REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commande électriques

Contrôle du climat sous serre agricole en été en utilisant la commande méta heuristique

Présentés par :
Ali Kacem Mohamed Fateh
Touami Souheyla

Proposés et Dirigés par :
Mr. MEDJBER Ahmed
Mr. Amokran Zohir

Promotion 2023

Remerciements

Nous remercions le bon Dieu de nous avoir accordé toute la patience, le courage, la volonté et la motivation qui nous ont permis de mener à bien ce travail jusqu'à sa fin.

Nous tenons à présenter nos remerciements à notre promoteur Dr. Ahmed MADJBER et AMOKRANE Zouhir pour avoir accepté de diriger ce travail, pour l'aide, pour tous les conseils qu'il nous a apportés et l'encouragement constant qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de cette étude.

Nous remercions les membres du jury de bien vouloir évaluer notre mémoire.

Nous souhaitons remercier tous nos enseignants du département de génie électrique.

En fin nous remercions vivement tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce mémoire

Dédicace

Je dédie cet humble travail à :

À mes très chers parents,

Qui m’ont toujours accompagné et soutenu durant mes études, recevez ici le témoignage de mon amour et d’une profonde reconnaissance.

À ma sœur et son fils abd ellah , mes deux frères aimen islam

À tous mes amis

Mohamed Fateh

Dédicace

C’est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d’étude à mes chers parents Mohammed et Fatima, pour leur patience, leur encouragement

Je dédie aussi ce travail à mes frères Ahmed et Brahime et mes sœurs Hayat et son fils ma petite princesse Malak et Amine, Souad, Amina

A mes amis : Nour, Imane, Khadija, Amira

et tout la famille Touami oncles et tantes

Et à tous ceux qui me sont cher

Souheyla

Résumé

La serre agricole est un endroit approprié pour contrôler les facteurs climatiques et les exigences nécessaires à la bonne croissance de la plante. Dans cette étude vise à résoudre le problème de la régulation manuelle des conditions environnementales dans les serres, en utilisant une nouvelle approche combinant les méthode (feedback et feedforward) pour la linéarisation et le découplage de notre système, la régulation automatique de la température et de l'humidité contrôlant les trois paramètres clés, la chaleur, la vaporisation de brouillard et la ventilation. Cette régulation sera effectuée grâce à l'utilisation de contrôleur PD0F l'algorithme métaheuristique PSO.

Mot clé : Optimisation par l'Essaims Particulaires (PSO), régulateur (PID, PDF)

Serre agricole, Méta heuristique, découplage, système non linéaire

Abstract:

The agricultural greenhouse is a suitable place to control the climatic factors and the requirements necessary for the good growth of the plant. In this study aims to solve the problem of manual regulation of environmental conditions in greenhouses, using a new approach combining methods (feedback and feedforward) for the linearization and decoupling of our system, the automatic regulation of temperature and humidity controlling the three key parameters, heat, mist vaporization and ventilation. This regulation will be carried out thanks to the use of controller PD0F the metaheuristic algorithm PSO

Key word: Particle Swarm Optimization (PSO), regulator (PID, PDF)

Agricultural greenhouse, Meta heuristics, decoupling, nonlinear system

الملخص **:**

تعتبر البيوت الزراعية مكانًا مناسبًا للتحكم في العوامل المناخية والمتطلبات اللازمة لنمو النبات بشكل جيد. تهدف هذه الدراسة إلى حل مشكلة التنظيم اليدوي للظروف البيئية في البيوت المحمية ، باستخدام نهج جديد يجمع بين طرق (رد الفعل / رد الفعل الاستباقي) من أجل الخطية والفصل النظام، والتنظيم التلقائي لدرجة الحرارة والرطوبة التي تتحكم في المعلمات الرئيسية الثلاثة ، الحرارة والتبخير والتهوية. سيتم تنفيذ هذا التنظيم بفضل استخدام وحدة التحكم PD0F والخوارزمية تحسين سرب الجسيمات

الكلمات المفتاحية:

(PSO) تحسين سرب الجسيمات

(PDF، PID) منظم

البيوت الزراعية ، الاستدلال التلوي ، الفصل ، النظام غير الخطي

LISTE DES SIMBOLES ET DES ABREVIATIONS

PID : Le contrôleur (proportionnelle intégrale dérivée).

PDF : Le contrôleur (pseudo derivative feedback controller).

IDF : Integral control with derivative feedback.

PD0F : Pseudo derive zero feedback.

PSO : particle swarm optimization

K_i, K_d : Le cœfficient d'intégral et dérivé.

XT , XH : Les variables d'états de la température et de l'humidité.

UT, UH : Les commandes de ventilateur et de système du brouillard.

CP : La chaleur spécifique.

cod : conduction

evp : evaporation

I : infrarouge

inf : infrarouge

lat : latent

UA : Le coefficient de transfert chaleur.

ρ : La densité de l'air.

V : Le volume de la serre.

dT, dH : Le retard de détermination du changement Tint et Hint.

GT, GH : La fonction de transfert de la température et de l'humidité.

$U\sim T$, $U\sim H$: La nouvelle commande de la température et l'humidité.

$\xi T, \xi H$: Le coefficient d'amortissement de la température et de l'humidit.

$\tau_{T,1}, \tau_{T,2}$: constant de temps de la température

Ai : L'air intérieur.

Ae : L'air extérieur.

S : Le sol.

C : La couverture.

PL : La plante.

Br : Le système du brouillard.

Ch : Le système du chauffage.

$Tint$: La température intérieure.

LISTE DES SIMBOLES ET DES ABREVIATION

$Hint$: L'humidité intérieure.

$Text$: La température extérieure.

$Hext$: L'humidité extérieure.

t : Le temps.

T : La période d'oscillation.

W : La pulsation des oscillations.

$Ts(0)$: La température moyenne du sol.

an, bn : Les coefficients d'ordre n de composition de fourrier.

a : La diffusivité du sol.

$Ts(x,t)$: La température du sol en fonction de la profondeur et le temps.

x : Le profondeur.

$Ts1(x,t)$: La température de la première couche du sol.

$Ts2(x,t)$: La température de la deuxième couche du sol.

NPL : Le nombre des plantes.

MPL : La masse des plantes.

λ : La chaleur latente d'évaporation.

Ke : Le coefficient d'évaporation.

$Vair$: La vitesse de l'air.

Vv,t : Le taux de ventilation total.

Vv,m : Le taux de ventilation mesuré.

Vv,f : Le taux de ventilation des fissures.

QC : La chaleur produite par la couverture.

$R = Qs$: La chaleur produite par le soleil.

Af : La surface du sol.

Si : Le rayonnement solaire.

LAI : L'indice foliaire.

$Htot$: L'humidité totale.

$E(R, Hint)$: Le taux d'évapotranspiration des plantes.

AMV : Le mélange du volume actif.

EVH : Le volume efficace de l'humidité.

