

Université Saad Dahleb Blida 1  
Faculté de Technologie  
Département des Energies Renouvelables



Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention du diplôme de Master en

## **Conversion Thermique**

Thème:

**Prédiction de l'environnement d'une serre installée dans  
une région semi aride par l'utilisation RNA**

Soutenu le 30 / 06 / 2022 par :

**Ahmed Saadi Koceila**

Devant le jury composé de :

Pr M.Merzouk	USDB-1	Président
Dr N.Khelalfa	USDB-1	Examineur
Mr K. Kaci	USDB-1	Examineur
Dr S.Bezari	URAER Ghardaia	Encadreur

## المخلص

الطاقة الشمسية لها مجالات العمل الخاصة بها ووضع التحويل الذي يحترم توافرها ، أي التحويل الحراري الذي يمكن استخدامه مباشرة في الدفيئات. يعد التحكم في المناخ المحلي في الدفيئة موضوعًا شائعًا في جميع أنحاء العالم ، لذلك يهتم مزارعو الدفيئة جدًا بمحاولة تعزيز كفاءتهم وتقليل استهلاك الطاقة.

نعرض في هذه الدراسة استخدام الشبكة العصبية الاصطناعية للتنبؤ بدرجة الحرارة الداخلية لدفيئة في المناخ شبه الجاف بغرداية. الشبكة العصبية الاصطناعية هي نموذج للمعلومات مستوحى من طريقة عمل العقول البشرية. من خلال استغلال مجموعة البيانات، قمنا بتطوير نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية المغذي متعدد الطبقات مع التركيز على المعلمات الأكثر تأثيرًا (درجة الحرارة ، الرطوبة ، الإشعاع الشمسي ...). بعد سلسلة من الاختبارات المتعلقة بتدريب النموذج ، حصلنا على نتائج مشجعة توضح مسؤولية الشبكات العصبية الاصطناعية ودقتها عندما يتعلق الأمر بمجال التنبؤ خاصة للمناخ المحلي في البيوت البلاستيكية.

**الكلمات المفتاحية:** الدفيئة ، الشبكة العصبية الاصطناعية ، التنبؤ ، الحرارة، الطاقة الشمسية، المناخ المحلي

## Abstract

Solar energy has its own fields of action and conversion mode that respects availability, namely the thermal conversion which is directly usable in the greenhouses. Greenhouse microclimate control is a trending subject all around the world, so greenhouse growers are very attentive trying to enhance their efficiency and cut down on energy consumption. In this study we are presenting the use of artificial neural network to predict the inside temperature of the greenhouse in semi arid climate located in Ghardaïa. The ANN is a paradigm of information inspired by the way human brains work. By exploiting the data set of 10 days we developed a feedforward ANN model multilayered perceptron concentrating on the most influential parameters (temperature, humidity, solar radiation...). After a series of tests concerning the training of the model we obtained encouraging results which shows the liability of ANNs and their precision (*RMSE* and *MAE*, respectively 0,9680 et 0,7258) when it comes to the domain of prediction especially in greenhouses microclimate.

**Keywords :** Greenhouse, Artificial Neural Network, Prediction, Temperature, Solar energy.

## Résumé

L'énergie solaire a ses propres champs d'action et mode de conversion qui respecte sa disponibilité, à savoir la conversion thermique qui est directement utilisable dans les serres. La gestion du microclimat de la serre est un sujet d'actualité très répandu dans le monde entier.

Dans ce mémoire nous présentons l'utilisation des réseaux neurones artificiel pour la prédiction de température intérieure dans une serre agricole de type tunnel dans un climat semi-aride situé à Ghardaïa. Au long de cette étude, on a effectué plusieurs essais pour la détermination de l'architecture idéale pour résoudre notre problématique en exploitant une base de données déterminées. On a construit un modèle de perceptron multi couche pour la prédiction de la température intérieure de la serre par l'utilisation des paramètres d'entrées (température, humidité, rayonnement...) qui sont connus pour leur influence sur le microclimat de la serre. Après une série de tests concernant l'apprentissage on a obtenu des résultats (*RMSE* et *MAE*, respectivement 0,9680 et 0,7258) encourageants qui montrent la fiabilité des réseaux neurones et leur précision dans le domaine de prédiction dans les serres agricoles.

**Mots clés :** Serre, Réseaux Neurones Artificiel, Prédiction, Température, Energie solaire.

## Dédicaces

*À la mémoire de mon défunt père Sadok, qu'il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Que dieu lui accord la paix à son âme.*

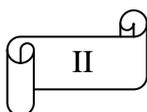
*A ma chère mère Hanifia qui a tout fait pour que je sois là aujourd'hui et pour son amour inconditionnel, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*A mon frère et mes sœurs qui me poussent tous les jours je les remercie pour leur soutien, encouragement et conseils je vous aime infiniment.*

*A une personne qui a fait de son possible pour m'aider merci d'avoir été là quand j'en avais vraiment besoin.*

*A mes amis et mes collègues et tous ceux qui m'ont aidé au cours de mon parcours*

*Je vous dédie ce mémoire.*



## Remerciements

*Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur **Dr. Bezari Salah**, son précieux conseil sa disponibilité, sa bienveillance et son aide durant toute la période du travail.*

*Je remercie également **Mme Ada Asma** pour son aide et sa contribution scientifique au long de ce mémoire*

*Je voudrai aussi remercier le chef de spécialité **Pr. M. Merzouk** pour sa rigueur qui m'a aidé au long de mon parcours ici.*

*Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance pour mes chers enseignants leur patience et orientation*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner mon travail Et de l'enrichir par leurs propositions. Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

## Sommaire

<b>Résumé.....</b>	<b>I</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>II</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>III</b>
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Chapitre I Aperçu sur les technologies de système serre .....</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction .....	3
I.2 Potentiel solaire en Algérie.....	3
I.3 Statistique des serres solaire .....	4
I.4 Système serre.....	6
I.4.1 Comportement thermique.....	6
I.4.2 Types de serre solaire .....	7
I.4.3 Paramètres influents pour les serres .....	8
I.4.4 Gestion des paramètres du microclimat .....	9
I.4.5 Systèmes de control.....	10
I.5 Etat de l’art sur l’application les RNA dans les serres .....	11
I.5.1 Modèles classique .....	11
I.5.2 Modèles d’intelligence artificielle.....	12
I.6 Approches de contrôles du microclimat des serres.....	12
I.7 Conclusion .....	17
<b>II. Chapitre II Matériels et Modélisation .....</b>	<b>21</b>
II.1 Introduction .....	21
II.2 Description du site .....	21
II.3 Description du dispositif expérimental.....	23
II.4 Instrumentation de mesure.....	24
II.5 Généralité sur les Réseau neurone artificiel .....	28
II.5.1 Principe de fonctionnement.....	28
II.5.2 Architecture des réseaux neurones artificiel .....	29
II.6 Modélisation du microclimat de la serre par RNA .....	32
II.6.1 Collection de données .....	33
II.6.2 Traitement de données.....	33
II.6.3 Architecture de réseau neurones.....	34
II.6.4 Expression mathématique du modèle neuronale optimisé .....	37
II.7 Conclusion .....	37

<b>III. Chapitre III Résultats et discussion.....</b>	<b>39</b>
III.1 Introduction :.....	39
III.2 Architecture du model.....	39
III.3 Evaluation des performances .....	40
III.4 Comparaison des résultats.....	44
III.5 Etude de sensibilité .....	46
III.6 Conclusion .....	50
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>52</b>

## Liste des figures

Figure I-1 1L'intégration des ER dans les secteurs énergétiques en Algérie. [1].....	4
Figure I-2 Représentation des surfaces de la culture protégée dans le monde. [2] .....	4
Figure I-3 Surface sous serre dans le monde [3] .....	5
Figure I-4 Vue des serres agricoles Biskra et Zeralda (googleearth) .....	5
Figure I-5 Mécanismes de transfert d'énergie entre une serre typiqueet son environnement ....	6
Figure I-6 Quelques types des serres [4] .....	7
Figure I-7 Classification des serres .....	8
Figure I-8 Organigramme des méthodes de contrôle de l'environnement des serres.....	11
Figure I-9 Devlopement des recherche sur l'utilisation des RNA dans les serres.....	13
Figure II-1 Localisation de la serre agricole –URAER-.....	21
Figure II-2 Variation du rayonnement, la température et l'humidité dans le site de [I'URAER] .....	22
Figure II-3 Conception et orientation de la serre .....	23
Figure II-4 Serre réelle installée à Ghardaïa .....	23
Figure II-5 Schema de positionnement des appareils et des sondes de mesure .....	25
Figure II-6Serre experimentale et appareils de mesure.....	26
Figure.II-7 Evolution de la température de l'air intérieur pour différentes hauteurs .....	27
Figure II-8 Evolution de la température du sol en fonction du temps à une profondeur de 70 cm .....	27
Figure II-9 Correspondance entre neurone artificiel et neurone biologique. ....	28
Figure II-10 Modèle d'un neurone artificiel. [1] .....	29
Figure II-11 Courbe des fonctions d'activation .....	30
Figure II-12 Réseau de neurone Monocouche .....	30
Figure II-13 Réseau neurone Multicouche .....	31
Figure II-14 Réseau neurone Récurrent .....	31
Figure II-15 Procédure de la modélisation des serres par RNA.....	32
Figure II-16 Capture d'écrans de la base de données .....	33
Figure II-17 Différents architecture utilisé.....	35
Figure II-18 Repartition des données .....	36
Figure III-1Paramètres de system serre.....	39
Figure III -2 Architecture de RNA sous Matlab .....	39
Figure III-3 RNA conçu .....	40
Figure III-4 Affichage de nntool .....	41
Figure III-5 Validation des performances .....	41
Figure III-6 Histogramme des erreurs .....	42
Figure III-7 Régressions des valeurs expérimentales et prédites de RNA .....	44
Figure III-8 Comparaison des resultats calculé et expérimental .....	45
Figure III-9 Relation entre les valeurs mesurées et calculé.....	45
Figure III-10 Interface de NNTOOL.....	46
Figure III-11Choix des données .....	46
Figure III-12 Creation du Reseau.....	47

Figure III-13 Les poids du reseau.....	47
Figure III-14 Analyse de sensibilité.....	49

## Liste des Tableaux

Tableau I-1 Potentiel solaire en Algérie .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau I-2 Matériaux de la couverture des serres .....	9
Tableau I-3 Application des model RNA pour la prédiction du microclimat des serres .....	16
Tableau II-1 Min et Max des paramètres climatique du site de Ghardaïa .....	21
Tableau II-2 Propriété physique de couverture de la serre.....	23
Tableau II-3 Précision des outils de mesure.....	24
Tableau II-4 Fonctions de transfert .....	30
Tableau II-5 Analyse des données collecté .....	34
Tableau II-6 Comparaison des nombres de neurone .....	35
Tableau II-7 Comparaison de repartition des données.....	36
Tableau III-1 Paramètres d'évaluation liée au model neuronale.....	45
Tableau III-2 Poids et biais .....	48

## Nomenclature et Abréviation

$b_i^h$	Biais	/
$D_v$	Direction du vent	°
H	Humidité	%
$I_g$	Rayonnement globale	W/m <sup>2</sup>
R	Régression	/
R <sup>2</sup>	Coefficient de Détermination	/
T	Température	°C
$V_n$	Fonction d'erreur	/
$V_v$	Vitesse du Vent	m/s
W	Intervalle d'Erreur	/
$w_{(i,j)}^h$	Poids	/
$y_{cal}$	Valeur Prédite	/
$y_{exp}$	Valeur Expérimental	/
PMC	Perceptron à Multicouches	/
RLM	Régression Linéaire multiple	/
MSE	Erreur Quadratique Moyenne	/
RMSE	Racine d'Erreur Quadratique Moyenne	/
MAE	Erreur Absolue Moyenne	/
RNA	Réseaux Neurones Artificiel	/
RFBR	Réseaux à Fonction de Base Radial	/
RNAPA	Réseaux Neurones Artificiel a Propagation Avant	/
H	Hidden	
V	Vent	

G	Globale
Cal	Calculée
Exp	Expérimentale

# **Introduction Générale**

# Introduction Générale

---

L'énergie solaire est la ressource énergétique inépuisable la plus abondante sur Terre, elle représente la principale source d'énergie du système terre-atmosphère. Notre pays dispose d'un des plus grands gisements solaires dans le monde et son utilisation imminente demeure la meilleure alternative au moment même où le gaz et le pétrole qui commencent d'une part à s'épuiser et d'autre part à subir une chute sérieuse des prix dans le monde.

Vue de sa situation idéale, l'Algérie dispose d'un important gisement d'énergie solaire dans tout le bassin méditerranéen. Elle possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, dont la durée d'insolation sur tout le territoire national dépasse 2500 heures par an et peut atteindre 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) et reçoit quotidiennement une énergie solaire de 5,7 kWh/jour [1]. Cette énergie est suffisante pour satisfaire presque toute la demande énergétique thermique du pays dans le domaine des agro-systèmes de type serre tunnel à couverture en plastique.

La plasticulture est une approche de la production agricole, par l'utilisation des polyéthylènes, pour créer un microclimat favorable et protéger les cultures. C'est un moyen qui permet la précocité des cultures ainsi que leur disponibilité en hors saison. Elle représente un espoir économique pour les pays en voie de développement et les pays à grandes surfaces désertiques.

La serre est un système largement utilisé pour créer artificiellement un environnement de croissance favorable pour les plantes. Maintenir une température, une humidité et des concentrations de dioxyde de carbone adéquates est une préoccupation majeure dans le contrôle de l'environnement des serres, car ces facteurs affectent le développement, la qualité et la quantité de production des plantes.

Le contrôle climatique des serres doit prendre en compte des systèmes complexes et non linéaires dans lesquels les variables dépendent fortement des conditions climatiques extérieures, bien que ces derniers ne puissent pas être contrôlés de manière indépendante. Par conséquent, les serristes cherchent toujours à trouver des solutions pour améliorer la rentabilité, développer et modéliser les serres pour opter à une consommation énergétique raisonnable et une réduction des coûts de construction et d'installation.

L'objectif de notre travail est de proposer un modèle dynamique performant dans l'environnement de logiciel Matlab pour une validation expérimentale. A cet effet, le processus de modélisation proposé tient compte tous les paramètres influant sur le microclimat et les caractéristiques de la serre par l'utilisation de réseau de neurone artificiel

# Introduction Générale

---

(RNA) à travers la prédiction de la température de l'air intérieur, exploitant les données expérimentales d'une serre réel installé à Ghardaïa.

Ce mémoire est structuré de trois chapitres :

Le premier chapitre présente une généralité sur les serres solaire dans le monde et en particulier dans l'Algérie. On mise en œuvre différents types des serres qui existent ainsi que leurs principales caractéristiques suivies d'une synthèse bibliographique sur l'application des RNA dans les serres agricoles.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons le dispositif expérimental installé dans la région de Ghardaïa et les appareillages de mesures utilisées, ainsi que la méthodologie de travail mené dans ce mémoire. Les notions de bases sur les réseaux neurones et la modélisation numérique a été ajustée sur la base des algorithmes de réseau de neurone artificiel sous Matlab.

Le troisième chapitre mis en évidence les résultats trouvés au long de notre étude et une discussion pertinente.

Enfin, nous donnons une conclusion générale et des suggestions concernant la présente étude.

**Chapitre I**  
**Aperçu sur les technologies de système**  
**serre**

## I.1 Introduction

La serre est une forme d'exploitation d'énergie solaire pour créer et maintenir un microclimat favorable et améliorer les conditions de croissance pour une augmentation à la fois de la qualité et quantité des produits aussi pour protéger la culture et répondre à la demande croissante de la nourriture. Les serres en plastiques sont les plus utilisées dans le monde, à cause de leur faible coût d'investissement, performantes en printemps et hiver (énergie solaire suffisante pour la production) mais pendant l'été les serres en plastique perdent leur efficacité à cause du climat chaud (surchauffe excessive et forte hygrométrie). La culture en serre est la forme la plus intensive de la production agricole (10 fois plus supérieure de la culture ouverte).

## I.2 Potentiel solaire en Algérie

L'énergie solaire ou plus précisément le rayonnement solaire est l'une des sources d'énergie inépuisable la plus importante dans le monde. L'exploitation de ce potentiel énergétique peut être sous la forme d'énergie thermique (chaleur) ou énergie électrique. En considérant la position géographique, l'Algérie possède un potentiel solaire le plus élevé dans le monde estimé à presque 14tWh par an. Elle reçoit plus que 2500Wh/m<sup>2</sup> de rayonnement solaire annuellement. Son potentiel énergétique est estimé à 7.30 kWh/m<sup>2</sup> dans le sud et 4.26kWh/m<sup>2</sup> dans le nord.[1]

Régions	Côtière	Hauts plateaux	Sahara
Surface (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650
Densité journalière d'énergie solaire (kWh/m <sup>2</sup> )	4.66	5.21	7.26

**Tableau 0-1 Potentiel solaire en Algérie [1]**

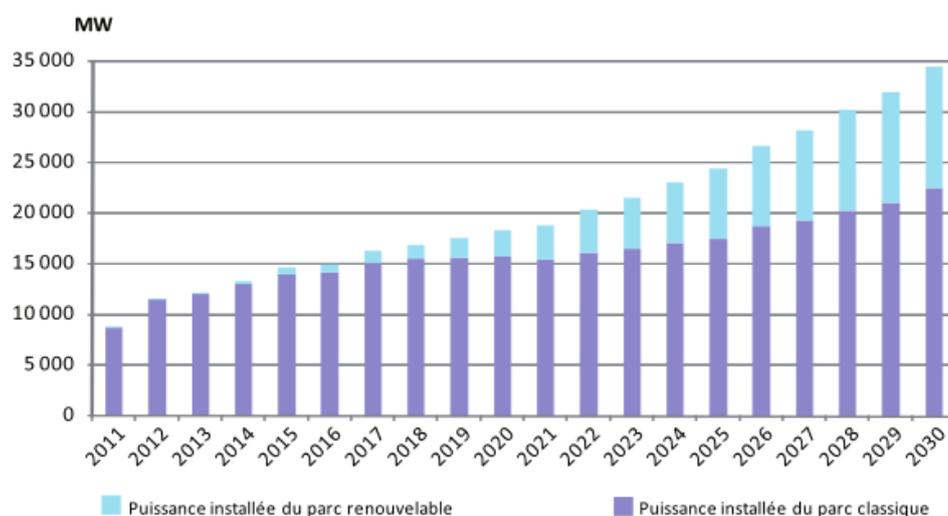


Figure 0-1 L'intégration des ER dans les secteurs énergétiques en Algérie. [1]

Actuellement le gaz naturel domine le secteur énergétique en Algérie par 93%. Mais dernièrement l'Algérie vise à atteindre 15000MW d'électricité générée par les énergies renouvelables d'ici à 2035 avec un taux de croissance de 1000MW par an. (Voir figure I.1)

### I.3 Statistique des serres solaire

- *Serre dans le monde* : Malgré que les statistiques ne soient pas vraiment fiables et diffèrent d'une source à l'autre, l'estimation de la surface couverte par les serres agricoles dans le monde en 1980 est estimée à 100 000 hectares, qui a augmenté à 450 000 hectares en 1998, avec un pourcentage de croissance près de 20% annuellement.

