones chaudes et sèches. Le principe de base de ce système est la base posée dans la combinaison du refroidissement, de l'humidification et de l'humidification de l'air atmosphérique à l'aide d'une substance sèche qui peut être solide ou liquide. Gollum et al les [16]

Ont stimulés et ont utilisé un régénérateur solaire combiné à une méthode de séchage d'humidification et de refroidissement du climat dans l'environnement vert pour supprimer la croissance des cultures pour l'humidité et les zones chaudes par humidification et refroidissement [16] .

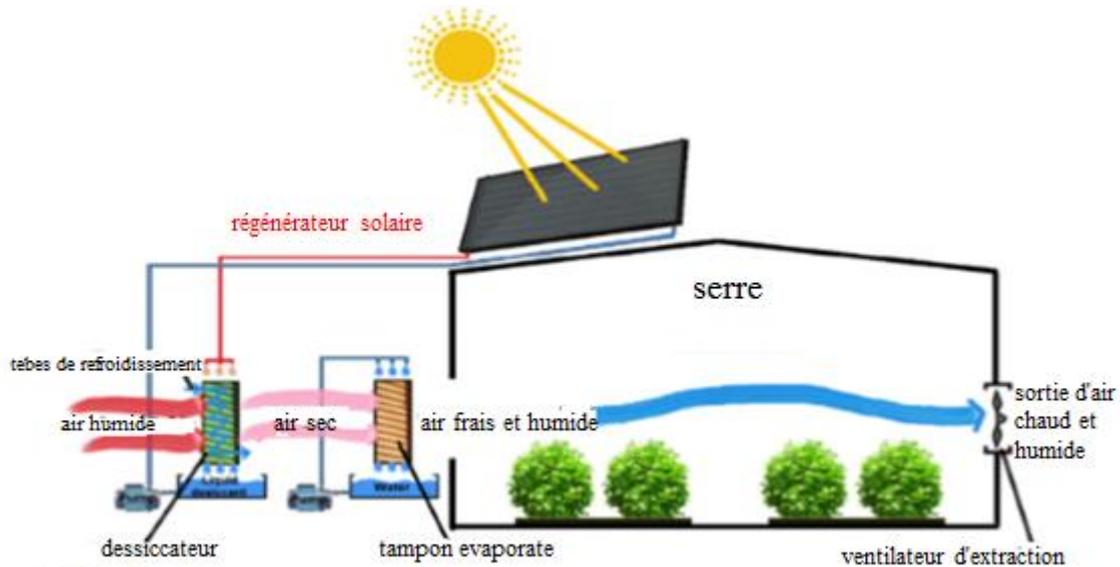


Figure 1 - 10: Système de refroidissement déshydratant à assistance solaire [16]

1.6.5.Systèmes de refroidissement par pompe à chaleur

Les pompes à chaleur, ou systèmes de réfrigération mécanique, sont des unités électriques qui fonctionnent selon un processus de compression de vapeur à des fins de chauffage ou de refroidissement. Une condensation contrôlée est assurée sur une surface froide provoquant une déshumidification de l'air par des groupes frigorifiques mécaniques. Le principal inconvénient de ces unités électriques est la grande quantité d'énergie qu'elles consomment. La condensation commence lorsque l'air intérieur chaud est refroidi jusqu'au point de rosée. Ainsi, la quantité d'énergie consommée comprend l'énergie nécessaire pour refroidir l'air, plus l'énergie nécessaire pour changer la phase de vapeur en eau liquide, ce qui correspond à 680 kWh/m³ [17].

Les pompes à chaleur à absorption sont également utilisées pour le refroidissement des serres. Les refroidisseurs à absorption sont des unités thermiques par rapport aux pompes à chaleur électriques. Selon la source d'alimentation, on distingue différents types de fluides

frigorigènes à absorption, tels que : les fluides frigorigènes à rouge direct, à eau chaude, à vapeur et à gaz d'échappement [18].

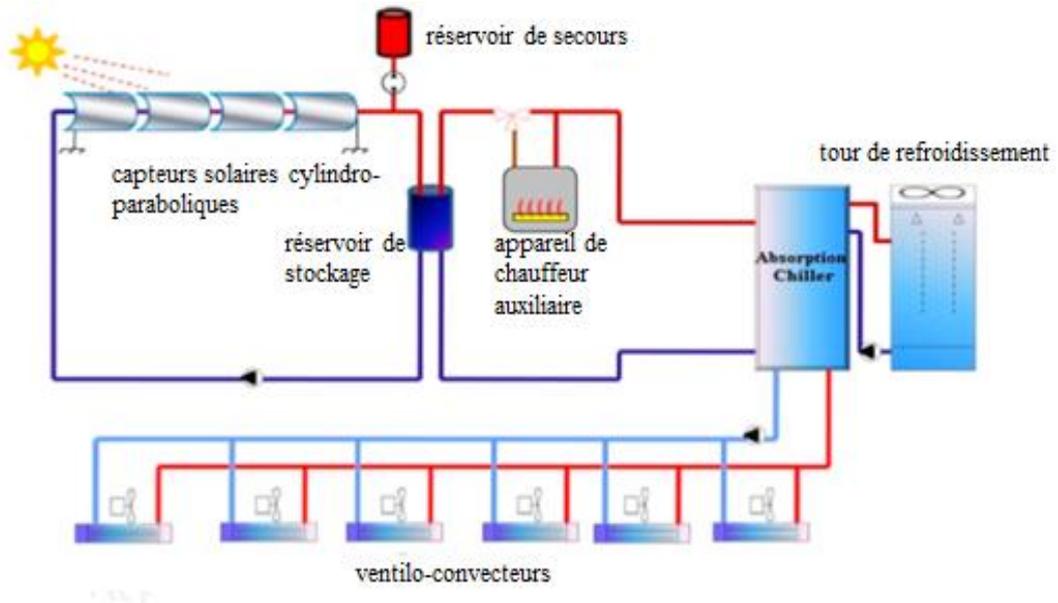


Figure 1 - 11: Systèmes de refroidissement par pompe à chaleur [18]

1.7.Ombrage de serre

Il existe deux méthodes de base pour ombrager une serre : peindre ou vaporiser les fenêtres, ou utiliser des stores. L'inconvénient d'utiliser des liquides pour l'ombrage est que pendant les inévitables périodes de temps gris et froid de l'été, les plantes souffrent d'un manque de lumière et de chaleur, c'est pourquoi les rideaux sont préférés car plus efficaces. Les rideaux peuvent être installés indifféremment de l'extérieur et sont les plus efficaces car ils évitent l'accumulation de chaleur à l'intérieur les fenêtres empêchent la lumière d'atteindre les plantes mais la chaleur passe à travers le verre et chauffe la serre car elle est sans rideaux, il est donc généralement préférable d'installer les rideaux à l'extérieur, mais compte tenu des conditions météorologiques, notamment des vents violents, ils peuvent être enroulés en hiver pour une certaine protection contre le gel [19].

1.8. Avantages et inconvénients

On peut citer les avantages et inconvénients de la serre agricole [20] :

1.8.1. Avantages

- Production plus élevée grâce à la possibilité de contrôler les conditions.
- Augmentation du rendement et de la qualité de la récolte, Précocité et retard de la production.
- Climatiques de la culture et de favoriser la production à toutes les saisons.
- Réduire la consommation de pesticides.

1.8.2. Inconvénients

- Consommation d'énergie.
- Coût de maintenance et pannes.
- Formation d'un personnel plus qualifié.
- Investissement pour l'achat de machines.

Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons donné la connaissance des serres, types et structures de serres, leurs avantages et inconvénients, les conditions climatiques, Nous avons également appris sur les systèmes de refroidissement tels que le système de refroidissement par évaporation, les systèmes de ventilation, système de brouillard, et systèmes de refroidissement par pompe à chaleur.

Références Bibliographiques

- [1] E. Universalis, « SERRE », Encyclopédie a Universalise. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/serre/>. [Consulté le: 20-juin-2019].
- [2] K. Harrar, H. Akroum, F. Nafa, et K. Hamdaoui, « Président Rapporteurs Examineurs », p. 132.
- [3] Laurent Lefebvre, 23/10/2014, “Quel matériau pour la structure de la serre : bois, aluminium, acier ou PVC.
- [4] Amouri, K., et al., Microstructure and mechanical properties of Al-nano/micro SiC composites produced by stir casting technique. 2016. 674: p. 569-578.
- [5] Serres-multi chapelle, C.d.l.S. ULMA-Agricola, Editor. 2008.
- [6] Clément PINOIT, “Analyse du climat dans les serres de concombre –Comparaison entre site expérimental et site de production”, Mémoire de Fin d’Etudes Master 2 Sciences Technologie Santé, université Angers, France, 2015.
- [7] Kapilan, N., Isloor, A. M., &Karinka, S. (2023). A comprehensive review on evaporative cooling systems.In Results in Engineering (Vol. 18, p. 101059). Elsevier BV.
- [8] O. Amer, R. Boukhanouf, H.G. Ibrahim, A review of evaporative cooling technologies, Int. J. Environ. Sustain Dev. 6 (2015) 111–117
- [9] Li Rong, Poul Pedersen, Thomas Ladegaard Jensen, SvendMorsing, Guoqiang Zhang, Dynamic performance of an evaporative cooling pad investigated in a wind tunnel for application in hot and arid climate, Biosyst. Eng. 156 (2017) 173–182
- [10] Z. Duan, Indirect evaporative cooling: past, present and future potentials, Renew.Sustain. Energy Rev. 16 (2012) 6823–6850.
- [11] Kittas, C.; Katsoulas, N.; Bartzanas, T. Greenhouse Climate Control in Mediterranean Greenhouses. 2012. Available online:
- [12] Bot, G.P.A. and Van de Braak, N.J. (1995) Energy balance. In: Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H. and Van de Braak, N.J. (eds) Greenhouse Climate Control: an Integrated Approach. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands
- [13] Ganguly, A.; Ghosh, S. A Review of Ventilation and Cooling Technologies in Agricultural Greenhouse Application. Int. J. Energy Environ. 2011, 2, 32–46.
- [14] Arbel A, Yekutieli O, Barak M (1999) Performance of a fog system for cooling greenhouses. J AgricEng Res 72:129–136.
- [15] Buchholz,M.Innovative technologiesandpracticestoreducewaterconsumption. In Unlockingthe Potentialof Protected Agriculture in the Countries of the Gulf Cooperation Council—Saving Water and Improving Nutrition; FAO: Cairo, Egypt, 2021; pp. 85–95.

- [16] Ghoulem, M.; El Moueddeb, K.; Nehdi, E.; Boukhanouf, R.; Calautit, J.K. Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. *Biosyst. Eng.* 2019, 183, 121–150.
- [17] Buchholz, M. Innovative technologies and practices to reduce water consumption. In *Unlocking the Potential of Protected Agriculture in the Countries of the Gulf Cooperation Council—Saving Water and Improving Nutrition*; FAO: Cairo, Egypt, 2021; pp. 85–95.
- [18] Campiotti, C.A.; Morosinotto, G.; Puglisi, G.; Schettini, E.; Vox, G. Performance Evaluation of a Solar Cooling Plant Applied for Greenhouse Thermal Control. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 2016, 8, 664–669
- [19] <https://agronomie.info/>.
- [20] B. BOUCHIKHI, A. ED-DAHAK, A. LACHHAB, et L. EZZINE. « Control of the climate and the drip Fert irrigation under greenhouse », Automatic 1er Salon International de l'agriculture au Maroc Meknès. Les 20-27 Avril (2006)

Chapitre 2

REVUE DE LITERATURE

Chapitre 2 : Revue de la littérature

Introduction

Les systèmes de refroidissement sont couramment utilisés dans l'agriculture sous serre, en particulier dans les régions chaudes et arides où les températures élevées peuvent avoir un impact négatif sur la croissance et la productivité des cultures.

Le matériau de refroidissement du tampon est un composant crucial des systèmes de refroidissement tampon, responsable du refroidissement par évaporation et de la réduction des températures de la serre. Les matériaux de refroidissement traditionnels des tampons, tels que la cellulose ondulée, sont chers et souvent importés. Par conséquent, les chercheurs ont exploré la possibilité d'utiliser des matériaux disponibles localement comme alternatives.

AF Dewerth et al a mené des expériences à College Station, Texas en 1949 pour tester l'efficacité d'un système de ventilateur d'extraction à tampon humide pour refroidir les serres. Ils ont constaté que le système était pratique, efficace et économique, permettant une production toute l'année avec un meilleur calendrier et des récoltes de meilleure qualité. Le système a été utilisé avec succès pour produire diverses cultures et a été largement utilisé aux États-Unis et dans d'autres parties du monde. Le système présentait de multiples avantages, notamment l'amélioration de la taille des fleurs, la rétention de la couleur, les programmes d'alimentation et les taux de croissance, tout en réduisant les problèmes de maladies. Le système était avantageux de jour comme de nuit, les températures nocturnes fraîches étant plus importantes pour de nombreuses cultures [1].

Abdalla et Narendran 1990 ont étudié l'utilisation de l'énergie éolienne et des coussins humides pour refroidir par évaporation les étables des vaches laitières dans des conditions climatiques chaudes et arides en Arabie saoudite. Trois types différents de tampons mouillés ont été testés : un tampon de cellulose ondulée, un tissu en plastique à 2 couches couramment utilisé dans les brise-vent et les stores, et un tampon à 3 couches du même tissu. Les coussinets étaient étirés le long du côté au vent d'une étable ouverte pour vaches laitières et maintenus humides pendant la journée pendant les mois d'été. Les chercheurs ont mesuré la vitesse du vent et la température du bulbe sec et humide à l'extérieur et à l'intérieur du hangar, juste derrière les tampons mouillés. L'efficacité de saturation a été calculée pour chaque tampon.

Les résultats ont montré que le tampon de cellulose fournissait le meilleur refroidissement avec une dépression de bulbe sec de 10-20°C et une efficacité de saturation entre 67,5 et 66,7 %.

Le tampon (PAD) en tissu plastique à 3 couches était le deuxième meilleur, suivi du tampon en tissu plastique à 2 couches qui a donné une dépression de bulbe humide de 8 à 15 °C et une efficacité de saturation de 50 à 65,9 %.

L'étude a révélé que la vitesse du vent variait entre 1,1 et 9,8 m/s, avec des vents du nord pendant 85 % de l'expérience.[2]

Koca et ses collaborateurs.1991 ont développé une procédure pour tester les tampons de refroidissement par évaporation. Leurs résultats montrent que les performances du tampon sont affectées par l'angle du tampon, l'épaisseur du tampon, la vitesse de l'air frontal et la chute de pression statique sur les tampons et peuvent être exprimées en termes d'efficacité de refroidissement par évaporation et de chute de pression statique.[3]

k. Al-jamal et al.1994 ont discuté de l'utilisation d'un coussin de refroidissement par évaporation dans les serres commerciales situées dans les pays chauds et arides pendant la période estivale. L'auteur a calculé la température à l'intérieur de la serre pour différentes conditions ambiantes extérieures et a déterminé le débit volumique à travers le tampon d'évaporation en fonction du nombre de changements d'air par heure (AC/h) dans la serre. Il a été constaté que vingt (AC/h) étaient suffisants pour atteindre des conditions tolérables pour la serre par temps sec. De plus, l'auteur a déterminé la quantité d'eau nécessaire pour le refroidissement par évaporation [4]

Whoa S. Kang et al.1996 a développé un système de refroidissement nocturne pour les serres qui utilisait l'air frais et l'eau d'une mine de charbon abandonnée. Ils ont construit et testé différents systèmes de refroidissement pour la serre, y compris un système de refroidissement par évaporation avec tampon, un système de refroidissement utilisant un petit ou un grand radiateur et un système de refroidissement par conduit qui aspirait l'air frais de la mine de charbon. Les auteurs ont testé individuellement chaque système de refroidissement pour voir son efficacité à refroidir la serre pendant les nuits d'été. Ils ont également testé un système de refroidissement combiné qui utilisait les trois systèmes de refroidissement simultanément.

Les résultats de l'étude ont montré que les systèmes de refroidissement individuels (système de refroidissement par évaporation, petit radiateur et conduit de refroidissement) avaient à peu près le même effet sur le refroidissement de la serre.

Le système combiné avait un effet de refroidissement légèrement meilleur que les systèmes individuels, sauf pour le grand radiateur. Le système le plus efficace pour refroidir la serre s'est avéré être l'utilisation d'un grand radiateur comme échangeur de chaleur. Avec le grand radiateur en marche, la température à l'intérieur de la serre est tombée à environ 15-16°C tandis que la température extérieure était de 23-24°C pendant les nuits d'été [5].

Chung-Min Liao et coll. 1998 a testé les performances d'autres supports de refroidissement par évaporation pour les applications de contrôle thermique de l'environnement. Ils ont expérimenté différents matériaux et épaisseurs de coussinets pour déterminer comment ces facteurs affectent les performances des coussinets de refroidissement. L'étude comprenait des tampons expérimentaux constitués d'un tampon perforé en tissu non tissé et d'un matériau en fibre de coco.

Les auteurs ont réalisé une expérience en soufflerie pour obtenir des équations pour les coefficients de transfert de chaleur et de masse pour le processus d'évaporation à travers différentes épaisseurs de supports de tampon (PAD) alternatifs. Ils ont utilisé les équations pour déterminer l'efficacité de refroidissement dans un système de soufflerie et l'ont liée à la vitesse frontale et à la chute de pression statique à travers les coussins. Pour un tampon (PAD) de 15 cm, les pertes de charge statiques à travers le tampon (PAD) perforé et les rendements de refroidissement variaient de 48 à 108 Pa et de 81,19 à 81,89 %, respectivement, tandis que pour les coussinets en fibre de coco, ils variaient de 60 à 130 Pa et de 89,69 à 92,86 % sous des vitesses d'air de fonctionnement de 2,0 à 3,0 m/s.

Les auteurs ont conclu que les coussinets en fibre de coco ont une efficacité de refroidissement supérieure à celle des coussinets perforés et que les équations qu'ils ont dérivées peuvent être utilisées pour concevoir et optimiser les systèmes de coussinets de refroidissement pour les applications de contrôle thermique de l'environnement. [6]

Al-Massoum, et al. 1998 a mené une étude pour comparer l'efficacité de refroidissement de trois matériaux de tampon différents d'une épaisseur de 100 mm chacun.

Les matériaux de tampon testés étaient :A) des nattes de frondes de palmier dattier tissées à partir de feuilles de dattier de 25 mm de large, B) des frondes de dattier hachées avec une taille de puce de 20 mm et C) de la cellulose ondulée CEL-Dek.

L'étude a révélé que l'efficacité de refroidissement des feuilles de dattes hachées était suffisante avec une vitesse frontale élevée de l'air à travers le tampon et un débit d'eau élevé, mais diminuait avec la diminution de la vitesse de l'air et du débit d'eau. D'autre part, l'efficacité du tampon de cellulose ondulée ne variait pas autant avec le changement de débit d'eau à une vitesse d'air élevée, mais diminuait avec une vitesse d'air décroissante. Les chercheurs ont noté que les feuilles de palmier dattier étaient bon marché et disponibles dans plusieurs pays, et pourrait être un matériau alternatif pour les coussins de refroidissement si leur durée de vie était suffisante et la perte de charge à travers le coussin n'était pas trop élevée.

Dans l'ensemble, cette étude a fourni des informations précieuses aux personnes intéressées par la sélection de matériaux de tampon pour les systèmes de refroidissement par évaporation dans les régions chaudes et arides [7].

Faleh Al-Sulaiman.2001 Ont étudié expérimentalement les performances de trois matériaux naturels de coussin de refroidissement par évaporation, à savoir les fibres de palmier dattier (tige), les fibres de jute et de luffa. L'auteur a constaté que les fibres de jute ont l'efficacité de refroidissement moyenne la plus élevée (62,1%), contre 55,1% pour les fibres de luffa et 38,9% pour les fibres de palmier dattier [8].