Liste des figures

Figure I.1: serre chapelle…….……...…...3

Figure I.2 : serre multi chapelle…….…...3

Figure I.3 : la serre Tunnel…….……4

Figure I.4 : la serre gonflable…….4

Figure I.5 : capture de température…….....9

Figure I.6: Chauffage …….. ..11

Figure I.7: Utilisation des LED dans les serres……..…..11

Figure I.8: ventilation forée …… …...13

Figure I.9: humidificateur……..... 14

Figure II.1: Description énergétique de la serre ……...…… …..17

Figure III.1 : Schéma synoptique de la serre agricole.....…….…..….....34

Figure III.2 : Structure du contrôleur PID adaptatif. ……..…….35

Figure III.3 : Structure générale de la commande PDF……..37

Figure III.4 : Structure de la commande de PD0F appliquée au modèle de processus…….38

Figure III.5 : Stratégie globale de la commande ……..….. 40

Figure III.6 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes……...… .43

Figure III.7 : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes ……43

Figure III.8 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes ……. 44

LISTE DES FIGURE

Figure III.9 : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes … ……..……44

Figure III.10 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes ……45

Figure III.11 : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes ……45

Figure III.12 : Evolution de température et humidité tunisienne au cours de deux jours 14 et 15/Février/1996 ……...……... 48

Figure III.13 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et les conditions atmosphériques tunisienne ……...…..… 49

Figure III.14 : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et les conditions atmosphériques tunisienne……49

Figure IV.1 : différence entre un optimum globale et locale……...….52

Figure IV.2 : Méthodes d'optimisation (Boite noire……...…52

Figure I.3 : Classification des méthodes de résolution de problèmes d'optimisation…… .55

Figure II.4 : Groupe de : (a) oiseux, (b) poissons, (c) fourmis ……56

Figure III.5 : Organigramme de l'algorithme de PSO…… *58*

Figure IV.6 : schéma de principe du comportement des particules d'un essaime……..…..*59*

Figure IV.7: *Topologies de voisinage social*…… *61*

Figure IV.8 : *Exemple d**e** **v**oisinage géographique*…… *61*

Figure IV.9 : Schéma bloc détaillé avec contrôle de la serre. ……...…64

Figure IV.10: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes……...……65

Figure IV.11: Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes……..……66

Figure IV.12: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes. ……..……66

Figure IV.13: Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes. ……..67

LISTE DES FIGURE

Figure IV.14: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et les conditions atmosphériques fixes. ……...…67

Figure IV.15: : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et la condition atmosphérique fixe……...…67

Tableau I .1 : Avantages et inconvénients des serres…….5

Tableau III.1 : Température tunisienne au cours de deux jours 14 et 15/Février/1996 ……46

Tableau III.2 : Humidité tunisienne au cours de deux jours 14 et 15/Février/1996……47

SOMMAIRE

Introduction Générale

Chapitre I : Les serres agricoles et leurs exigences climatiques

I.1 Introduction : 1

I.2 Définition d'une serre agricole : 1

I.3 Intérêts de la serre : 2

I.3.1 La choix et l'installation d'un serre : 2

I.3.2 Les différents types de serre : 2

I.3.3 La serre chapelle : 3

I.3.4 La serre tunnel : 3

I.3.5 La serre gonflable : 3

I.4 Caractéristiques des serres : 5

I.4.1 La structure de la serre : 5

I.5 Principaux paramètres climatiques : 6

I.5.1 La température : 6

I.5.2 L'humidité : 6

I.5.3 Éclairement : 7

I.5.4 Teneur en gaz carbonique CO2 : 7

I.5.5 Le vent : 7

I.5.6 L'effet de serre : 7

I.6 Les équipements essentiels de gestion des paramètres climatiques sous serre : 8

I.6.1 Capture de température : 8

I.6.2 Capteur d'humidité : 8

I.7 Équipements de régulation : 9

I.7.1 Système de chauffage : 9

I.7.2 Éclairage de la serre avec des lampes à LED : 10

I.7.3 Ventilation : 10

I.7.4 Humidification : 12

I.7.5 Systèmes de refroidissement : 13

I.7.6 Orientation de la serre : 14

I.8 Aspects spécifiques d'une serre : 14

I.8.1 Photosynthèse : 14

I.8.2 Respiration : 14

I.8.3 Evapotranspiration : 15

SOMMAIRE

I.9 Source d'énergies dans les serres : 15
I.9.1 Géothermie : 15
I.9.2 Énergie solaire : 15
I.9.3 Pompe à chaleur : 15
I.10 Exemples des serres agricoles : 15
I.10.1 La culture de tomate sous serre : 16
I.10.2 La culture de courgette sous serre : 16

Chapitre II : Modélisation d'une serre agricole

I.11 Conclusion : 16
II.1 Introduction 17
II.2 Description du modèle 17
II.3 Hypothèse 18
II.4 L'équation du bilan énergétique global de la serre : 18
II.4.1 Bilan sur la couverture extérieure : 18
II.4.2 Bilan sur l'air intérieur : 18
II.4.3 Bilan sur le sol de la serre : 19
II.5 Initialisation de la température de sol : 19
II.5.1 Définition du Problème 19
II.5.2 Méthode sur une journée de référence 19
II.6 Modèle énergétique de la serre agricole 21
II.6.1 La chaleur produite par des plantes 22
II.6.2 La chaleur perdue par le système de ventilation : 22
II.6.3 Humidité intérieure et extérieure de la serre : 23
II.6.4 La chaleur perdue par l'évaporation de l'eau : 23
II.6.5 La chaleur perdue par l'humidificateur : 23
II.6.6 La chaleur transférée par la couverture : 23
II.6.7 La chaleur produite par le soleil : 24
II.6.8 Taux d'évapotranspiration des plantes E (R, Hint) : 24
II.7 Linéarisation et découplage du système : 26
II.8 Modèle dynamique du climat d'une serre agricole : 26
II.9 Modèle de commande de la serre : 27
II.10 Modèle Commande de ventilation et de brouillard : 28
II.11 Commande du modèle de ventilation et de chauffage 29
II.12 Conclusion 30

SOMMAIRE

Chapitre III Stratégie de commande et simulation par contrôleur Pdof

III.1 Introduction : 31
III.2 Schéma synoptique de la serre agricole : 31
III.3 Régulateur PID : 32
III.3.1 Description du correcteur Proportionnel Intégral Dérivé : 32
III.3.2 Régulation par le contrôleur PDF (Pseudo-Dérivative Feedback Contrôler) 33
III.3.3 Méthode de traitement : 34
III.3.4 Régulation par le contrôleur PD0F : 36
III.4 Simulation : 37
III.5 Régulation de la température et de l'humidité par contrôleur PDOF 38
III.5.1 Schéma fonctionnel 38
III.6 Premier test sans changement des conditions extérieures 38
III.6.1 Contrôle du système sans changement de consigne (point de réglage) 38
III.6.2 Contrôle avec changement de consigne 39
III.6.3 Contrôle avec série d'impulsions de consigne 40
III.6.4 Deuxième teste avec changement des conditions extérieures 41
III.7 Conclusion : 45

Chapitre IV Stratégie de commande et simulation Par L'optimisation PSO

IV.1 Introduction 46
IV.2 Définition de l'Optimisation : 46
IV.3 Caractéristiques 47
IV.3.1 Sensibilité et robustesse d'une méthode d'optimisation 47
IV.3.2 Opérateurs de recherche fondamentaux 47
IV.3.3 Mode de recherche de l'optimum 48
IV.4 Classification des problèmes d'optimisation 48
IV.4.1 Méthodes Déterministe (ou exacts) 48
IV.4.2 Méthodes approchées (heuristiques) 49
IV.5 Optimisation par Essaim Particulaire (PSO) 49
IV.6 Optimisation par essaim de particules 50
IV.6.1 Principe du PSO 50
IV.6.2 Méthode de base 51
IV.6.3 Formulation générale : 52
IV.6.4 Algorithme de base 54