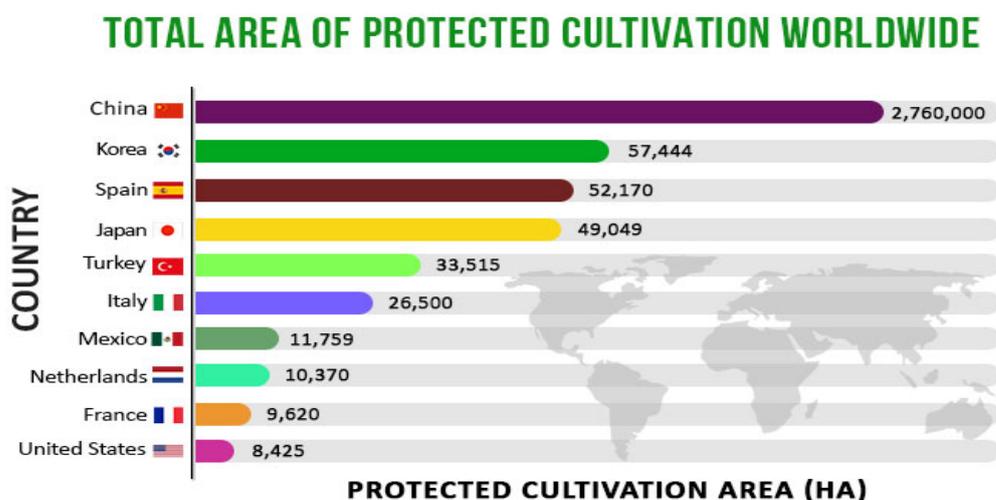


Figure 0-2 Représentation des surfaces de la culture protégée dans le monde. [2]

Dans le début du 21<sup>ème</sup> siècle, l'estimation globale des surfaces couvertes par les serres sont d'environ 1 million de hectares, avec la Chine qui domine 700 000 hectares, dans la dernière

## Chapitre I : Aperçu sur les technologies de système serre

décennie la culture plastique à pénétrer vastement dans toutes les types d'agriculture, ils sont largement concentrés dans l'extrême orient (Chine, Japon, Korea) 80%, et 15% dans le bassin de méditerranéen. La croissance en Europe est lente par rapport en Afrique, Asie et en Amérique. D'après la figure I.3 on note que l'Algérie est 14<sup>ème</sup> mondiale dans le classement des surfaces de la culture protégée.

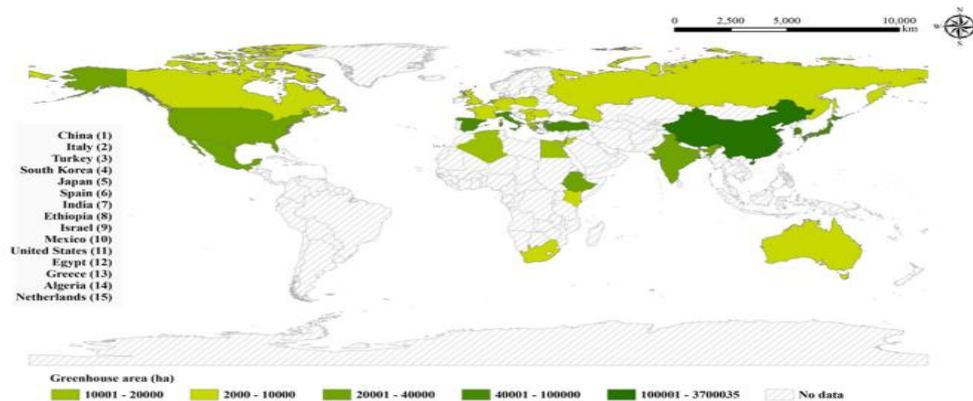


Figure 0-3 Surface sous serre dans le monde [3]

- *Serre en Algérie* : Les serres à tunnel sont le type le plus répandu en Algérie, avec plus de 5000hectare regroupé par de grand nombre, et une surface de 800 hectares recouverts avec des serres tunnel basique. On trouve aussi les serres à chapelles mais ils ne sont pas autant populaires et une absence presque totale des serres en verre. Etant donné le climat semi-aride en Algérie, (soit trop haute température  $>35^{\circ}\text{C}$  ou trop basse  $<10^{\circ}\text{C}$ ) donc le besoin des systèmes de réchauffement ou de climatisation augmente. Les serres en Algérie généralement concentrent dans deux emplacements Alger, dans littoral avec un climat méditerranéen, et Biskra avec un climat aride.



Figure 0-4 Vue des serres agricoles Biskra et Zeralda (googleearth)

## I.4 Système serre

### I.4.1 Comportement thermique

L'échange thermique dans les serres se produit généralement par trois modes de transfert : conduction, convection et rayonnement. Ordinairement ces types de comportement thermiques se produisent simultanément.

- Conduction : la chaleur est transmise soit à travers d'une matière ou avec un contact physique direct entre deux solides, les pertes par conduction sont facilement réduites en plaçant un isolant avec un coefficient de transfert faible. Dans les serres solaires la majorité de la chaleur est perdue par conduction, soit par le flux qui traverse la matière de couverture (plastique, verre...) ou à travers le sol.
- Convection : transfert de chaleur par convection c'est le mouvement d'un fluide (gaz ou liquide) chaud vers des zones froides. Le transfert par convection dans les serres ne concerne pas seulement le mouvement d'air mais aussi la vapeur d'eau. Les particules plus chaudes se déplacent vers le haut et perdent une partie de leur chaleur au profit des matériaux de couverture. On peut distinguer trois types de convections dans les serres : naturelle, forcée ou mixte tout dépend du type de la serre, la ventilation et le climat du site.
- Rayonnement : l'un des plus importants facteurs dans la serre car il a une relation directe avec la température, l'humidité et la culture sous la serre vu son éminence pour le processus de la photosynthèse. Transfert de chaleur par rayonnement n'a pas besoin d'un intermédiaire, il est soit transmis, réfléchi ou absorbé. Les pertes par rayonnement dépendent du climat extérieur de la serre, elles se produisent dans la nuit plus souvent à cause de la température ambiante basse.
- Transfert de masse : ce phénomène peut varier entre la transpiration qui se produit après l'évapotranspiration de la plante qui a un impact direct sur la température intérieure. On peut aussi mentionner la masse thermique qui a une relation avec la chaleur stockée dans le sol durant la journée et libérée durant la nuit.

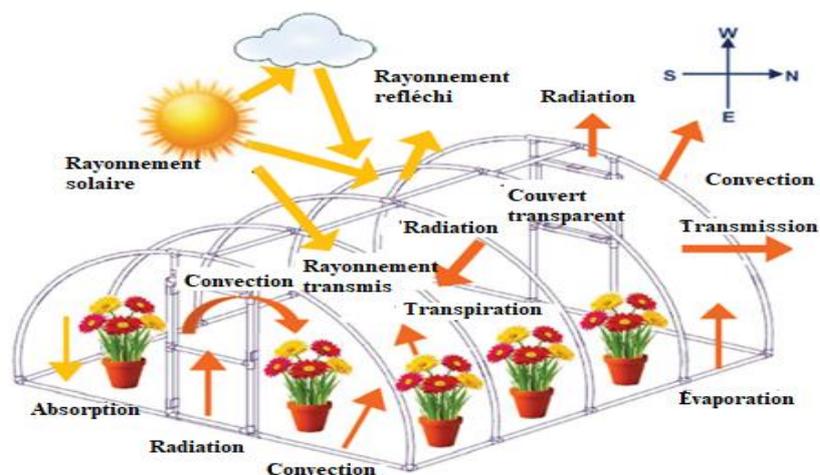


Figure 0-5 Mécanismes de transfert d'énergie entre une serre typique et son environnement

## I.4.2 Types de serre solaire

La classification des serres solaire est très complexe. Elle est faite généralement selon la forme qui est donnée par son armature, tandis que chaque structure de la serre a des avantages pour une application particulière, mais il n'existe pas une « meilleure » forme de serre car chaque structure est conçue pour répondre à des besoins spécifiques.

### a. Les serres à chapelle

Ce sont des serres avec deux toits inclinés l'un sur l'autre, ce type des serres est favori par sa hauteur qui varie de 2.5 a 4m qui facilite la manœuvre, et une longueur optimal (de 5 a 9m). Sa taille considérable permet d'accommoder 3 ou 4 lignes de plantes mais les couts de réchauffement ou la ventilation d'une telle surface est un peu chère.

### b. Les serres multi chapelles

Ce sont des serres généralement utiliser dans les pays froid comme le nord européen et le canada, c'est des serres a chapelle relié l'une a l'autre sans séparation ce qui résulte d'une structure avec une large intérieur donc plus d'espace pour la culture.

### c. Les serres tunnel

La serre tunnel est constituée des arcs métalliques couvert un type de couverture plastique (généralement un film souple). Sont les plus utilisé par les agriculteurs, ce sont des serres économiques et basique qui sont très facile a fabriquer et a chauffer, mais le manque d'hauteur rends les conditions de travail pénible.



Figure 0-6 Quelques types des serres [4]

On peut aussi classer les serres par utilisation

- a) Serres pour chauffage : à cause de la diminution de la température pendant la nuit et pour éviter le gel, il existe différentes méthodes : stockage thermique, les isolants thermiques ou des systèmes de chauffage.
- b) Serres pour refroidissement : pendant l'été, pour certaines cultures il est préférable de baisser la température ambiante dans la serre c'est pour cela qu'on opte pour une ventilation de l'espace. Généralement on utilise des ouvertures pour le courant d'air ou le refroidissement par évaporation.

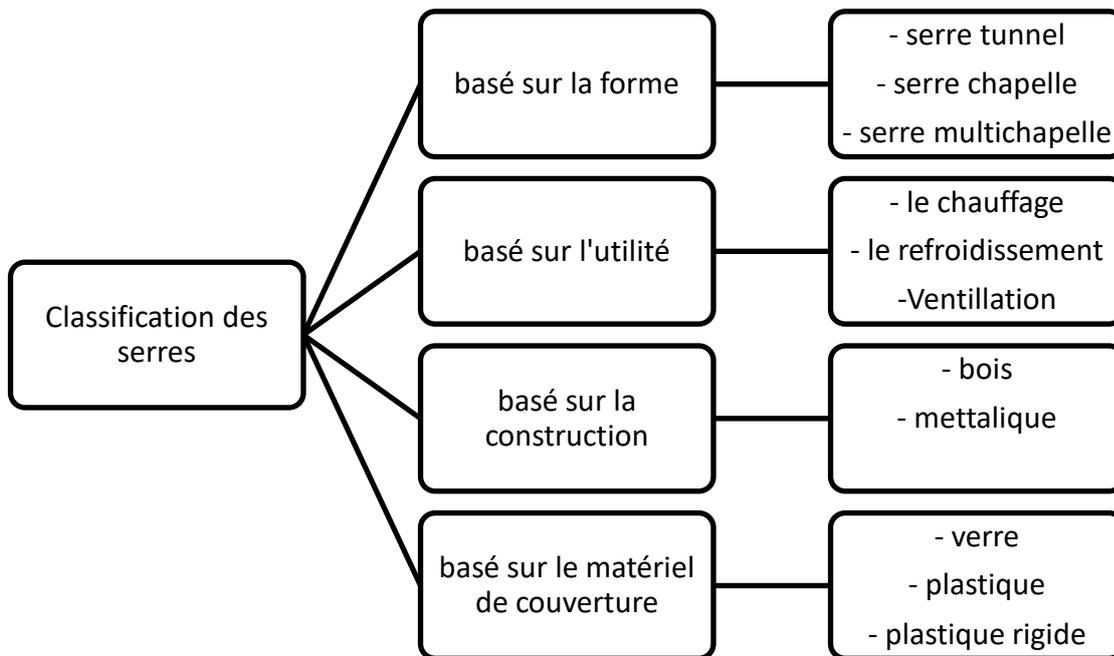


Figure 0-7 Classification des serres

## I.4.3 Paramètres influents pour les serres

### a. Matière de couverture

Les matières de couverture sont des facteurs très importants dans les serres solaires, elles ont une influence directe sur la température ambiante à l'intérieur de la serre. La couverture des serres doit apporter une transmission de lumière suffisante en même temps durable et économique.

- Verre : Le verre est un matériau dur, fragile et transparent à la lumière, il a une bonne transmission pour le rayonnement dans le spectre visible, faible transmission des ondes ultraviolet et une bonne conservation de chaleur la nuit. L'inconvénient du verre c'est le coût initial de sa construction, mais pour une période du temps de plus de 10 ans le coût de verre est justifié.

- Les matériaux plastiques :
  - i. Les films en plastique : ils sont devenus très populaires les derniers temps à cause de leur faible coût et les frais de chauffage sont réduits par rapport aux serres en verre, mais la durée de vie des films plastiques ne dépasse pas les quatre ans. On les trouve plutôt dans les serres tunnel.
  - ii. Les Fibres de verre : ce matériau est plus résistant pour le bris, et l'intensité de lumière est uniforme sur tout le long de la serre en comparaison avec le verre et les films plastiques, sa durée de vie est jusqu'à 20 ans. L'inconvénient de ce type de couverture est qu'il recueille de la poussière qui assombrit la serre.

Matériel de couverture	U (W/m <sup>2</sup> k)
Verre	5,4
Double verre	3.7
Polyéthylène	6.2
Polycarbonate rigide	3.6

**Tableau 0-2 Matériaux de la couverture des serres [5]**

### **b. Paramètre d'orientation**

- Orientation de la serre : L'orientation de la serre est très importante car elle a une relation directe avec la température intérieure. Une large partie du rayonnement direct passe à travers la couverture vers l'intérieur et augmente la température d'air. Le rayonnement diffus du toit, les parois, et du sol chauffe aussi l'air intérieur, alors l'orientation de la serre a une relation cruciale avec la température au sein de la serre. L'orientation se fait sur l'axe nord-sud, ou est-ouest, qui a un impact sur la quantité de rayonnement intercepté par le micro habitat de culture, ce processus peut aider pour réduire les charges de chauffage par les systèmes installés.
- Direction du vent : un des facteurs qui a une influence remarquable sur le microclimat de la serre, des études ont constaté que quand le vent souffle perpendiculairement sur le plan d'ouverture de la serre il y'a un écoulement transversal dans la serre qui se traduit par un gradient de température de l'air

### **I.4.4 Gestion des paramètres du microclimat**

La gestion des paramètres sous la serre varie d'un type de serre à l'autre pour un seul but qui est d'optimiser l'environnement pour un rendement maximal de la culture.

#### **a. Pilotage de température**

C'est le paramètre le plus important dans la gestion de l'environnement de la serre, chaque type de culture à sa température optimale pour sa croissance. Le processus de la photosynthèse augmente avec l'augmentation de la température. Les températures trop élevées pendant l'été et parfois pendant le printemps augmentent la transpiration de l'agriculture, aussi pour les faibles températures en hiver qui perturbent l'absorption des nutriments qui rend le chauffage nécessaire. En compte trois types de température : Température ambiante, température du sol et la température de la plante.

### **b. Pilotage d'humidité**

L'humidité idéale pour la croissance de l'agriculture est entre 50 et 80%. En dessous de 50% la plante transpire plus. Quand l'humidité est relativement élevée le risque de condensation sur les plantes est haut par conséquent la plante peut développer des maladies fongiques.

### **c. Pilotage de niveau de CO<sub>2</sub>**

À côté de la lumière, le dioxyde de carbone est fatal pour les plantes, des concentrations élevées du CO<sub>2</sub> dans le microclimat de la serre booste le taux de la photosynthèse de la plante et diminue les pertes d'eau par transpiration.

### **d. Contrôle d'intensité d'éclairement**

Il est le premier facteur influant sur la photosynthèse de la plante, mais tout comme la température et l'humidité, l'agriculture aux seins d'une serre a une intensité du rayonnement idéale pour une production. En effet le rayonnement a une relation direct avec la température donc l'excès d'éclairement peut engendrer une augmentation de température qui dépasse la norme pour la plante.

## **I.4.5 Systèmes de control**

### **a. Refroidissement**

Les serres ont besoin de températures appropriées pour une croissance et une production optimales. Une température trop haute ou basse peut causer des problèmes pour les plantes. On peut citer trois méthodes de refroidissement

- Ventilation naturelle : La ventilation passive est la forme la plus populaire forme de ventilation dans les serres, elle dépend des ouvertures qui attire de l'air naturellement dans la serre. Bien qu'il existe des designs différents, les ouvertures dans le plafond sont 5 fois plus efficace que les ouvertures dans les cotés.
- Ventilation forcée : La ventilation active est l'utilisation des équipements pour forcer l'aération de la serre. Mais il est important de faire une étude sur la ventilation pour le long de la serre pour éviter le surchauffe dans le milieu. Les ventilateurs de circulation sont couramment utiliser même dans les serres ayant des ouvertures pour bien circuler l'air le long de la serre.
- Ombrage : on peut utiliser des rideaux durant les périodes les plus lumineuse et plus chaude dans l'année pour la réduction de 30 à 50% d'éclairement.

### **b. Chauffage**

Un bon système de chauffage est l'une des étapes la plus importante d'une production agricole réussite. Tout système de chauffage qui assure un contrôle uniforme de la température sans dégager de matière nocive pour les plantes est acceptable. Les sources d'énergies varient en fonction de la disponibilité et leur coût.

### **c. Déshumidification**

Quand l'air intérieure est chaud il peut tenir plus d'humidité (gouttelettes d'eau), qui est important pour les plantes qui favorise l'eau dans l'air. Mais ca peut causer des problèmes si l'humidité est très haute (les plantes auront des problèmes à absorber le calcium) alors que les plantes ne peuvent pas bien se développer si l'humidité est trop faible. La ventilation peut régulariser le niveau d'humidité dans la serre surtout si elle est trop élevé.

### I.5 Etat de l'art sur l'application des RNA dans les serres

La serre est une forme d'exploitation d'énergie solaire pour créer et maintenir un microclimat favorable et améliorer les conditions de croissance pour une augmentation à la fois de la qualité et quantité des produits pour à la fois protéger la culture et répondre aux demandes croissantes de la nourriture. Les serres en plastiques sont les plus utilisées dans le monde, à cause de leur faible coût d'investissement, performantes en printemps et hiver (énergie solaire suffisante pour la production) mais pendant l'été les serres en plastique perdent leur efficacité à cause du climat chaud (surchauffe excessive et forte hygrométrie). La culture en serre est la forme la plus intense de la production agricole (10 fois plus supérieure que la culture ouverte). Quand on parle du climat d'une serre, on fait référence aux conditions environnementales dont les plantes ont besoin pour être en bonnes conditions. Le microclimat d'une serre est une fonction complexe multiparamétrique non-linéaire qui dépend des paramètres internes et externes comme la température, l'humidité, l'éclairage, la vitesse et la direction du vent. La figure I.8 présente les différentes approches utilisées pour contrôler le microclimat des serres.