Kittas et al. 2001 Dans leur étude, ils ont utilisé un modèle analytique pour comparer les données physiques qu'ils ont recueillies avec les données prédites. Le modèle les a aidés à comprendre les profils de température et d'humidité du flux d'air à l'intérieur de la serre. L'étude a montré que le système de coussins est une méthode efficace pour refroidir et humidifier l'air à l'intérieur d'une serre, en particulier dans les climats secs. Ils ont également constaté que l'ombrage du toit des serres n'était peut-être pas nécessaire dans les climats secs, car le processus de refroidissement par évaporation utilisant le système de coussins est suffisant pour éviter la surchauffe. Les chercheurs ont rapporté une efficacité de 60% pour le processus de refroidissement, ce qui est cohérent avec la valeur théorique. Ce système de refroidissement était capable de maintenir des températures de serre jusqu'à 10°C inférieures à la température extérieure. Ils ont observé que la température de l'air frais montait des coussins vers le milieu

de la serre, tandis que la teneur en humidité n'augmentait pas. Cependant, la transpiration des plantes a humidifié l'air dans la seconde moitié de la serre, ce qui n'a entraîné qu'une augmentation modérée de la température. L'étude a également noté que l'air frais fourni par les coussins induisait de la condensation sur le sol, en particulier dans la première moitié de la serre tôt le matin et en fin d'après-midi. Dans l'ensemble, cette étude fournit des informations précieuses sur l'utilisation des systèmes de coussins de refroidissement dans les serres et souligne l'importance de tenir compte des conditions climatiques locales lors de la sélection des méthodes de refroidissement des serres n'entraînant qu'une élévation modérée de la température [9].

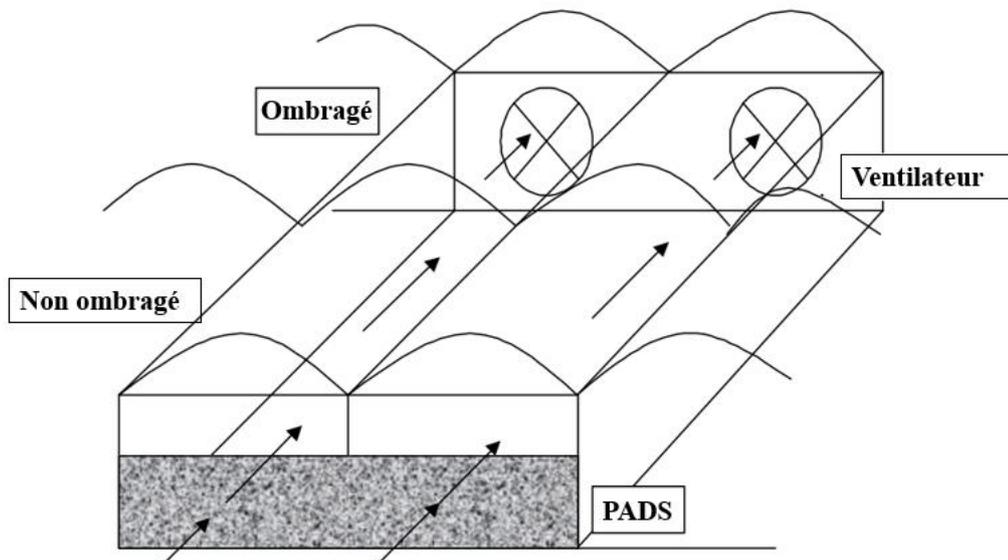


Figure 2 - 1: Croquis de la serre en plastique avec système de coussin de refroidissement [9].

Kassem, AM et al.2004 s'est concentré sur l'évaluation du potentiel de deux matériaux disponibles localement, les fibres de palmier et les éponges, comme alternative à la cellulose ondulée importée pour les systèmes de refroidissement tampon dans les serres de concombres. L'étude a été menée pendant les mois d'été de 2002 et 2003 en utilisant trois serres à pignon pour comparer l'efficacité de refroidissement des différents matériaux. Les auteurs ont constaté que la serre avec de la cellulose ondulée avait l'efficacité de refroidissement la plus élevée (79,4%), tandis que la serre avec un tampon éponge avait l'efficacité de refroidissement la plus faible (49,2%). L'efficacité de refroidissement de la fibre de palme était légèrement inférieure à celle de la cellulose ondulée, avec une efficacité de refroidissement moyenne de 71,6 %. Malgré l'efficacité de refroidissement inférieure de la fibre de palme par rapport à la cellulose

ondulée, les auteurs ont conclu que les fibres de palmier pourraient être une alternative prometteuse car elles présentaient une efficacité de refroidissement comparable et étaient disponibles localement. Cependant, l'utilisation de tampons éponge n'était pas recommandée en raison de leur efficacité de refroidissement nettement inférieure. Cette étude souligne l'importance d'explorer des matériaux alternatifs disponibles localement pour les systèmes de refroidissement tampons dans la culture en serre, en particulier dans les régions où les matériaux importés sont coûteux ou peu disponibles [10]

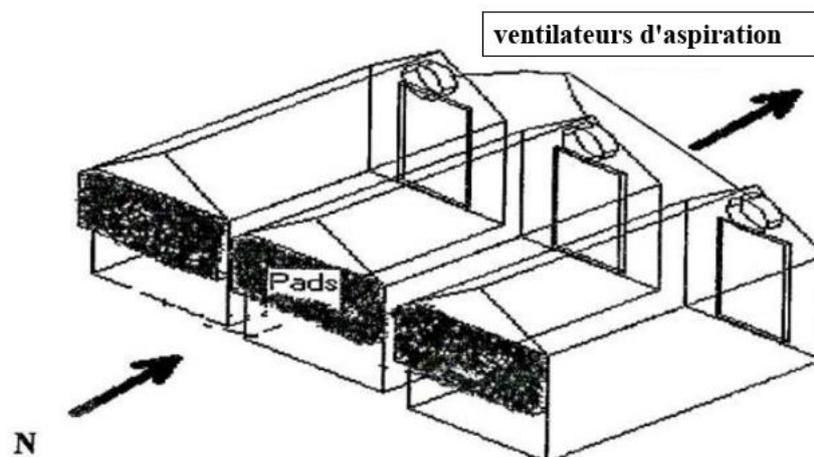


Figure 2 - 2: Croquis de la serre en plastique avec différents systèmes de coussinets [10].

Ganguly et al.2006 Ont présenté une méthode qui maintenait une température et une humidité appropriées à l'aide de tampons et de ventilateurs. L'étude a analysé les performances thermiques de la serre sous différentes conditions climatiques et a comparé les résultats avec une étude de référence dans la littérature pour valider la précision du modèle. Les résultats ont montré que le système de refroidissement par évaporation à ventilateur-pad maintenait efficacement le microclimat intérieur de la serre dans les limites permises tout au long de l'année, quelles que soient les conditions climatiques extérieures. L'article suggérait qu'une combinaison de refroidissement par évaporation, d'ombrage et de ventilation pourrait optimiser la production de fleurs dans les serres dans les régions aux conditions climatiques difficiles [11]

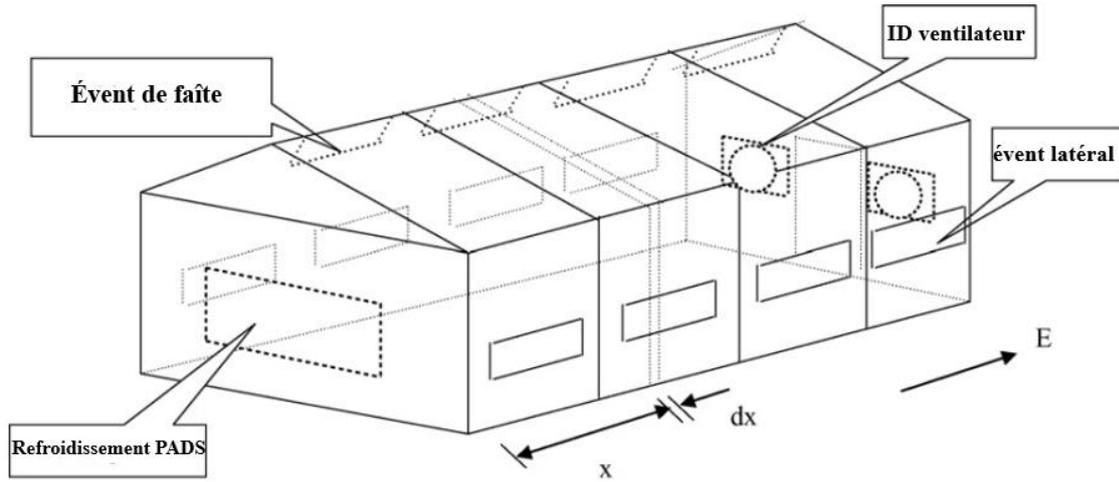


Figure 2 - 3: Disposition générale de la serre [11].

Abdollah mali et al.2010 l'étude visait à étudier les performances thermiques de deux types de tampons cellulósiques (5090 et 7090) fabriqués à partir de papiers ondulés, qui sont couramment utilisés dans les systèmes de refroidissement par évaporation. L'étude a été menée expérimentalement dans une soufflerie subsonique en polyéthylène. Les tampons ont été testés dans trois épaisseurs différentes (75, 100 et 150 mm) et leurs performances ont été évaluées en fonction de la chute de pression, de la variation d'humidité, de l'eau évaporée et de l'efficacité pour plusieurs vitesses d'air d'admission [12].

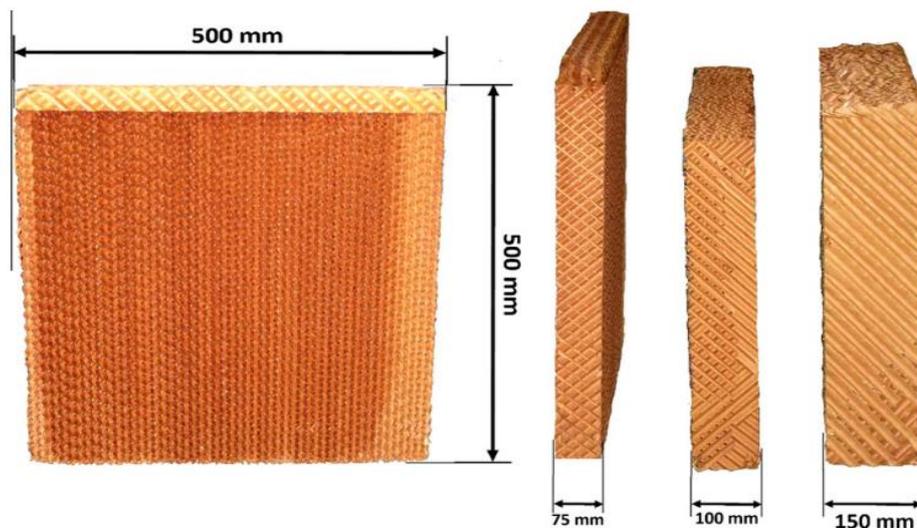


Figure 2 - 4 : Dimensions des tampons cellulósiques [12].

JK Jain et DA Hindoliya 2011 L'article a discuté des performances expérimentales Il ya deux nouveaux matériaux de coussin de refroidissement par évaporation, à savoir les fibres de noix de coco et les fibres de Palash. Ces matériaux ont été comparés aux fibres de tremble et de khus couramment utilisées dans un laboratoire à l'aide d'une configuration de test fabriquée de manière appropriée avec un débit d'air constant. L'efficacité des nouveaux matériaux a été comparée à celle des tampons de tremble et de Khus, et il a été constaté que l'efficacité des fibres de Palash était respectivement de 13,2 % et 26,31 % supérieure à celle des tampons de tremble et de Khus. L'efficacité des fibres de noix de coco s'est avérée supérieure de 8,15% à celle des Khus et comparable à celle du tampon de tremble.

L'article a également noté que le tampon (PADS) de Khus offrait la perte de charge la plus faible, tandis que le tampon (PADS) de tremble offrait la perte de charge la plus élevée parmi les quatre matériaux testés. De plus, le nouveau matériau proposé, Palash, offrait une perte de charge inférieure à celle du tampon en tremble. L'article a conclu qu'en raison de leurs meilleures performances, de leurs coûts inférieurs et de leur disponibilité facile, l'utilisation de fibres de noix de coco et de Palash comme milieu mouillé pourrait améliorer la portée de l'utilisation de ces matériaux dans les systèmes de refroidissement par évaporation domestiques et commerciaux pour le développement durable[13].



Figure 2 - 5: (a) Photographie de fibres de noix de coco et (b) Photographie de fibres de palais[13].

Seth I. Manuwa et al.2012 a présenté une évaluation complète des matériaux locaux et des formes géométriques utilisés pour la construction de systèmes de refroidissement par évaporation. L'étude a examiné l'efficacité de différents coussins de refroidissement fabriqués à partir de jute, de mousse de latex, de charbon de bois et de copeaux de bois, ainsi que les formes transversales hexagonales et carrées des systèmes de refroidissement.

Les auteurs ont également déterminé les propriétés physiques des matériaux des tampons qui pourraient affecter l'efficacité des refroidisseurs par évaporation. Les résultats de l'étude ont indiqué que la glacière hexagonale était plus efficace que la glacière carrée, et le coussin de jute était le plus efficace, suivi de la mousse de latex, du charbon de bois et des copeaux de bois. Les auteurs sont arrivés à leurs conclusions après avoir effectué des tests "à vide" sur les refroidisseurs et analysé les propriétés physiques des matériaux des plaquettes [14].

MA Helmy et al.2013 visait à construire un système de refroidissement par évaporation utilisant un système de ventilo-convecteurs pour réduire le stress thermique à l'intérieur d'une serre. Ils ont conçu et installé deux petites serres identiques sur le toit ouvert d'une maison individuelle et les ont refroidies à l'aide d'un système de ventilation. Ils ont également appliqué un mince film d'eau sur le toit d'une serre pour étudier l'effet du système combiné (film d'eau de toit et système de ventilation) sur les performances de refroidissement. Les auteurs ont évalué les performances de refroidissement de trois nouveaux tampons de refroidissement par évaporation fabriqués à partir de différents matériaux : *Cyperus Alopecuroides* Rottb (Samar), *Cyperus Alternifolius* (Purdy) et *Cyperus Rotundus* L (Nut-grass ou Se'd). Ils ont utilisé trois vitesses d'air sur la face du coussin comprises entre 0,45 et 1,01 m s⁻¹ et deux épaisseurs de coussin de 10 et 15 cm dans l'étude des critères de performance de refroidissement.

Les résultats ont montré que le matériau du tampon Se'd était plus efficace dans la réduction de la température. La température à l'intérieur de la serre fonctionnant sous la combinaison de l'écoulement de l'eau sur le toit et du système de ventilation était inférieure à celle de la serre à ventilation d'environ 1,1 à 5,44 °C le matin et l'après-midi, respectivement. L'humidité relative de l'air a augmenté en raison de l'effet d'humidité fourni par le système de refroidissement, qui a protégé les cultures de la transpiration excessive et des dommages aux cultures. Les efficacités de refroidissement moyennes quotidiennes de 88,4 %, 83,1 % et 79,6 % ont été obtenues pour Se'd, Purdy et Samar, respectivement, pendant les jours d'essai à l'intérieur du système combiné à une épaisseur de tampon de 15 cm et à 0,45 m s⁻¹ d'air de face de tampon alternatif. Par conséquent, le matériau de tampon Se'd a montré la plus grande efficacité et pourrait être utilisé comme matériau de tampon alternatif [15].

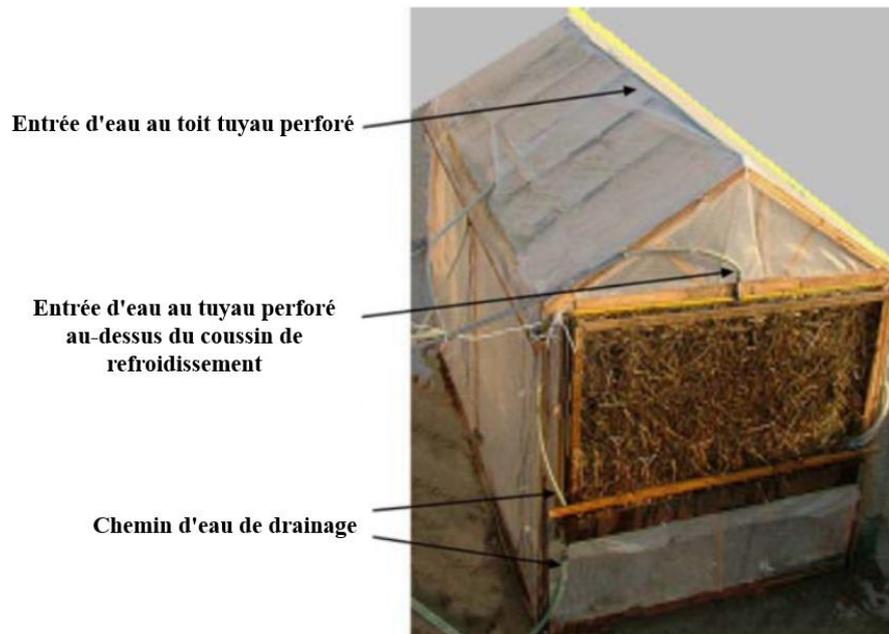


Figure 2 - 6: Serre fonctionnant sous la combinaison d'un flux d'eau sur le toit et d'un système de ventilation en utilisant se'd comme matériau de refroidissement par évaporation (A) [15].

Ahmad et al.2013 ont évalué le potentiel du charbon de bois en vrac comme matériau alternatif de tampon de refroidissement par évaporation pour une utilisation dans les serres. Ils ont conçu une configuration de test spéciale pour évaluer les performances du tampon de charbon de bois et ont mesuré l'efficacité de refroidissement et la différence d'humidité relative. L'étude a révélé que la meilleure efficacité de refroidissement moyenne a été obtenue à une densité apparente de $209,58 \text{ kg m}^{-3}$ de charbon de bois, avec une humidité de 70 %, une vitesse de l'air de $1,38 \text{ m s}^{-1}$ et un débit d'eau de $0,19 \text{ kg s}^{-1}$ pour chaque mètre carré de tampon (PADS). Dans l'ensemble, l'étude visait à évaluer la faisabilité de l'utilisation de charbon de bois en vrac comme matériau de coussin de refroidissement dans les serres [16].

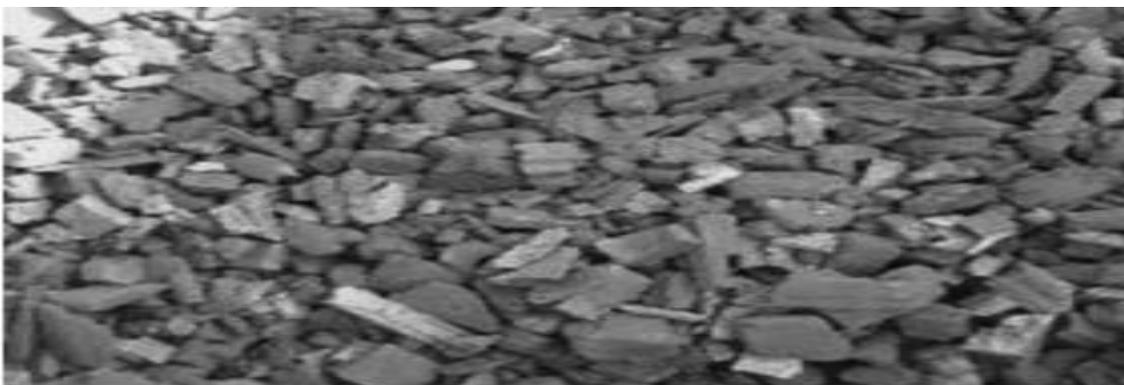


Figure 2 - 7 : Charbon de bois en vrac [16].

Ray.A. Bucklin et al.2014 ont discuté de la conception et de la mise en œuvre d'un système de refroidissement de serre qui utilise le refroidissement par évaporation. Le système est composé d'un système de ventilateur et de tampon qui utilise l'évaporation de l'eau pour refroidir la serre. Le ventilateur aspire l'air à travers les coussinets mouillés, ce qui provoque l'évaporation de l'eau et, à son tour, abaisse les niveaux de température et d'humidité dans la serre. Les auteurs détaillent les différents composants du système, notamment le ventilateur, les tampons, le système d'alimentation en eau et le système de contrôle. Ils discutent également de l'importance d'une conception et d'une maintenance appropriées pour garantir que le système fonctionne au maximum de son efficacité. L'article comprend des données d'expériences menées sur le système, y compris des mesures de la température de l'air, de l'humidité et de l'efficacité du refroidissement [17].