IV.7 Modèles de topologies 54
IV.7.1 Voisinages sociaux 54
IV.7.2 Voisinage géographique 55
IV.8 Configuration des paramètres 56
IV.8.1 Nombre de particules 56
IV.8.2 Coefficients de confiance et coefficient d'inertie 56
IV.8.3 Critères d'arrêt 56
IV.9 Avantages et inconvénients de PSO 56
IV.9.1 Avantages de PSO 56
IV.9.2 Inconvénients de PSO 57
IV.10 Simulation 57
IV.11 Optimisation de paramètre de régulateur PD0F par l'algorithme PSO 58
IV.11.1 Schéma fonctionnel 58
IV.11.2 Paramètre de PSO 58
IV.11.3 Premier test sans changement des conditions extérieures 58
IV.12 Interprétation : 61
IV.13 Conclusion 62

Conclusion Générale

Bibliographies

Introduction Générale

De nos jours, nous trouvons des légumes, des fruits, des fleurs et des plantes hors saison hors de leurs cycles physiologiques. Ils ne peuvent se manifester normalement que si des conditions favorables et particulières sont réunies et bien gérées.

La culture sous serre est un monde de production intensive qui exige que les facteurs de production soient maximisés afin d'assurer une rentabilité. Dans toutes les serres, ils existent toujours des périodes pendant lesquelles, la température, l'humidité, la lumière ainsi que le Co2 à l'intérieur de la serre deviennent extrêmement dangereuses pour la plante. Ceci arrive à cause de l'incapacité de l'homme à avoir des jugements précis et rapides.

Dans notre travail, nous sommes intéressés au control climatique de la serre. Pour cela, nous allons développer le modèle de climatisation d'un milieu clos présenté par « Daskalov et Arvanitis, 2005 », il est de nature non linéaire et couplée. Pour commander la température et l'humidité de l'air simultanément, nous avons pris des modèles représentant les principales combinaisons entre le modèle biologique et physique de la serre. La méthode proposée est applicable à n'importe quel dispositif du contrôle de climat.

Pour présenter au mieux et faciliter la compréhension de notre travail nous avons suivi la structure suivante :

- Dans le premier chapitre, on a parlé sur Les serres agricoles et leurs exigences climatiques, nous le consacrerons aux notions générales des serres agricoles et nous présenterons les différents types de serres ainsi que leurs équipements qui doivent être installés à l'intérieur de la serre (éclairage, chauffage, refroidisseur, humidificateur, ombrage).
- Dans Le deuxième chapitre, on a e présente la Modélisation d'une serre agricole , nous présenterons au premier lieu, un modèle énergétique et dynamique par des équations mathématique destinées à reproduire les conditions climatiques qui nous permettra d'éviter des situations extrêmes (des niveaux de haute température ou de l'humidité,..), pour cela nous allons développer le modèle énergétique d'un milieu clos proposé par Daskalov et Arvanitis en 2005, au seconde lieu, nous présenterons la linéarisation et le découplage de notre système avec une nouvelle technique d'intelligence proposé par Sigrimis et Arvanitis en 2002.
- Dans le troisième chapitre, est consacré sur la Stratégie de commande et simulation par le contrôleur PDOF, pour la régulation du climat sous serre. Et nous allons réguler la température et l'humidité sous serre, nous utiliserons le Simulink avec un programme réalisé sous le logiciel MATLAB.

- Dans le quatrième chapitre, on a fait des notions générales sur L'optimisation des essaims de particules et on a appliqué l'algorithme d'optimisation des essaims de particules (PSO) pour la détermination des paramètres d’un régulateur PD0F en utilisant t l'environnement MATLAB et Simulink
- Et nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I

Les serres agricoles et leurs exigences climatique

I.1. Introduction :

La serre agricole offre un environnement idéal pour la culture de légumes et de fruits. Grâce à un contrôle précis du climat, les plantes bénéficient de conditions optimales. Les cultures sont protégées contre le vent, et les paramètres tels que la température, l'humidité, l'irrigation, la quantité de nourriture, le dioxyde de carbone et l'intensité lumineuse peuvent être ajustés. De plus, il est possible de contrôler la pollinisation, prévenir les maladies et repousser les insectes nuisibles..

La culture sous serre a connu un développement considérable ces dernières années, cela est dû principalement à la capacité de ce type de culture à satisfaire les besoins nutritionnels des populations en quantité et en qualité. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents modèles de serres agricoles modernes, leurs différentes structures ainsi que les principaux paramètres climatiques à contrôler. En effet , avec l'évolution de la technologie et notamment celles des capteurs intelligents, il est maintenant possible de mesurer avec précision les différentes grandeurs climatiques (température, humidité…etc.), cela a permis de concevoir des modèles mathématiques représentant le comportement dynamique des paramètres climatiques des serres agricoles avec une précision assez élevée.

Le recours aux techniques de régulation automatique a permis de réaliser les objectifs techniques et économiques par le producteur tels que :

- Augmenter le rendement de la production agricole.
- Réduire la consummation d'énergie.
- Améliorer la qualité des produits agricoles.
- Production de légumes et de fruits en toutes saisons.
- Contrôle et gestion à distance de la quantité et du type de production agricole.

I.2. Définition d'une serre agricole :

- La serre est une construction destinée à abriter des cultures des plantes ornementale, légumières ou fruitières, et parfois -dans un but expérimentale ou didactique- de toutes autres plantes, dans des conditions plus favorables ou plus sûres qu'en plein air (Berninger, 1993)
- La définition de la norme française NF U57-001, déc.1984 décrit la serre comme « une enceinte destinée à la culture ou à la production des plantes en exploitant le rayonnement solaire. Les dimensions de cette enceinte permettent à un homme de travailler aisément à l'intérieur ». (Bordes, 1992)

Cette structure protège les plantes grâce à une maîtrise du climat qui permet d'obtenir des conditions optimales de croissance ou en minimisant les risques sanitaires. « L'exploitation du rayonnement solaire » directement par les mécanismes de photosynthèse, mais aussi à travers le phénomène de l'effet de serre contribue à la bonne croissance de la plante. [2]

I.3 Intérêts de la serre :

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid), elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO2 et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en contre saison.

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existant naturellement par conséquent une meilleure qualité, du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres [2].