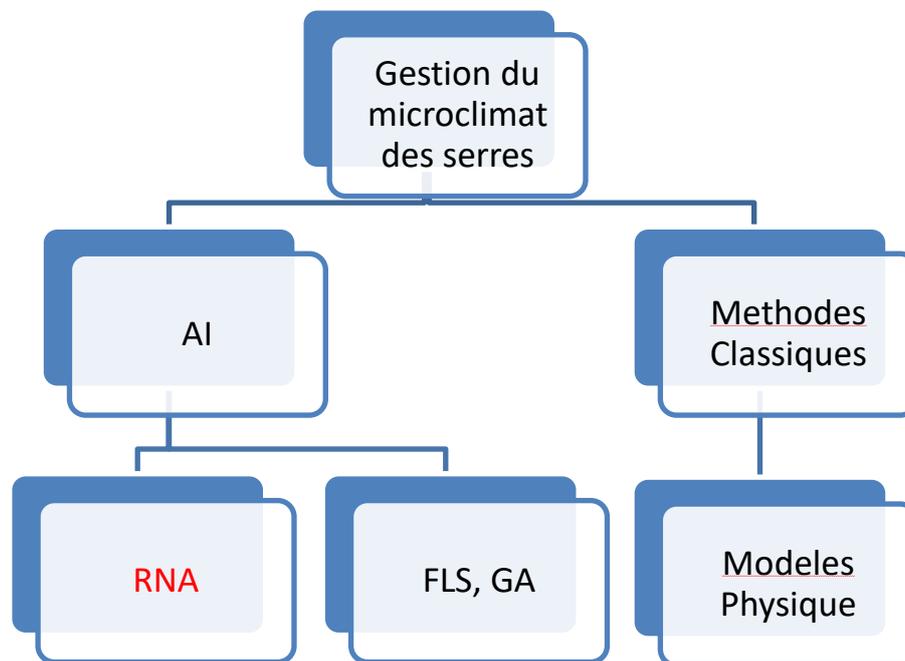


Figure 0-8 Organigramme des méthodes de contrôle de l'environnement des serres

#### I.5.1 Modèles classiques

Cette approche dépend des modèles physiques qui sont basés sur les équations de conservation d'énergie et de masse. Parmi les chercheurs dans ce domaine, Issancho [6], Joliet [7] ont réalisé des modèles dynamiques pour les bilans thermiques dans l'abri des serres. Les résultats de ces recherches sont plutôt acceptables, mais aucun d'eux n'a été employé dans la pratique. La deuxième approche consiste de l'analyse des paramètres d'entrée et de sortie par l'utilisation d'un système d'identification. Cependant, il est désirable de trouver une solution pour le contrôle du microclimat par l'utilisation des méthodes modernes pour les systèmes adaptatifs.

non-linéaire. Le control conventionnel qui consiste sur des modes de control de l'environnement qui essaie de contrôler le microclimat d'une serre agricole par la réduction de différences entre le set points des variables souhaité. Le représentant le plus adapte de ce model est le PID qui est utiliser généralement dans les systèmes industriels. Hopper et Davies [8] on mise en ouvre une serre agricole contrôler par cet algorithme et qui a obtenu des résultats acceptable pour le contrôle des changements DOUX de microclimat de la serre. Mais les recherches ont montré que cette méthode n'est plus adéquate à contrôler les problèmes inhérents de la serre. La raison réside sur le fait que le control des serres agricoles est très complexe et comporte de nombreuses non-linéarités. Par conséquent ce résultat a encouraga les rechercher a développer de nouvelle technique avancé Sigrimis et al [9], car dans le temps passé l'application des techniques avancé de control été limiter par la limitation de puissance de calculs disponible.

### I.5.2 Modèles d'intelligence artificielle

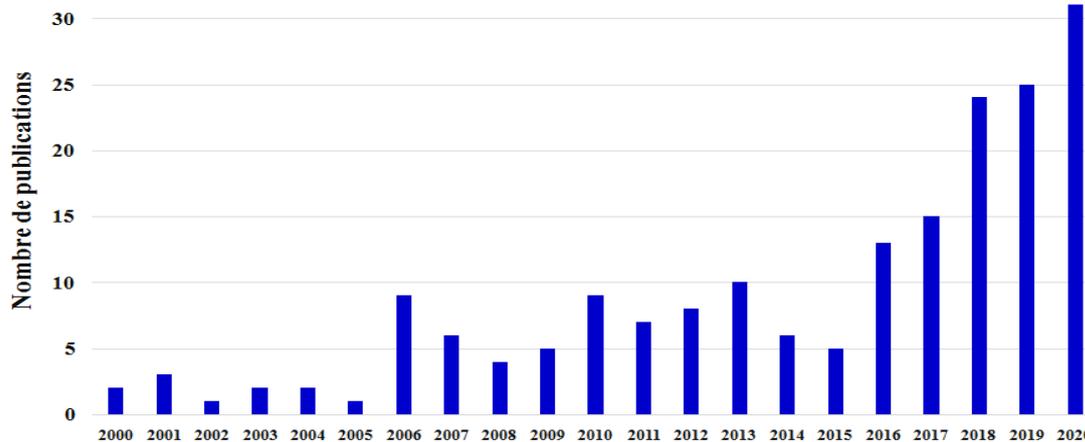
Dans les dernières années le développement informatique à jouer un très grand rôle dans la modélisation de systèmes de contrôles des cultures en serre, le développement d'intelligence artificiel ont été largement utiliser pour étendre les systèmes intelligents pour la gestion en temps réel des installation en serre. Les régulateur FLS (fuzzy logique Systems) sont conceptuellement très simple, il ce compose d'un étage d'input, étage de traitement et un étage de output. Le FLS permet d'obtenir des résultats importants dans les domaines de régulation du climat d'agriculture protégé. Ce système est capable de prendre en compte plusieurs types de donnée y compris des données vague, déformés ou imprécise. Kurata et Eguchi 1990 [10] qui a appliqué cette théorie dans la gestion des cultures pour l'agriculture protégé. Pour le cas de Castanda Miranda et al[11] qui a mis en ouvre le Systems FLS pour contrôler la température du microclimat d'une serre. Mais comme le FLS est basé sur des données imprécis la précision des résultats obtenu sont compromis et généralement inacceptable. En, plus ce système n'a pas l'aptitude de reconnaissance de ML donc il est totalement dépendant sur la connaissance humaine et il faut le mettre a jour constamment.

Depuis le travail pionnier de Nara[12], la simulation CFD a été de plus en plus utilisée pour étudier l'évaluation de la distribution intérieure. Cette méthode est précise et permet d'étudier le flux d'air et la distribution de la température. Pour schémas d'écoulement en serre caractérisés par des conditions tridimensionnelles, il est impossible de trouver une solution analytique pour les champs de pression, de vitesse et d'autres quantités transportées, la vitesse et les autres champs de quantités transportées. Wang et al. [13] ont utilisé des simulations CFD pour étudier le microclimat d'une serre en plastique typique utilisée en Chine. Ils ont adopté un nouveau modèle de perméabilité fractale pour la simulation du couvert végétal. Ce modèle peut utiliser les distributions des variables du microclimat dans la serre.

### I.6 Approches de contrôles du microclimat des serres

Plusieurs études ont été consacrées pour le développement de différente méthode d'application dans la production des cultures couverte. Néanmoins puisque les serres sont des systèmes non-linéaire complexe, invariant au cours du temps plusieurs enquêtes ont opté pour l'utilisation des RNA pour la simulation et la prédiction et le control de ce processus. Les RNA au lieu d'être programmé, apprend à reconnaître les motifs. Ces systèmes sont très appropriés pour refléter des connaissances qui ne peuvent pas être programmées ou justifiées, ainsi que pour représenter des phénomènes non linéaires.

Dernièrement, Les chercheurs dans le domaine de control de microclimat des serres solaire sont concentrai sur l'utilisation des réseaux neurones artificiel, pour ca fiabilité. La figure 1.9 montre le développement de la recherche dans le domaine de la modélisation des serres par l'utilisation des réseaux neurones artificiel.



**Figure 0-9** Devloppement des recherche sur l'utilisation des RNA dans les serres.

Hirafiju [14] est pratiquement le premier à introduire les réseaux neurones pour le control de développement d'une plante par la dérivation de l'équation de Lotka-Volterra qui décrit l'interférence entre les organes. Hirafiju a aussi proposé qu'on peut (peut être) si on a suffisamment de donnés modifier la taille des organes de la plante. Hirafiju a fait une comparaison entre le model des RN et LV qui Cette comparaison nous a permet de trouver des solutions pour des paramètres inconnu

A K. J. Hunt [15] Dans cet étude faite particulièrement pour aider les ingénieurs a mieux comprendre le RNA qui travaille sur les système de control, qui a vraiment simplifier l'idée de le RNA et a donner un coup de pousse pour l'utilisation de ce model. L'utilisation de ce model apparait a avoir un grand succès. Cette étude a poussé aSeginer et al [16] à utiliser le réseau neurone pour deux application potentiel model des RN pour un control optimal et model RN comme un référence pour guider le développement des model physique de la serre agricole. Pour le control optimal de l'environnement de la serre agricole, cette application a besoin d'un model du système et les RNA sont les plus convenable pour cela. Ce type de blackboxpeut imiter les variables d'input et de control pour produire les outputs intérieurs de la serre. Les RNA peuvent être aussi utilisées pour la conception le développement physique de la serre car ils peuvent éliminer les inputs marginaux (comme la direction du vent).

Une autre étude effectuée par Seginer [17] a examiné certaines applications des réseaux neuronaux artificiels pour le contrôle de l'environnement des serres. Il a conclu que la modélisation des serres par les RNA ne concerne que les structures existantes. Ces modèles ne peuvent pas être utilisés pour concevoir de nouvelles serres, car ils manquent d'expressions explicites pour les différents composants et coefficients de transfert. Les changements d'équipement nécessiteront également une modification du modèle. Cependant, on pourrait envisager qu'un fabricant de serres fournisse non seulement une installation clé en main mais aussi son modèle RNA. Ce modèle pourrait ensuite être adapté aux conditions et exigences locales, sur la base des données recueillies sur place. Recueillies sur place. Les modèles RNA peuvent également être utiles en tant que contrôleurs, puisqu'on peut leur apprendre diverses règles de contrôle. Deux exemples l'imitation d'un contrôleur optimal (feed-forward) basé sur un modèle et l'apprentissage de diverses règles de contrôle. Modèle (feed-forward) et d'un

optimiseur humain (cultivateur expert) qui utilise des informations de retour sur l'état de la culture.

He et Ma [18] ont modélisé l'humidité des serres au moyen d'une RNA et d'une analyse en composantes principales. Cette étude a été menée en hiver et les facteurs affectant l'humidité interne, notamment la température et l'humidité externes, la vitesse du vent et le rayonnement, ainsi que la température interne, l'angle de l'ouverture des fenêtres et le ratio d'ouverture des stores ont été étudiés. Les résultats ont montré que le réseau neurone BPN avec une base de PCA a donné une meilleure valeur de RMSE (1.6745) par rapport à BPN classique (RMSE 4.5435)

S. Zeng et al. 2012[19] ont fait varier plusieurs paramètres d'entrées (Température extérieure, Humidité extérieure, Vitesse du vent, Radiation solaire, Concentration de CO<sub>2</sub>, chauffage, Ventilation, Rejet de CO<sub>2</sub>), pour les paramètres de sortie (Température intérieure et Humidité intérieure de la serre). Les résultats montrent que le modèle proposé présente une meilleure adaptabilité et des performances de contrôle en temps réel plus satisfaisantes par rapport aux résultats obtenus à l'aide d'algorithmes génétiques et de méthode de contrôle proportionnel dérivées.

R.AHMAD et al [20] a utiliser un modèle de réseau neurone avec l'algorithme de Levenberg-Marquadt pour la prédiction de température et humidité intérieure d'une serre avec aération naturelle qui a pu atteindre un index d'erreur de 0.0025 et 0.0024 pour la température et l'humidité intérieure respectivement.

L'application des RNA dans la prédiction des serres peut se basé sur plusieurs type d'entré et on peut aussi varier les paramètres de sortie, dans ce sens Taki et al[21] a utilisé la sollicitation extérieurs/intérieure comme des paramètres d'entrées d'une serre en Iran pour prédire la température, l'humidité, la température du sol et le niveau d'humidité du sol. Ils ont prouvé que le modèle de régression est capable de faire des prédictions précises avec une erreur quadratique moyenne RMSE avec 1-2°C et un coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) plus élevé.

Un essai de développement d'un model RNA a été fait par Singh, Tiwari [22] pour la prédiction de la température et l'humidité relative d'une serre agricole avec une journée d'avance utilisant la Température max et min et l'humidité relative de la serre plus la vitesse moyenne du vent extérieure et le rayonnement solaire comme input. Les résultats de comparaison entre les valeurs mesuré et prédite (T, Hr) par RMSE et MAE sont 0.711 °C, 0.558 °C et s 2.514%, 1.976% respectivement fournit des bonnes performances à la prédiction.

Moon et al [23] ont modélisé une serre par l'utilisation de RNA pour la prédiction le niveau de concentration de CO<sub>2</sub> utilisons dans une serre situées Boryeong-Korea, avec une base de données de 6mois (presque 15000 données). Ils ont varié le nombre de neurone dans la couche cachée de 32 à 2048 neurones. Ils ont trouvé la précision de l'apprentissage augmentent mais la précision du test diminue quand le nombre de neurones dépasse 256. En outre le résultat du model par RNA donne une meilleure prédiction (R<sup>2</sup>=0.97 REQM=19.90) par rapport le model de régression multivariée. (R<sup>2</sup>=0.7 REQM=54.70)

Khaled.B et al [24] ont fait une comparaison entre la méthode de régression linéaire multiple (MLR) et un model de RNA pour la prédiction de rendement de la production de 25 serres à Biskra. Les résultats ont illustré que le model RNA a donné des prédictions plus précise que le MLR. L'analyse de sensibilité à montrer que les insecticides (potassium,

## Chapitre I : Aperçu sur les technologies de système serre

---

nitrogène), l'électricité et les fongicides sont les paramètres d'entrées les plus importants dans la production sous serres.

Liao Qu [25] a utilisé la température intérieure, humidité relative et indice de lumière comme données d'entrée pour atteindre des estimations pour la température critique de la serre expérimentale, son modèle a pu atteindre des résultats mieux que acceptable. Il s'avère que l'approche proposée peut mieux garantir un jugement opportun des températures extrêmes dans les serres, évitant ainsi les pertes inutiles causées par des prédictions incorrectes ou manquées. Les résultats ont montré que les performances du modèle avec une amélioration dans la fonction des pertes comparées avec le modèle original pour les cas critiques.

Theodoris et al [26] ont modélisé un perceptron multicouche pour la prédiction de la température et l'humidité intérieure de la serre. Ils ont utilisé les inputs température et humidité relative, vitesse du vent aussi bien que la température et l'humidité intérieure. L'erreur EAM et REQM ont été estimées de 0.218 K, 0.271 K et 0.339%, 0.481% respectivement.

## Chapitre I : Aperçu sur les technologies de système serre

Référence	Input	Output	Architecture	Commentaire
Bussab et al. [27]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température extérieur</li> <li>• Humidité extérieur</li> <li>• Eclairage globale</li> <li>• Vitesse du vent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température intérieure</li> <li>• Humidité intérieure</li> </ul>	4-40-20-2	Le model RNA à donner des meilleures résultats pour la prédiction de la température intérieure par rapport a l'humidité intérieure.
Laribi et al. [28]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température extérieure</li> <li>• Humidité extérieur</li> <li>• Vitesse du vent</li> <li>• Eclairage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température intérieure</li> <li>• Humidité intérieure</li> </ul>	4-7-2	Deux approches ont été utilisées (multimodal et RNA) la comparaison a montré que l'approche de RNA est plus facile a obtenir, et il peut être utilisé pour une simulation de différent output en même temps.
Taki et al [29]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température extérieur</li> <li>• Eclairage globale</li> <li>• Vitesse du vent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température intérieure</li> <li>• Température du sol</li> <li>• Température des plantes.</li> </ul>	3-21-9-9-3	13 types d'algorithmes d'apprentissage ont été testés. La comparaison a montré que RFBRANN a les erreurs les plus bas entre les model.
Alipour et al [30]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vitesse et direction du vent</li> <li>• Humidité relative</li> <li>• Lumière visible</li> <li>• Lumière infrarouge</li> <li>• Température d'air</li> <li>• Concentration de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température intérieure</li> <li>• Rayonnement intérieure</li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• Humidité intérieure</li> </ul>	7-5-4	la structure optimale devrait utiliser un réseau neuronal à alimentation directe avec 7 d'entrée et 5 neurones dans la couche cachée. La méthode présentée de conception de PARNNN est rarement utiliser.

**Tableau 0-3 Application des model RNA pour la prédiction du microclimat des serres**

### **I.7 Conclusion**

Dans ce chapitre on a mis en oeuvre des généralités sur les serres solaire concernant leur composantes et le comportement thermique sous son microclimat, les paramètres influents principalement la température, le rayonnement et l'humidité dans la serre et les phénomènes thermique qui se produit à l'intérieur.

La serre est une forme d'exploitation d'énergie renouvelable (énergie solaire au 1<sup>er</sup> niveau), d'où le control de son microclimat est tres important pour assurer le rendement optimale. Cette synthèse bibliographique nous a montré aussi la réussite des réseaux neurones artificiel dans le domaine de la prédiction sous serre pour des différents paramètres voulu.

### Référence

- [1] Ministère de l’Energie, 2016. Les énergies renouvelables en Algérie. Available at: [https://www.german-energysolutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Praesentationen/2016/160216-iv-algerien-10-creg.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.german-energysolutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Praesentationen/2016/160216-iv-algerien-10-creg.pdf?__blob=publicationFile&v=7)
- [2] Bouraiou, A., Necaibia, A., Boutasseta, N., Mekhilef, S., Dabou, R., Ziane, A., ... & Touaba, O. (2020). Status of renewable energy potential and utilization in Algeria. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119011.
- [3] <https://www.tractorjunction.com/>
- [4] Aguilar MA, Vallario A, Aguilar FJ, Lorca A, Parente C (2015) Object-based greenhouse horticultural crop identification from multi-temporal satellite imagery a case study in Almeria, Spain. *Remote Sens-Basel* 7 7378–7401
- [5] [www.serresvaldeloire.com](http://www.serresvaldeloire.com)
- [6] S. Bezari, (2021) experimentation, modelisation et amelioration du microclimat d’une serre tunnel agricole sous climat de la region de Ghardaia. These de doctorat, Université de Laghouat.
- [7] G. Issanchou, 1991 ‘Modélisation Energétique des Serres - Contribution à la Mise au Point d’un Logiciel de Thermique Appliqué à l’Ingénierie des Serres’, Thèse de Doctorat, Université de Perpignan,.
- [8] Jolliet O (1988). Modélisation du comportement thermique d'une serre horticole. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- [9] A.W. Hooper, P.F. Davis, An algorithm for temperature compensation in a heated greenhouse, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 2, Issue 4, 1988, ISSN 0168-1699,
- [10] Sigrimis, N., Arvanitis, K. G., Pasgianos, G. D., & Ferentinos, K. P. (2002). Computer integrated management and intelligent control of greenhouses. *Environment Control in Biology*, 40(1), 39-53.
- [11] K. Kurata, N. Eguchi, (1990) Machine learning of fuzzy rules for crop management in protected cultivation Transactions of the ASAE. 33(4) 1360-1368
- [12] Castañeda-Miranda, R., Ventura-Ramos Jr, E., del Rocío Peniche-Vera, R., & Herrera-Ruiz, G. (2006). Fuzzy greenhouse climate control system based on a field programmable gate array. *Biosystems engineering*, 94(2), 165-177.
- [13] Nara M (1979). Studies on air distribution in farm buildings } two dimensional numerical and experiment. *Journal of the Society of Agricultural Structures*, 9(2), 18–25
- [14] WANG, X. W., LUO, J. Y., & LI, X. P. (2013). CFD based study of heterogeneous microclimate in a typical Chinese greenhouse in central China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(5), 914-923.
- [15] M. Hirafuji, 1991 A Time-continuous quantitative plant growth model based on neural networks and lotka-volterra equations, IFAC Proceedings Volumes, Volume 24, Issue 11, ISSN 1474-6670,

- [16] Hunt, K. J., Sbarbaro, D., Żbikowski, R., & Gawthrop, P. J. (1992). Neural networks for control systems—a survey. *Automatica*, 28(6), 1083-1112.
- [17] Seginer, I., Boulard, T., & Bailey, B. J. (1994). Neural network models of the greenhouse climate. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(3), 203-216.
- [18] Seginer, I. (1997). Some artificial neural network applications to greenhouse environmental control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 18(2-3), 167-186.
- [19] He, F., Ma, C. (2010) Modeling greenhouse air humidity by means of artificial neural network and principal component analysis -Computers and Electronics in Agriculture 71 9-23.
- [20] Zeng, S., Hu, H., Xu, L., & Li, G. (2012). Nonlinear adaptive PID control for greenhouse environment based on RFBR network. *Sensors*, 12(5), 5328-5348.
- [21] Ahmad, R. O. B. I. A. H., Lazin, M. N. M., & Samsuri, S. F. M. (2014). Neural network modeling and identification of naturally ventilated tropical greenhouse climates. *WSEAS trans. on systems and control*, 9(1), 445-453.
- [22]. Taki, M.; Ajabshirchi, Y.; Ranjbar, S.F.; Matloobi. (2016) M. Application of Neural Networks and Multiple Regression Models in Greenhouse Climate Estimation. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 18, 29–43.
- [23] Singh, V. (2017) Prediction of greenhouse micro-climate using artificial neural network. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15, 767–778.
- [24] Moon, T. W., Jung, D. H., Chang, S. H., & Son, J. E. (2018). Estimation of greenhouse CO<sub>2</sub> concentration via an artificial neural network that uses environmental factors. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59(1), 45-50.
- [25] Belouz, K., Nourani, A., Zereg, S., & Bencheikh, A. (2022). Prediction of greenhouse tomato yield using artificial neural networks combined with sensitivity analysis. *Scientia Horticulturae*, 293, 110666
- [26] Qu, L., Huang, S., Jia, Y., & Li, X. (2021). Improved Loss Function-Based Prediction Method of Extreme Temperatures in Greenhouses. *arXiv preprint arXiv 2111.01366*.
- [27] Petrakis, T., Kavga, A., Thomopoulos, V., & Argiriou, A. A. (2022). Neural Network Model for Greenhouse Microclimate Predictions. *Agriculture*, 12(6), 780.
- [28] Bussab, M. A., Bernardo, J. I., & Hirakawa, A. R. (2007, February). Greenhouse modeling using neural networks. In *Proc. of the 6th WSEAS Int. Conf. on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases* (pp. 131-135).
- [29] Laribi, I., Homri, H., & Mhiri, R. (2006, July). Modeling of a greenhouse temperature comparison between multimodel and neural approaches. In *2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (Vol. 1, pp. 399-404). IEEE.
- [30] Taki, M., Mehdizadeh, S. A., Rohani, A., Rahnama, M., & Rahmati-Joneidabad, M. (2018). Applied machine learning in greenhouse simulation; new application and analysis. *Information processing in agriculture*, 5(2), 253-268.