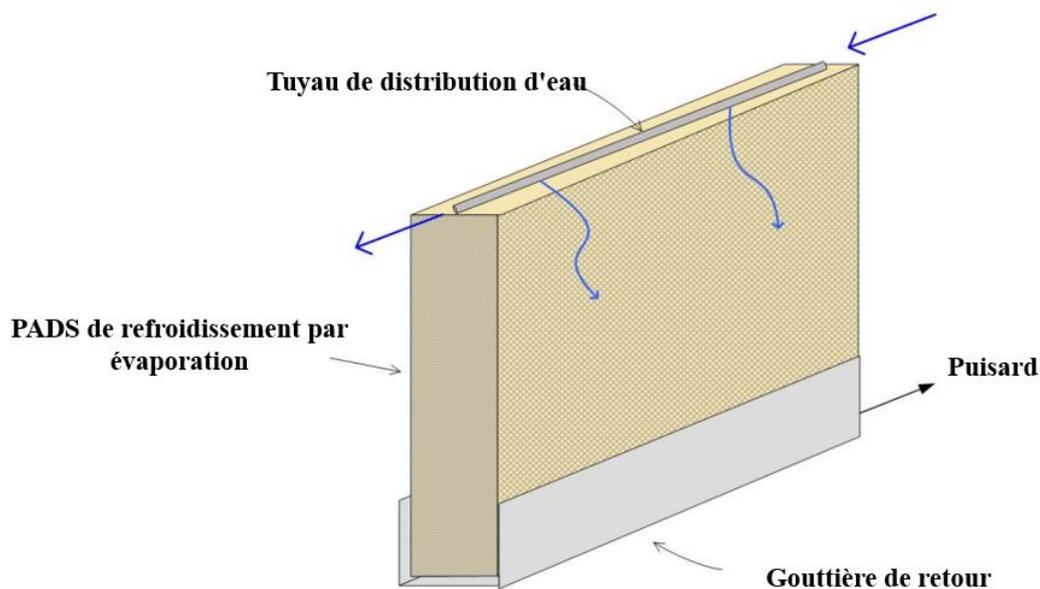


Figure 2 -8 : Tampon de refroidissement par évaporation. L'eau s'écoule le long du tuyau de distribution et s'écoule dans le matériau du tampon. Le puisard doit être suffisamment grand pour contenir tout le ruissellement lorsque la pompe est arrêtée [17]

Mehmet Ali Dayioğlu et al.2014 ont présenté une étude expérimentale qui visait à évaluer les performances d'un système de refroidissement par ventilateur de serre en mesurant les gradients de température et d'humidité le long de la serre. L'étude a utilisé sept capteurs placés à différents endroits, ainsi que des instruments portables pour mesurer la température et l'humidité, et deux pyranomètres pour mesurer le rayonnement solaire. Les résultats de l'étude

ont indiqué qu'il y avait des changements de température non uniformes mais des changements d'humidité approximativement uniformes dus à la transpiration des cultures le long de la serre, des panneaux de protection aux ventilateurs d'extraction. Lorsque le système de refroidissement était fermé, la température moyenne horaire et l'humidité relative variaient entre 30 et 33 °C et 30 et 47 %, respectivement. Cependant, après avoir fourni un refroidissement stable en ouvrant le système de ventilation, la température et l'humidité variaient entre 20 et 27 °C et 50 et 68 %, respectivement, les calculs psychrométriques pour déterminer l'efficacité de refroidissement du système de ventilation, qui s'est avérée être de 76,8 %. Dans l'ensemble, l'étude a fourni des informations précieuses sur les paramètres de performance d'un système de refroidissement à ventilateur de serre et sur sa capacité à maintenir des niveaux de température et d'humidité stables pour la croissance des plantes [18].

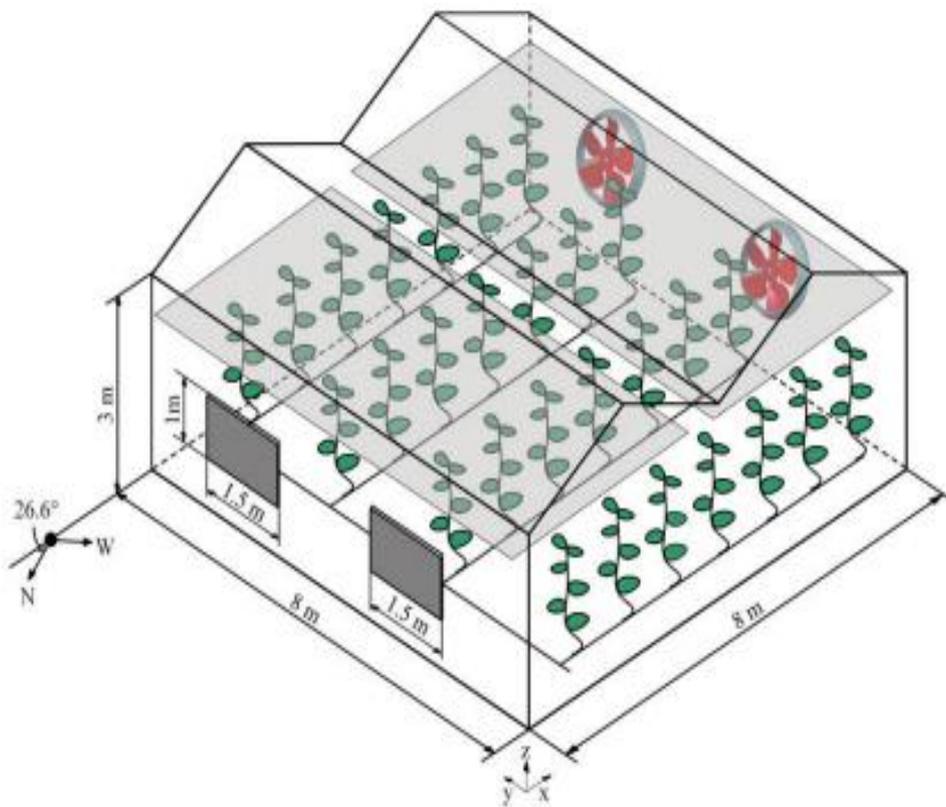


Figure 2 - 9: Schéma de la serre expérimentale utilisé [18]

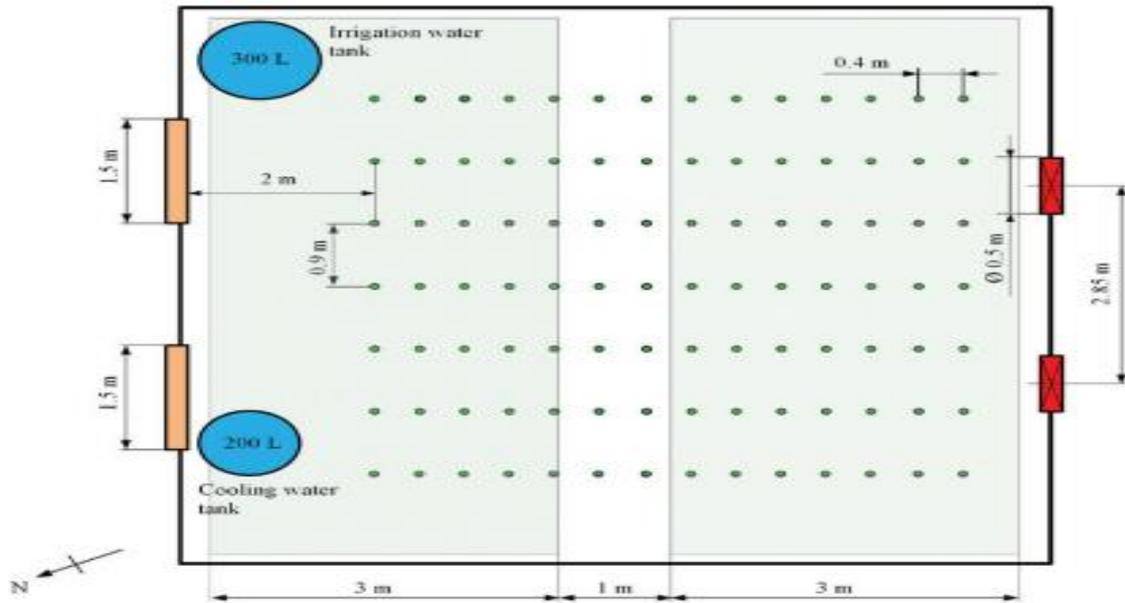


Figure 2 - 10: Configuration de la culture, du système d'irrigation goutte à goutte, du système de refroidissement Fan-Pad et des filets d'ombrage dans la serre expérimentale [18]

Ray A Bucklin et al.2014 discuté de la conception et de la mise en œuvre d'un système de refroidissement de serre qui utilise le refroidissement par évaporation. Le système est composé d'un système de ventilateur et de tampon qui utilise l'évaporation de l'eau pour refroidir la serre.

Le ventilateur aspire l'air à travers les coussinets mouillés, ce qui provoque l'évaporation de l'eau et, à son tour, abaisse les niveaux de température et d'humidité dans la serre. Les auteurs détaillent les différents composants du système, notamment le ventilateur, les tampons, le système d'alimentation en eau et le système de contrôle. Ils discutent également de l'importance d'une conception et d'une maintenance appropriées pour garantir que le système fonctionne au maximum de son efficacité. L'article comprend des données d'expériences menées sur le système, y compris des mesures de la température de l'air, de l'humidité et de l'efficacité du refroidissement [19].

Egbal Elmsaad et al.2015 évalue les performances des tampons Celdek, des tampons en luffa, des tampons en fibre de paille et des tampons en toile de sac sous différentes épaisseurs et débits d'eau. Les auteurs ont effectué des mesures expérimentales de paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité relative, la vitesse de l'air et les chutes de pression en utilisant les différents matériaux de tampon. Les résultats ont montré que les

coussinets en luffa avaient l'efficacité de saturation la plus élevée à 73,67 %, suivis des coussinets en fibre de paille à 71,87 %, des coussinets Celdek à 70,33 % et des coussinets en toile de sac à 69 %. De plus, l'étude a révélé que l'épaisseur du tampon avait un impact significatif sur l'efficacité du refroidissement et qu'une vitesse d'air plus élevée diminuait l'efficacité de la saturation tout en augmentant la chute de pression sur le tampon mouillé. Global [20].

KVV ala et al. 2016 Conception et fabrication d'une configuration de test spéciale pour évaluer les performances de différents matériaux de tampon. Quatre matériaux de tampon différents ont été testés, notamment le tampon CELdek, le tampon de tremble, la fibre de coco et les économies de bois, en fonction de leur chute de température et de l'augmentation de l'humidité relative à l'intérieur de la chambre de stockage. Les tests ont été effectués dans des conditions spécifiques, la vitesse de l'air, le débit d'eau et l'épaisseur du tampon étant maintenus constants pour tous les matériaux. L'étude visait à comparer les serviettes disponibles localement avec les serviettes du commerce. L'étude a révélé qu'une baisse de température moyenne de 8°C et 9,75°C a été observée pour le CELdek et la laine de bois, respectivement, tandis que la fibre de coco et les tampons économes en bois ont montré des baisses de température de 3,5°C et 3,25°C, respectivement. L'étude a révélé que le pourcentage de baisse de température avec CELdek et la laine de bois était respectivement de 40 % et 43 % supérieur à celui des économies de bois et de la fibre de coco. De plus, l'humidité relative à l'intérieur de la chambre de stockage a été maintenue au-dessus de 80 % pour tous les matériaux de tampon [21].

Pervin Abohorlu Dođramacı et al. 2017 a mené une étude expérimentale pour étudier le potentiel des coussinets en fibre d'eucalyptus pour le refroidissement par évaporation. Ils visaient à réduire la consommation d'énergie causée par les charges de refroidissement, qui est une source majeure de consommation d'énergie dans les régions chaudes. Ils ont utilisé une soufflerie pour analyser les performances de refroidissement par évaporation des fibres d'eucalyptus et ont étudié le comportement des fibres dans différentes conditions. Ils ont constaté que la réduction maximale de la température de l'air variait entre 11,3 °C et 6,6 °C, et que l'efficacité de refroidissement maximale se situait entre 71 % et 49 % à des vitesses d'air de 0,1 et 0,6 m/s, respectivement. Ils ont également calculé les capacités de refroidissement correspondantes de 108 W et 409 W, indiquant une relation directement proportionnelle entre la vitesse de l'air et les performances de refroidissement [22]



Figure 2 -11: Fibres d'eucalyptus [22].

Gaber D. et al. 2017 ont mené une étude expérimentale pour étudier les effets d'un système de refroidissement par évaporation développé sur le macroclimat de la serre et la productivité des cultures de tomates. Deux serres similaires à pignon uniforme ont été utilisées à la station de recherche horticole EL-Sabahia, à Alexandrie (en tant que région côtière), pour produire des cultures de tomates pendant les saisons estivales de 2014 et 2015. Chaque serre était équipée d'un système complet de refroidissement par évaporation. L'un d'eux a été modifié (MECS) en obstruant l'air ambiant humide avec un tamis de gel de silice en granulés, qui a absorbé l'excès d'humidité de l'air ambiant avant de passer à travers les tampons de refroidissement. L'autre utilisait le système de refroidissement par évaporation traditionnel à ventilateur (FPECS).

Les résultats obtenus ont montré que la température moyenne de l'air après avoir quitté le coussin de refroidissement, les températures de l'air à effet de serre, l'humidité relative, l'efficacité et le déficit de pression de vapeur étaient (21,6 - 28,2 °C), (29,2-33,4 °C), (65,2-71,4 %), (89,2-62,1 %) et (1,39-1,50 kPa) pour les serres MECS et FPECS, respectivement. La température maximale de la serre a diminué de 2,9 °C en dessous de la température extérieure pour le MECS, tandis qu'elle a augmenté de 1,6 °C au-dessus de celle-ci pour le FPECS. Les pourcentages d'augmentation du rendement précoce, du nombre de fruits par plante, du poids des fruits, du rendement total par plante et du rendement total par feddan étaient respectivement de 14,07, 9,43, 8,00, 18,15 et 18,13 % pour la serre MECS par rapport à la serre FPECS au cours de la saison 2014, alors qu'ils étaient respectivement de 12,41, 12,98, 7,90, 22,06 et 21,97 % lors de la saison 2015 [23] .



Figure 2 - 12: Système de refroidissement par évaporation à ventilateur [23].

Radhiyah Abd. Aziz et al. 2018 visait à étudier l'efficacité de refroidissement de différents matériaux naturels en tant que tampon de refroidissement pour un système de refroidissement par évaporation. Les auteurs ont sélectionné deux types de matériaux naturels, la mousse de charbon actif et le coussin de luffa, et les ont fabriqués pour s'adapter à la configuration de refroidissement par évaporation. Les données les plus importantes dans l'analyse expérimentale étaient la température et l'humidité, qui ont été enregistrées à l'aide d'un enregistreur de données. Les chercheurs ont fait varier le matériau du coussin de refroidissement et le débit d'air pour observer leur effet sur l'efficacité du refroidissement.

L'étude a révélé que les coussins de refroidissement en mousse de charbon actif avaient une meilleure efficacité de refroidissement par rapport aux coussins de luffa. Cette découverte est importante car elle suggère que les matériaux à base naturelle tels que la mousse de charbon actif peuvent être utilisés comme une alternative efficace aux matériaux synthétiques pour les applications de refroidissement. L'étude souligne également l'importance de sélectionner des matériaux appropriés pour les coussins de refroidissement dans les systèmes de refroidissement par évaporation, ce qui peut avoir des implications importantes pour l'efficacité énergétique et la durabilité environnementale. Dans l'ensemble, cette étude s'ajoute à la littérature sur les matériaux naturels pour les applications de refroidissement et fournit des informations importantes sur les facteurs qui influencent l'efficacité du refroidissement dans les systèmes de refroidissement par évaporation. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour valider ces résultats et explorer d'autres matériaux naturels pour les coussins de refroidissement [24].

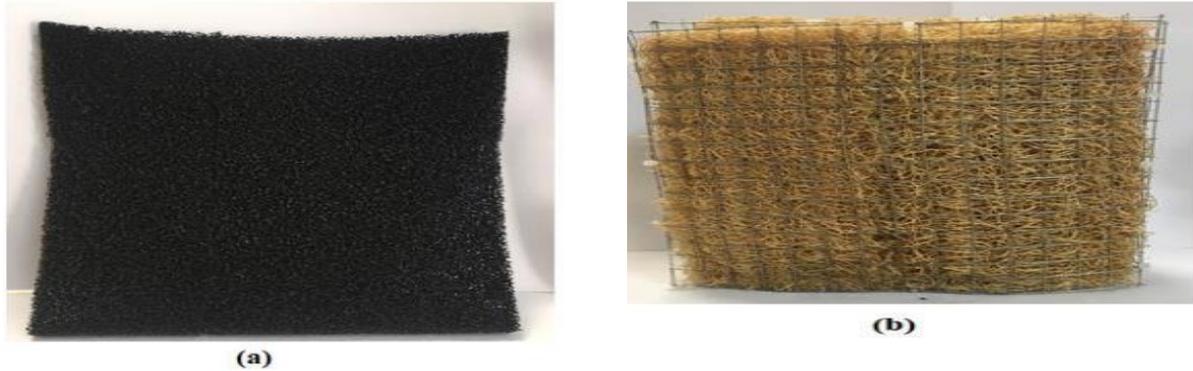


Figure 2 - 13: Matériaux du coussin de refroidissement (a) Coussin en mousse de charbon actif et (b) Coussin en luffa [24].

Mahmoud M. et al. 2021 visait à optimiser les paramètres de fonctionnement d'un système de refroidissement par évaporation en étudiant l'effet de différentes hauteurs de tampon et vitesses d'air sur divers paramètres tels que la température de l'air, l'humidité relative, la réduction de température, l'efficacité de refroidissement et la capacité de refroidissement. Les auteurs ont mené des expériences en utilisant deux hauteurs de coussin différentes (1,0 et 2,0 mètres) et quatre vitesses d'air différentes (1,5, 3,0, 4,5 et 6,0 mètres par seconde) et ont enregistré la température horaire de l'air et l'humidité relative de 9 h à 18 h. Les résultats ont révélé que la température horaire de l'air augmentait progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne le pic, puis diminuait pendant la période de 9 h à 18 h. De plus, la température de l'air diminuait avec l'augmentation de la hauteur du coussin. L'humidité relative horaire de l'air a diminué progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne le pic, puis a augmenté pendant la période de 9 h à 18 h. Les auteurs ont également observé que la réduction de la température augmentait à mesure que la hauteur du coussin augmentait, la valeur la plus élevée de 18,4 degrés Celsius étant trouvée avec une hauteur de coussin de 2,0 mètres et une vitesse de l'air de 6,0 mètres par seconde. L'efficacité de refroidissement a également augmenté avec l'augmentation de la hauteur du tampon, la valeur la plus élevée de la capacité de refroidissement étant de 629,1 kW trouvée avec une hauteur de tampon de 2,0 mètres et une vitesse de l'air de 6,0 mètres par seconde [25].

En conclusion, cette étude démontre le potentiel d'optimisation du fonctionnement des systèmes de refroidissement par évaporation en ajustant la hauteur du tampon et la vitesse de l'air [27].

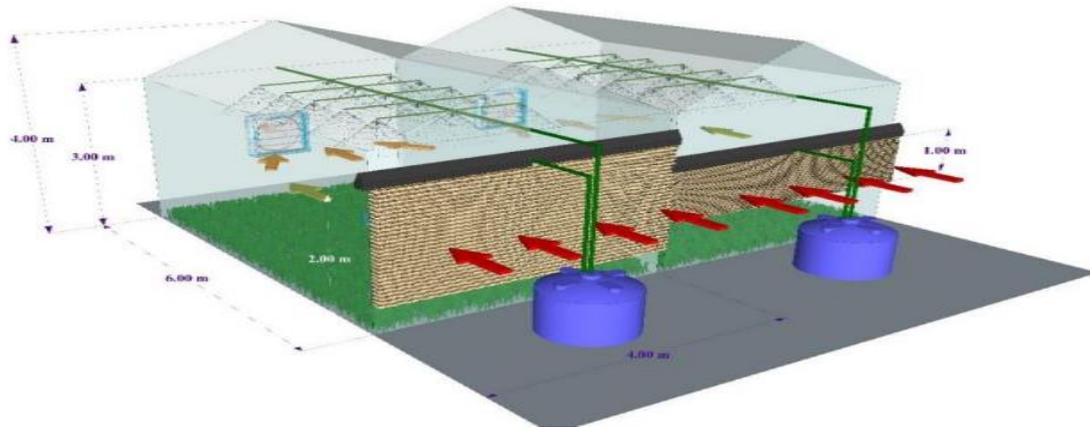


Figure 2 - 14: Le montage expérimental [25].