I.3.1 La choix et l'installation d'un serre :

Les principaux critères de choix d'une serre et sa couverture d'après sont les suivants :

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse (elle détermine le potentiel de la Production)
- La solidité et la durabilité (attention aux zones comportent des risques climatiques).
- La fonctionnalité et la facilité de maintenance (elle joue un rôle dans le coût de main-d'œuvre).
- Les économies d'énergie et le prix. [3]

I.3.2 Les différents types de serre :

La classification des serres est très complexe est plus difficile, elle est souvent faite selon les formes données par les cadres porteurs qui constitue l'assemblage, on distingue deux principaux types appartenant à deux grandes familles de serres : Les serres chapelle et les serres tunnels. Comme on peut les distinguées aussi suivant les formes leur toit : chapelles a versants plats et a poteaux verticaux, les chapelles dissymétriques, les chapelles sans poteaux verticaux, les chapelles à piédroits inclinés…etc. [1]

I.3.3 La serre chapelle :

La chapelle est l'unité de construction de la serre, formée par deux parois latérales verticales (ou très légèrement penchées) et un toit à deux pentes, généralement symétriques. La chapelle est caractérisée par sa largeur, les dimensions courantes sont approximativement entre (3, et 16m). **[5]**



Figure 5.1: serre chapelle



Figure I.2: Serre multi chapelle

I.3.4 La serre tunnel :

En général, la serre tunnel se compose d'une série d'éléments juxtaposés constitués chacun par une armature en tube d'acier assemblés par des boulons. La largeur est de 3 à 9 m. Le film plastique se fixe par divers systèmes de clips. La serre tunnel est spécialement dédiée aux cultures précoces. Elle est incontournable pour le potager puisqu'elle permet de prolonger la récolte de fruits et légumes hors saison, voire de permettre des floraisons d'été. Elle doit son nom à sa forme demi-circulaire. Sa structure se maintient grâce à de grands arceaux métalliques. Elle est recouverte d'une bâche plastique spécialement conçue pour les serres. Cette bâche souple et transparente permet de doubler l'efficacité de la serre. **[5]**



Figure I.3: la serre Tunnel

I.3.5 La serre gonflable :

La serre gonflable est une serre dont les parois sont flexibles de manière où son vrai volume avec l'état de son climat change (la température élevée provoque une détente qui fait augmenter

la pression totale intérieure, la condensation de la vapeur d'eau diminue la pression totale, et provoque une dépression) par conséquent la paroi se rabat sur l'armature de la serre. [5]



Figure I.4: la serre gonflable

Les avantage et inconvénients de chaque type : [7]

TYPES DE SERRES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Serres tunnels	→ Les plus utilisées par les agriculteurs. Basiques et économiques	→ Pas hautes et pas Adaptées pour les tomates hors-sol
Serres Multi chapelles simple ou double paroi	→ Un grand volume d'air grâce à leur Hauteur optimale ainsi qu'une largeur Importante pour une production intense. → Très isolantes. Leur système d'aération avec ouverture permanente ou fermeture possible permet une ambiance saine et une Aération optimale → Économiques et robustes	→ Manque de lumière

Tableau I .1 : Avantages et inconvénients des serres

I.4. Caractéristiques des serres :

I.4.1 La structure de la serre :

Il existe différents types de serre selon les matériaux utilisés pour leurs confections, avec des structures de tailles et de forme diverses selon la surface disponible au sol et du nombre de plantes à mettre dans la serre [3].

- **Les serres avec structure en bois :**

Les structures à ossature en bois sont utilisées pour les serres d'une taille inférieure à 6 m, le bois possède naturellement une bonne résistance et une durée de vie d'un moins 15 ans en fonction du type de bois choisie, et de son traitement. En plus, la structure en bois renforce les capacités d'isolation thermique de la serre ce qui contribue à conserver un micro climat propre à la serre. Par contre, le bois doit être bien entretenu car il est sujet à l'humidité interne de la serre et peut développer des parasites [3].

- **Les serres avec structure en verre :**

Les serres agricoles avec ossature offrent une très bonne luminosité et très robustes, ils peuvent aussi être édifiées à des hauteurs optimales. Par contre, leur coût est important et elles souffrent de leur fragilité [3].

- **Les serres avec structure en acier :**

Le principal avantage d'une structure en acier est sa robustesse te sa maniabilité, elle offre aussi la possibilité de construire un toit avec des arceaux demi-cercle plus résistant qu'un toit en pente. Par contre, l'ossature en acier doit obligatoirement être traité notamment contre la rouille car elle est exposée aux éléments extérieurs, c'est pour cela qu'elle est de plus en plus remplacée par une structure en aluminium plus résistante et facile à entretenir [3].

- **Les serres avec structure en plastique** :

Il s'agit d'un type de structure très isolante qui offre un grand volume d'air pour une production agricole importante, elle inclue un système d'aération avec ouverture/fermeture commandés qui permet une aération optimale, leur principal inconvénient est leur manque de luminosité [3].

- **Les serres avec structure en PVC :**PVC est un matériau très économique, il est également un excellent isolant thermique et permet aussi de limiter la condensation interne, il ne nécessite peut d'entretien par rapport aux autres matériaux, mais il est peu résistant, et de ce fait on ne peut envisager des structures importantes avec ce type d'ossature.**[3]**

- **Les serre avec Structure en aluminium**: C'est un matériau très pratique et très utilisé, pour sa solidité et le peu d'entretien qu'il nécessite. Une structure en aluminium de qualité peut durer une centaine d'années.

I.5Principaux paramètres climatiques :

Parmi les paramètres les plus influents dans la production des plantes c'est La température, l'humidité, la teneur en CO2 et la lumière. Pour améliorer Leurs rentabilités, il est indispensable de faire d'optimiser le climat environnant aux cultures.

Il est donc important de contrôler les paramètres climatiques cités ci-dessus. Dans ce cadre, il Est nécessaire d'équiper la serre par un ensemble de capteurs climatiques et d'actionneurs afin D'agir sur les paramètres climatiques. [4]

I.5.1 La température :

La température sous serre est le paramètre le plus important pour la production des cultures Sous serre. Il se décompose en trois types :

- Température issue du sol.
- Température de la plante.
- Température ambiante à la culture.

I.5.2 L'humidité :

Quand l'humidité est en dessous de 40% la plante transpire plus. Ce n'est pas destructif pour la plante, mais cela vide les réserves d'eau un peu rapidement. En outre, quand l'air est trop humide, la plante est exposée aux attaques de champignons, moisissures, ralentissement de la transpiration freinant la croissance de la culture. Trop d'humidité est souvent due au mauvais système d'extraction ou à l'absence de bonne ventilation au sein de la serre [4]

- **Humidité absolue:**

C'est le rapport de la masse de vapeur d'eau, notée Mv eau au volume Vtotal occupé par l'air Humide considéré dans les conditions de pression et de température données :

$$H = \frac{M_{v\ \ eau}}{V_{total}} \qquad (1.1)$$

- **Humidité relative de L'air:**

L'humidité relative de l'air est une grandeur physique influence directement sur les processus physico−chimiques et biologiques. Acquisition et le contrôle de l'humidité relative est évidemment nécessaire pour la production favorable sous serre. Elle Est définie comme étant le rapport de pression partielle de vapeur D'eau Pv à la pression de vapeur saturante Ps à une température donnée :

$$H\,R = \frac{P_v}{P_S(T)} \times 100 \quad (1.2)$$

I.5.3 Éclairement :

La lumière joue un grand rôle dans la croissance de la plante car elle intervient dans beaucoup de phénomènes physiologiques et conditionne surtout la photosynthèse. En effet,
L'énergie lumineuse fixe dans la plante le gaz carbonique et l'eau de l'air pour produire le sucre et l'amidon. Par conséquent, la croissance et le niveau de production des plantes dépendent Fortement de la quantité du soleil que la culture reçoit tout au long de sa croissance.
Aussi On peut prolonger ou raccourcir l'éclairage en utilisant respectivement les lumières artificielles. Ceux-ci permettront aux cultures de passer au stage de développement désiré. [4]

I.5.4 Teneur en gaz carbonique CO2 :