## Chapitre I : Aperçu sur les technologies de système serre

---

[31] Alipour, M., &Loghavi, M. (2013). Development and evaluation of a comprehensive greenhouse climate control system using artificial neural network. *Universal Journal of Control and Automation*, 1(1), 10-14

# **Chapitre II**

## **Matériels et Modélisation**

### II.1 Introduction

Il existe différentes manières pour prédire et contrôler le microclimat de la serre, parmi lesquelles on a montré dans le chapitre précédent les réseaux neuronaux artificiels. Ce chapitre est dédié à la description du système et à l'étude des RNA (type et principe de fonctionnement), ainsi que la méthodologie suivie pour la modélisation du modèle.

### II.2 Description du site

La région de Numerat située dans la wilaya de Ghardaïa est localisée entre (32,36° nord et 3,51° ouest), avec une altitude de 450 mètres au-dessus de la mer (voir figure 1). Cette région est connue pour son climat semi-aride, caractérisé par un rayonnement solaire exceptionnel, avec un éclairage global annuel sur une surface horizontale qui dépasse les 20 MJ/m<sup>2</sup> et 3000 heures d'ensoleillement, ce qui est très favorable pour l'implémentation des projets solaires.

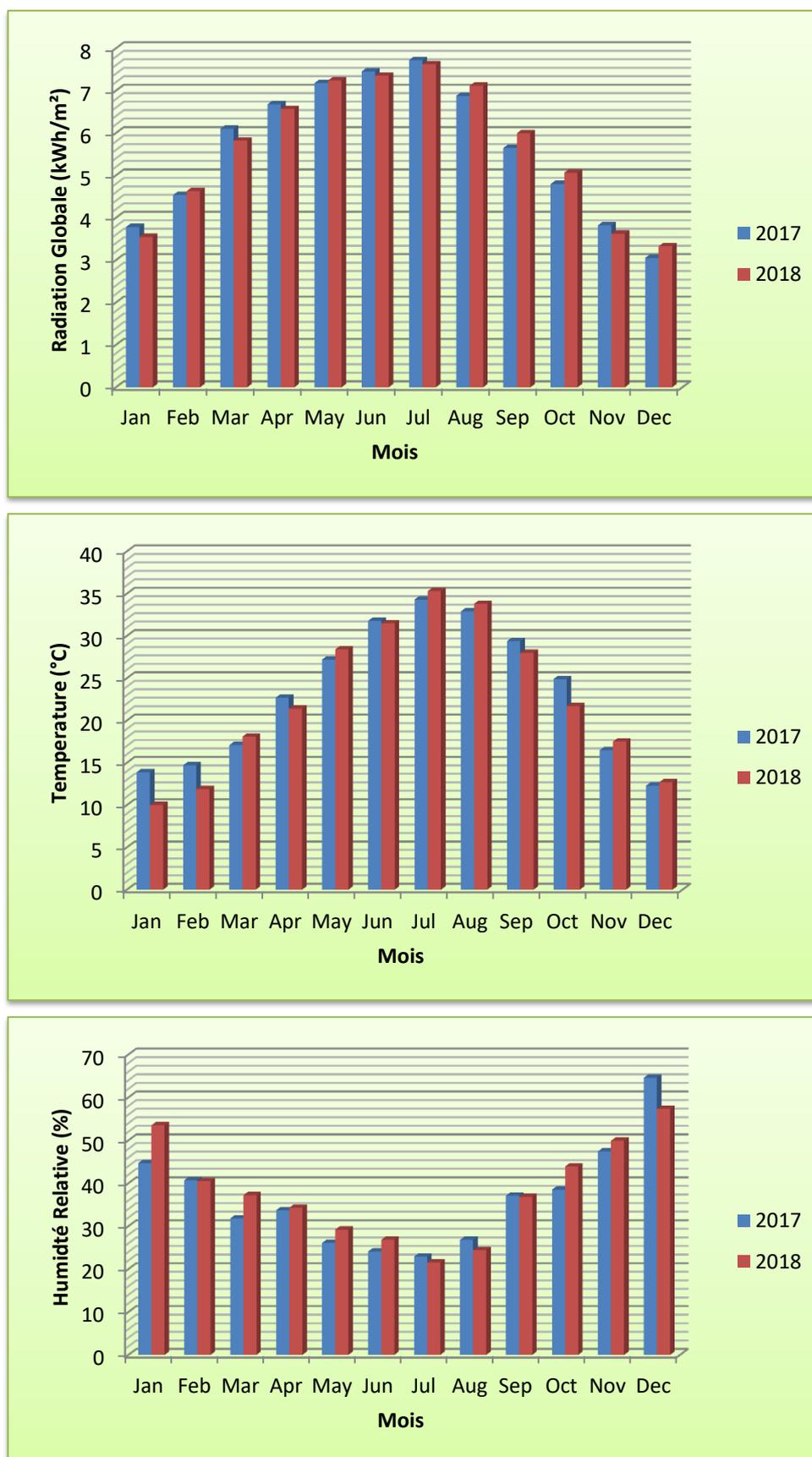
Facteurs	Minimum	Maximum
Durée de jour	Décembre (234,5 heures)	Juillet (337,8 heures)
Température	Janvier (5,5 °C)	Juillet (41,7°C)
L'humidité	Juillet (21,60%)	Janvier (55,80%)

Tableau 0-1 Min et Max des paramètres climatiques du site de Ghardaïa [1]

La température varie considérablement durant la journée entre le jour et la nuit avec une valeur de 16°C, tandis que l'humidité est pratiquement stable durant l'année. La vitesse moyenne du vent montre une variation saisonnière importante. La période la plus venteuse de l'année est enregistrée pour une période de 6 mois et 9 jours du début janvier jusqu'à mi-juillet avec une vitesse qui dépasse 4,1 m/s. La journée la plus venteuse de l'année est le 27 avril avec une vitesse moyenne de 4,6 m/s. La période la plus calme de l'année généralement est pendant 5 mois et 21 jours de mi-juillet jusqu'au début janvier. [1]



Figure 0-1 Localisation de la serre agricole –URAER–



**Figure 0-2 Variation du rayonnement, la température et l'humidité dans le site de [l'URAER]**

### II.3 Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est réalisé à l'unité de recherche appliqué en énergies renouvelables (UREAR) de Ghardaïa et dont nous exploitons les données. Cette expérience est menée dans une serre tunnel avec une structure métallique 24m de longueur sur 8m de largeur, orienté vers le sud avec un angle de déviation de 20° (voir figure II.3). La couverture utilisée est base-densité polyéthylène (180µm d'épaisseur). La propriété physique du film plastique indique dans le tableau II.2.

Propriété	Valeur
Spectrum solaire	
Absorptivité	0.2
Réfectivité	0.1
Transmissivité	0.7
Spectrum infrarouge	
Absorptivité	0.12
Réfectivité	0.07
Transmissivité	0.81

Tableau 0-2 Propriété physique de couverture de la serre [1]

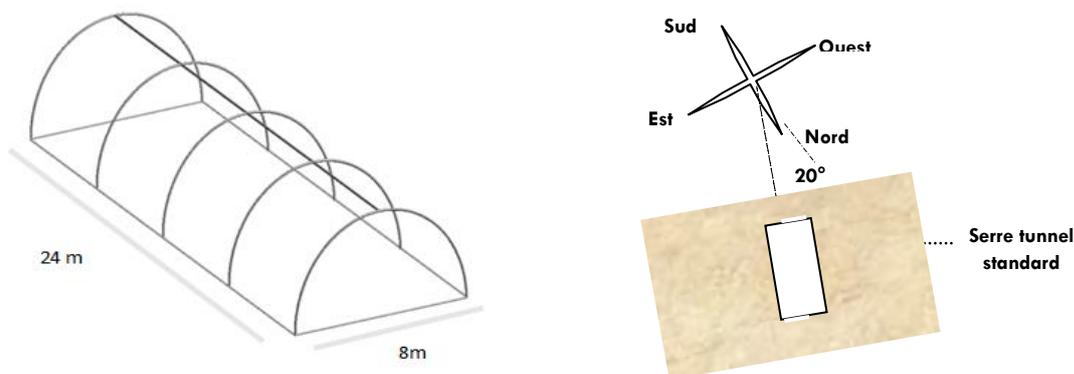


Figure 0-3 Conception et orientation de la serre



Figure 0-4 Serre réelle installée à Ghardaïa

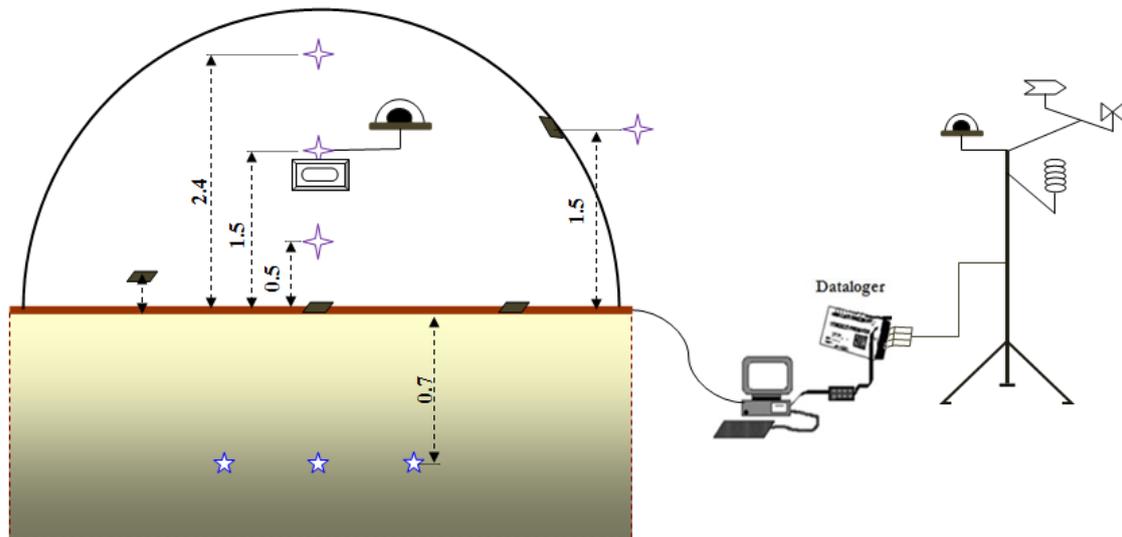
### II.4 Instrumentation de mesure

- Milieu extérieure de la serre : Pour les mesure de radiation extérieure, la station radiométrique Solys2 installée dans l'unité de recherche pas loin de la serre a été utiliser pour récupérer les données tout au long de cette expérience. Cette station est équipée d'un Pyranometre pour l'éclairément globale, et un autre couvert d'un système d'ombrage pour capturer l'éclairément diffus. La station métrologique WS2 figure II-2 pour mesurer la direction et la vitesse du vent, mais aussi équipée avec les outils de mesure de la température, l'humidité relative et le niveau de précipitation.
- Milieu intérieure de la serre : Un Pyranometre de type EPPLY a était mis a l'intérieure de la serre pour mesurer la radiation intérieure qui traverse la couverture de la serre. Des sondes de type PT100 on été utilisé pour les mesures de la température intérieure a différente hauteur, et différente type, pour la mesure de la température ambiante et la température d'air on été mise dans le même support avec le Pyranometre.

Ces instrumentations de mesure sont illustrées dans la figure II.6 et leurs précisions sont présentées dans le tableau II.3.

Description	Capteur	Unité	Précision
Station radiométrique Solys2	Pyranometre Kipp&Zonen CMP11	W/m <sup>2</sup>	0.3%
Température d'air	PT-100	°C	±0.3°C
Acquisition de données	DATA logger Agilente 34970A	/	± (0.0050%) 18°C a 28°C ± (0.0005%) 0°C a 18°C ± (0.0005) 28°C a 55°C
Station météorologique	La crosse technologie WS2-550	°C Km/h %	±0.8°C ±0.1Km/h ±0.5%

**Tableau 0-3 Précision des outils de mesure**



-  Palette de la direction du vent
-  Consol (WS2-550)
-  Sonde de platine
-  Sonde de platine (air)
-  Sonde de platine (surfacique)
-  Girouette de vent
-  Pyranometer

Figure 0-5 Schema de positionnement des appareils et des sondes de mesure



**la station radiométrique Solys2**



**La station météorologique WS2**



**Positionnement des sondes**



**Pyranometre EPPLY**



**Abri d'acquisition**



**Système d'acquisition**



**Sonde PT-100**



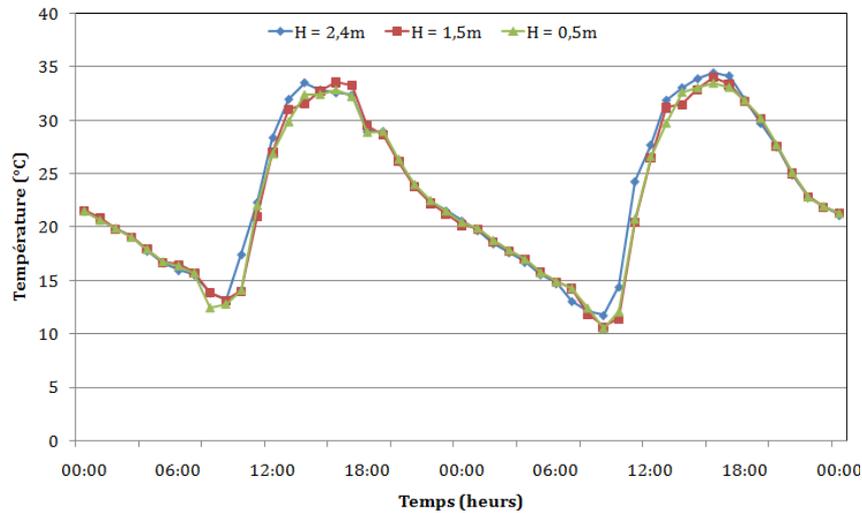
**Station de console WS2**

**Figure 0-6 Serre expérimentale et appareils de mesure**

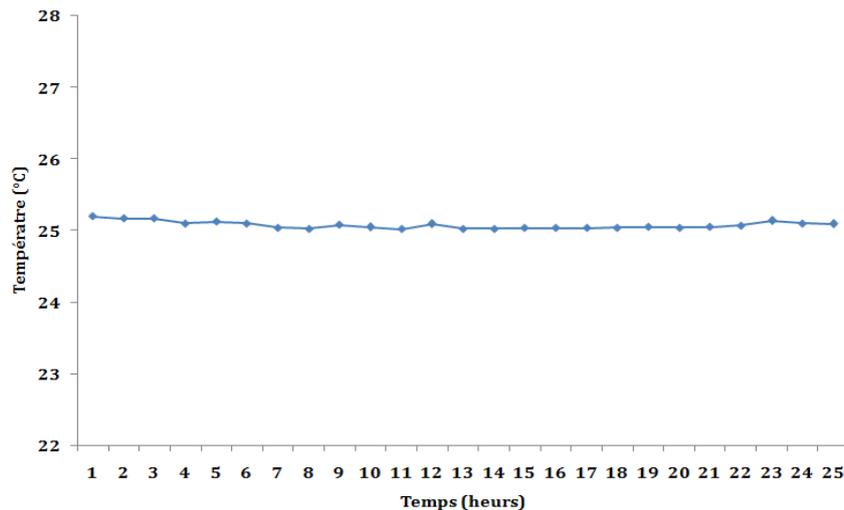
### ▪ *Etude expérimentale de la température (air intérieur/sol)*

La température de l'air intérieur est mesurée à l'aide des sondes thermométriques (Pt100). La mesure s'effectue à 0,5 m ; 1,5m et 2,4m du sol.

D'après la figure II.7, l'évolution de la température de l'air intérieur pour les trois hauteurs suit la même allure avec un écart moins important, et pour cela on a considéré que la température à l'intérieur de la serre est uniforme. Et on a retenu la température mesurée à la hauteur de 1,5 m du sol, car elle n'est pas influencée directement par le sol ou par la couverture de la serre (air extérieur).



**Figure.0-7 Evolution de la température de l'air intérieur pour différentes hauteurs**



**Figure 0-8 Evolution de la température du sol en fonction du temps à une profondeur de 70 cm**

Diverses sondes thermométriques sont placées à profondeurs de 70 cm dans le sol. Ces sondes nous donnent l'évolution de la température dans le sol. Selon la courbe tracée dans la figure II.8, nous avons constaté que la température varie légèrement en fonction du temps, on remarque qu'elle est restée presque constante au delà de 70 cm de profondeur.