Azzeddine Laknizi et al. 2021 Exploration de l'optimisation d'un système de coussin de refroidissement par évaporation directe à l'aide des méthodes Taguchi et ANOVA. L'étude visait à déterminer comment différents paramètres, notamment la vitesse, l'épaisseur du tampon et le type de tampon utilisé, affectaient les performances des tampons de refroidissement cellulosiques. Les chercheurs ont cherché à identifier les meilleures combinaisons de ces paramètres pour obtenir un coefficient de performance plus élevé et une consommation d'eau plus faible. Le type de tampon utilisé dans cette étude était un tampon de refroidissement cellulosique, couramment utilisé dans les systèmes de refroidissement par évaporation. Ces coussinets sont faits d'un matériau ondulé avec une grande capacité d'absorption d'eau et une grande résistance au flux d'air. Lorsque l'eau est pompée sur le coussin, le flux d'air à travers le coussin évapore l'eau, ce qui refroidit l'air passant à travers le coussin. L'étude a révélé que la vitesse de l'air traversant le tampon avait l'impact le plus significatif sur le coefficient de performance et la consommation d'eau, tandis que l'épaisseur du tampon avait l'impact le plus significatif sur la température de sortie. En utilisant la méthode Taguchi, les chercheurs ont identifié les meilleures combinaisons de ces paramètres et ont confirmé les résultats par analyse ANOVA. Enfin, les chercheurs ont présenté un modèle de régression pour permettre un dimensionnement rapide des coussins de refroidissement en fonction des paramètres identifiés. Dans l'ensemble, cette étude met en évidence le potentiel d'optimisation des systèmes de coussins de refroidissement par évaporation pour obtenir de meilleures performances et une consommation de ressources réduite [26]

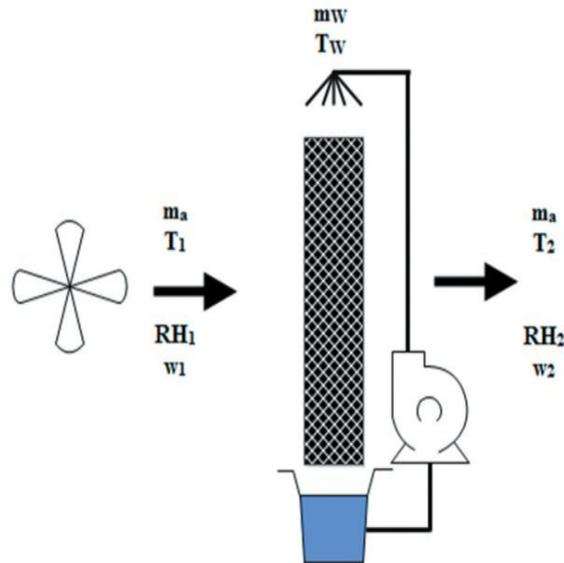


Figure 2 - 15: Volume de contrôle du coussin de refroidissement [26].

Sadam-Houcine Sellam et al.2022 ont mené une enquête expérimentale sur un refroidisseur à évaporation directe (DEC) qui a été conçu et installé dans une région chaude et aride de l'Algérie. Le DEC a utilisé des fibres de palmier dattier comme nouveau matériau de refroidissement par évaporation, et les auteurs ont testé divers paramètres de performance pour évaluer ses performances thermiques.

Les auteurs ont constaté que la capacité de refroidissement, l'efficacité de refroidissement et la capacité de refroidissement totale du tampon s'amélioraient lorsque l'épaisseur du tampon et le débit massique d'air étaient augmentés dans des conditions ambiantes extrêmes. Ils ont également constaté que la durée de l'opération n'avait pas d'effet remarquable sur les performances du DEC. Dans l'ensemble, les paramètres de fonctionnement, tels que l'épaisseur du tampon, le débit massique d'air, les conditions ambiantes, la quantité et la température de l'eau, se sont révélés être les facteurs déterminants pour atteindre les conditions de fonctionnement optimales du DEC. Les auteurs ont également comparé le tampon en fibres de palmier dattier aux tampons conventionnels utilisés dans les zones chaudes et arides et ont constaté que le tampon en fibres de palmier dattier était un matériau efficace pour le refroidissement par évaporation. Cette étude suggère que l'utilisation de fibres de palmier dattier comme matériau de refroidissement dans les systèmes de refroidissement par évaporation directe pourrait être une alternative prometteuse dans les régions chaudes et arides [27].

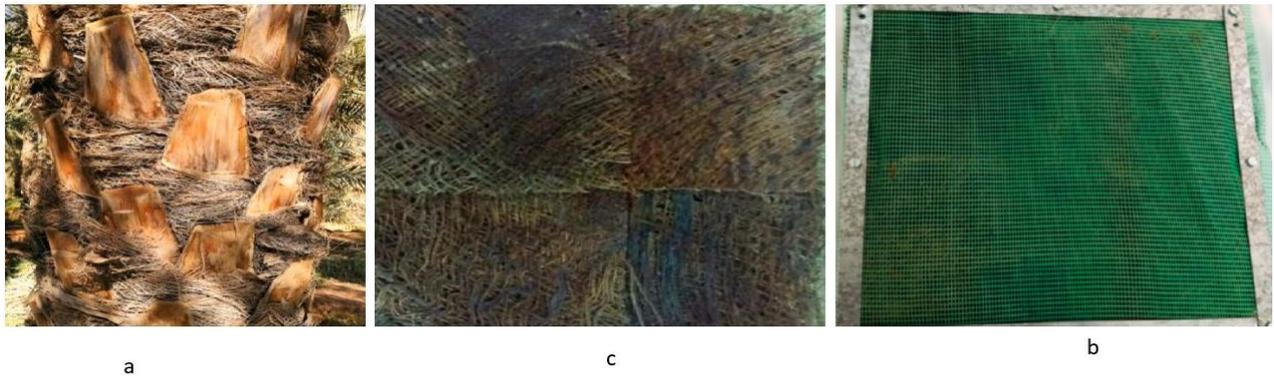


Figure 2 – 16 : (a) Palmier dattier, (b) Fibres de palmier dattier (maille) entourant le tronc ; (c) Coussinet en fibres de palmier dattier [27].

Deyaa Mahmoud.2022 testé le système en utilisant un tampon de refroidissement en cellulose avec trois épaisseurs différentes (50, 100 et 150 mm) et trois débits d'eau (1, 2 et 3 LPM) tout en maintenant une vitesse d'air de 2-3 m/s. Ils ont comparé les résultats du système PV/EC à un panneau PV normal sans refroidissement. Les résultats ont montré que l'efficacité du panneau PV s'améliorait de 7,4 %, 10,5 % et 11,2 % pour les pads #1, #2 et #3, respectivement. La réduction de température moyenne du tampon #1 était de 15°C, alors qu'elle était d'environ 20°C pour les tampons #2 et #3. La différence de température de l'air fourni était de 5,5 °C, 9,2 °C et 13,9 °C pour les trois tampons différents, respectivement. La meilleure température de bulbe sec de l'air fourni était de 24,7 °C et de 71 % d'humidité relative pour le pad n° 3. Dans l'ensemble, le système hybride PV/EC a montré des performances améliorées à la fois électriques et thermiques par rapport à un panneau PV normal sans refroidissement [28].



Figure 2-17 : La garniture de cellulose et la configuration du tuyau de distribution d'eau[28].

Conclusion :

Ce chapitre présente le problème de recherche lié au manque d'études sur l'utilisation de matériaux de tampons locaux pour les serres dans les zones chaudes et arides. Il souligne également le besoin de développer une approche descriptive-analytique pour évaluer l'efficacité de différents matériaux naturels dans les systèmes de refroidissement par évaporation.

L'objectif est de collecter des données expérimentales sur la température, l'humidité et les débits d'air, tout en utilisant l'intelligence artificielle pour modéliser le comportement thermique de la serre équipée du système de refroidissement. L'objectif ultime est de concevoir une solution de refroidissement durable et abordable pour les maisons dans les zones chaudes et arides.

Références Bibliographiques

- [1] Dewerth, AF, & Jaska, RC (1958). Refroidissement De La Serre. Divers Publication/Texas Agricultural Experiment Station ; N° 163.
- [2] Abdalla, AM, & Narendran, R. (1990). Utilisation De L'énergie Eolienne Et Des Coussins Humides Pour Refroidir Par Evaporation Les Etables Des Vaches Laitières Dans Des Conditions Climatiques Chaudes Et Arides. AMA, Mécanisation Agricole En Asie, Afrique Et Amérique Latine, 21(4), 33-37.
- [3] Koca, RW, Hughes, WC Et Christianson, LL (1991). Tampons De Refroidissement Par Evaporation : Procédure De Test Et Evaluation. Ingénierie Appliquée A L'agriculture, 7(4), 485-490.
- [4] En Ligneal-Jamal, K. (1994). Refroidissement Des Serres Dans Les Pays Chauds. Dans Energy (Vol. 19, Numéro 11, Pp. 1187–1192). Elsevier BV.
- [5] Kang, WS, Kang, WS, Lee, GH, Oh, JH, Kim, IS Et Yoo, KC (1996). Développement D'un Système De Refroidissement Nocturne Pour Serre Utilisant De L'air Frais Et De L'eau Provenant D'une Mine De Charbon Abandonnée. Journal Coréen De L'agriculture Environnementale, 15(2), 223-231.
- [6] Liao, C., Singh, S. Et Wang, TS (1998). Caractérisation Des Performances Des Supports De Refroidissement Par Evaporation Alternatifs Dans Les Applications De Contrôle Thermique De L'environnement. Journal Des Sciences Et De La Santé Environnementales, Partie A, 33(7), 13911417.
- [7] Al-Massoum, A., Haffar, I., & Mahmoud Ahmed, H. (1998). Un Modèle De Similitude Pour Tester Les Tampons De Refroidissement Par Evaporation De Serre Dans Les Conditions Chaudes Et Arides Des Eau Dans Acta Horticulturae (Numéro 456, Pp. 329–338). Société Internationale Des Sciences Horticoles (Ishs).
- [8] Al-Sulaiman, F. (2002). Evaluation Des Performances Des Fibres Locales En Refroidissement Evaporatif. Dans Conversion Et Gestion De L'énergie (Vol. 43, Numéro 16, Pp. 2267–2273). Elsevier BV.
- [9] Kittas, CBTJA, Bartzanas, T., & Jaffrin, A. (2001). Refroidissement Par Evaporation Des Serres : Mesure Et Analyse Des Données. Actes De L'asae, 44(3), 683.
- [10] Kassem, A. M., Bahnassy, A. M., & Sharobeem, Y. F. (2005). L'effet Des Matériaux De Refroidissement Des Coussins Sur Le Contrôle Environnemental Des Serres. Revue Egyptienne De Recherche Agricole, 83(1), 361-371.
- [11] Ganguly, A., & Ghosh, S. (2007). Modélisation Et Analyse D'une Serre Floricole Ventilée En Eventail. Dans Energy And Buildings (Vol. 39, Numéro 10, Pp. 1092–1097). Elsevier BV.
- [12] Malli, A., Seyf, HR, Layeghi, M., Sharifian, S. Et Behraves, H. (2011). Étude Des Performances Des Tampons Cellulosiques De Refroidissement Par Evaporation. Conversion Et Gestion De L'énergie, 52(7), 2598-2603.

- [13] JAIN, JK Et HINDOLIYA, DA Performances Expérimentales De Nouveaux Matériaux De Coussins De Refroidissement Par Evaporation. *Villes Et Société Durables*, 2011, Vol. 1, N° 4, P. 252-256
- [14] López, A., Valera, DL, Molina-Aiz, FD Et Peña, A. (2012). Systèmes Pad-Fan Dans Les Serres Méditerranéennes : Détermination De L'installation Optimale Par Anémométrie Sonique. *Actes De L'asabe*, 55(3), 1077-1089
- [15] Helmy, MA, Eltawil, MA, Abo-Shieshaa, RR Et El-Zan, NM (2013). Améliorer Les Performances De Refroidissement Par Evaporation Du Système De Ventilateur-Pad En Utilisant Des Matériaux De Pad Alternatifs Et Un Film D'eau Sur Le Toit De La Serre. *Ingénierie Agricole Internationale : CIGR Journal*, 15(2), 173-187.
- [16] Bucklin, RA, Leary, JD, Mcconnell, D., & Wilkerson, EG (1993). Systèmes De Refroidissement Par Evaporation De Serre De Ventilateur Et De Garniture. *SIGE*, 2019, 6. [Http://Doi.Org/10.32473/Edis-Ae069-2019](http://doi.org/10.32473/Edis-Ae069-2019)
- [17] Dayioğlu, M. A., & Silleli, H. H. Sera Fan-Pad Soğutma Sisteminin Performans Analizi: Yata Sıcaklık Ve Bağlı Nem Değişimleri. *Journal Des Sciences Agricoles*, 21(1), 132-143.
- [18] Bucklin, RA, Leary, JD, Mcconnell, D., & Wilkerson, EG (1993). Systèmes De Refroidissement Par Evaporation De Serre De Ventilateur Et De Garniture. *SIGE*, 2019, 6.
- [19] Elmsaad, E., & Abdelnaser, O. (2015). Évaluation De L'effet De Nouveaux Matériaux Locaux De Coussins De Refroidissement Par Evaporation. *Journal Américain-Eurasien Des Sciences Agricoles Et Environnementales*, 15(1), 78-84.
- [20] Vala, K., Kumpavat, M., & Nema, A. (2016). Évaluation Comparative Des Performances Des Matériaux De Tampons Locaux De Refroidissement Par Evaporation Avec Des Tampons Commerciaux. *Int. J.Eng. Trends Technol*, 39, 198-203.
- [22] Doğramacı, PA, Et Al., Étude Expérimentale Du Potentiel Des Fibres D'eucalyptus Pour Le Refroidissement Par Evaporation. *Énergies Renouvelables*, 2019. 131 : P. 250-260.
- [22] Youssef, Gdm Et El-Ashmawy, Nouveau-Mexique (2017). Amélioration Du Macroclimat Des Serres Des Régions Chaudes Et Humides Par Système De Refroidissement Evaporatif Modifié. Dans *Misr Journal Of Agricultural Engineering* (Vol. 34, Numéro 4, Pp. 2385–2410). Conseil Présidentiel Spécialisé Egyptien Pour L'éducation Et La Recherche Scientifique.
- [23] AZIZ, Radhiyah Abd, ZAMRUD, Nurul Farahin, Et ROSLI, Nurrina. Comparaison De L'efficacité De Refroidissement Des Matériaux De Coussin De Refroidissement Pour Le Système De Refroidissement Par Evaporation. *Journal Des Systèmes Et Technologies De Fabrication Modernes*, 2018, Vol. 1, P. 61-68
- [24] Nada, SA, Fouda, A., Mahmoud, MA Et Elattar, HF (2019). Étude Expérimentale Des Performances Energétiques Et Exergétiques D'un Refroidisseur A Evaporation Directe Utilisant Un Nouveau Type De Tampon. Dans *Energy And Buildings*,(Vol 203,P 109449).Elsevier BV .

[25] Dođramacı, PA, & Aydın, D. (2020). Étude Expérimentale Comparative De Nouveaux Matériaux Organiques Pour Des Applications De Refroidissement Par Evaporation Directe Dans Un Climat Chaud Et Sec. Dans Journal Of Building Engineering (Vol. 30, P. 101240). Elsevier BV.

[26] Dođramacı, PA, & Aydın, D. (2020). Étude Expérimentale Comparative De Nouveaux Matériaux Organiques Pour Des Applications De Refroidissement Par Evaporation Directe Dans Un Climat Chaud Et Sec. Dans Journal Of Building Engineering (Vol. 30, P. 101240). Elsevier BV.

[27] Sellam, S.-H., Moumami, A., Mehdid, C.-E., Rouag, A., Benmachiche, A.-H., Melhegueg, M.-A., & Benchabane, A. (2022) . Évaluation Expérimentale Des Performances Des Fibres De Palmier Dattier Pour Un Refroidisseur A Evaporation Directe Fonctionnant En Climat Chaud Et Aride. Dans Études De Cas En Génie Thermique (Vol. 35, P. 102119). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102119>

[28] Mahmood, DMN, Et Aljubury, IMA (2022). Étude Expérimentale Des Performances D'un Système Hybride Photovoltaïque De Refroidissement Par Evaporation (PV/EC) Dans Des Conditions Arides. Dans Results In Engineering (Vol. 15, P. 100618). Elsevier BV.

Chapitre 3

PARTIE
EXPERIEMNTATLE

Chapitre 3 : Partie expérimentale

3.1. Introduction

Le désert représente 80% du territoire algérien, qui est la deuxième plus grande superficie désertique au monde. Par conséquent, l'agriculture sous serres en plastique est confrontée à divers problèmes pendant l'été en raison du climat extrêmement chaud et sec caractéristique des régions désertiques. Le refroidissement des serres en plastique dans la région de Ghardaïa est considéré comme l'un des nouveaux projets mis en œuvre dans ce contexte.

Dans ce chapitre, nous présenterons de manière simplifiée notre expérience de refroidissement par évaporation d'une serre en plastique à l'aide d'un ventilateur et d'un pad, ainsi qu'une brève explication des matériaux et dispositifs locaux utilisés, et enfin de la méthode de mesure. Nous aborderons les différentes étapes de notre étude, de la conception à la mise en œuvre, en mettant l'accent sur les caractéristiques spécifiques de notre approche. De plus, nous décrirons les matériaux et dispositifs locaux que nous avons utilisés pour adapter notre système de refroidissement aux conditions environnementales de la région de Ghardaïa, nous expliquerons la méthode de mesure que nous avons utilisée pour évaluer l'efficacité du système de refroidissement et analyser les performances thermiques de la serre.

Ce chapitre fournira une base solide pour la compréhension des méthodes et techniques utilisées dans notre étude, et jettera les bases des résultats et des discussions qui seront présentés par la suite en va finir par l'analyse des résultats obtenus sur notre technologie de refroidissement des serres avec une modélisation numérique de l'environnement de la serre étudiée.

3.2. Potentiel de la région

Le site d'étude choisi est Ghardaïa (Figure 3-1), situé en Algérie à 32,43° de latitude N et 3,45° de longitude E. L'expérimentation a été menée à l'URAER (Unité de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables). Les caractéristiques de cette région (Ghardaïa) sont :

- Emplacement 595Km au sud de la mer Méditerranée
- Altitude de 469 m au-dessus du niveau de la mer

- Taux de jours ensoleillés par an : 77%
- Moyenne quotidienne annuelle de l'irradiation solaire globale d'environ 7 kWh/m² sur les surfaces horizontales.

Les Figs.3-2 et 3-3 montrent la variation du rayonnement solaire global moyen mensuel et sur une période de 2016.

On constate que le flux solaire global a la même tendance de variation que la température ambiante. On observe que le pic de rayonnement moyen mensuel est enregistré en juin et juillet (6000W/m²) avec une température ambiante instantanée mensuelle maximale avoisinant les 42°C. Le rayonnement mensuel moyen le plus bas est de 2900W/m² avec une température ambiante mensuelle autour de 10°C en janvier et décembre. Le détail de la température ambiante des quatre saisons de la période 2016 détaillé dans les Fig.3-2 et 3-3.



Figure 3 - 1: L'emplacement de Ghardaïa.