Le CO2 est essentiel aux plantes vertes pour la photosynthèse [24]. Une grande quantité de Ce type chimique se trouve dans l'atmosphère. Il se fixe dans les feuilles par les stomates et les Cellules chlorophylliennes après dissociation. Les stomates des plantes cultivées sous serre, sont Indispensables à différentes concentrations de CO2. La photosynthèse représente l'inversion de La combustion du glucose. [4]

I.5.5 Le vent :

Le vent est considéré comme un déplacement d'air s'effectuant surtout horizontalement. Ce déplacement peut être caractérisé par sa vitesse et sa direction. Dans les stations météorologiques, la vitesse et la direction sont mesurées à dix mètres au-dessus du sol. La vitesse diminue lorsque l'on se rapproche du sol et il est possible de calculer sa moyenne à une hauteur h au-dessus du sol en connaissant la vitesse de référence à 10 m (Selon la formule d'Hellman). [8]

I.5.6 L'effet de serre :

L'effet de serre se manifeste essentiellement par l'élévation de la température .sa détermination peut être ramenée à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre (ΔT) multipliée par le nombre d'heure pendant lesquelles cette différence existe

$$\text{Effets de serre} = \Delta T.\,h \quad (1.3)$$

Le phénomène d'effet de serre permet une augmentation conséquente de la température, mais dans d'autres circonstances, la serre devient un émetteur de chaleur et les températures peuvent fortement diminuer. [2]

I.6 Les équipements essentiels de gestion des paramètres climatiques sous serre :

- **Réseau de capteurs**

L'acquisition de données dans une serre exige l'implémentation des capteurs météorologiques. Il s'agit des composants électroniques qui transforment des grandeurs physiques en grandeurs électriques. Ils sont branchés en amont de la chaîne d'acquisition.[4]

I.6.1 Capture de température :

Il y a Plusieurs types de capteurs mesurer la température (composants semi−conducteurs, Diode à jonction, transistors, thermocouples, thermistances, détecteurs résistifs, etc.). Sous serre, la précision du capteur de température est un facteur supplémentaire à prendre en considération, du point de vue de l'efficacité énergétique. Les semi−conducteurs permettent de réaliser des thermomètres électroniques à bas coût dont la plage s'étend plus largement et avec une bonne précision. [4]



Figure I.5: capture de température

I.6.2 Capteur d'humidité :

Les hygromètres à variation d'impédance sont des capteurs dont l'élément sensible possède Des propriétés hygroscopiques, c'est à dire, dont la teneur en eau varie en fonction du taux d'humidité de l'air avec lequel il est en équilibre. Il existe plusieurs capteurs à variation d'impédance :

- **Hygromètres résistifs :** Sur un support de faible dimension, on dépose une quantité de substance hygroscopique suivant un motif constituant une résistance. Celle-ci dépendra donc à la fois de la teneur en eau et de la température. Le domaine de mesure pour ce type de capteur s'étend de 5% à 95% d'humidité pour des températures comprises entre

-10oC et 50oC. Le temps de réponse est théoriquement de l'ordre de 10 s pour une précision de 5% environ.

- **Hygromètres capacitifs** : Le principe de ce type de capteur est basé sur la variation de la capacité d'un condensateur par l'intermédiaire de sa constante diélectrique. Le diélectrique, d'une épaisseur de quelques microns, absorbe les molécules d'eau de l'air ambiant jusqu'à l'équilibre. La difficulté liée à l'implémentation de ce disposif réside dans le fait qu'il requiert une faible épaisseur de diélectrique pour obtenir une valeur importante du condensateur

I.7. Équipements de régulation :

Généralement, les paramètres climatiques sous serre restent encore éloignés des besoins Des cultures. C'est pour cette raison que la plupart des serristes ont recours aux équipements Permettant de gérer ces facteurs climatiques : chauffage, ventilation, brumisation et ouvrants Qui agissent préférentiellement sur un facteur en modifiant les autres. Donc, la température Doit être réglée en fonction des besoins des cultures sous serre. Plusieurs systèmes permettent De la contrôler**.** [4]

I.7.1 Système de chauffage :

Le chauffage permet d'adapter les apports de chaleur aux besoins des cultures et de déshumidifier l'air. Il agit également sur l'hygrométrie et la température de l'air ; une augmentation de la température favorise la déshumidification de la serre. L'intensité du chauffage peut dépendre de l'éclairement : abaissement des températures de consigne de nuit après une journée peu ensoleillée et inversement. Il y a deux types de chauffages :

- **Émission par air chaud :** Produit à partir d'un appareil autonome qui génère l'air chaud, ou d'un aérotherme utilisant l'eau chaude produite à partir d'une chaudière
- **Émission par eau chaude :** envoyée dans des tubes métalliques répartis dans la serre.

Deux principaux types d'émission sont distingués selon la température basse et haute Supportée par la culture (classique, à condensation, à bruleur émergée ...).

Ces différents systèmes peuvent être utilisés de façon complémentaire. Le choix de l'équipement de chauffage est influencé par le type et l'âge de la structure de serre, la température de consigne attendue par la culture et le créneau de production. Les besoins en chauffage sous serre représentent les plus grandes consommations d'énergie. [4]



Figure I.6: Chauffage

I.7.2 Éclairage de la serre avec des lampes à LED :

Le meilleur éclairage considéré pour les plantes est la lumière du soleil, il est donc recommandé de l'utiliser autant que possible. La faible intensité et la durée de la lumière naturelle dans les conditions de la plupart des régions ne permettent pas de cultiver une bonne récolte sans l'utilisation de sources lumineuses artificielles.

Éclairage LED est considérée comme l'une des options les plus respectueuses de l'environnement, l'efficacité énergétique atteint 96%. Pour créer le niveau d'éclairage nécessaire, il est possible de sélectionner les éléments multicolores, ce qui les conditions les plus optimales pour la croissance et le développement des cultures



Figure I.7 : Utilisation des LED dans les serres

I.7.3 Ventilation :

Depuis l'invention de la serre, l'homme a mis au point une solution pour la ventilation des serres par des fenêtres avec différentes formes et tailles, ont été placées en fonction des besoins des plantes et de la forme de la serre. Il y a deux méthodes de ventilation d'une serre :

I.7.3.1 Ventilation naturelle :

Elle est assurée par des aérateurs faîtières et latéraux et elle est, en général, suffisante dans les serres en verre uni-chapelle à condition qu'elles soient munies de toiles d'ombrage ou de pulvérisateurs en brouillard et que la dimension des ouvertures soit aussi suffisante. La circulation et le brassage de l'air s'opèrent, à l'intérieur de la serre, sous l'effet de forces naturelles exercées par le vent de l'extérieur et les différences de température de l'air à l'intérieur de la serre. Quand les aérateurs sont ouverts, ces forces naturelles entraînent également des échanges d'air avec l'extérieur. Il faut que l'air qui s'échappe soit remplacé par