### II.5 Généralité sur les Réseau neurone artificiel

Actuellement, les réseaux neurones artificiel (RNA) fournissent l'outil la plus fiable pour l'identification (image, son ou langage). Il repose sur le mécanisme d'entraînement, ça veut dire donner le maximum de données pour l'ordinateur afin de prédire les possibilités ou le phénomène possible. Ce concept a aidé à développer le fameux « deepblue » par IBM (un super ordinateur spécialisé dans la prédiction des coups possible dans le jeu d'échecs). Cette méthode de formation des ordinateurs avec le control des ingénieurs a permet de minimiser le temps de réponse, car c'est plus qu'une manière de réflexion c'est une méthode habituel qui a également aider à cesser d'utiliser des mémoires gigantesque et employer des méthodes simple basée sur le cerveau humain.

#### II.5.1 Principe de fonctionnement

Le réseau neurone artificiel (RNA) est un paradigme de traitement d'information qui s'inspire de la façon dont la biologie des systèmes nerveux, comme le cerveau, traite l'information. L'élément clé de ce paradigme est la nouvelle structure du système de traitement de l'information. Il est composé d'un grand nombre d'éléments de traitement hautement interconnectés (neurones) travaillant à l'unisson pour résoudre des problèmes spécifiques. Les ARN, comme les gens, apprennent par l'exemple. Un RNA est configuré pour une application spécifique, telle que la reconnaissance de formes ou la classification de données, par un processus d'apprentissage.

Les neurones se composent de trois parties :

Corps cellulaire (soma) : cette portion reçoit l'information.

Dendrites : cette partie très fine transporte l'information vers le corps cellulaire.

Axone : la longue partie du neurone transporte la réaction vers les autres cellules.

La Correspondance entre le neurone artificiel et le neurone biologique est montrée sur la figure II.9, chaque élément de neurone artificiel à son inspiration dans le neurone biologique.

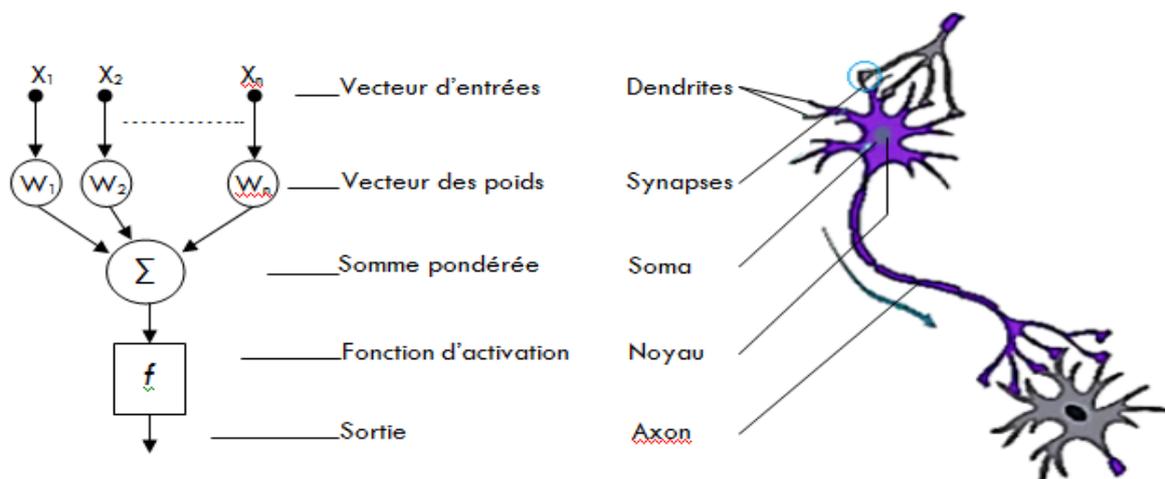


Figure 0-9 Correspondance entre neurone artificiel et neurone biologique.

### II.5.2 Architecture des réseaux neurones artificiel

L'architecture d'un réseau de neurones est le tissu de neurones entre eux dans un même réseau. En termes simples, il s'agit de la façon dont ils ont commandé et connecté. L'architecture du réseau Neurone dépend de la tâche à apprendre. Les réseaux Neurone sont généralement composés de plusieurs niveaux de neurones, d'entrées jusqu'aux sortie.

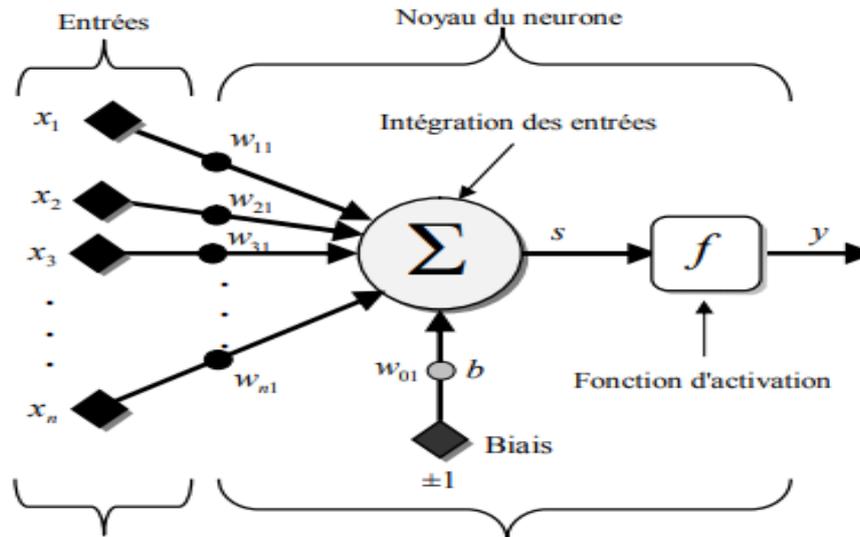
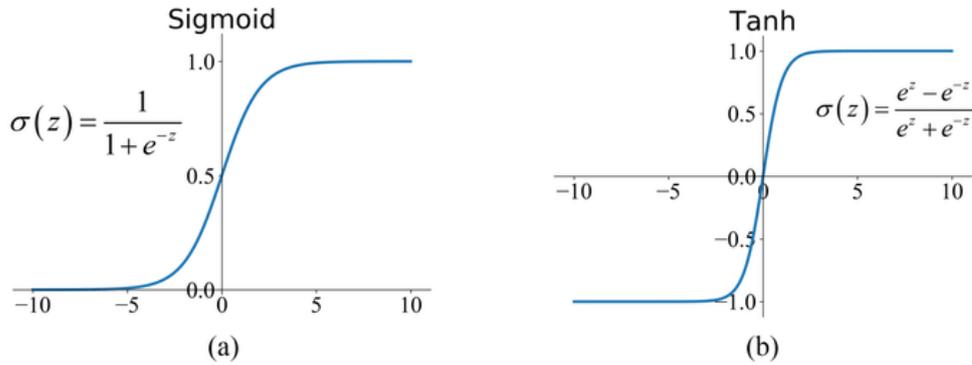


Figure 0-10 Modèle d'un neurone artificiel. [1]

- **Les paramètres d'entrées** : les paramètres d'entrées forment la couche d'entrée pour les RNA, ils reçoivent les données d'une partie extérieure. Chaque nœud est connecter avec un autre nœud dans la couche suivante (cachée) avec une certaine relation de poids qui détermine l'importance des données fournit pour notre travaille demandé.
- **La couche cachée** : c'est la couche intermédiaire entre les données d'entrée est la dernière couche (couche de sortie) qui donne les résultats finals. Utilisons les données fournit pour effectuer les calculs nécessaires pour obtenir les résultats.
- **La couche de sortie** : la couche finale de notre réseau qui donne le bilan final des calculs fait par la couche cachée,
- **Le poids** : il représente la force de connexion entre les éléments d'entrer et de sortie.
- **Fonction d'activation** : elle calcule la somme des poids pour déterminer s'il faut activer le neurone ou pas.
  - a) **Fonction sigmoïde** : c'est une fonction de nature non-linéaire tracée sur la forme « S » avec la plage de valeurs  $[0,1]$ . Généralement utiliser dans la couche de sortie.
  - b) **Fonction hyperbolique : tangente (Tanh)** c'est une fonction non-linéaire aussi, généralement utilisé dans la couche cachée des neurones, avec une plage de valeur  $[-1,1]$ , étant donné que la moyenne est proche de 0 rend l'apprentissage pour la couche suivante beaucoup plus facile.

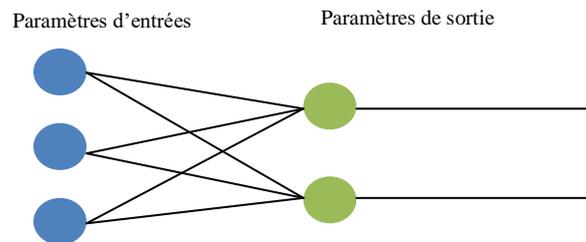


**Figure 0-11** Courbe des fonctions d'activation

	Fonction de transfert			
	Linéaire	Logistique (Sigmoid logarithmique)	Tangente hyperbolique sigmoïde	Exponentielle
<b>Notation</b>	Purelin	Logsig	Tansig	Exponential
<b>Équation de fonction de transfert</b>	$f(x) = x$	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	$f(x) = e^{-x}$

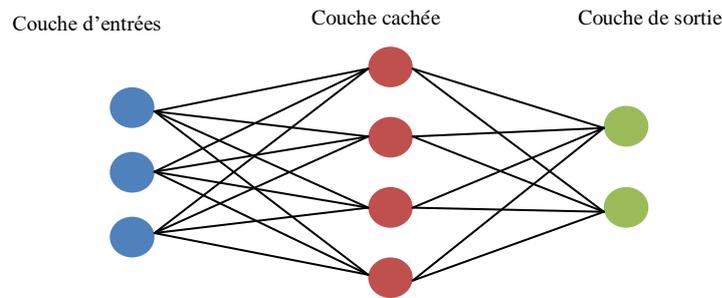
**Tableau 0-4** Fonctions de transfert

- *Réseaux statiques « A Propagation Avant »* : C'est un réseau perceptron a monocouche, une séquence des paramètres d'entrées sont multiplier par leur poids. Les valeurs d'entrées pondérées sont donc sommées pour former un total. La raison pour laquelle ces réseaux sont appelés A Propagation Avant est que le flux d'informations se fait dans le sens direct. Ce type de réseau neurone est généralement utiliser dans les fonctions d'approximation.[2]
- i. Réseaux neurones monocouche : c'est un modèle de perceptron simple avec n nombre d'entrées interconnecté avec des neurones qui donnent P nombre de sortie.



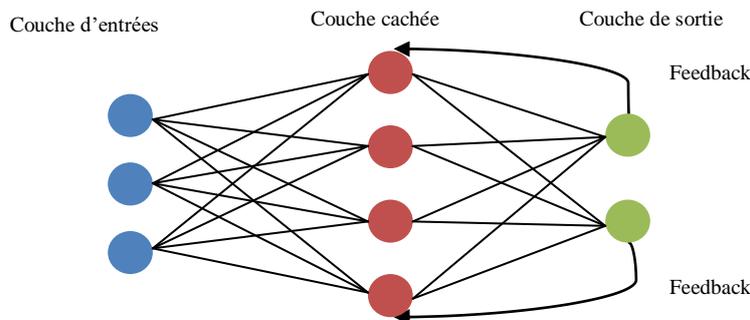
**Figure 0-12** Réseau de neurone Monocouche

- ii. Réseaux neurones multicouches (multi layer perceptron) : est un supplément du réseau neurone A Propagation Avant, il est composé de trois couches entré, caché et sortie.



**Figure 0-13 Réseau neurone Multicouche**

- iii. Réseaux de fonction à base radiale (RFBR) : c'est réseau neurones avec trois couches cachées utilisé pour les approximations des fonctions.
- iv. Réseaux de neurones Convolutif (CNN) : utiliser pour la reconnaissance d'image et le traitement des pixels.
- *Réseaux neurones récurrents « feedback »* : Au contraire du réseau statique (A Propagation Avant), le flux d'information dans ce type de réseau se fait dans les deux sens (avec un Feedback). Un type de réseau neurones qui a une mémoire et les neurones dans la couche cachée sont connecté. Il est vastement utilisé dans les applications de la reconnaissance vocale.[3]



**Figure 0-14 Réseau neurone Récurrent**

- *L'apprentissage* : Pour démarrer l'entraînement d'un réseau neurone après qu'on a structuré le réseau pour l'application souhaitée, donc le réseau est prêt pour être entraîné. Pour débiter cette étape les poids initial est choisie au hasard et après l'entraînement commence.
  - 1) *Entraînement supervisé* pour cette méthode on doit fournir les donnés d'entrée et aussi les donnés de sortie (output). Donc le réseau traite les inputs et comparé le résultat avec notre résultat obtenu. Les erreurs sont donc propagées à travers le système pour ajuster les poids. Pendant ce processus les données sont traiter plusieurs fois jusqu'à que le réseau atteint le point de précision voulu. Il se peut que le réseau n'ai pas de résultats valables soit a cause de la manque de fiabilité des données ou insuffisant.
  - 2) *Entraînement Non-supervisé* dans ce type d'entraînement on doit fournir les données d'entrée mais pas de sortie. Le système lui-même doit regrouper les inputs. Actuellement ce type de réseau neurones n'est pas bien compris. Il y'a des chercheurs qui travaille au-dessus mais la plupart concentrent sur les réseaux supervisés.

### II.6 Modélisation du microclimat de la serre par RNA

La simulation consiste à étudier les performances de microclimat dans la serre expérimentale avec la prise en considération les données expérimentales effectuées dans notre étude. Suivant l'algorithme d'apprentissage de RNA, on développe un modèle qui permet de prédire la température à l'intérieur de la serre

La première étape de la modélisation est de rassembler autant d'information sur notre modèle qu'on va étudier, tout ce qui concerne son comportement et les études faites auparavant pour adopter le meilleur modèle. On commence par la collection des données avant d'entamer l'architecture de notre réseau neurone et son apprentissage.

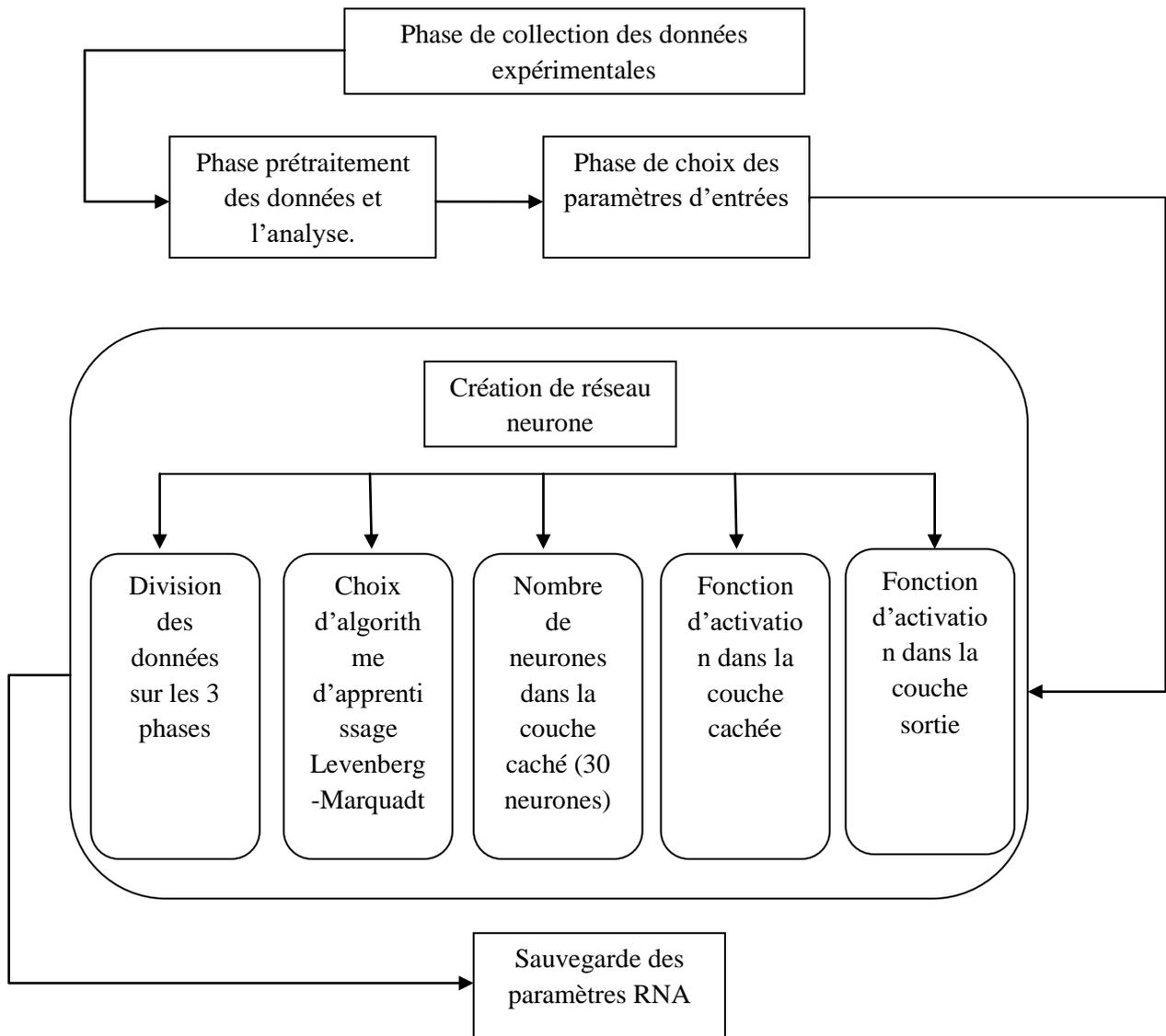


Figure 0-15 Procédure de la modélisation des serres par RNA

### II.6.1 Collection de données

La performance des modèles réseaux neurones dépend fortement sur la qualité des données utiliser pour la création du model. La vérification l'intégrité des données collectées est importante. Apres la conception de la serre située a l'unité de recherche des énergies renouvelable à Ghardaïa et l'expérience faite pour collecter les données voulues pour la conception de modèle d'estimation. La figure III.16 qui compte les paramètres suivant : la température intérieure et extérieure de la serre et l'humidité, la direction et la vitesse du vent plus l'éclairement intérieur et extérieure de la serre. Cette expérience nous a donné une base de donné pour la période du temps du 21 au 31 janvier avec approximât 4000 données valide avec un pas de 30minutes pour chaque mesure.