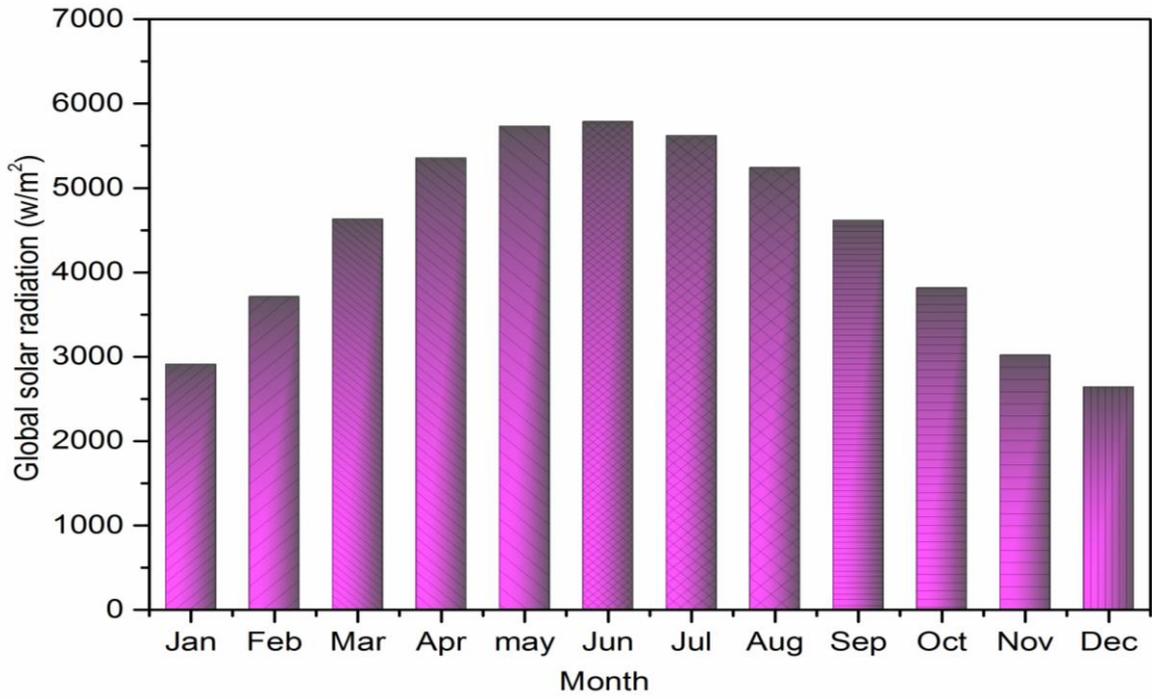


Figure 3 - 2: Evolution Température pour les quatre saisons [1]

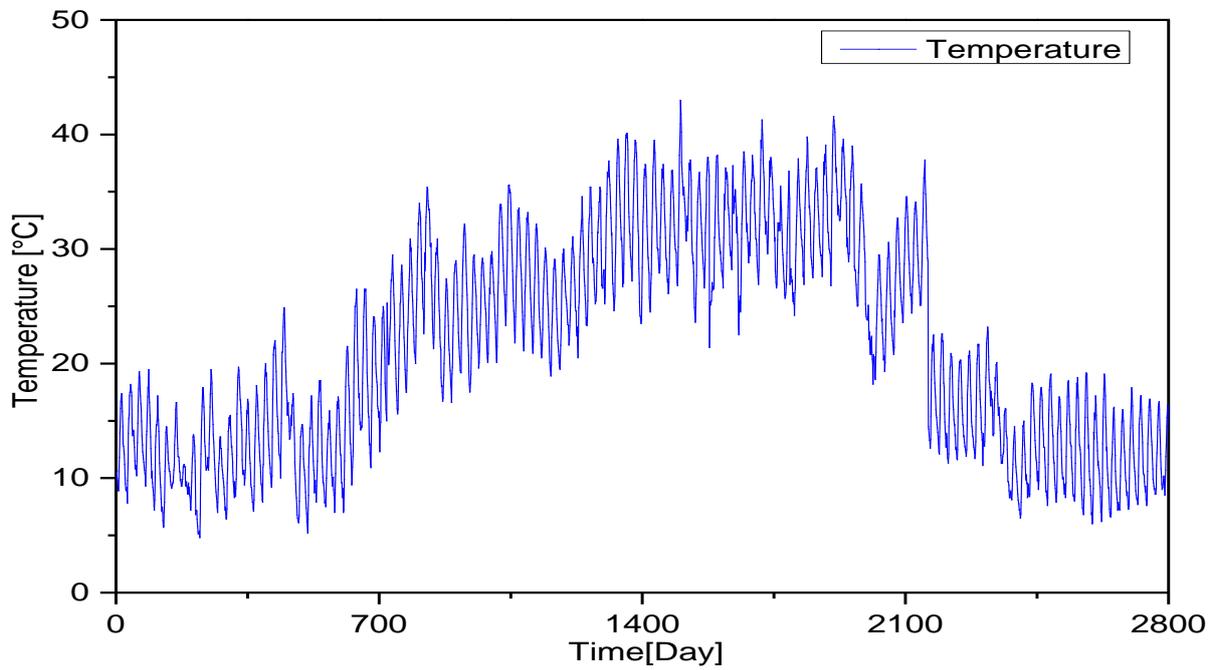


Figure 3 - 3: Variation de l'irradiation solaire globale mensuelle pour 2016 en Algérie [1-2]

3.3. Aperçu sur l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER)

L'URAER a été arrêtée en 1999, appartient au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER), et est située à 1 kilomètre de l'aéroport de Ghardaïa (figure3). L'URAER est une plateforme expérimentale dédiée aux différentes activités liées aux énergies renouvelables. Elle comporte deux divisions assurant la gestion des différentes activités. Ces divisions sont :

- La division Mini Centrales Solaires.
- La division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi Arides.

Chaque division dispose d'équipes de recherche travaillant au développement de différentes applications liées aux énergies renouvelables. Elles assurent également l'encadrement des étudiants universitaires master et doctorat qui veulent finaliser leurs travaux de fin d'études.



Figure 3 - 4: Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER) Ghardaïa.

3.4. Descriptions de la Serre

L'étude a été menée à l'URAER à Ghardaïa en Algérie, réputée pour son climat chaud et sec. La recherche est concentrée sur la réalisation d'un système de refroidissement dans la serre et l'amélioration des systèmes de contrôle de l'environnement. Dans notre étude, nous avons deux serres, une serre expérimentale et une serre témoin. Les deux serres sont de forme tunnel et sont couvertes de plastique. Elles ont des dimensions identiques, mesurant 200 cm de longueur, 100 cm de largeur et 80 cm de hauteur (Figure 3.5).

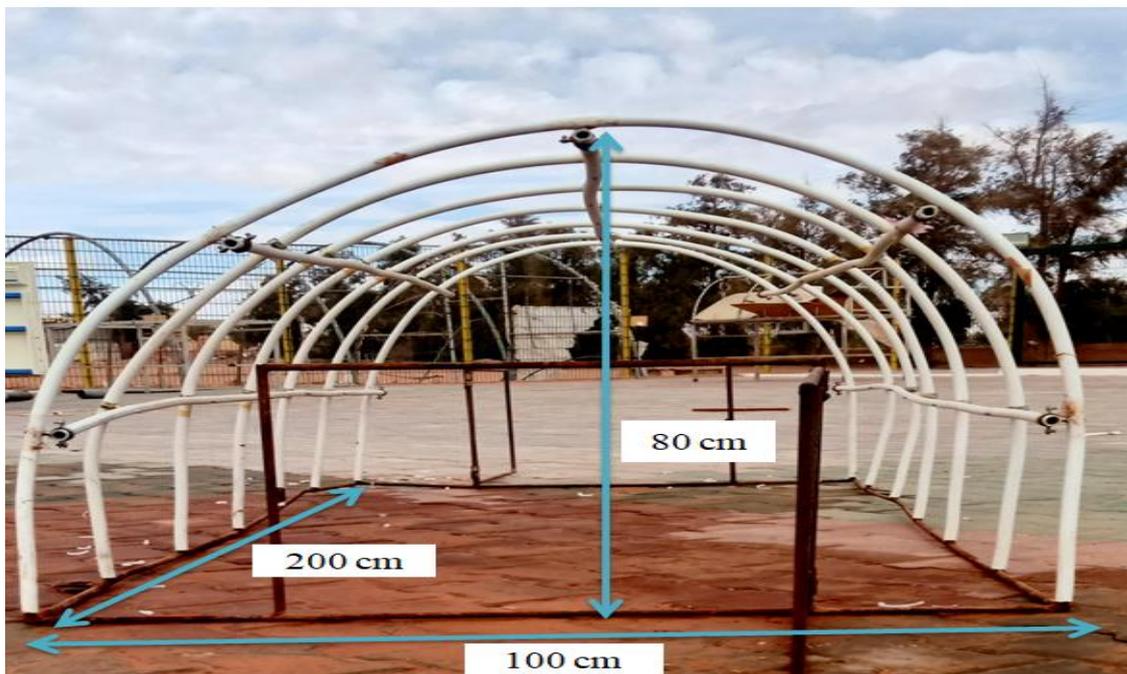


Figure 3 - 5: Dimensions identiques des serres.

La serre expérimentale est celle sur laquelle nous menons nos expériences et tests spécifiques, tandis que la serre témoin est utilisée comme point de référence pour comparer les résultats de la serre expérimentale. La figure suivante présente les deux serres (Figure 3.6).

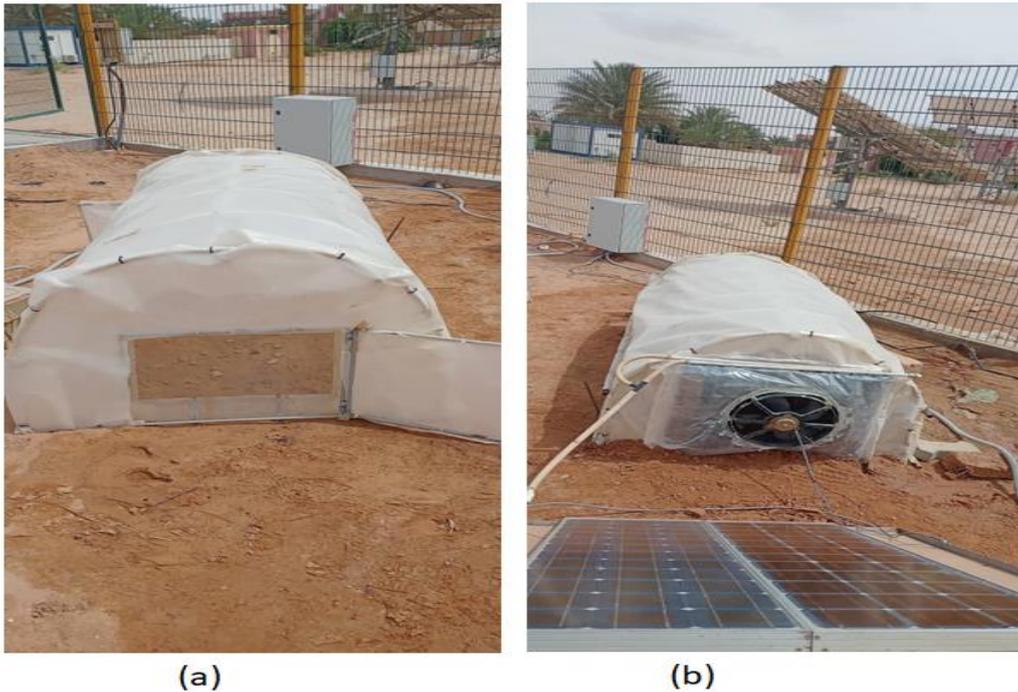


Figure 3 - 6: (a) la serre témoin, (b) la serre expérimentale

3.4.1. Emplacement de la serre

Les serres sont installées face à la direction du Sud (S), cela signifie qu'elles sont orientées vers le sud mais légèrement vers l'est du plein sud. Cela indique que l'entrée avant ou principale des serres est positionnée vers le sud tout en étant légèrement inclinée vers l'est.

3.4.4.1. Les cotés

Dans les deux côtés de nos serres, nous avons utilisé un système de ventilation manuelle naturelle. Ce système s'avère être une méthode efficace pour contrôler le flux d'air à l'intérieur de la serre. En incorporant des ouvertures réglables le long des côtés de la serre, il permet un contrôle manuel de la quantité de ventilation nécessaire. De plus, nous avons installé des mailles fines à l'intérieur des côtés de la serre, comme présenté dans la Figure III.6. Ces mailles fines sont conçues pour restreindre le passage des petits insectes tout en permettant à l'air de circuler librement.



Figure 3 - 7: (a) Ventilation Latérale, (b) mailles fines a).

La combinaison de la ventilation naturelle et des filtres anti-insectes assure une bonne circulation de l'air pour le contrôle de la température et de l'humidité dans la serre tout en offrant une barrière contre les parasites. Il aide à créer un environnement de croissance favorable pour les plantes tout en minimisant le risque d'infestations d'insectes.

3.4.4.2. La porte des serres

La serre témoin est équipée de deux portes munies de filtres anti-insectes à mailles fines, comme illustré dans la Figure 3.8.



Figure 3 - 8: Les portes de serre témoins.

Dans la serre expérimentale (Figure 3.9), nous avons placé notre système de refroidissement (le tampon (pad), le ventilateur) sur la porte postérieure, tandis que l'autre porte est également équipée d'un filtre à insectes en maille fine. La combinaison des coussinets sur la porte avant et du filtre anti-insectes sur la porte arrière permet de maintenir un environnement de croissance approprié tout en empêchant les parasites d'entrer.

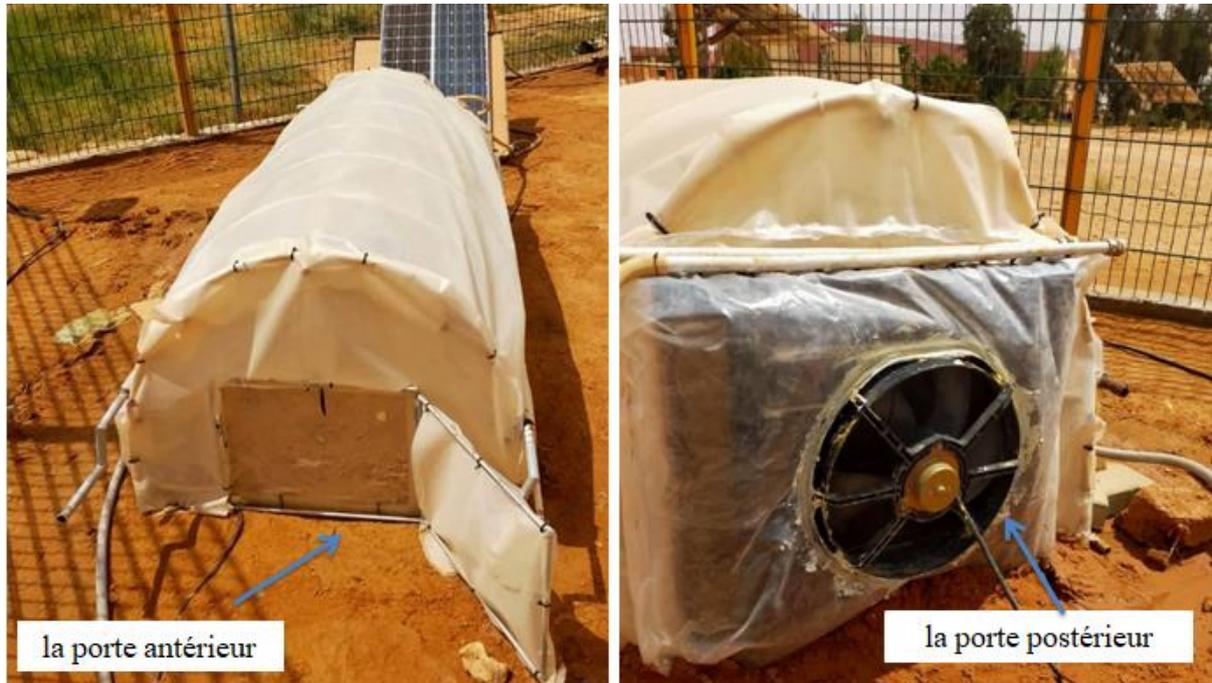


Figure 3 - 9: Les portes de serre expérimentale.

3.4.4.3.Emplacement du capteur

Pour surveiller le climat à l'intérieur des deux serres, nous avons placé sept capteurs DHT22 trois capteurs dans chaque serre (figure 3.10) et un capteur à l'extérieur. Le premier capteur est positionné à l'avant de la serre, le deuxième capteur est placé au milieu et le troisième capteur se trouve à l'arrière. Cette répartition stratégique des capteurs nous permet d'obtenir une représentation complète des conditions de température et d'humidité dans toute la serre. En collectant des données à différents endroits, nous sommes en mesure d'analyser les variations spatiales et de prendre des décisions éclairées pour ajuster le climat en conséquence



Figure 3 - 10: Emplacement du capteur dans les serres.

3.4.1. Le principe de fonctionnement

3.4.1.1. Pad système

Le système utilisé pour le refroidissement des serres repose sur l'utilisation d'un ventilateur et d'un tampon. Le ventilateur est stratégiquement installé pour favoriser la circulation de l'air et créer un mouvement constant à travers la serre. Cela permet de réduire les zones d'air stagnant et de maintenir une répartition uniforme de la température dans toute la serre.

Le tampon est un dispositif contenant un matériau spécifique qui est saturé en eau. Il est utilisé pour abaisser la température à l'intérieur de la serre. Le matériau poreux du tampon permet à l'eau de s'évaporer lorsqu'elle est en contact avec l'air chaud de la serre. Ce processus d'évaporation absorbe la chaleur de l'air, ce qui entraîne un refroidissement de l'environnement.

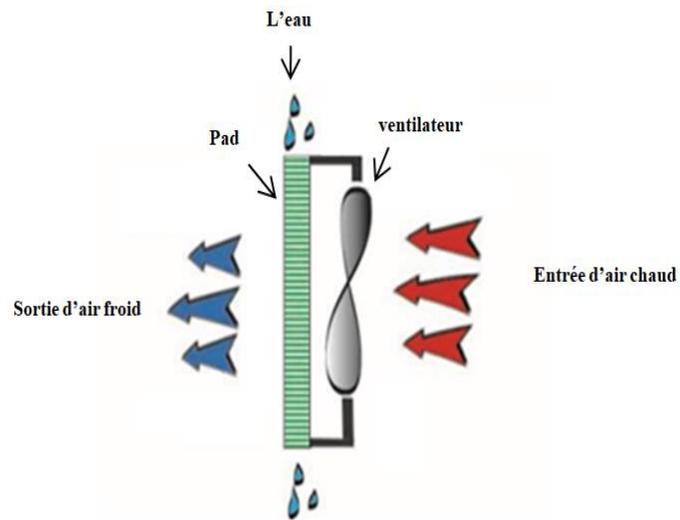


Figure 3 - 11: Principe de système de refroidissement

En combinant l'utilisation d'un ventilateur pour la circulation de l'air et d'un tampon pour le refroidissement, ce système assure un contrôle efficace de la température à l'intérieur de la serre, favorisant ainsi un environnement propice à la croissance saine des plantes.