De l'air frais de l'extérieur et qu'en outre la surface des aérateurs soit suffisante. La surface des Aérateurs latéraux devrait être au moins égale à la moitié de la surface totale des aérateurs Faîtiers. L'ouverture et la fermeture des aérateurs faîtiers et latéraux dépendent de la température Sous serre, mais le dispositif de commande des aérateurs peut également comporter des sondes Qui détectent ou mesurent la direction du vent, la vitesse du vent, la pluie et la teneur en CO2.Ce sont d'abord les aérateurs, situés dans le mur abrité du vent, qui s'ouvrent progressivement On peut se servir de sondes mesurant la vitesse du vent pour commander la fermeture des Aérateurs. La ventilation naturelle est efficace si les aérateurs sont de surface suffisante et qu'ils S'ouvrent soit automatiquement soit manuellement. Elle consomme beaucoup moins d'énergie Que la ventilation forcée. Si les aérateurs faîtiers existants ne suffisent pas ou s'il n'y pas D'aérateurs ni dans le faîte ni dans les murs, la ventilation mécanique peut être la seule possibilité [4]

I.7.3.2 Ventilation forcée :

Permet d'atteindre des débits élevés de circulation d'air dans une serre de grande dimension ou dans une serre où la ventilation naturelle est insuffisante. Elle présente l'avantage de permettre un réglage précis de la vitesse et de la direction de l'air, de stimuler l'assimilation de C02 et d'éviter la condensation à la surface des feuilles en forçant l'air à circuler au sein du couvert végétal. La ventilation mécanique ne demande pas une serre de construction aussi complexe que celle qui est ventilée par aérateurs latéraux et faîtiers, mais elle exige une plus grande étanchéité. Les prises d'air et les ventilateurs d'extraction doivent être conçus en vue de permettre une circulation homogène de l'air. L'espacement des ventilateurs et l'emplacement des prises d'air dépendent du type de serre et de plantes qu'on y cultive, et de la direction du courant d'air par rapport à l'axe longitudinal de la serre et aux planches de culture.

Pour la ventilation d'été, la serre doit être dotée de prises d'air sur toute sa longueur Ou sa largeur et, si possible, du côté du vent dominant. Leur ouverture devrait être réglée Automatiquement de façon que la vitesse de l'air à l'entrée soit peu élevée, de l'ordre de 0,75 à

2,50 m/s [31]. Cela minimise la turbulence et le brassage de l'air qui entre avec l'air chaud Dans la partie haute de la serre. L'air devrait entrer dans la serre selon un plan horizontal à la Hauteur des plantes. [4]



Figure I.8: ventilation forée

I.7.4 Humidification :

Plusieurs techniques d'humidifications permettent de faire augmenter l'humidité [4] :

- **Brumisateur :** Fait augmenter l'humidité dans la serre. Il consiste à atomiser l'eau en fines particules (d'environ 10 µm). Ensuite un système à haute pression d'air les disperse dans le climat sous serre. Il s'agit d'un système qui produit de la brume sans laisser de gouttelettes sur les plants afin de ne pas favoriser le développement de maladies fongiques. L'augmentation de l'humidité dans la serre provoquée par le système de brumisation, peut entraîner une diminution de la température puisque l'eau nécessite de l'énergie pour qu'il s'évapore
- **Écran de refroidissement :** Bien qu'utilisé pour réduire la température de la serre, l'écran de refroidissement peut également servir pour accroître l'humidité. L'eau s'écoule à travers l'écran et permet de refroidir et humidifier l'air qui y circule de l'extérieur vers l'intérieur de la serre
- **Arrosage des allées :** Cette méthode, peu coûteuse, permet d'augmenter l'humidité de L'air mais de manière ponctuelle. Les effets bénéfiques de l'arrosage sur l'humidité se font sentir sur une très courte période
- **Ventilation :** La réduction de la ventilation naturelle, par la fermeture partielle ou totale des ouvrants contribue à accroître l'humidité de la serre sous certaines conditions. Ainsi, pour une culture dont la surface foliaire est importante, la fermeture des ouvrants peut entraîner un accroissement de la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Cette vapeur d'eau provient de la transpiration des plantes. Cependant, lorsque l'humidité atteint une certaine

valeur, la transpiration cesse et l'humidité ne pourra s'accroître davantage. Les deux possibilités que sont le refroidissement de l'air et l'enrichissement en vapeur d'eau sont généralement combinées.



Figure I.9: Humidificateur

I.7.5 Systèmes de refroidissement :

Il existe plusieurs méthodes de refroidissement utilisées dans les serres. Nous expliquerons certaines méthodes de refroidissement. [7]

I.7.5.1 Rideaux d'ombrage :

Les rideaux thermiques peuvent être utilisés pour ombrager la serre et limiter l'augmentation de la température à l'intérieur de celle-ci. Les rideaux thermiques peuvent réduire la température jusqu'à 6°C lorsque comparés à une serre qui n'utilise pas de rideaux thermiques (NGMA, 1996). Par contre, l'utilisation de cette technique réduit la luminosité qui est nécessaire à la photosynthèse. En climat canadien, le rideau thermique est plutôt utilisé pour réduire la consommation énergétique dans les serres au cours de l'hiver. Le rideau thermique peut être utilisé pour ombrager la serre en temps chaud et ensoleillé ou pour réduire la consommation énergétique d'une serre durant la nuit. La Figure 3 représente un rideau thermique déployé à 50 % dans une serre, au cours d'une journée ensoleillée. La configuration optimale d'un rideau thermique dans une serre dépend du besoin du producteur.

I.7.5.2 Panneaux humides de refroidissement (Cooling Pad) :

Cette méthode de refroidissement consiste à faire circuler de l'eau froide dans un panneau de cellulose à base de plastique ou à base de cellulose ayant reçu un traitement spécifique, combinée à des ventilateurs d'extraction d'air mécanique. Les panneaux de refroidissement sont installés dans une section de murs, idéalement, celle qui est exposée aux vents dominants.[7].

I.7.5.3 Brouillard Basse Pression (Fog System):

Le brouillard basse pression suit le même principe avec une taille de gouttelettes supérieures et moins nombreuses. La conséquence : une humification plus importante. Il est principalement utilisé pour des plantes robustes qui ne craignent pas d'être humidifiées sur leur feuillage ou leurs fruits [7].

I.7.6 Orientation de la serre :

Le réglage de l'orientation de la serre selon la course du soleil ainsi que selon la direction des vents ont causé des difficultés pour éviter l'hétérogénéité de certaines conditions climatiques à l'intérieure de la serre.

Dans la région méditerranéenne, où le soleil s'élève sur l'horizon, les vérifications ont montré que l'éclairement solaire satisfaisant pouvait s'obtenir par l'adaptation d'une orientation nord-sud. La comparaison entre le matin et le soir a montré que cette orientation permet d'avoir une meilleure homogénéité du flux lumineux. Compte tenu de la direction générale Nord-sud des vents dominants, cette orientation a l'avantage de réduire les effets néfastes des vents tant sur la structure que sur les déperditions énergétiques de la serre. [6]

I.8 Aspects spécifiques d'une serre :

I.8.1 Photosynthèse :

La photosynthèse est un processus de conversion d'énergie radiative en énergie chimique, transportable et réutilisable. Elle repose sur la transformation de l'oxyde de carbone et d'hydrogène à faible énergie chimique potentielle, en hydrates de carbone à énergie potentielle chimique élevée. [6]

I.8.2 Respiration :

Les hydrates de carbone formés par la photosynthèse sont distribués dans tout l'organisme et peuvent alors être soit polymérisés en macromolécules destinées à l'élaboration des parois cellulaires, soit mis en réserve sous forme de sucre ou de graisse, soit finalement utilisés comme source d'énergie lors de synthèse d'autres substances organiques. La récupération de l'énergie chimique emmagasinée dans les hydrates de carbone s'effectue par un processus de dégradation oxydative, dénommé respiration, qui peut être considéré dans une certaine mesure comme la réaction inverse de la photosynthèse. [6]