	A	B	C	D	E	F	G	I
1	TEMPS	T intérieure G1	Radiation intérieure	T extérieure	H extérieure	Radiation extérieure	vitesse de vent m/s	Direction du Vent
2	h	°C	W/ m²	°C	%	W/ m²	m/s	°
3	00:00	10,6	0	10,5	52	0	3,263299061	275
4	00:30	11	0	10,6	52	0	5,27492177	245
5	01:00	11,2	0	10,8	52	0	2,9950827	265
6	01:30	11,4	0	11,1	52	0	10,01341082	315
7	02:00	11,3	0	10,7	56	0	8,27000447	285
8	02:30	11,4	0	11	57	0	6,079570854	25
9	03:00	11,7	0	11,2	57	0	8,001788109	25
10	03:30	11,9	0	11,3	58	0	6,884219937	15
11	04:00	12	0	11,2	59	0	5,811354493	10
12	04:30	11,4	0	10,8	59	0	6,884219937	15
13	05:00	11,2	0	10,7	59	0	5,006705409	5
14	05:30	10,9	0	10,6	58	0	5,677246312	5
15	06:00	10,6	0	10,5	58	0	6,079570854	10
16	06:30	10,8	0	10,6	58	0	5,006705409	10
17	07:00	11	0	10,8	58	0	8,001788109	340
18	07:30	11,1	0	11,1	57	0	6,079570854	355
19	08:00	11,8	5,26118884	11,2	58	7,207108	6,481895396	330
20	08:30	12,7	44,0881602	11,1	59	60,39474	5,945462673	315
21	09:00	14,9	109,418386	12	57	149,8882	6,750111757	10
22	09:30	18,3	186,501495	13	55	255,4815	7,286544479	25
23	10:00	21,6	257,012414	13,9	52	352,0718	9,476978096	20
24	10:30	24	322,021834	14,4	49	441,1258	9,879302637	20
25	11:00	26,3	368,30909	15,2	47	504,533	11,62270899	340

**Figure 0-16 Capture d'écrans de la base de données**

### II.6.2 Traitement de données

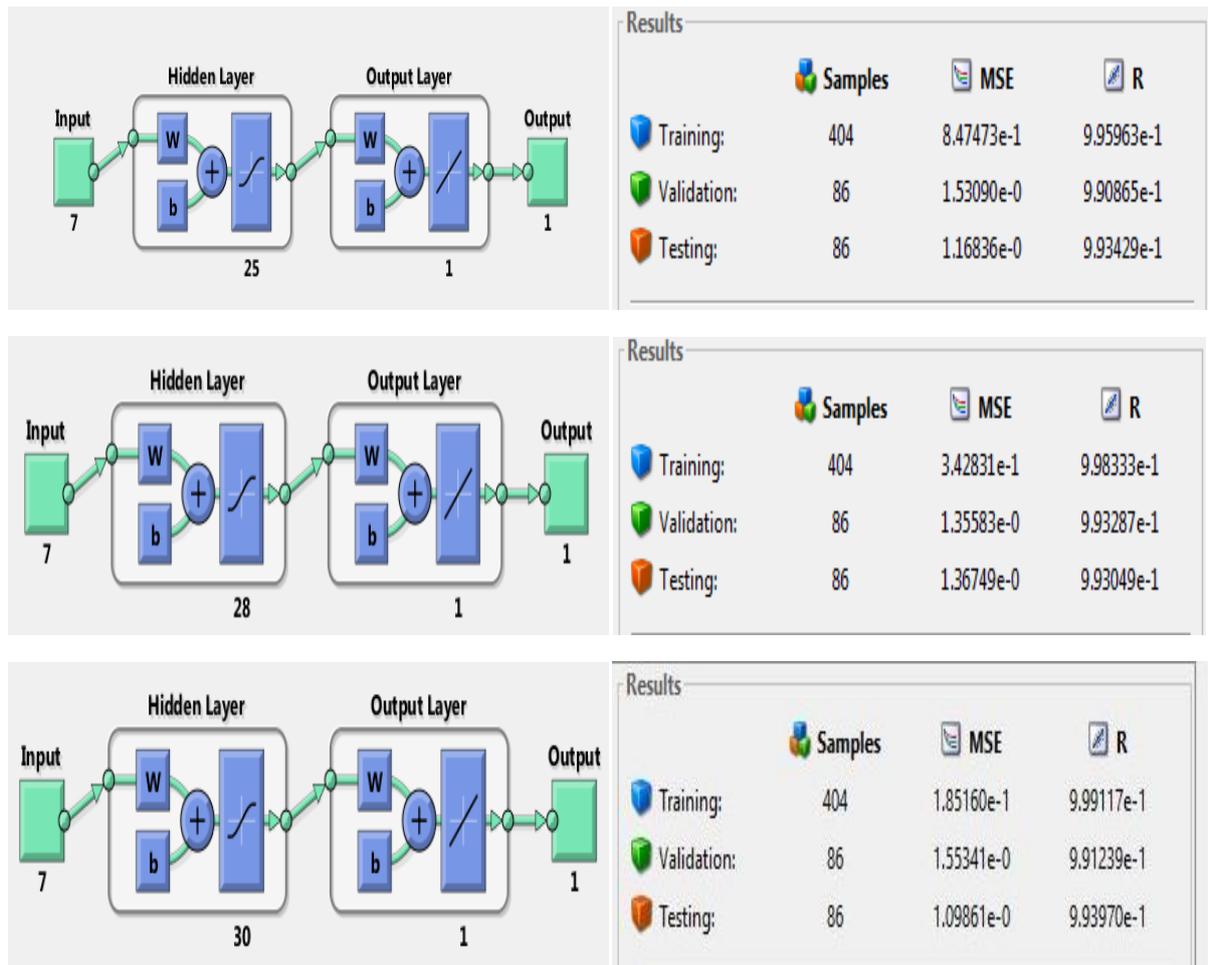
On fait un traitement des données avant de les introduire dans le model. En considérons que les capteurs dans la serre sont instable pendant la période d'acquisition des données, des valeurs erroné ou manquantes peut exister. Par conséquent dans le balayage des données en éliminant les valeurs avec une durée moins que 30minutes, et on élimine les valeurs anormal qui n'est pas adapter à l'intervalle voulu.

**Tableau 0-5 Analyse des données collecté**

Catégorie de valeur	Paramètres	Symbole	Unité	L'écart-type	Moy	Min	Max
Paramètres d'entrées	Température extérieure	Te	°C	4,84	11,99	4,4	25,6
	Humidité relative	H	%	16,40	52,73	85	21
	Rayonnement intérieure	Id	W/m <sup>2</sup>	239,43	116,34	0	563,01
	Rayonnement extérieure	Ig	W/m <sup>2</sup>	174,78	116,34	0	771,25
	Vitesse du vent	V <sub>v</sub>	m/s	2,94	3,88	0	13,99
	Direction du vent	D	°	126,72	138,86	0	355
Paramètres de sortie	Température intérieure	Ti	°C	9,98	18,19	6	44,10

### II.6.3 Architecture de réseau neurones

Pour cette étude ont choisi le réseau neurone artificiel « Perceptron a Multicouche » (PMC) avec 7 paramètres d'entrée (température extérieure, humidité relative, rayonnement interieure et extérieure, la vitesse et la direction du vent) et une sortie souhaité (température intérieure de la serre agricole). La détermination de la taille du model RNA pour un problème quelconque nécessite un choix judicieux afin de définir le nombre de neurone dans la couche cachée. Vu le manque d'une méthode claire pour adresser cette problématique dans la littérature, nous avons varié le nombre de neurone en comparant les résultats de coefficient de régression (R). Le tableau I.6 ci-dessus présente une comparaison entre les trois meilleurs résultats obtenus.



**Figure 0-17 Différents architecture utilisé**

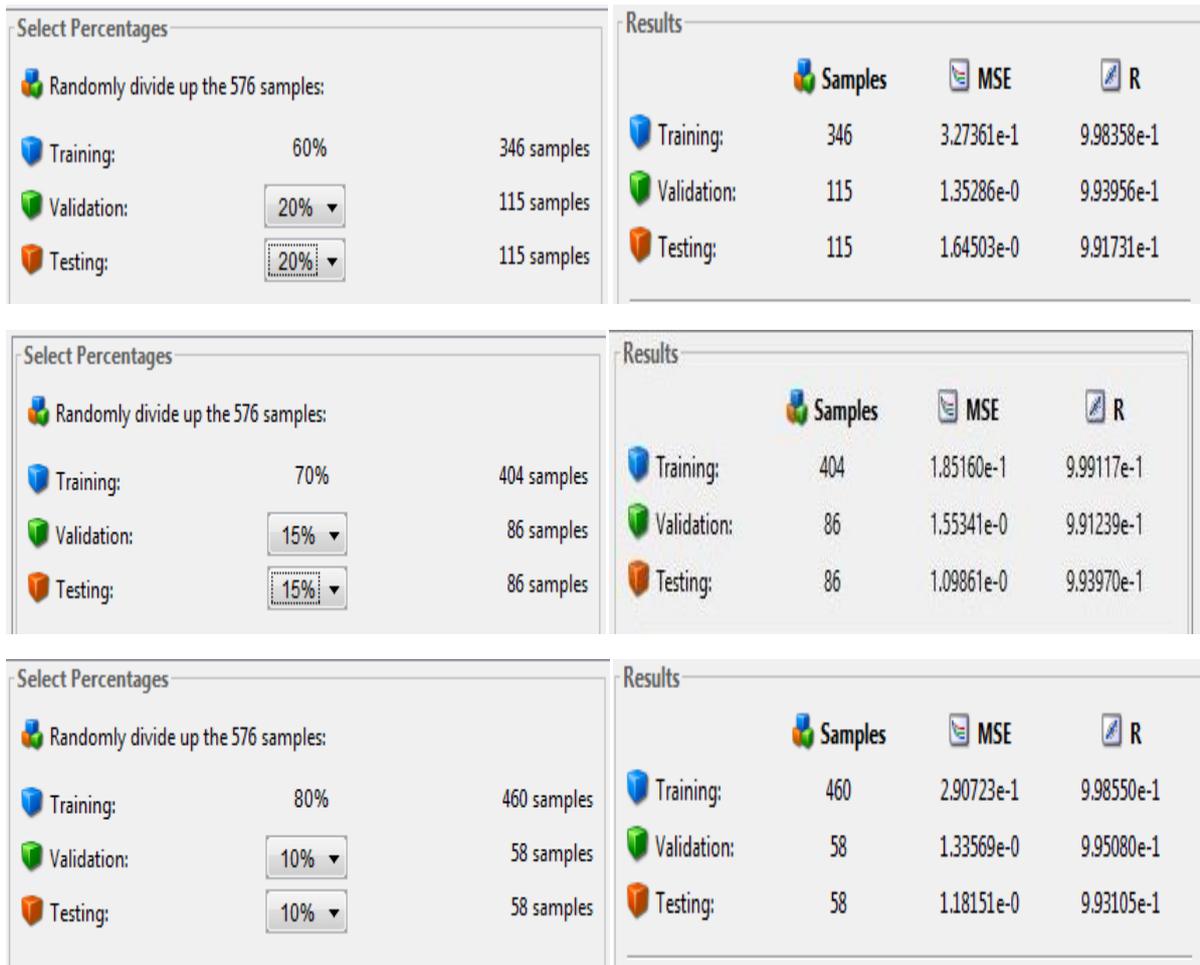
Nombre de neurones	25	28	30
Apprentissage	0.995963	0.998333	<b>0.999117</b>
Validation	0.990865	0.993287	<b>0.991239</b>
Test	0.993429	0.993049	<b>0.993970</b>

**Tableau 0-6 Comparaison des nombres de neurone**

Après un nombre d'essai ou on cherche le nombre de neurone optimal par la vérification des valeurs de régression (R) on a trouvé que le nombre optimal des neurones dans la couche cachée est de 30 neurones.

L'apprentissage est effectué a partir de la base de données. Dans cette expérience on a choisi l'algorithme d'apprentissage « Levenberg-Marquadt » pourca rapidité et qui assure la valeur de régression la plus grande (proche de 1). Le choix de pourcentage de la division de la base de données entre l'apprentissage, test et la validation est fait par essai effective et on comparant les résultats de la valeur de régression (R). Le pourcentage le plus adapté pour notre problème a été sélectionné.

## Chapitre II : Matériels et Modélisation



**Figure 0-18** Repartition des données

Pourcentage	60%, 20%, 20%	70%, 15%, 15%	80%, 10%, 10%
Apprentissage	0.998358	<b>0.999117</b>	0.998550
Validation	0.993956	<b>0.991239</b>	0.995080
Test	0.991731	<b>0.993970</b>	0.993105

**Tableau 0-7** Comparaison de repartition des données

D'après le tableau qui représente le résultat des essais de pourcentage d'apprentissage, validation et le test, on observe que le pourcentage (80%, 10%, 10%) montre la valeur de R la plus proche à 1 qui indique la prédiction la plus précise

La fonction d'activation utilisée dans la couche cachée est Logsig

La fonction d'activation utilisée dans couche de sortie est Purelin

### II.6.4 Expression mathématique du modèle neuronale optimisé

Selon l'RNA optimisé, nous pouvons exprimer le modèle en intégrant toutes les entrées  $x_i$  par la formule mathématique suivante

Sachant que  $f_h$  est la fonction de transfert log sigmoïde (Logsig) utilisée dans la couche cachée

$$Z_j = f_h \left[ \sum_{i=1}^7 w_{ji} x_i + b_j^h \right] = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^7 w_{ji} x_i + b_j^h)} \quad (1) \quad j = 1, 2, \dots, 30 \quad (1)$$

La sortie H, avec  $f_0$  est la fonction de transfert linéaire simple utilisée dans la couche de sortie présentée comme suit Eq. (2)

$$S = f_0 \left[ \sum_{i=1}^{30} w_{ji}^H Z_i + b_1^0 \right] \quad (2)$$

La combinaison Eqs. (1) et (2) pour obtenir la relation des paramètres de sortie du modèle RNA est présenté comme suit

$$T = \sum_{i=1}^{30} w_{ji}^H \left( \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^7 w_{ji} x_i + b_j^h)} \right) + b_1^0 \quad (3)$$

L'équation mathématique de la température et l'humidité relative de l'air à l'intérieur de la serre est donné par l'Eq. (3).

$j$  Est le nombre de neurones dans la couche cachée ( $j = 30$ ),  $i$  est le nombre de neurones dans la couche d'entrée ( $i = 7$ ),  $w^I w_{(j,i)}^H$  et  $b_1^H$  sont les poids et les biais entre l'entrée et la couche cachée,  $w^H (w_{(l,j)}^0)$  et  $b_1^0$  sont les poids et les biais entre la couche cachée et la couche de sortie,  $l$  est le nombre de neurones dans la couche de sortie ( $l = 1$ ).

## II.7 Conclusion

Ce chapitre a mis en œuvre la description du site et du système serre, également les instruments utilisés pour la composition de base de données. Une série d'essais a été faite en exploitant la base des données pour la modélisation de la serre. La détermination d'architecture du RNA utilisé pour la prédiction de la température intérieure de l'environnement de la serre avec une procédure bien définie pour l'obtention des résultats fiables.

### References

- [1]S. Bezari , (2021) Experimentation, modelisation et amelioration du microclimat d'une serre tunnel agricole sous climat de la region de Ghardaia. These de doctorat, Université de Laghouat.
- [2] Djeriri, Y. (2017). Les réseaux de neurones artificiels. *UDL-SBA, Sidi Bel Abbès*.
- [3]Sazli, M. H. (2006). A brief review of feed-forward neural networks. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A2-A3 Physical Sciences and Engineering, 50(01)*.
- [4] Anjali, 2013, Application ann: a review, international journal of engineering research & technology (ijert) nceam – 2013 (volume 1 – issue 02),

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

## III.1 Introduction :

Une fois le meilleur modèle a été conçu comme montrer dans le chapitre précédent en déterminant les paramètres d'entrées et l'architecture idéale. Dans ce chapitre nous allons implémenter le modèle a fin d'estimer la température intérieure de la serre ensuite nous discutons les résultats obtenus.

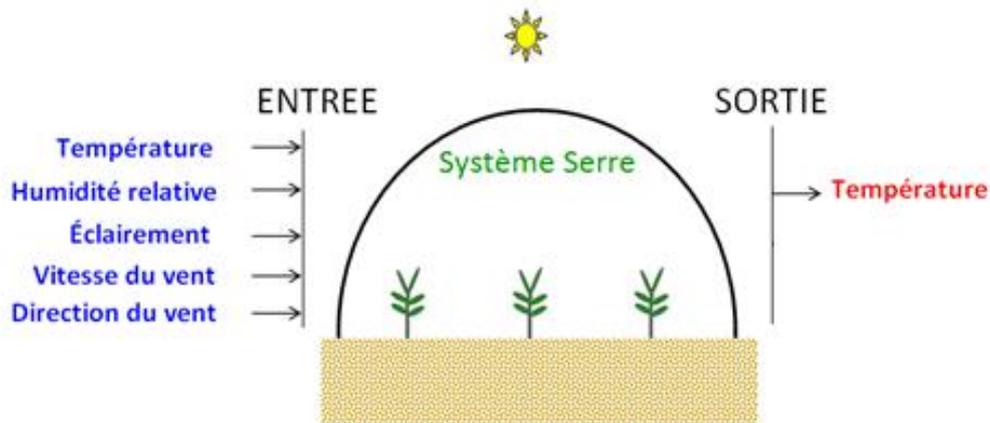


Figure 0-1 Paramètres de system serre

## III.2 Architecture du model

La figure III.2 montent l'architecture de notre model composé de 7 paramètres d'entrées (Température, humidité et rayonnement), une sortie (température intérieure) et 30 neurones dans la couche cachée, étant la meilleure configuration pour le réseau après un certain nombre d'essai afin de déterminer l'architecture optimal dans le but d'obtenir les meilleurs résultats.

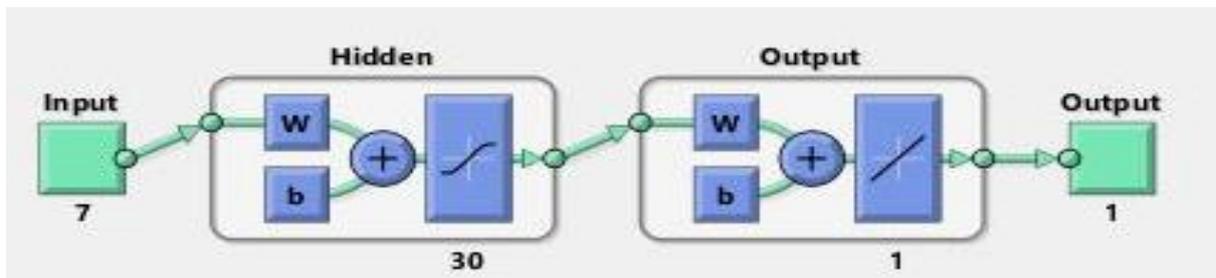
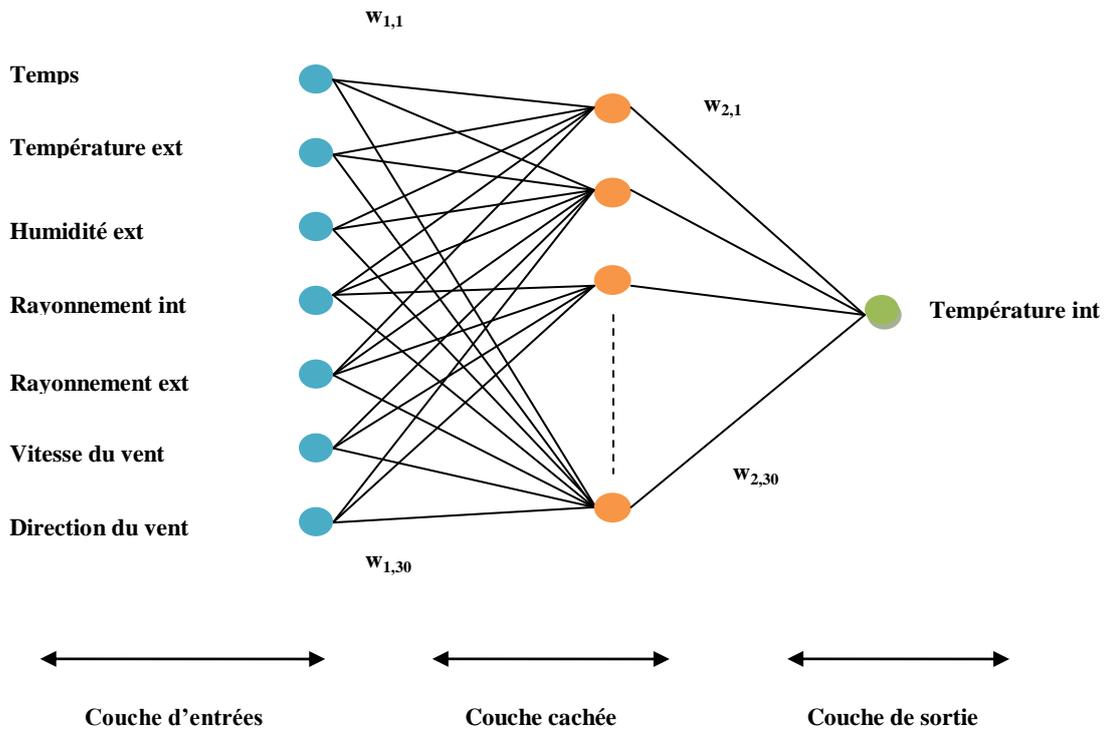


Figure III -2 Architecture de RNA sous Matlab

L'architecture du modèle est montrée dans la figure [III.3] qui représente aussi les poids et les biais lier a chaque neurones dans les 3 couche (entré, caché, sortie).