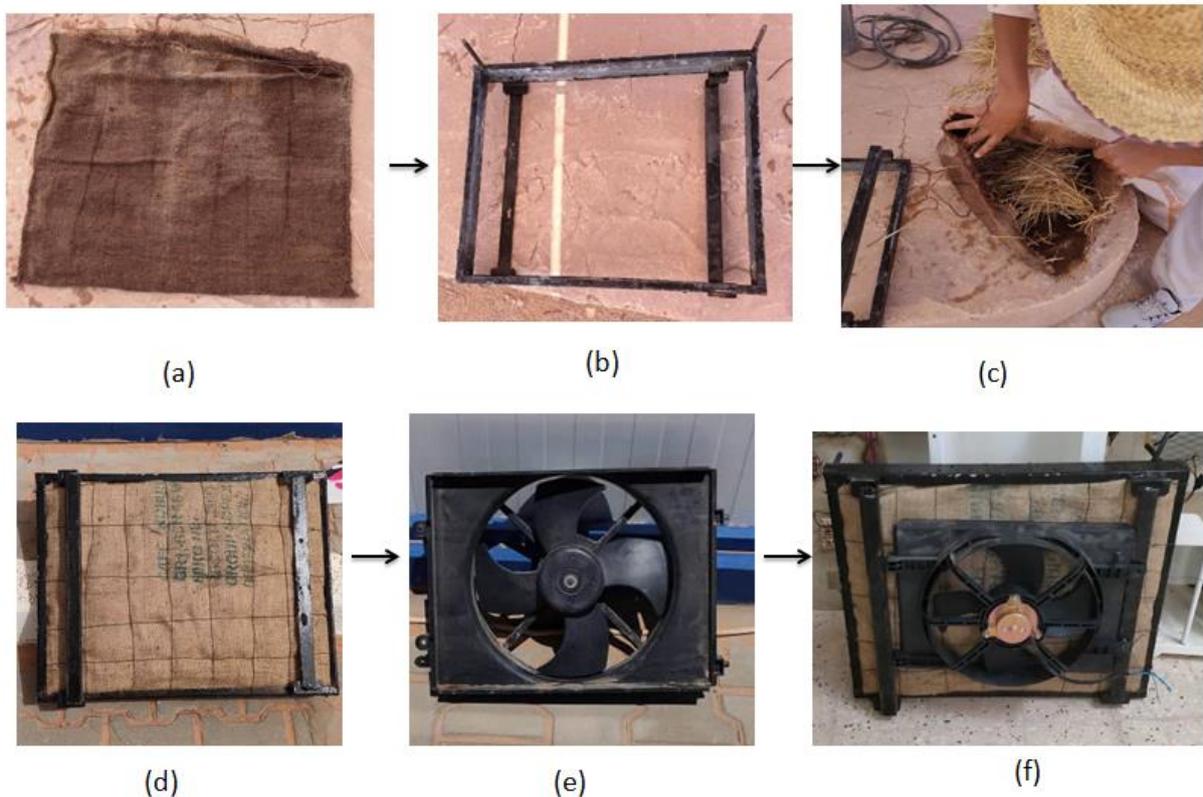


Figure 3 - 12: Etapes de réalisation de système pad

Notre tampon est fabriqué en toile de jute, comme indiqué dans la Figure 3.12(a), et il est placé à la porte arrière de la serre expérimentale. Il est fixé à l'aide d'un support rectangulaire, comme montré dans la Figure 3.12 (b), mesurant 60 cm de longueur, 50 cm de hauteur et 5 cm de largeur.

Nous remplissons tampon (pads) avec notre matériau de refroidissement choisi comme illustré dans la Figure 3-12(c), après mettons dans le support rectangulaire (Figure 3.12 (c)), La toile de jute est choisie pour sa capacité à retenir l'eau et à faciliter l'évaporation, contribuant ainsi au processus de refroidissement de l'air à l'intérieur de la serre. Le support rectangulaire assure la stabilité du tampon et le maintien en place pour qu'il puisse effectuer son rôle de manière efficace.

Concernant la ventilation, le ventilateur est positionné devant le pad. Le ventilateur utilisé dans ce système est un ventilateur de voiture à quatre pales Figure 3.12(e), choisi pour ses caractéristiques spécifiques et son aptitude au refroidissement des serres.

Pour obtenir un refroidissement efficace et rentable de la serre, des matériaux disponibles localement sont listés dans le Tableau 3-1.

Tableau 3 - 1: Caractéristiques des matériaux

Matériaux	Définition	Caractéristiques
<p>Paille</p> 	<p>Fait référence aux tiges séchées de diverses plantes céréalières, telles que le blé, le riz ou l'orge.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Légère.- Propriétés isolantes modérées.- Rentabilité.
<p>Feuilles de palmier</p> 	<p>Feuilles de palmiers utilisées pour diverses tâches</p>	<ul style="list-style-type: none">- Poids léger.- Naturel et durable.- Flexibilité.- Respirant.- Bonnes qualités thermiques

<p>Laine</p> 	<p>Fibre textile naturelle dérivée de la toison des animaux</p>	<ul style="list-style-type: none">- Excellente isolation thermique.- Durabilité.- Douceur et confort.- Respirabilité.
--	---	--

Ces matériaux ont été soigneusement sélectionnés, compte tenu des caractéristiques de Ghardaïa en tant que région pastorale riche en ressources et facile d'accès.

3.4.1.2. Humidification de tampon

Notre tampon doit être humidifié tout le temps, pour cette opération il faut que le robinet soit ouvert ajusté en fonction des calculs acquis du compteur d'eau afin de maintenir le niveau d'humidité souhaité. Pour cela en a utilisé un débitmètre (YF-S201).

3.4.1.3.1. La modélisation et la collecte des données

Les systèmes de refroidissement par évaporation directe incorporent des phénomènes complexes d'échange de chaleur et de masse Figure III.8 Dans cette section, un modèle mathématique est présenté, afin de caractériser la performance thermique et énergétique de la nouvelle plaque de refroidissement.

3.4.1.4. L'efficacité du tampon

L'efficacité de saturation est donnée par l'équation suivante (ASHRAE 2015) [3]:

$$\eta = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 - T'_{eau}} \right) \cdot 100\%$$

Où T_1 est la température d'entrée du thermomètre sec, T_2 est la température de sortie du thermomètre sec et T'_{eau} est la température d'entrée du thermomètre mouillé

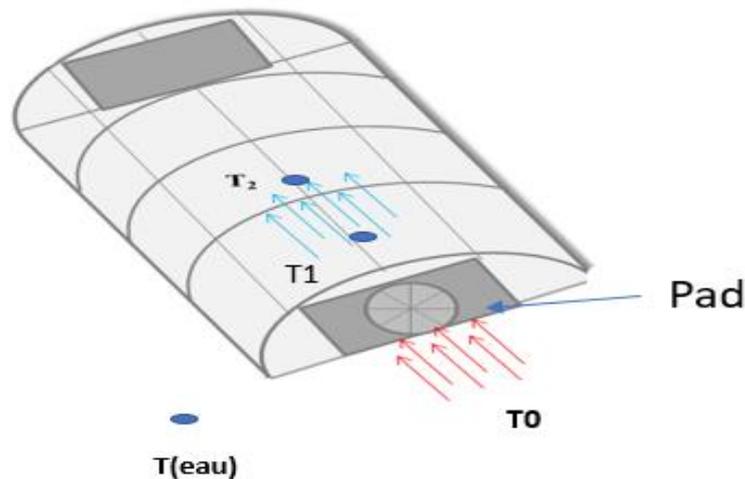


Figure 3 - 13 : Positionnement des thermocouples dans le prototype de la serre développée.

3.5. Le générateur photovoltaïque

La conversion des rayons solaires en énergie électrique dans un système photovoltaïque repose sur la cellule solaire photovoltaïque (PV). Cette cellule est composée d'une jonction PN en silicium, un matériau semi-conducteur. Plusieurs cellules PV sont assemblées pour former un module PV, ou panneau PV, en les connectant en série ou en parallèle afin de fournir la tension et le courant souhaités. L'ensemble des modules, organisés en série ou en parallèle, constitue un champ photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque (GPV) peut être constitué d'un seul module PV ou de plusieurs modules PV assemblés. Dans un système "string", le GPV est composé de strings, qui sont des ensembles de modules PV montés en série ou en parallèle, et une diode de protection "by-pass" est connectée à chaque string.

Dans notre système nous avons utilisé deux panneaux solaires PV monocristallin monté en parallèle ces caractéristique sont montré par le tableau suivant :

Tableau 3 - 2: Les caractéristique de panneau solaire utilisé

Isc	Voc	Impp	Vmpp
5.8A.	22,25V.	5.40 A.	18.4V.

3.6. Système de commandes

La carte Arduino (Figure 3.1) joue en effet un rôle essentiel dans la gestion et le contrôle de la serre. Elle permet aux utilisateurs d'obtenir des informations sur le climat de la serre et de donner des ordres aux relais interrupteurs qui contrôlent les actionneurs, tels que le ventilateur, en utilisant une tension pour maintenir le ventilateur ouvert.

La carte Arduino est une petite carte électronique équipée d'un microcontrôleur qui permet de la programmer et de commander des actionneurs.

Dans notre étude, nous avons utilisé une carte Arduino de type Méga 2560 et un bloc relais. Voici les caractéristiques techniques de cette carte :

- Tension d'alimentation interne : 5V
- Courant maximum sur sortie 3,3V : 50mA
- Dimensions : 68,6mm x 53,3mm
- Entrées/sorties numériques : 14, dont 6 sorties PWM
- Entrées analogiques : 6

LA Figure 3-15 montre Le schéma synoptique du système réalisé.

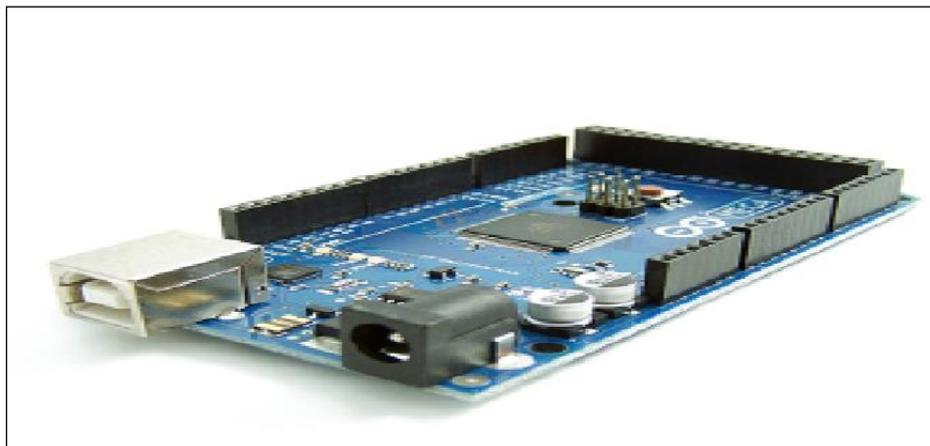


Figure 3 - 14: Carte Arduino.

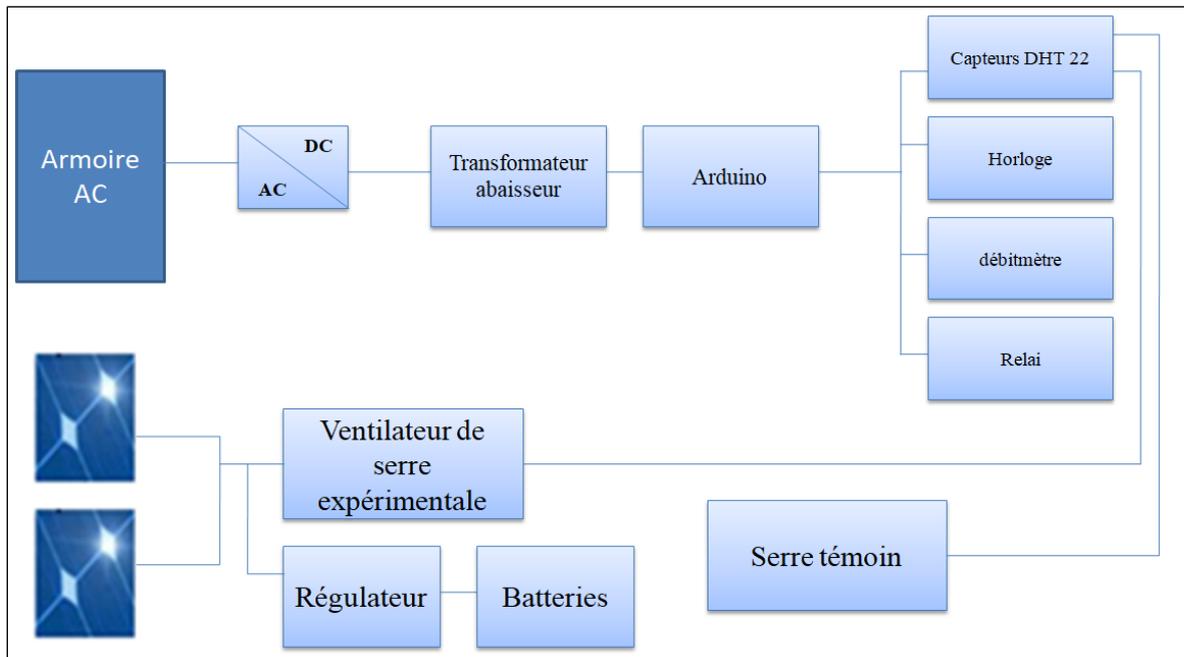


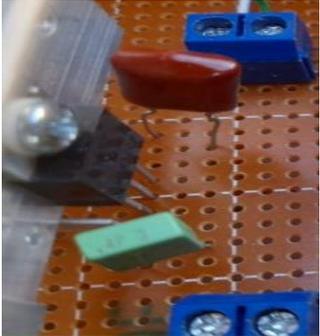
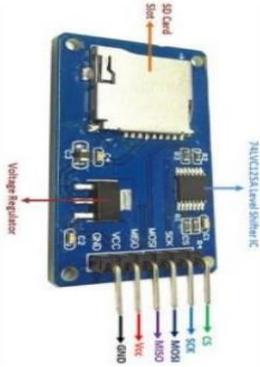
Figure 3 - 15: Schéma synoptique du système.

Premièrement le générateur PV alimente notre ventilateur et stocker l'énergie excédentaire dans des batteries. Les capteurs DHT mesurent la température à l'intérieur des deux serres ainsi que la température extérieure, et ces données sont transmises à une carte Arduino. Lorsque la température augmente dans la serre expérimentale et que le pad est déjà humide, le ventilateur s'allume, ce qui permet de refroidir la serre.

3.7.Appareils de mesure Instruments

Tableau 3 - 3: Les composants utilisés.

Les composants	Caractérisation technique	Figure
Horloge temps réels	Alimentation : 4,5V à 5,5V. Consommation : 1,5 mA type (0,5 mA en mode batterie de secours) Interface: I2C Heure: Minutes: secondes AM/PM Jour mois, Date-Anne. 56 octets de mémoire Non volatile disponibles pour l'utilisateur.	

	<p>taille: 2.9cm x 2.6cm - 1.14 pouces x 1.02 pouces</p>	
<p>Le Module à relais Interrupteurs qui se commandent avec une tension</p>	<p>Module avec protection de courant de diode, temps de réponse court. Taille de circuit imprimé: 17mm x 43.3m</p>	
<p>Régulateur de tension positive à 3 bornes 7824 + 2 Condensateur en céramique 100nF et 330Nf.</p>	<p>Courant de sortie supérieur à 1,5 A. Tension de sortie de 24V. Protection thermique interne contre les surcharges Protection contre le court-circuit Transition de sortie sûre -Compensation de zone Minimum Lot-to- Variations de lot pour des performances et un fonctionnement fiables de l'appareil °CT stg Température de stockage 40~150.</p>	
<p>Micro SD Carte Adapter Module</p>	<p>Operating Voltage: 4.5V - 5.5V DC Current Requirement: 0.2-200 mA 3.3 V on-board Voltage Regulator Supports FAT file system Supports micro SD up to 2GB Supports Micro SDHC up to 32Gb</p>	

<p>Capteur de mesure du débit d'eau</p>	<p>Tension de fonctionnement : 4,5 V à 18 V CC</p> <p>Type de sortie : 5V TTL</p> <p>Consommation de courant maximale : 15 mA à 5 V</p> <p>Le capteur utilisé : Effet Hall</p> <p>Débit de travail : 1 à 30 Litres/Minute</p> <p>Précision : $\pm 10\%$</p> <p>Impulsions par litre : 450</p> <p>Cycle de service de sortie : 50 % $\pm 10\%$</p> <p>Pression d'eau maximale : 2,0 MPa</p> <p>Caractéristiques des impulsions de débit : Fréquence (Hz) = 7,5 * Débit (L/min)</p>	
--	---	---

3.8.Acquisition et traitement des données

Dans notre étude, un enregistreur de température à 12 canaux est utilisé pour acquérir et traiter les données. Il est connecté à un ordinateur et utilise le logiciel Excel pour l'enregistrement des données. La figure suivante montre le schéma de fonctionnement de système d'enregistrement des données

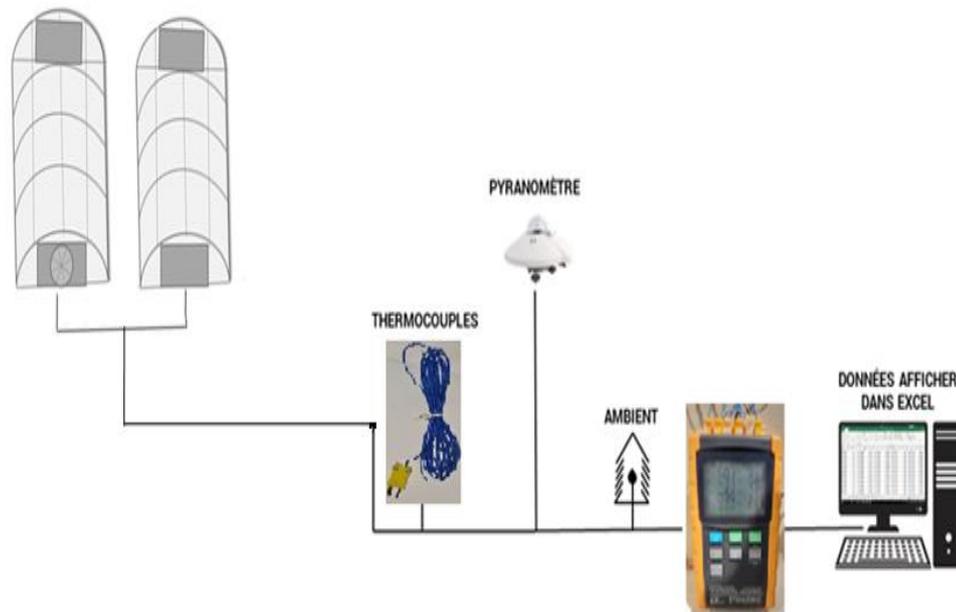


Figure 3 - 16: System d'acquisition de données

3.8.1. Rayonnement solaire

Une station radiométrique se compose de deux parties distinctes. La première partie, fixe, comprend un pyromètre de type EKO qui mesure le rayonnement solaire global sur un plan horizontal, ainsi qu'un pyromètre différentiel de type EPPLEY qui mesure l'irradiance sur un plan incliné de 32° , orienté vers le sud. La seconde partie, mobile, est équipée d'un pyréliomètre pointant vers le disque solaire pour mesurer le rayonnement direct, ainsi que d'un



Figure 3 - 17: Photographie des Appareillages de mesures de rayonnement

pyromètre de type EKO avec une boule pare-soleil pour mesurer l'éclairement diffus sur un plan horizontal.

3.8.2. Modélisation du comportement thermique des prototype de serre tunnel par la méthode de réseaux de neurones

Les valeurs instantanées quotidiennes des données de température, d'humidité relative, ont été prises de la URAER pour une période d'étude de deux mois. L'étude implique l'utilisation de données météorologiques comprenant divers paramètres tels que la latitude, la longitude, l'altitude et les relevés quotidiens de la température maximale et minimale, de l'humidité relative, de la pression de surface, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire global. Les données ont été collectées et prétraitées à l'aide du tableur Microsoft. L'étude a été réalisée en suivant plusieurs étapes détaillées ci-dessous :

Le modèle Feed for back propagation network (FFBPN) a été utilisée notre cas, qui repose sur deux voies d'itérations [4]. La première comprend le calcul par étapes vers l'avant des poids d'entrée tandis que la deuxième voie est le calcul du pas en arrière pour la mise à jour des poids et les erreurs de calcul. Les données d'entraînement ont été n : 70 % des données collectées ont été utilisées pour la formation du modèle (apprentissage), alors que 30 % des données sont réparties également pour les tests et validation, respectivement. Deuxièmement, le modèle a été formé sur la base de l'équation (1) jusqu'à ce que les critères soient remplis :

Deuxièmement, le modèle a été formé sur la base de l'équation (1) jusqu'à ce que les critères soient remplis :

$$x_k = \sum_1^n w_{ki} x_i \dots\dots\dots 4.1$$

Où x_k est le nouveau variable, x_i variable initia et w_{ki} valeur du lien de poids du neurone/variable. La fonction d'activation entre la couche d'entrée et la couche cachée était comme l'indique l'équation (2).

$$f(x) = x \dots\dots\dots 4.2$$

MATLAB 2020 a été utilisé pour test le modèle (FFBPN). Au cours de l'étape de formation

Le modèle FFBPN l'apprentissage est formé à l'aide des données de mesures disponibles entrées, utilisant l'algorithme de rétro propagation de Levenberg-Marquardt (LM) [5].

Une fois la formation du modèle terminée, 15 % des données ont été utilisées pour valider le modèle formé lors de l'étape de validation.

Une fois la précision atteinte, le modèle a été autorisé pour la phase de test et testé avec les 15 % restants des ensembles de données, et les résultats se sont avérés précis avec une valeur R^2 proche de 1,0.