I.8.3 Evapotranspiration :

Les transferts d'eau du système sol-végétation dans la serre peuvent s'effectuer selon deux canaux. Soit par évaporation directe de l'eau du sol soit par transpiration des végétaux préalablement prélevée dans le sol par leurs systèmes racinaux. L'évaporation directe se produit essentiellement dans une zone de faible épaisseur située immédiatement sous la surface du sol. Les deux processus se produisent simultanément et de telle manière qu'il est difficile de les distinguer. Ils sont englobés sous le terme général d'évapotranspiration. [7]

I.9 Source d'énergies dans les serres :

Les sources d'énergie qualifiées de nouvelles, douces et renouvelables, comprenant essentiellement la géothermie, la pompe à chaleur, l'énergie solaire sont utilisées actuellement dans plusieurs domaines notamment dans le développement du secteur agricole. [8]

I.9.1 Géothermie :

Il s'agit d'exploiter des poches d'eau situées dans les couches profondes du sous-sol ; vers 1000 à 2000 [m] de profondeur. L'eau contenue dans ces poches se distingue par des températures de l'ordre de 50 à 70 °C. Cette énergie géothermique est utilisée dans plusieurs pays dans le domaine de l'agriculture pour le chauffage des serres agricoles en vue d'amélioration des cultures sous serre.

I.9.2 Énergie solaire :

La serre elle-même est un capteur solaire à la fois biologique (photosynthèse) et thermique. Le capteur thermique est même souvent trop efficace puisqu'il faut fréquemment aérer la serre et donc rejeter la chaleur à l'extérieur par ventilation. Un système de stockage de cette chaleur doit être prévu au vu non seulement des rapports d'ensoleillement jour/nuit mais aussi des rapports hiver/été ce qui représente un obstacle majeur. **[8]**

I.9.3 Pompe à chaleur :

C'est une machine permettant de rehausser le niveau thermique d'une source énergique ; elle refroidit une source non utilisable ; le condenseur de celle-ci est en contact avec un circuit d'eau permettant de chauffer la serre agricole. La pompe à chaleur nécessite un investissement élevé, il est nécessaire de la rentabiliser en l'utilisant le plus longtemps possible, ce qui représente un inconvénient dans les périodes de pointe. **[9]**.

I.10 Exemples des serres agricoles :

Parmi les cultures sous serres les plus réussites en Algérie, on cite la culture de tomate et des courgettes

I.10.1 La culture de tomate sous serre :

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (MADR 2009). Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, où les rendements varient entre 350 Qx/ha à 1500 Qx/ha (FAO, 2008) [10]

I.10.2 La culture de courgette sous serre :

Dans la serre, les courgettes sont des légumes les plus faciles à cultiver. Quelques mois après le semis, la récolte peut déjà débuter. Ce légume se prépare de mille et une manières. Il est largement utilisé dans la cuisine méditerranéenne. La courgette se plaît à l'abri, en terre bien drainée mais fraîche, à exposition ensoleillée. Incorporez au sol beaucoup de matière organique telle que du fumier bien décomposé, afin de conserver l'humidité souterraine. Arrosez copieusement. La plante de courgette, se distingue par sa croissance touffue, son port étalé et sa hauteur d'environ 50 cm. La cueillette de ses fruits, de couleurs variés, se fait de juillet à début octobre. La courgette peut aussi se cultiver en pot, dans un balcon ou dans le jardin comme un légume. C'est une culture productive, très prolifique et peu exigeante. Grâce à ses fleurs jaunes et ses grandes feuilles, la courgette peut être notamment cultivée comme plante décorative. Le cycle de production de la courgette est annuel. Sa culture peut occuper le terrain jusqu'à 160 jours. [10]

I.11. Conclusion :

L'amélioration de la gestion du climat repose sur une meilleure connaissance de la physiologie des plantes afin de déterminer ses besoins et les répercussions de l'environnement sur Le fonctionnement de la culture. Elle requiert également une maîtrise approfondie d'échange Thermique des serres et de ses équipements de régulation. Après avoir dimensionné les différents équipements matériels et logiciels de la serre agricole, nous aurons besoin d'une loi de Commande automatique pour une bonne maîtrise des paramètres climatiques qui minimise le Effets indésirables de l'extérieur. Ainsi, Le choix d'une structure de serre, des équipements et de la conduite climatique sont devenus Le maillon clé de la qualité de la serri-culture. Dans ce chapitre, nous avons défini les différents Composants nécessaires à la gestion efficace des paramètres climatiques sous serre. Ensuite, les paramètres climatiques les plus agissant sur la croissance de la culture sous serre. Aussi, nous avons étudié quelques outils essentiels et indispensable pour le bon Fonctionnement du processus en fin. Le chapitre suivant sera dédié aux fondements théoriques de modèle mathématique d'une serre agricole.

CHAPITRE II

Modélisation d'une serre agricole

II.1 Introduction

Ce chapitre est consisté à étudier Le modèle mathématique de l'environnement de serre sont multi-entrées systèmes multi-sorties, caractérisés par un couplage élevé, une non-linéarité, une variation de paramètres et ils sont fortement influencés par des perturbations (R, Hext, Tint). Avec les contrôleurs classiques Tout cela fait difficile à décrire et à contrôler une serre avec analytique modèles et avec contrôleurs classiques, ensuit Cet étude décrit une l'approche de feedback/feedforward à l'égard de la linéarisation du système découplage pour le fonctionnement de la ventilation/refroidissement. Le modèle proposé consiste en une méthode fondée sur feedback/feedforward en aval des perturbations extérieures sur la base de la linéarisation entrées/sorties et du découplage, en fin la prise en compte des contraintes imposées par les lois psychométriques et les capacités des actionneurs.

II.2 Description du modèle

Le bilan énergétique d'une serre typique est effectué sur une année non bissextile. Tous les calculs du bilan sont faits pour chaque heure de l'année afin de donner le meilleur aperçu possible de la consommation d'énergie tandis que la couverture nuageuse est calculée mensuellement. Le calcul considère les échanges thermiques suivant [11]:

- Conduction par le plancher,
- Conduction intérieure, convection du mur ainsi que la convection extérieure,
- Rayonnement solaire,
- Rayonnement avec l'environnement,
- Infiltration d'air,
- Évaporation de l'eau au sol. La partie concernant la ventilation est mise à part, puisque l'énergie calculée sert à réchauffer l'apport d'air neuf provenant de l'extérieur et n'entre pas dans le calcul du bilan thermique.

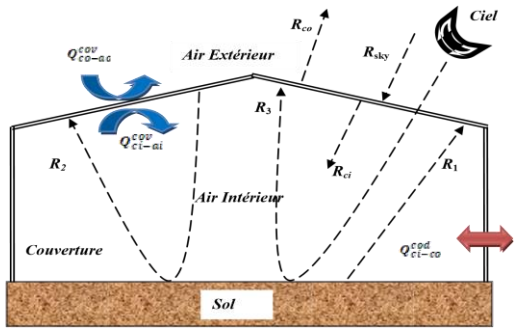


Figure 3.12: Représentation des flux de chaleur échangés prés de la couverture de la serre.
: Flux thermique (infrarouge). : Flux Convectif. : Flux Conductif.