**Figure 0-3 RNA conçu**

### III.3 Evaluation des performances

Les performances des modèles développés sont testées en terme de coefficient de corrélation  $R$ , racine d'erreur quadratique moyenne  $RMSE$  (en anglais "root mean square error") et l'erreur absolue moyenne ( $MAE$ ) (en anglais "mean absolute error"). Le modèle le mieux adapté est celui avec des valeurs plus basses des erreurs choisies. Les équations sont présentées comme suit

$$R = \frac{\sum_i (y_{exp} - \bar{y}_{exp})(y_{cal} - \bar{y}_{cal})}{\sqrt{\sum_i (y_{exp} - \bar{y}_{exp})^2} \sqrt{\sum_i (y_{cal} - \bar{y}_{cal})^2}}$$

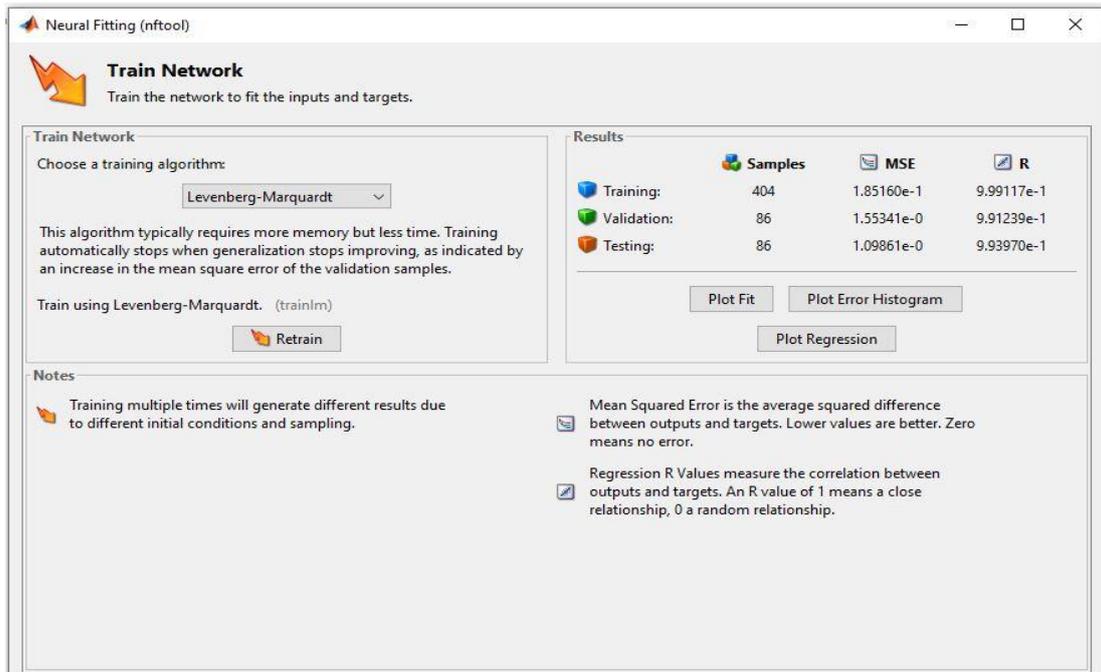
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,exp} - y_{i,cal})^2}{n}}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(y_{exp} - y_{cal})|$$

Avec :

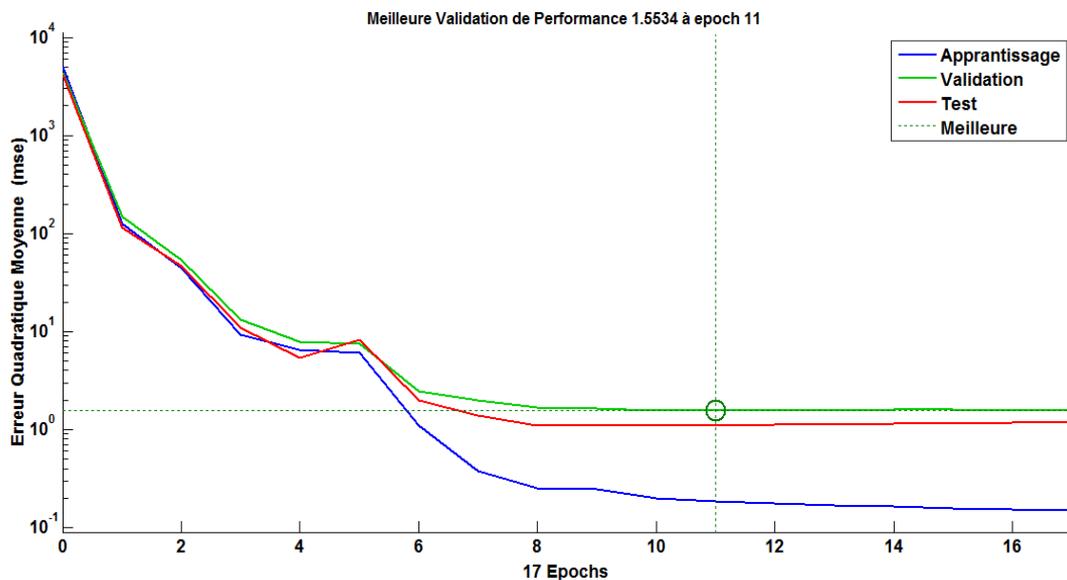
$N$  est le nombre d'expériences, et  $y_{exp}$  est la valeur expérimentale pour chaque paramètre,  $y_{cal}$  est la valeur prédite de la  $i^{ème}$  expérience calculée par le modèle pour chaque paramètre,  $\bar{y}_{exp}$  et  $\bar{y}_{cal}$  sont respectivement les moyennes arithmétiques des  $y_{exp}$  et  $y_{cal}$ .

## Chapitre III : Résultats et Discussion

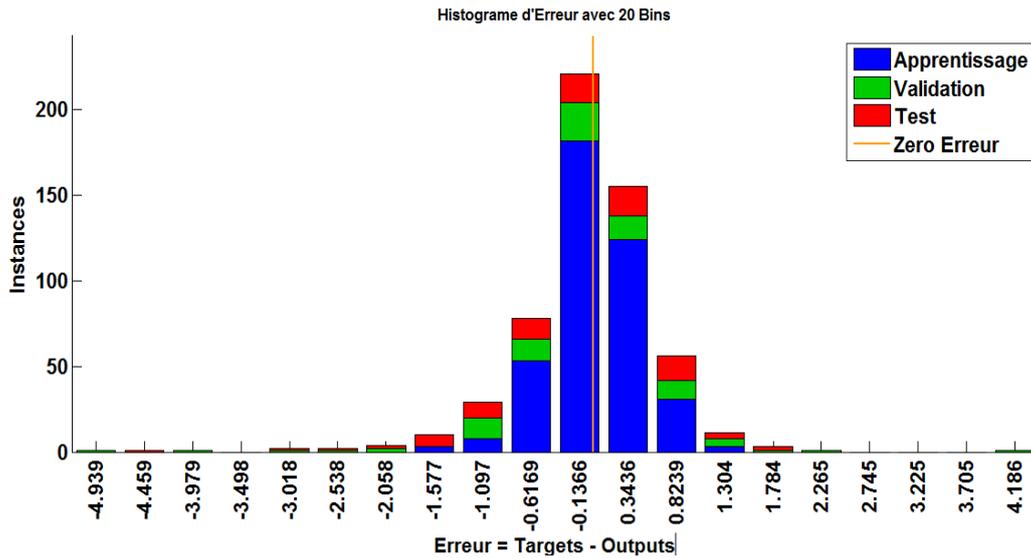


**Figure 0-4** Affichage de nntool

Comme il est montré dans la figure III.4 on a divisé la base de données collectée comme on a vu en évidence dans le chapitre 2 sur l'apprentissage, la validation et la phase de test (70%, 15%, 15%) respectivement. Cependant, on remarque la majorité des données sont liées à l'apprentissage ce qui montre l'importance de ce processus. La variation d'erreur quadratique moyenne est montrée dans la figure III.5. L'objectif du MSE est atteint en 17 époques donc l'apprentissage est terminé. La meilleure performance de l'apprentissage est dans la 11<sup>ème</sup> itération avec une erreur quadratique moyenne MSE=1.55.



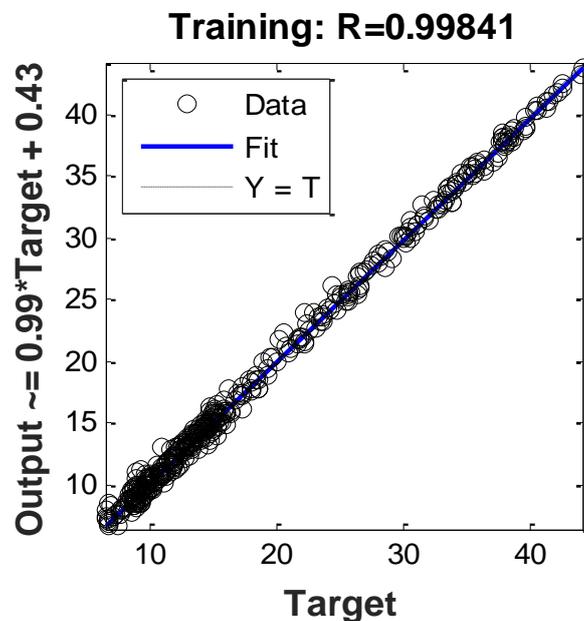
**Figure 0-5** Validation des performances



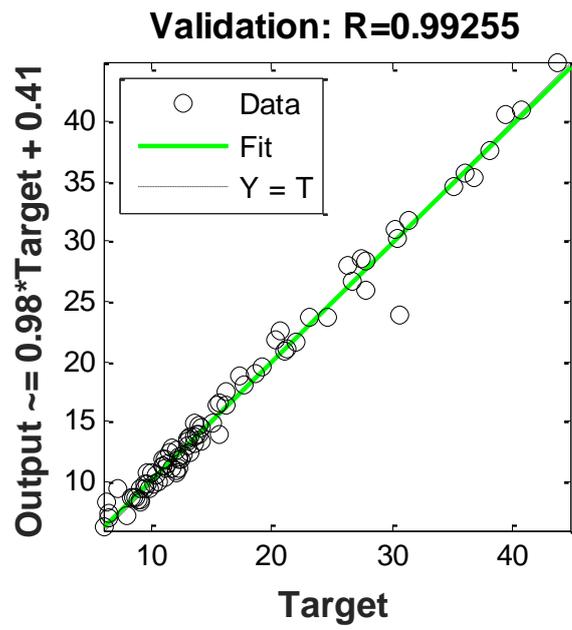
**Figure 0-6 Histogramme des erreurs**

La figure III.6 qui représente les histogrammes des erreurs calculer par la différence entre les valeurs de mesuré et les valeurs calculer par le modèle de réseau neurone, la ligne jaune direct représente la valeur zéro des erreurs on remarque que les résultats sont plus répandu autour de la ligne jaune [-0.1366 0.3436] mentionnée auparavant qui nous aide à conclure que le model crée a donner des bons résultats pendant la période d'apprentissage.

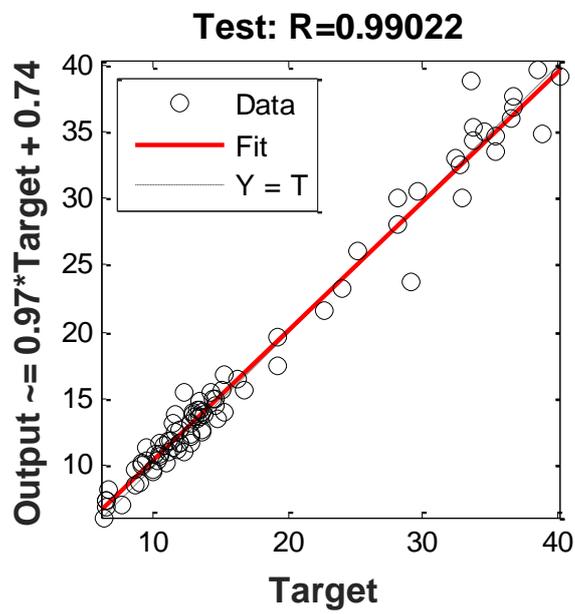
Le processus de régression de l'apprentissage, validation, test et globale de la modélisation est de [0.99841 ; 0.99255 ; 0.99022 ; 0.99654] respectivement sont indiquées dans la figure III.7 La régression de la phase d'apprentissage est plus proche de 1 que les autres phases a cause de la division des données choisis (70%, 15%, 15%) ce qui montre l'importance de la phase d'apprentissage pour le développement du model RNA.



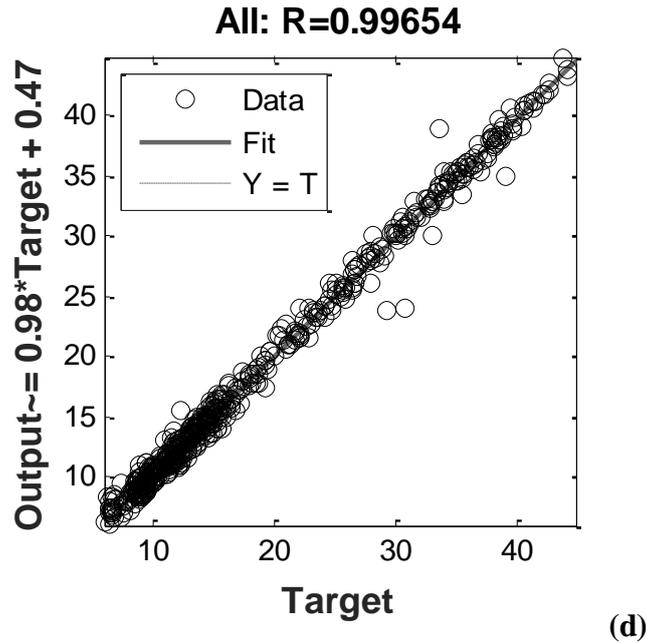
(a)



(b)



(c)



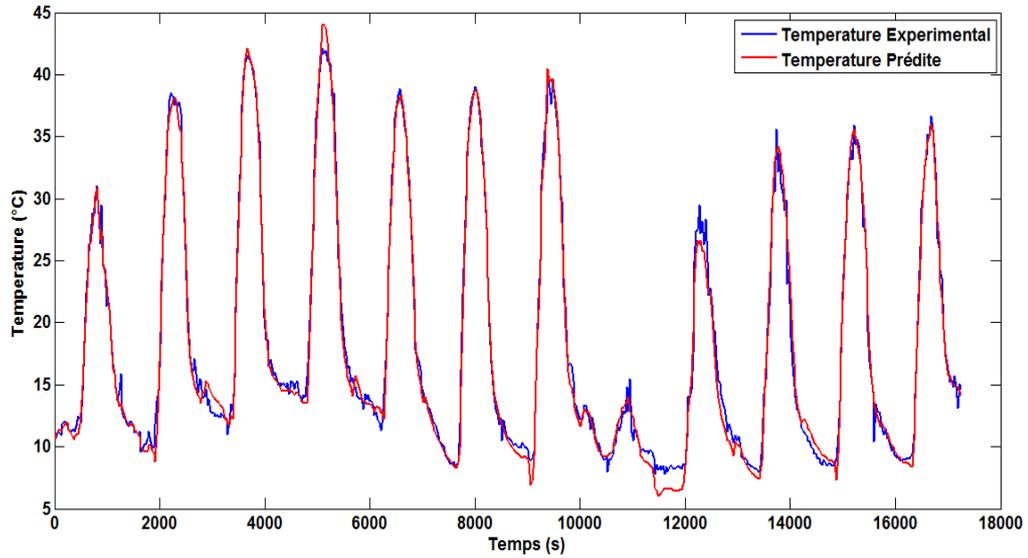
**Figure 0-7 Régressions des valeurs expérimentales et prédites de RNA**

(a) phase d'apprentissage, (b) phase de validation, (c) phase de test et (d) le global

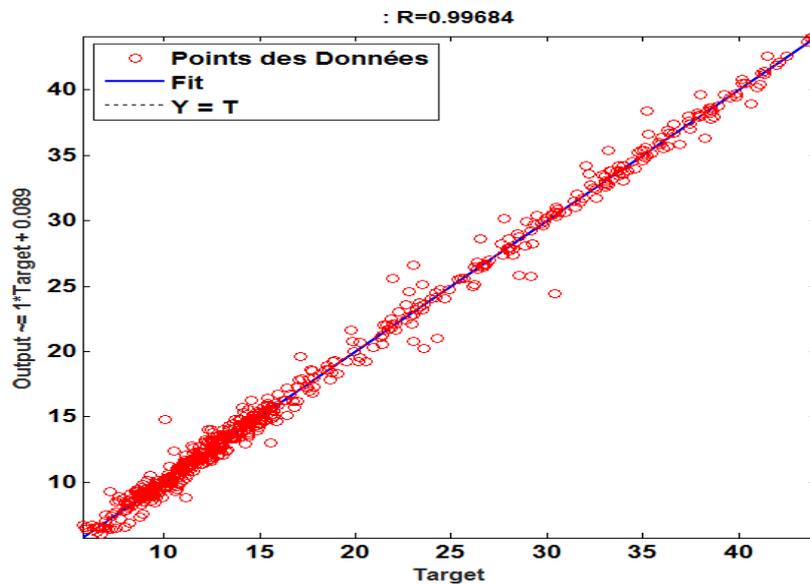
### III.4 Comparaison des résultats

La figure III.8 représente une comparaison entre les courbes de la température mesurée et la température calculée, et la figure III.9 indique la relation entre les valeurs mesurée et calculée. D'après les résultats observés sur les deux figures précédentes, nous constatons que les valeurs prédites sont en bon accord avec les valeurs mesurées.

La prédiction de la température de la serre solaire simulé par le modèle de réseau neuronal artificiel étaient fortement corrélés. Par conséquent le modèle proposé de RNA multicouche perceptron peut performer des bonnes prédictions avec moins d'erreur. L'évaluation du modèle de prédiction de la température intérieure basé sur les erreurs (RMSE, MAE,) qui ont été calculé 0.9680 °C, 0.7258°C respectivement, ces résultats montrent que le modèle de prédiction de la température intérieure de la serre est satisfaisant à un degré assez remarquable, en même temps on remarque qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs de MAE et le RMSE indiquant l'absence d'erreurs importantes produites par le modèle. Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) calculé à 0.9910 qui indique la très bonne performance du modèle. La table 3.1 résume les performances du modèle neuronal développé de température en terme de (RMSE, MAE,  $R^2$ ).