Le réseau se compose de trois couches, à savoir la couche d'entrée, la couche cachée et la couche de sortie. La couche d'entrée reçoit les signaux d'entrée de l'autre source ; le rôle de la couche cachée est de transformer les signaux en quelque chose que le signal de sortie peut utiliser d'une manière ou d'une autre. L'architecture de réseau neuronal proposée avec les présentée à la figure 4.4

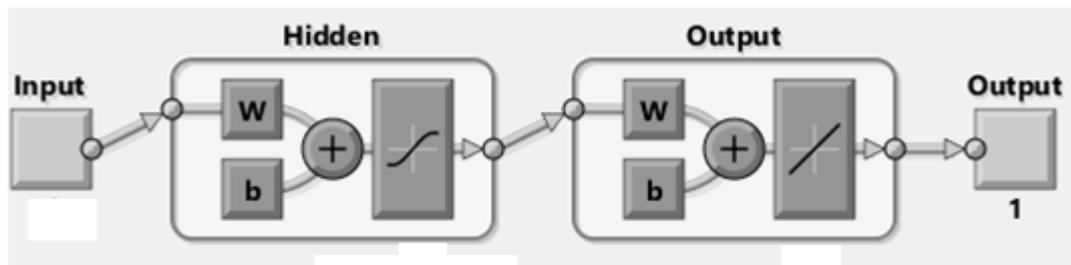


Figure 3-18: Evolution de la régression pour le cas apprentissage test, validation et globale du modelé ANN

Cette architecture neuronale est également appelée perceptron multicouche. Les perceptrons multicouches standard sont capables d'approximer n'importe quelle fonction quantifiable avec le taux de précision souhaité [6].

3.9. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté en détail notre système de refroidissement par évaporation (système de fan-pad) ainsi que les étapes de sa réalisation. Nous avons choisi trois types de tampons (pads) locaux : la paille, les feuilles de palmier et la laine.

Pour notre expérience, nous avons opté pour un système qui utilise un générateur photovoltaïque (PV) pour alimenter un ventilateur, tout en stockant l'énergie excédentaire dans des batteries pour une utilisation pendant la nuit.

Lorsque la température augmente dans la serre expérimentale et que le pad est déjà humidifié, la carte Arduino envoie un signal pour activer le ventilateur. Cela permet de refroidir la serre en faisant circuler l'air et en utilisant l'évaporation de l'eau provenant du pad humide pour abaisser la température. L'utilisation d'outils d'intelligence artificielle, tels qu'un réseau de neurones, combinée à l'analyse de données collectées sur une période d'environ un mois, nous a permis de prédire la température interne dans la serre. Grâce à l'intelligence artificielle, nous avons pu exploiter ces données pour identifier des modèles, des tendances et des corrélations entre les variables environnementales et la température interne. Ces informations ont été utilisées pour entraîner le réseau de neurones, ce qui nous a permis d'obtenir des prédictions précises sur la température future dans la serre. Ces prédictions peuvent être extrêmement utiles pour la gestion et le contrôle du climat dans la serre, permettant ainsi d'optimiser les conditions de croissance des plantes et d'ajuster les paramètres en conséquence. Dans le prochain chapitre, on va présenter les résultats de cette l'expérience.

Références bibliographique

- [1] Djemoui Lalmi, A.Benseddik, H.Bensaha, M. T. Bouzaher, T.Arrif , M. Guermoui & A. Rabehi , Evaluation and Estimation of Inside Greenhouse Temperature Numerical Study with Thermal and Optical Aspect :March 2019, Doi.org/10.1080/01430750.2019.1594369.
- [2] Djemoui Lalmi , H.Bensaha , A.Benseddik, A. Rabehi , M. Guermoui &M. T. Bouzaher , Comparative study of geometrical configuration at the thermal performances of an agricultural greenhouse ,e3s web of conferences :DOI: 10.1051/e3sconf/20186100003
- [3] ASHRAE. 2015. ASHRAE Standard 133-2015: Method of Testing Direct Evaporative Air Coolers
- [4] Moayedi, H.; Aghel, B.; Vaferi, B.; Foong, L.K.; Bui, D.T. The feasibility of Levenberg–Marquardt algorithm combined with imperialist competitive computational method predicting drag reduction in crude oil pipelines. *J. Pet. Sci. Eng.* 2020, 185, 106634.
- [5] Basha, S.N.; Rao, P.S. A Simulated Model for Assesing the Line Condition of Onshore Pipelines. In *Proceedings of the MATEC Web of Conferences*, Perak, Malaysia, 18–19 September 2018.
- [6] Abohorlu Doğramacı, P., S. Riffat, G. Gan, and D. Aydın. 2019. “Experimental Study of the Potential of Eucalyptus Fibres for Evaporative Cooling.” *Renewable Energy* 131: 250–260. doi:10.1016/j. renene.2018.07.005

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 4 : Resultats et discussions

4.1.Introduction

Ce chapitre de mémoire présente en détail les résultats obtenus au cours de trois campagnes expérimentales menées dans des conditions météorologiques variables de la région de Ghardaïa. Chacune de ces campagnes a été conçue pour évaluer les performances thermiques de prototype de serre tunnel équipé par un système de refroidissement par évaporation. Différents matériaux naturels sont utilisés comme nouveau matériau de refroidissement par évaporation. La première partie de ce chapitre se focalise sur l'étude de la performance de la paille en tant que matériau de refroidissement. Les résultats de cette partie mettent en évidence les avantages et les limites de l'utilisation de la paille dans ce contexte spécifique. Dans la deuxième partie, nous nous concentrons sur les essais réalisés avec de la laine, explorant ainsi une autre approche pour le refroidissement des serres. Les résultats de cette étude permettent de mieux comprendre l'efficacité et les caractéristiques de la laine en tant que matériau de refroidissement. Enfin, la troisième partie de ce chapitre est entièrement dédiée à présenter les résultats obtenus par l'utilisation de réseaux de neurones pour la prédiction des conditions météorologiques.

Cette partie de la recherche offre une perspective unique sur l'utilisation de ressources naturelles pour le refroidissement des serres. En combinant ces trois parties, cette étude fournit une analyse approfondie des différentes approches de refroidissement utilisées et de leur efficacité respective dans des conditions météorologiques variables.

4.2.Périodes de test

La collecte de données a été effectuée selon la méthode suivante : chaque matériau a été placé pendant une période de quatre jours, et des mesures ont été prises quotidiennement. Pour la paille, les tests ont été réalisés du 17 au 22 mai. Cependant, en raison des fluctuations météorologiques, seule une partie de cette période a été prise en compte. Ensuite, la paille a été remplacée par de la laine, et les tests avec ce matériau ont eu lieu du 25 au 27 mai. Enfin, les fibres de palmier dattier ont été utilisées pour les tests de refroidissement du 29 au 30 mai.

Pendant les tests expérimentaux, des mesures précises ont été prises pour maintenir un débit d'air constant de 5,5 m/s et un débit d'eau constant de 0,8 l/min. Afin de garantir une humidification adéquate du matériau, la vanne d'eau a été activée et maintenue en fonctionnement tout au long de la journée. Tous les paramètres, tels que le débit d'air, le débit d'eau et d'autres mesures pertinentes, ont été enregistrés à l'aide d'une carte Arduino pour une collecte de données précise. Cela permet d'assurer une cohérence et une fiabilité des résultats obtenus.

4.3. Analyse des performances

Nous avons effectué des tests sur trois matériaux à différentes périodes. La première expérience a été réalisée en utilisant le matériau de paille. Les résultats, présentés dans la figure 4.1, montrent les variations de la température de l'air à l'intérieur de la serre (T_g), avec et sans l'utilisation du système, sur une période représentative allant du 17 mai au 22 mai 2023. Le graphique met en évidence les différences spécifiques de température entre les deux conditions. L'analyse de la figure révèle clairement que l'utilisation du coussin en paille limite efficacement la température maximale à l'intérieur de la serre à 27°C, même pendant les périodes d'ensoleillement intense. En revanche, la serre sans système atteint des températures maximales plus élevées.

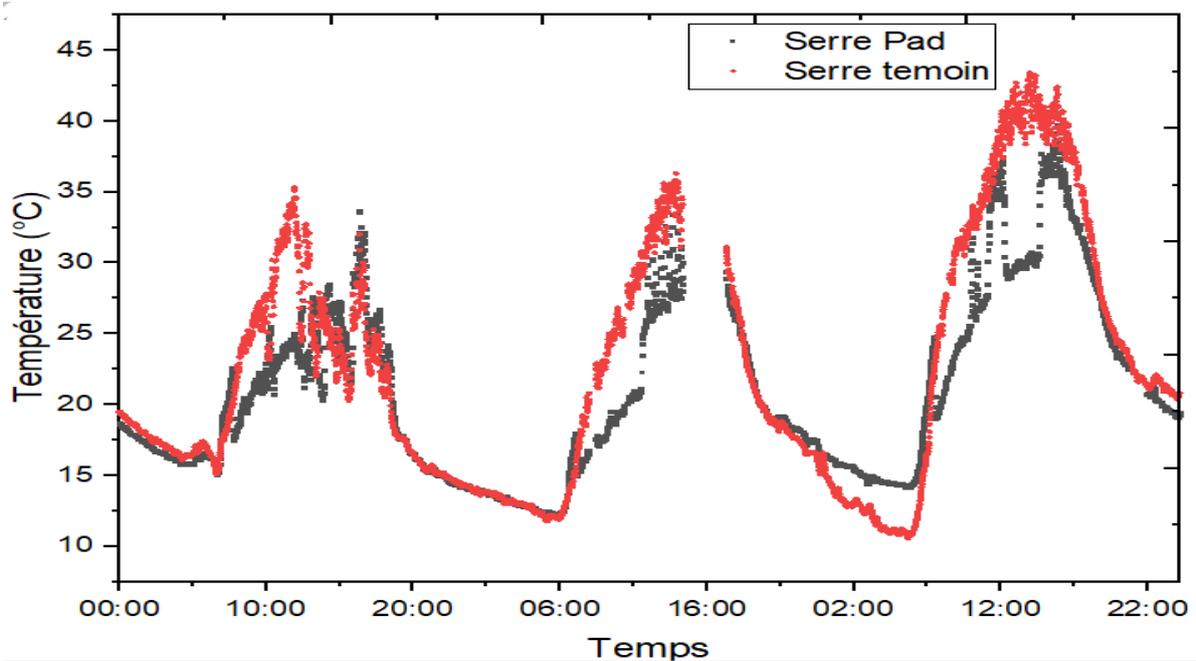


Figure 4 - 1: Variation des températures (T_g) dans les deux serres pendant les jours du 17 au 22 mai 2023, avec l'utilisation de pailles

La figure 4-2 présente les résultats de l'éclairement, la température ambiante et l'humidité relative de l'air dans la même période de notre test :

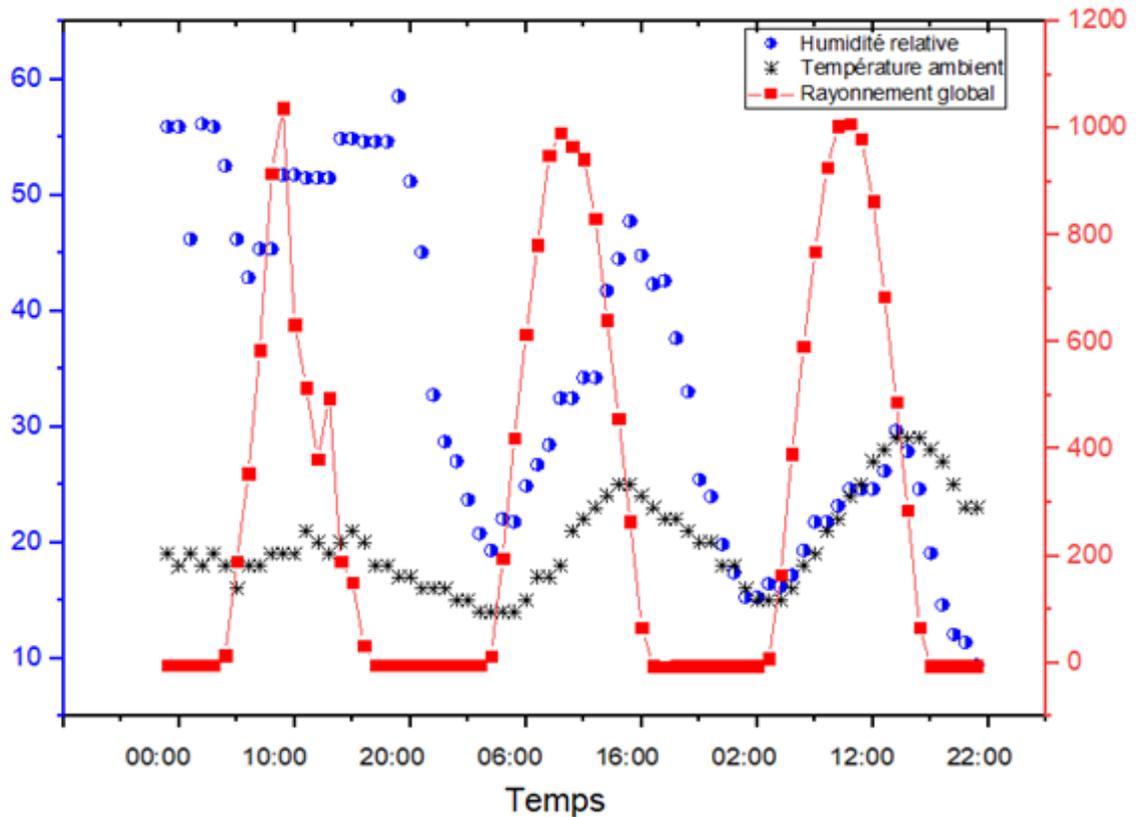


Figure 4 - 2: Evolution de la température ambiante, humidité et rayonnement dans les jours d'expérience cas de paille.

En voie que l'éclairement dans les journées d'expérience est fort, l'observation des résultats montre que lorsque le rayonnement augmente, la température augmente également. Cependant, on constate une diminution de l'humidité dans le même temps.

Cette comparaison met en évidence la performance supérieure du système proposé pour maintenir des températures plus basses à l'intérieur de la serre équipée du système.

Les résultats démontrent clairement que le système contribue à maintenir des températures plus fraîches et plus favorables par rapport à la serre sans système. Cela souligne

l'efficacité du système dans la régulation thermique de la serre et confirme son avantage en termes de refroidissement.

La deuxième expérience avait pour objectif d'évaluer les performances de refroidissement de la laine dans un prototype d'une serre tunnel. Cependant, les résultats obtenus, présentés dans la figure 4.3, indiquent que le matériau en laine n'a pas réussi à atteindre cet objectif. L'expérience consistait à comparer la température à l'intérieur de la serre avec et sans l'utilisation du système de refroidissement à base de laine. De manière surprenante, nous avons constaté que la température à l'intérieur de la serre avec le système était légèrement plus froide le matin et légèrement plus chaude la nuit que la température dans la serre sans le système. Ces résultats suggèrent que la présence de la laine n'a pas eu d'impact significatif sur la réduction de la température à l'intérieur de la serre par rapport à la température ambiante.

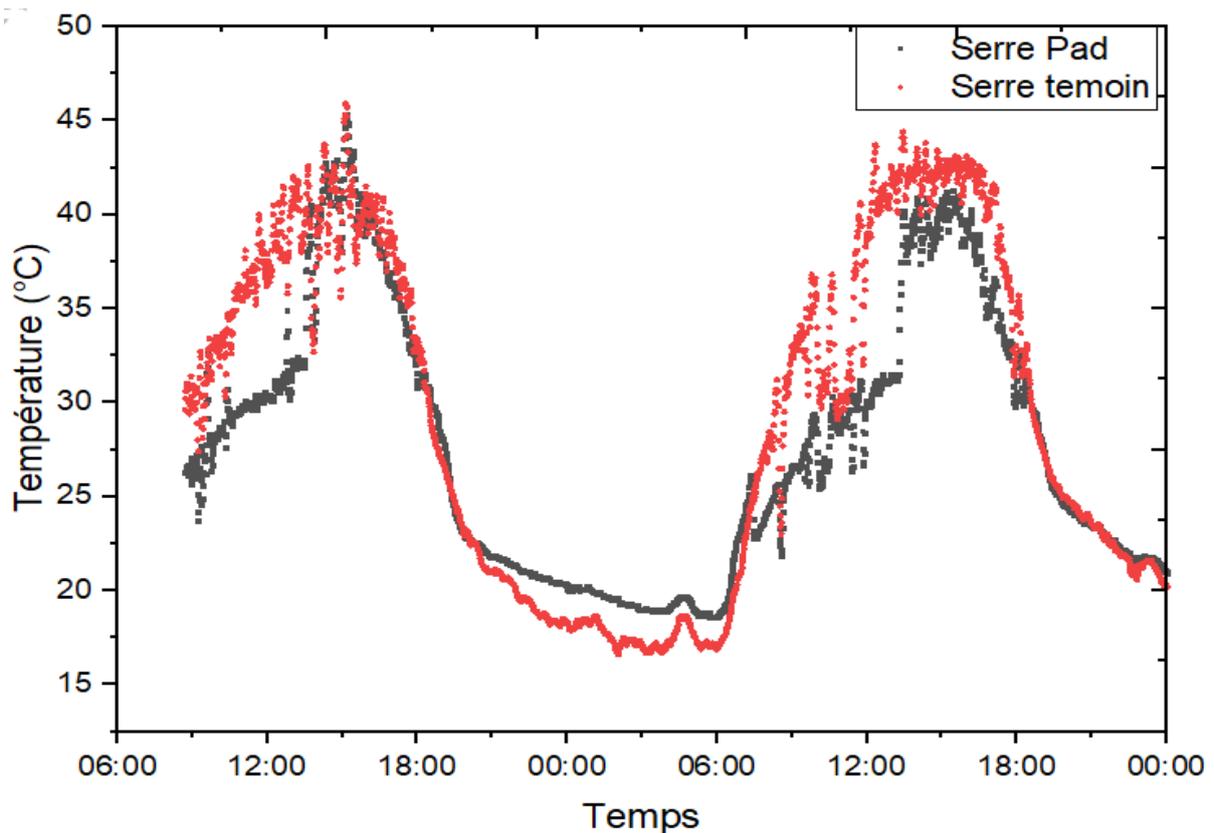


Figure 4 - 3: Variation des températures (T_g) dans les deux serres pendant les jours du 25 au 26 mai 2023, avec l'utilisation de la laine

La figure 4.4 montre les conditions climatiques dans le jour de teste de laine :

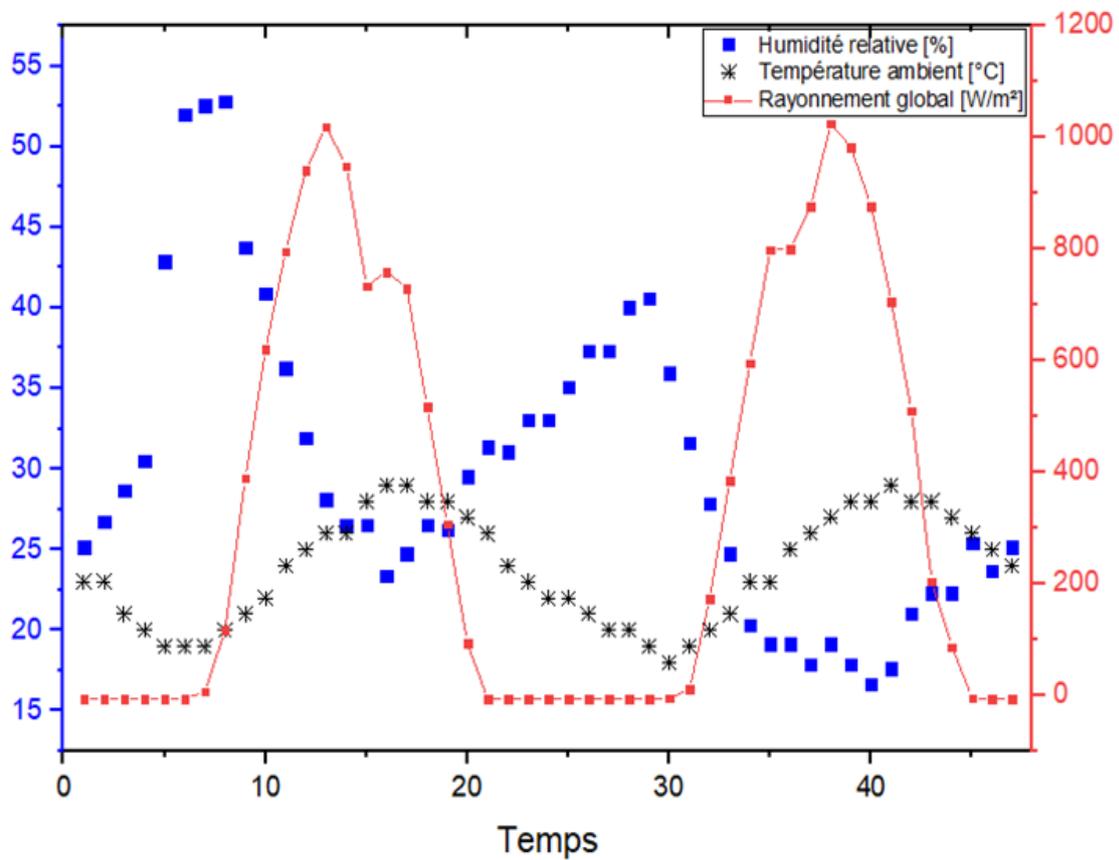


Figure 4 - 4: Les conditions climatiques dans le jour de teste de laine

Ces résultats mettent en évidence le fait que le matériau non tissé utilisé dans cette expérience n'a pas réussi à refroidir efficacement la serre. La variation de température entre la serre avec le système de refroidissement à base de laine et la serre sans le système n'était pas significative, ce qui indique un manque de capacités de refroidissement suffisantes.