**Figure 0-8** Comparaison des résultats calculé et expérimental



**Figure 0-9** Relation entre les valeurs mesurées et calculé

Neurones caché	Structure RNA	RMSE (°C)	MAE (°C)	R <sup>2</sup>
		Température intérieure		
30	7-28-1	0.9680	0.7258	0.9910

**Tableau 0-1** Paramètres d'évaluation liée au model neuronale

### III.5 Etude de sensibilité

Pour voir la contribution ainsi que le profil de variation de chaque variable d'entrée sur les sorties de chaque réseau. La méthode des poids (en anglais "Weightsmethod") a été adaptée dans cette étude. La méthode des poids a été proposée initialement par Garson [1] et répétée par Goh [2], comme procédure de partitionnement des poids de connexion pour déterminer l'importance relative des différentes entrées sur la sortie du RN Gevrey et al. [3]. Le procédé consiste essentiellement à partitionner les poids de connexion de couche de sortie de chaque neurone caché en composants associés à chaque neurone d'entrée. Elle se base sur le partitionnement des poids de connexions en :

- Poids de connexions entrée-cachée ( $w_{ji}^I$ ) ;
- Poids de connexions cachée-sortie ( $w_{1j}^H$ ).

En utilisant la commande nntool dans Matlab qui nous permet de récupérer les poids et les biais du réseau créé.

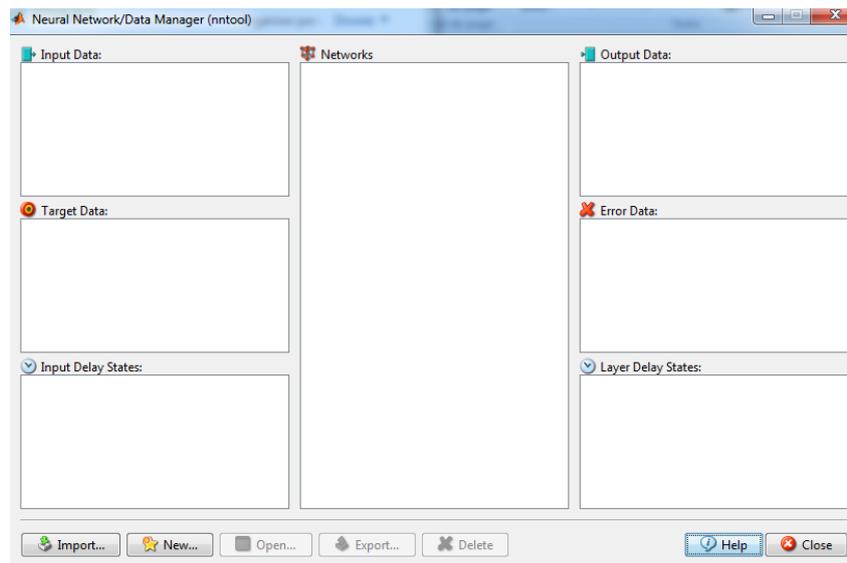


Figure 0-10 Interface de NNTOOL

➤ Choix des inputs et targets :

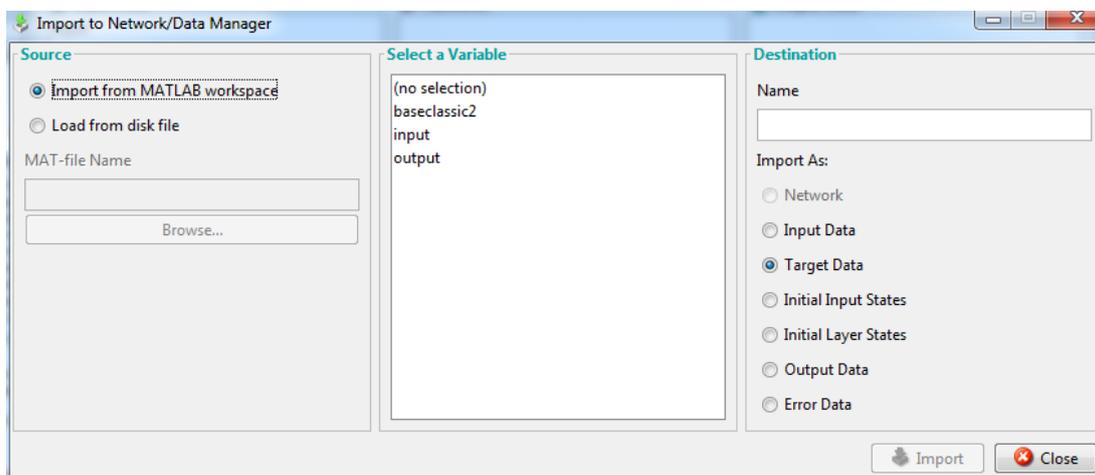


Figure 0-11 Choix des données

## Chapitre III : Résultats et Discussion

- Création du Réseau neurone :

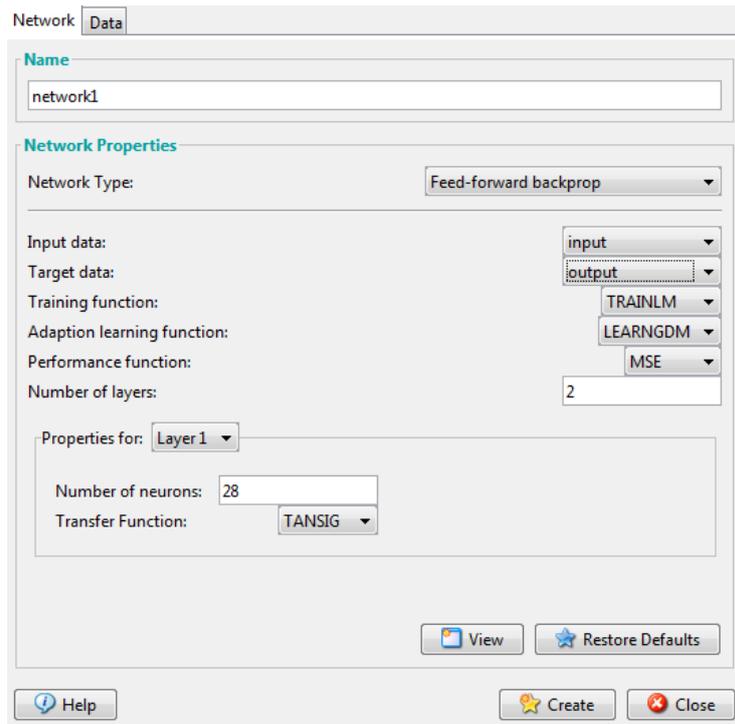


Figure 0-12 Creation du Reseau

- Récupération des poids :

View	Train	Simulate	Adapt	Reinitialize Weights	View/Edit Weights
Select the weight or bias to view: iw[1,1] - Weight to layer 1 from input 1					
<pre>[0.37545 0.45939 1.1706 1.2529 -0.60167 0.94855 0.33978; 1.1463 -0.58727 -0.53559 -0.57784 1.3865 0.47698 -1.1767; -1.4173 0.74487 0.35307 0.74108 -0.79609 0.26272 -0.97908; 0.23091 -1.9122 -0.18284 0.31308 0.8503 0.073449 -0.79923; 1.9868 -0.95882 0.39526 0.075927 -2.1275 -1.5997 2.0276; 0.678 -0.20334 -1.7883 0.030181 1.6842 -1.0751 -1.1604; -0.84401 -0.021 0.26786 -2.8174 -0.92266 0.03696 -2.8979; 0.98942 2.1337 -0.87677 -1.1128 0.76655 0.020905 -0.77811; -0.57471 0.5379 0.65835 1.154 -1.2492 -0.25598 1.4778; 2.7578 -1.0084 0.61206 1.354 -0.71221 -0.57702 1.2396; -0.31002 1.2678 -0.3368 0.68899 -3.5044 0.33295 -0.039315; 2.1444 -0.37035 -1.2293 -1.5184 0.27134 0.29868 -0.79003; 0.055717 0.75801 -1.2812 0.80693 1.7829 1.4109 0.74376; -0.65742 -0.30222 -0.75418 0.57228 0.73435 1.4572 -0.0096155; 0.075278 0.28952 1.7626 0.35188 0.28919 -0.45162 2.2617; -1.7614 -0.34332 0.53917 -0.31857 0.84865 -0.5416 -0.84054; -0.46452 -1.0978 0.61306 -1.5158 0.10099 -0.056277 0.27473; 2.4385 -0.62644 -1.1469 0.20508 -0.30721 0.43039 -1.4695; 1.2341 -1.2531 4.2215 -0.52312 0.83564 -1.2675 -0.30414; 3.0432 0.30456 -0.42877 0.83941 0.96265 -1.4687 1.1239; -0.12201 2.1342 -3.4627 -3.2283 -2.389 1.6932 -1.3263; -0.7272 -0.35176 -1.7082 0.12013 -2.3374 -0.068414 -1.4; 0.33478 -0.71634 0.51237 1.3689 0.2796 -0.99344 3.2786; -0.67931 -0.65109 0.62209 1.3704 -0.81918 -0.53946 1.7734; 0.44717 0.23436 -0.47293 0.82884 1.3267 -1.971 0.11919; 3.4691 2.3692 -0.043464 2.189 0.81176 -1.5018 1.1909; 0.94376 -2.4002 0.6873 -0.1273 0.56559 2.1345 -0.14045; -0.1358 -1.8541 1.6093 -1.8066 -0.69052 0.36799 -1.1358]</pre>					

Figure 0-13 Les poids du reseau

Les poids et les biais sont listés dans le tableau 2 d'où  $W^1(32,7)$  représentent la couche d'entrée et la couche cachée. Et  $W^0(32,1)$  représente la couche de sortie de notre modèle.

## Chapitre III : Résultats et Discussion

Couche d'entrée et couche caché							Couche de sortie		
Poids							Biais	Poids	Biais
Temps	I	Te	H	Ig	V	D		Ti	
-1,316	-1,8233	1,3421	1,7389	-2,5386	1,7115	1,2096	0,66171	4,5517	
-1,3792	1,8024	0,39816	-2,5542	-2,1552	-0,6238	1,9623	0,17699	4,2378	
2,8334	0,40534	-3,1444	-0,0610	0,50767	-1,5416	-0,0228	0,20416	-3,9239	
-1,9449	-0,18546	-0,4616	0,60993	2,506	-1,3397	2,8707	-0,75563	3,61	
0,048028	-0,90687	-3,0401	-0,8719	1,7517	1,3801	2,2177	-0,43675	-3,2961	
-2,1803	0,79333	1,7582	1,1666	1,263	-1,8923	2,3888	-0,6418	2,9822	
2,2083	-0,6148	2,5238	1,8734	-0,4072	0,42034	2,2895	-0,5185	-2,6682	1,6562
2,2583	-1,2814	0,99879	2,1067	2,4076	-1,3279	0,99048	0,62526	-2,3543	
-1,7151	2,2287	1,3205	2,1317	1,2068	2,0581	-0,9107	0,56042	2,0404	
2,4268	1,0487	0,63993	2,6128	-0,8751	0,42164	2,3556	-0,6559	-1,7265	
-2,3722	0,025717	-1,0478	-2,4005	0,24622	1,8466	2,1816	-0,35407	1,4126	
1,156	-1,5722	1,2821	-2,3848	-1,4503	2,565	0,91072	-0,7045	-1,0987	
2,0063	-2,0966	1,0274	1,9656	-1,2934	2,3649	0,33491	0,37387	-0,7847	
-0,86813	2,9958	-0,4433	-0,4288	1,8145	-0,1667	-2,6998	0,68137	0,47087	
-1,6258	-0,87866	-0,5185	-0,3684	-1,1827	-2,4004	3,1174	-0,42681	0,15696	
-2,2839	-0,27227	-2,0542	-0,9964	-0,4564	-2,5637	1,853	0,15404	-0,1569	
1,8237	-2,2888	0,2119	2,3123	1,3066	-0,5960	2,1679	-0,097889	0,47087	
1,2375	2,7188	-2,3536	1,6498	-1,1387	0,45147	1,4259	-0,50002	0,78478	
1,641	-1,2943	1,4622	2,5755	-0,3141	2,4788	-1,1558	-0,46735	1,0987	
-0,77128	2,2463	1,176	0,16881	-2,5415	2,3683	1,264	-0,47619	-1,4126	
-1,6367	-2,2811	1,0596	-2,4779	1,1815	1,6831	-1,1596	0,65849	-1,7265	
-3,034	0,71832	1,4636	1,9846	0,75182	-1,9599	0,71381	-0,014485	-2,0404	
-2,8453	0,43937	1,0766	-1,4602	-2,5713	-0,7344	-1,4096	0,4539	-2,3543	
-1,0046	0,99127	2,3039	2,1642	-1,6762	2,4317	0,10766	-0,48281	-2,6682	
1,679	-1,3872	-0,0751	3,0365	-1,6153	0,28805	2,0141	-0,41697	-2,9822	
0,041351	-2,9086	-0,9956	0,31862	-2,9517	-0,3054	1,5356	0,53582	3,2961	
-0,79728	-1,5062	3,2533	-3,0066	-2,0991	-1,5075	-0,6787	0,0087508	-3,61	
2,0341	2,006	-1,7446	1,6281	-2,021	0,57109	-1,5772	0,74403	3,9239	
-1,6398	1,442	-1,4034	-0,7331	-2,4075	-1,5327	2,3003	0,50207	-4,2378	
1,5784	-0,95325	-1,947	-1,4759	0,76987	2,4104	-2,224	0,68945	4,5517	
-1,316	-1,8233	1,3421	1,7389	-2,5386	1,7115	1,2096	0,66171	4,5517	
-1,3792	1,8024	0,39816	-2,5542	-2,1552	-0,6238	1,9623	0,17699	4,2378	

**Tableau 0-2 Poids et biais**

## Chapitre III : Résultats et Discussion

Méthode de calcul :

1ère étape  $K_{i,j}=|w^i w^h|$

2ème étape  $H_{i,j}=\frac{K_{i,j}}{\sum_{i=1}^n K_{i,j}}$

3ème étape  $S_i = \sum_{j=1}^{Kj} H_{i,j}$

4ème étape  $RI(\%) = 100 \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_{i,j}}$

D'après l'organigramme de la méthode de poids on a calculé les valeurs de l'importance relative de chaque paramètres d'entrées sur les sorties cibles de réseau, à travers ces deux paramètres on a le pouvoir de contrôler le microclimat de la serre (température de l'air) et qu'on puisse développer le réseau de neurone optimal.

La figure III.10 indique les pourcentages de l'importance relative (IR) (obtenus par la méthode de "poids") de chaque variable d'entrée du RNA sur la température l'air à l'intérieur de la serre. Par effet de convection forcé et transfert thermique, les paramètres de sorties sont affectés fortement par de la radiation à l'intérieur de la serre de 18%. On note que le climat dans les serres est dépendant de l'environnement extérieur, la vitesse du vent influe par 17% suivie par l'humidité extérieure avec 16%, la radiation extérieure avec 18% et la température à l'extérieur avec 15%. D'après la figure on remarque que tous nos paramètres d'entrées ont presque le même rang d'importance avec une légère priorité pour la radiation intérieure et extérieure.

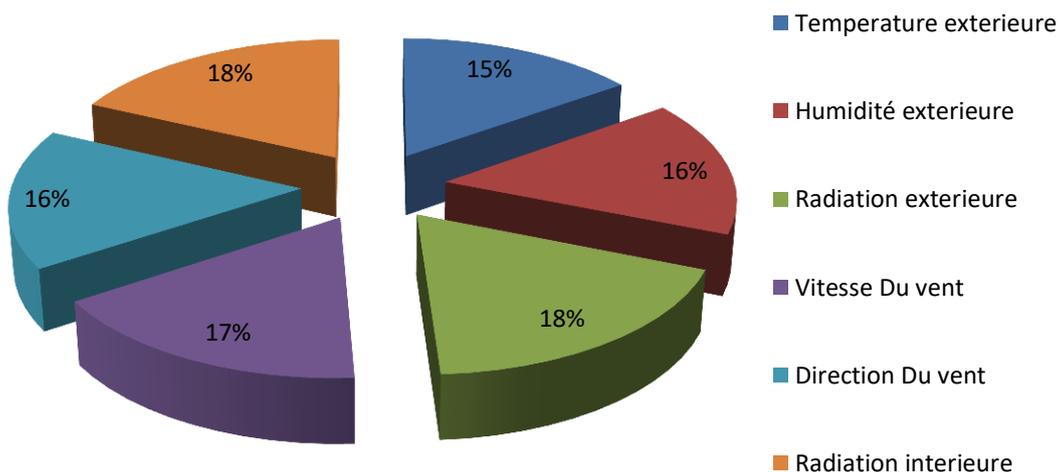


Figure 0-14 Analyse de sensibilité

### III.6 Conclusion

L'approche étudiée au long de ce chapitre concernant la prédiction du microclimat sous serre par l'utilisation des Réseaux Neurones Artificiel a donné des résultats très satisfaisants avec moins d'erreur. L'étude de sensibilité a démontré l'importance et l'influence des facteurs intérieurs ainsi que extérieurs que ce soit pour la température, l'humidité, le rayonnement ou la vitesse et direction du vent avec des pourcentages divers.

### References

- [1] Garson G.D.(1991)."Interpreting neural network connection weights". AI Expet. 6 47–51.
- [2] Goh A.T.C. (1995)."Back-propagation neural networks for modeling complex systems". ArtifIntell Eng,9 143–51.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

Avec une demande alimentaire croissante dans le monde entier, l'agriculture en environnement contrôlé est une stratégie importante pour la production agricole tout au long de l'année. Les serres sont l'un des principaux types d'agriculture à environnement contrôlé. Les principaux paramètres environnementaux intérieurs tels que le dioxyde de carbone, l'humidité, l'éclairage et la température doivent être maintenus pour une croissance favorable des cultures dans les serres. Ce sont des paramètres simples mais quand on les mix on aura des équations différentielles non-linéaire avec plusieurs variables qui est difficile à résoudre. Le RNA fournit une méthodologie pour résoudre de nombreux types de problèmes non linéaires difficiles à résoudre par les techniques traditionnelles. RNA a la capacité d'extraire la relation entre les entrées et les sorties ciblés d'une procédure. Ainsi les propriétés de RNA sont bien adaptées pour un problème de prévision climatique.

La prédiction des paramètres influents sur le climat sous serre est très complexe. La température intérieure est un facteur clé pour le contrôle de l'environnement de la serre pour leur influence directe sur sa productivité.

L'objectif de cette étude est de développer un modèle par le Réseau de neurone artificiel pour la prédiction de température intérieure de la serre par l'exploitation des données composé des paramètres intérieure et extérieure.

Les résultats indiquent que les valeurs prédites obtenues à partir du nouveau modèle sont parfaitement accordées avec les données expérimentales, ce qui donne un meilleur coefficient de détermination  $R^2$  jusqu'à 0,991 et une faible valeur raisonnable de *RMSE* et *MAE*, respectivement 0,9680 et 0,7258. Le modèle donne une bonne corrélation avec les données expérimentales.

Une analyse de sensibilité est réalisée afin d'identifier l'importance des variables d'entrée. Ceci indique quelles variables sont considérées comme les plus utiles pour être retenues par le modèle RNA. Nous allons analyser l'influence de différents paramètres qui entrent en jeu lors de l'élaboration du réseau de neurones par la méthode du " poids ". L'analyse de sensibilité a rapporté que les variables d'entrées ont une influence importante sur la prédiction de la température intérieure.