La troisième expérience avait pour objectif d'évaluer les performances de refroidissement du matériau des fibres de palmier dattier dans un environnement de serre. Les résultats obtenus, comme illustré dans la figure 4.5, ont révélé une amélioration significative de l'efficacité de refroidissement des fibres de palmier dattier. Dans le cadre de cette expérience, nous avons comparé la température à l'intérieur de deux serres : l'une équipée d'un système de refroidissement à base de fibres de palmier dattier et l'autre sans aucun système de refroidissement. De manière remarquable, une différence de température notable de 10°C a été observée entre les deux configurations. La serre sans le système de refroidissement a enregistré une température élevée de 45°C, tandis que la serre avec le système de refroidissement en fibres de palmier dattier a maintenu une température de 32,5°C.

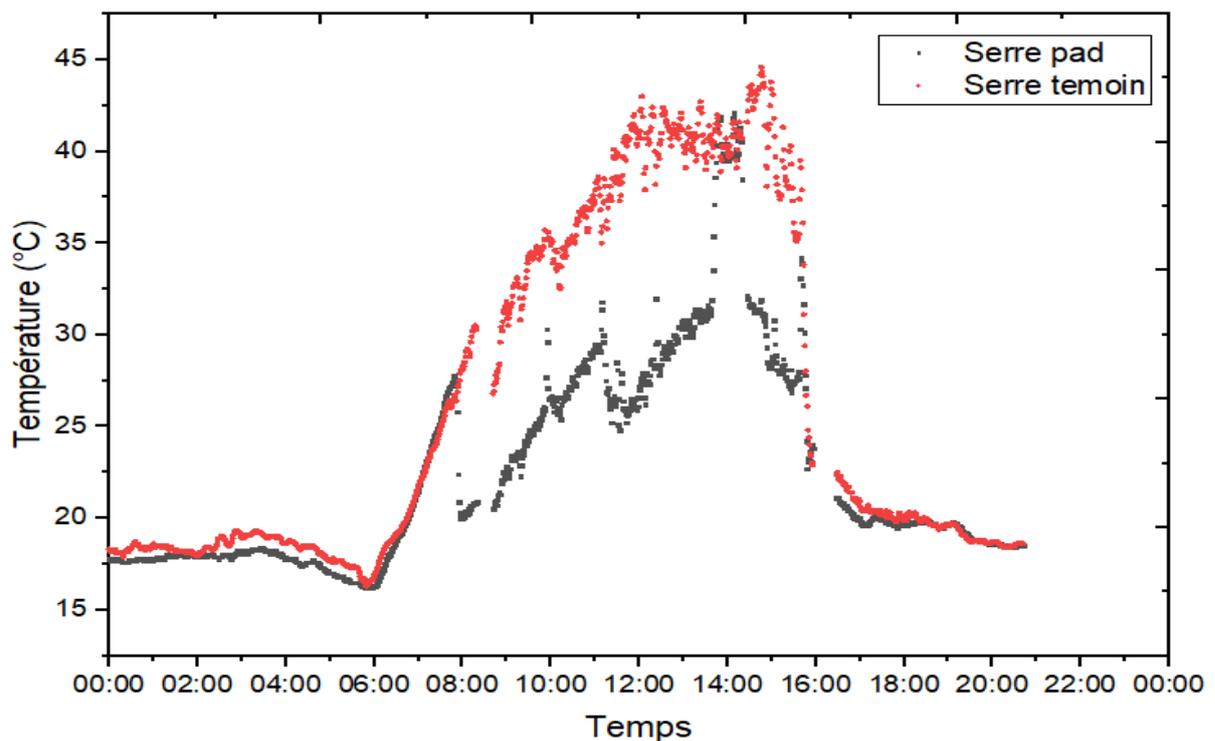
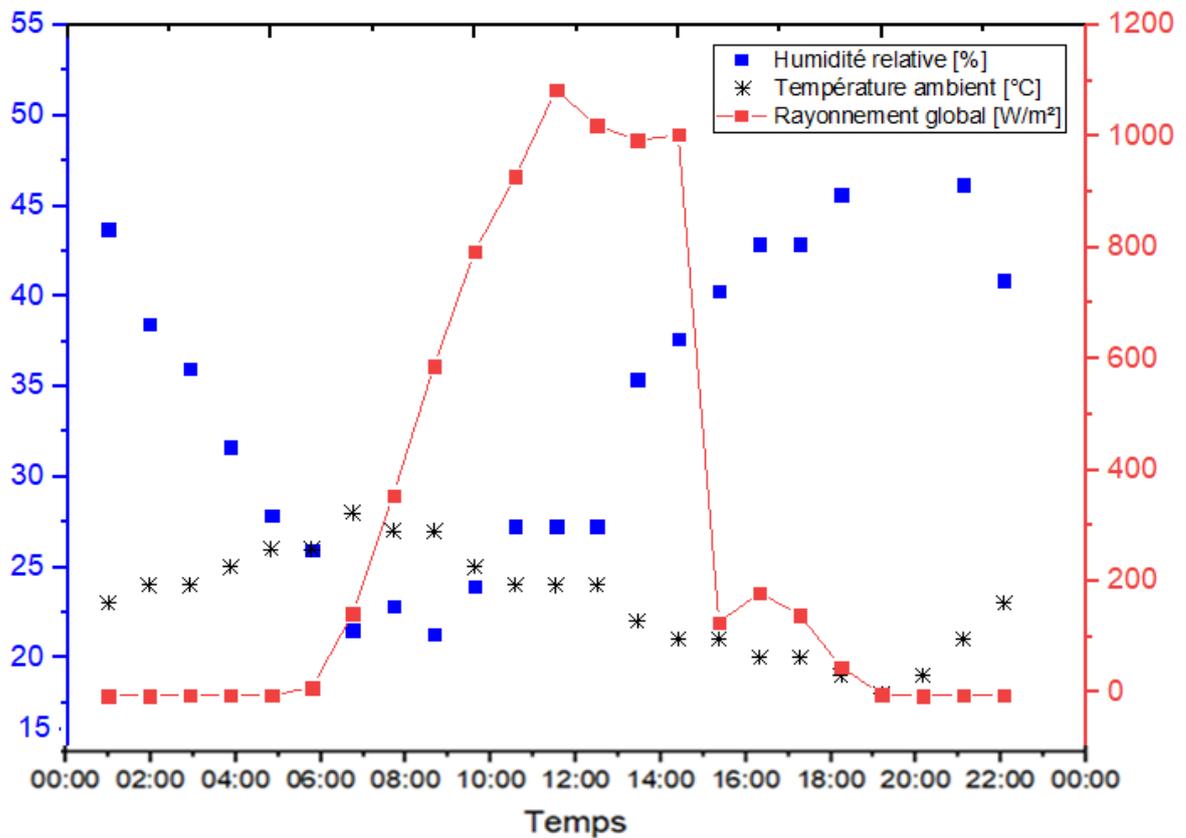


Figure 4 - 5: Variation des températures (Tg) dans les deux serres pendant le jour de 30 mai 2023, avec l'utilisation des fibres de palmier dattier



La figure 4-6 montre les résultats de rayonnement, d'humidité et de température dans la journée de test.

Figure 4 - 6: les résultats de rayonnement, d'humidité et de température dans la journée de test

Ces résultats indiquent que le matériau en fibres de palmier dattier a démontré une performance de refroidissement élevée, réduisant efficacement la température à l'intérieur de la serre. Contrairement à l'expérience précédente avec le matériau non tissé, la présence du matériau en feuille de palmier a entraîné une réduction significative de la température par rapport à la température ambiante.

La figure 10 illustre le tracé entre les valeurs mesurées et les valeurs prédites. Le graphique indique une concordance raisonnable avec des valeurs d'erreur moyenne (MSE) quadratique, entre les ensembles de données réelles et prédites.

La figure 4-7 représente le résumé des parcelles R^2 dans les étapes de formation du modèle, de test et de validation au cours du processus d'apprentissage. Pour l'ensemble de données d'apprentissage, une valeur R^2 globale de 0,99275 a été obtenue. Le neurone réseau a été formé et validé à l'aide de l'ensemble de données historiques disponibles pour développer un modèle robuste avec la précision prédite la plus fine de la sortie. Les résultats se sont révélés satisfaisants, car la valeur R^2 globale est proche de 1,0. Notamment, la valeur R^2 à chaque étape est proche de 1,0, soit 0,99293, 0,99279 et 0,99179 pour la formation du modèle (apprentissage), validation et teste respectivement, comme le montre la Figure 4.7.

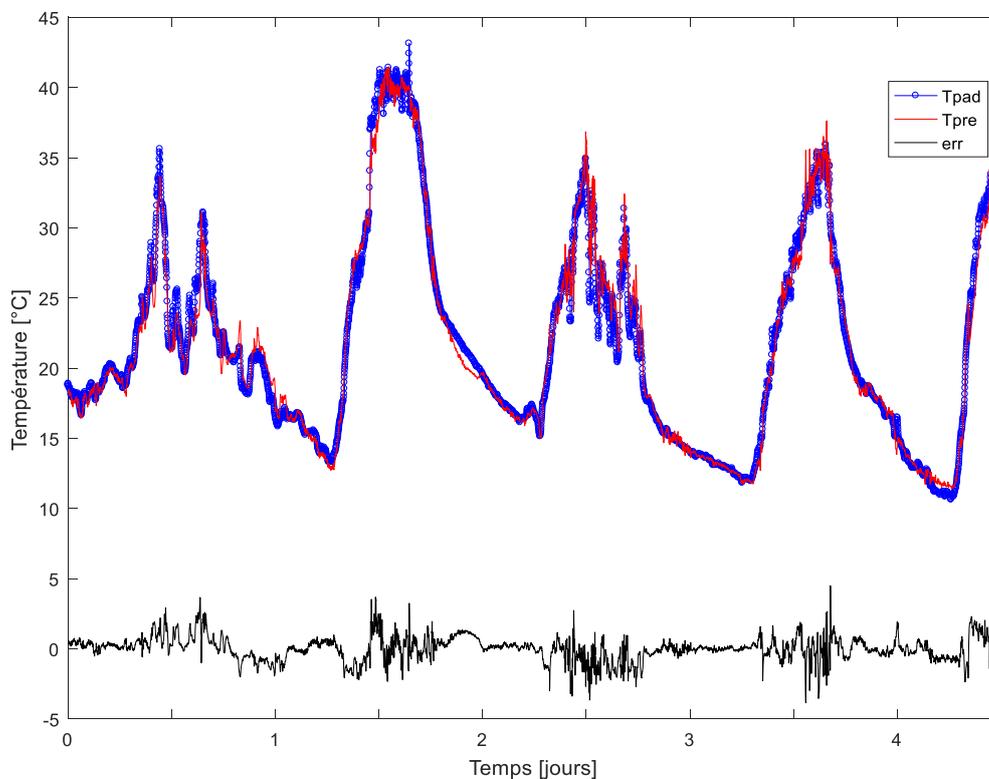


Figure 4 - 7: Evolution de la température mesurée (Tpad), prédite et l'erreur de prédiction

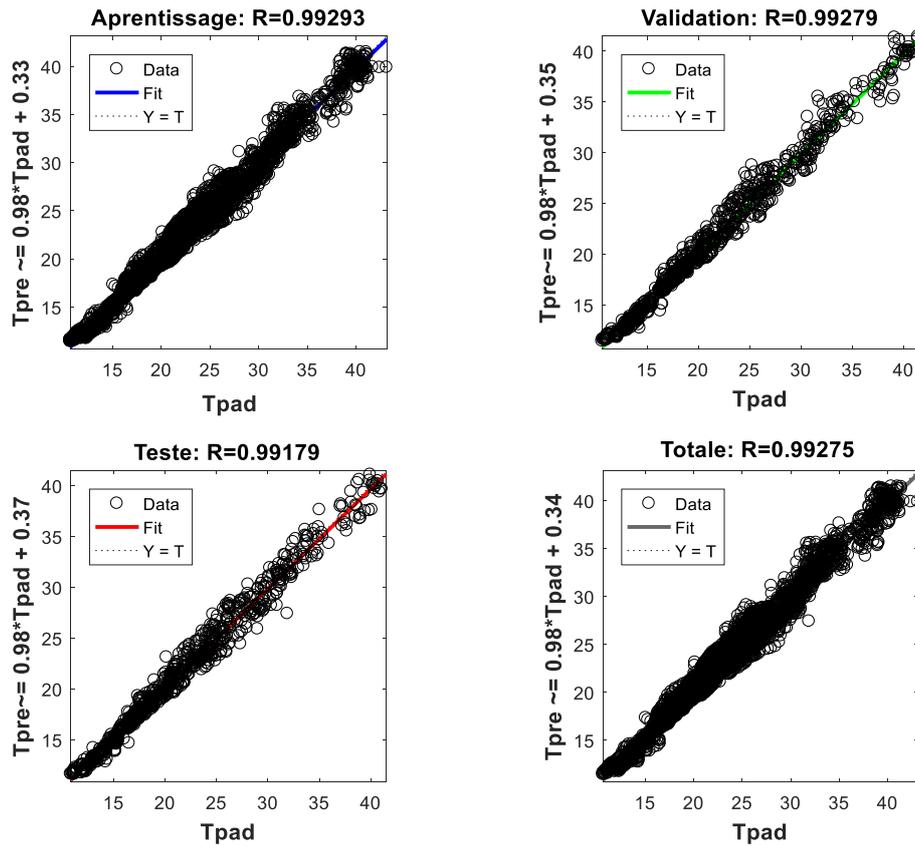


Figure 4 - 8: Evolution de la régression pour le cas apprentissage test, validation et globale du modelé ANN

La figure 4-8 est une représentation graphique de l'erreur quadratique moyenne (MSE) et des époques. La meilleure performance de validation performance de validation a été obtenue à l'époque 25, le graphe de validation atteignant sa valeur minimale de MSE minimale de 0,2625.

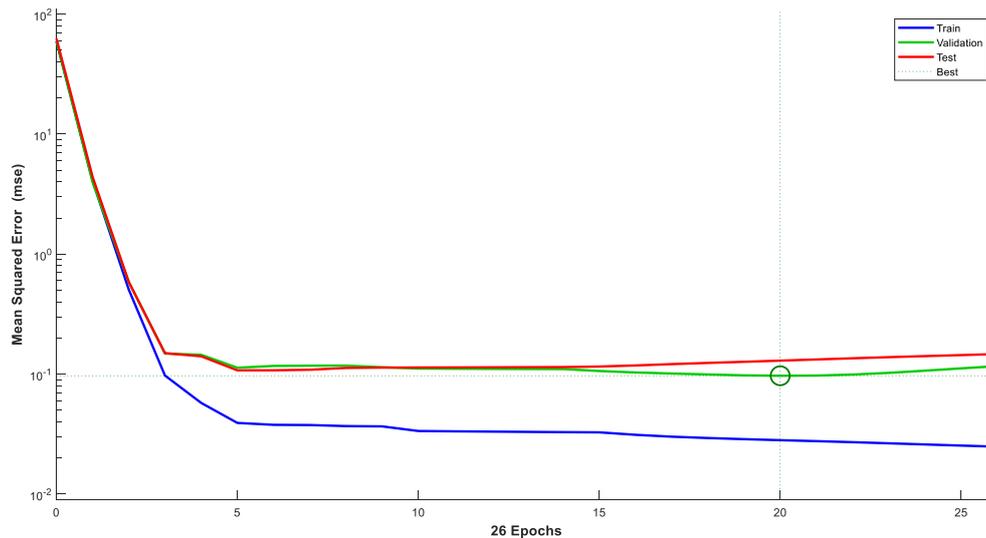


Figure 4-9: Diagramme des performances de la meilleure validation

La précision du modèle développé s'est avérée très sensible au nombre de neurones cachés. Le Tableau 4-1 montre les valeurs R^2 globales en fonction du nombre de neurones cachés, avec les valeurs MSE et R^2 , à tous les stades. La meilleure architecture de réseau s'est avérée être $[8 \times 10 \times 1]$. La valeur R^2 globale est cohérente avec le nombre de neurones tandis que dans cette étude, l'MSE a été utilisée comme fonction de perte pour calculer les performances du réseau neuronal.

Tableau 4 - 1: Paramètres statiques

Nombre de neurones	Apprentice		Validation		Teste		global
	MSE	R^2	MSE	R^2	MSE	R^2	R^2
10	0.2654	0.99293	0.2625	0.99279	0.2321	0.99179	0.99275

4.3. Conclusion

Ce dernier chapitre est consacré à la discussion des résultats des tests effectués sur trois différents matériaux pour le refroidissement de serres agricoles dans différentes conditions météorologiques. Les résultats montrent que les matériaux de paille et les fibres de palmier dattier (leaf) ont réussi à remplir leur fonction de refroidissement. Cependant, la laine a montré une performance médiocre.

Dans cette étude, l'erreur quadratique moyenne (MSE) a été utilisée comme fonction de perte pour évaluer les performances du réseau neuronal. Les données expérimentales ont été collectées à l'aide d'un système d'acquisition par Arduino pendant une période d'environ un mois. Ces données ont ensuite été combinées avec des données externes pour la prédiction de la température interne à l'aide du réseau neuronal.

Ces constatations mettent en évidence le potentiel prometteur du matériau en fibres de palmier dattier comme solution de refroidissement efficace dans les environnements de serre. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir les performances et les applications de ce matériau, ouvrant ainsi la voie à des améliorations significatives dans le domaine du refroidissement des serres.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif ce travail est de tester la fiabilité d'un système de refroidissement pour contrôler le climat interne d'une serre agricole. L'étude est a été axée une réalisation expérimentale suivie une confrontation numérique.

Dans la partie réalisation expérimentale qui pend top de temps, une serre agricole menée d'un système de refroidissement a été comparée avec une autre témoin.

Le système de refroidissement est testé en mode de sa matière de composition savoir le foin, la laine et la fibre.

A l'issue de cette étude, nous avons constaté le succès du système prévu dans la serre expérimentale dans une certaine mesure par rapport à la deuxième serre (témoin).

Cela est remarqué à la température interne instantanée et moyenne mesuré dans les deux serres, où la serre témoin a enregistré des valeurs plus élevées (plus de 40°C) que la serre expérimentale (environs de 30°C) le long de la durée de collection de donnés.

D'autre part, le système fourni dans la serre expérimentale s'est avéré un grand avantage en termes d'effet sur la réduction de la température interne, du au système de refroidissement des oreillers et des ventilateurs alimentées par panneau solaire.

L'utilisation d'outils d'intelligence artificielle, d'un réseau de neurones et de données que nous avons recueillies sur une période d'environ un mois nous a permis de prédire la température interne dans la serre. Et comme perspectives nous recommandons une réalisation approfondie de ce système dans une afferme du notre région.