Figure II.1 : Description énergétique de la serre

II.3 Hypothèse

Le modèle est constitué de trois composantes essentielles : la couverture (C), l'air intérieur (Ai) et le sol abrité (S). Chacun de ces éléments est caractérisé par sa variable d'état : la température T_{int} supposée uniforme le long de sa surface, pour la couverture et le sol abrité. L'air intérieur (Ai) est caractérisé en plus par son humidité H_{int} , supposée uniforme à son tour pour tout le volume de la serre. A cet effet, deux bilans sont formulés, pour l'air intérieur le terme d'inertie (qAi) lié à la capacité calorifique de l'air et le terme (qE) qui représente le terme d'inertie lié à la variation de la masse de vapeur d'eau.

Seul composant à grande capacité thermique, le sol de la serre, il joue un important rôle dans le bilan énergétique global de la serre. Pour mieux appréhender ce rôle dans le calcul du bilan énergétique. [9]

II.4 L'équation du bilan énergétique global de la serre :

L'équation du bilan énergétique global de la serre qui combine ces mécanismes (A l'état d'équilibre) peut être écrite comme suite (Boulard et.al 1998). [12.18]

$$Q^{sol} = Q^{cov} + Q^{vent} + Q^{evp} + Q^{sto} \quad (2.1)$$

II.4.1 Bilan sur la couverture extérieure :

Le bilan énergétique de la couverture extérieure de la serre dans des conditions d'équilibre est décrit par l'équation **:**

$$-Q^{C}_{C\,Ae} + Q^{C}_{AiC} + Q^{L}_{AeC} + Q^{S}_{C} + Q^{I}_{C} = 0 \quad (2.2)$$

Avec $-Q^{c}_{cae}$ est la puissance du flux de chaleur convectif échangée entre la face extérieure de la couverture et l'air extérieur, Q^{c}_{aic} est la puissance du flux de chaleur convective entre l'air intérieur et la face intérieure de la couverture, Q^{l}_{aic} est la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau sur la paroi intérieure de la couverture, Q^{s}_{c} est le bilan solaire net de la couverture et Q^{i}_{c} est le bilan infrarouge net de la couverture. [12]

II.4.2 Bilan sur l'air intérieur :

En supposant que les rayonnements infrarouges ne sont pas absorbés par l'air, seuls les échanges convectifs et latents sont considérés. Deux équations interdépendantes peuvent alors s'écrire :

$$-Q^{C}_{Ai\,C} + Q^{C}_{sAi} + Q^{C}_{Ai\,Ae} = q_{Ai} \quad (2.3)$$

$$Q^{S}_{S\,Ai} + Q^{S}_{Ai\,C} + Q^{L}_{Ai\,Ae} = q_{E} \quad (2.4)$$

Avec $-Q_{Aic}^{C}$ est la chaleur sensible échangée entre la surface du sol abrité et l'air intérieur de la serre et Q_{AiAe}^{C} est la chaleur sensible échangée entre l'air intérieur et l'air extérieur de la serre par ventilation ou par fuite d'air à travers la structure de la serre. La chaleur latente de vaporisation de la surface du sol est donnée par $Q_{S\,Ai}^{S}$ et la chaleur latente de la vapeur échangée entre l'intérieur et l'extérieur est donnée par $Q_{Ai\,Ae}^{L}$. [12]

II.4.3 Bilan sur le sol de la serre :

La formulation des bilans d'énergie détermine un système d'équations différentielles Non linéaires où chaque équation correspond à la formulation du bilan d'énergie d'un Élément.

$$Q_S^S + Q_S^I - Q_{S\,Ai}^C - Q_{S\,Ai}^L - Q_S^D = q_S \qquad (2.5)$$

Où Q_S^S est la puissance du flux solaire net absorbé par la surface du sol,Q_S^I étant la puissance du bilan infrarouge net de la surface du sol de la serre. La puissance du flux de chaleur de conduction à travers la couche du sol d'épaisseur E = 40 cm, est représentée par Q_S^D. [12,18]

II.5 Initialisation de la température de sol :

II.5.1 Définition du Problème

L'inertie thermique du sol joue un r61e essentiel sur le microclimat intérieur de la serre. Pendant la nuit, le sol restitue une partie de la chaleur accumule pendant la journée sous l'effet du chauffage et des apports solaires

Au départ de toute simulation en régime dynamique, nous devons initialiser la température des diverses couches de sol de notre modèle. En général, cette condition initiale qui détermine la quantité d'énergie stocké dans le sol est estime empiriquement. Son influence sur le comportement de l'étage supérieur du modèle, qui ne s'amortit qu'au-delà de la dixième journée de simulation, impose d'avoir recours à un boudage répété sur une première journée de simulation dite journée de référence.

Nous avons basé l'estimation de la température initiale des couches de sol sur l'utilisation du développement en série de Fourier de la solution analytique de l'équation de propagation de la chaleur dans le sol. Cette technique permet de stabiliser très rapidement le cycle de la journée de référence. [11]

II.5.2 Méthode sur une journée de référence

Nous faisons une expérience dans une période de 24 heures où les conditions Météorologiques coïncident, On peut représenter la température du sol de la serre selon la Série de Fourier suivante : [11]

$$TS(0,t) \simeq < TS(0) > + \sum_{n=1}^{n=N} \sqsubset an.\ \cos(n.w.t) + bn.\sin(n.w.t) \sqsupset \quad (2.6)$$

Avec :

t : le temps.

T : période des oscillations (24x3600) (s).

W : pulsation des oscillations $(2.\frac{\pi}{T})(s^{-1})$

$\prec T_S\ (0) \succ$: La température moyenne de la surface du sol.

an, bn : coefficients d'ordre n de la décomposition en série de fourrier.

Lorsque la température du sol commence à évoluer à partir de l'état initial T_S (x, 0), on peut considérer que T_S (x, t) est la solution de l'équation de diffusion de la chaleur à l'intérieur de la serre en milieu semi-fini et en régime variable.

$$\frac{dTs(x,t)}{dt} = a.\frac{d^2Ts(x,t)}{dx^2} \quad (2.7)$$

Avec :

x : La profondeur (m).

t : temps (s).

a : diffusivité du sol (m^2/s).

On peut développer la solution analytique de ce profil sous la forme d'une somme de deux termes.

$$dTs(x,t) = dTS1(x,t) + dTS2(x,t) \quad (2.8)$$

Le premier terme, TS1(x, t) est périodique de période égale 24h, son amplitude décroît exponentiellement avec la profondeur x.

$$dTS1(x,t) = < TS(0) > \quad (2.9)$$
$$+ \sum_{n=1}^{n=N} \sqsubset an.\ \cos(n.w.t - x.\partial.n^{0.5}) + bn.\sin(n.w.t - x.\partial.n^{0.5}) \sqsupset e^{-x.\partial.n^{0.5}}$$

Avec : $\alpha = \left(\frac{w}{2.\alpha}\right)^{0.5} (m^{-1})$

Le deuxième terme, TS2(x, t), est un terme transitoire qui tend à s'annuler asymptotiquement

$$dTS2(x,t) = < TS(x,0) - < TS(0) >) : \frac{x}{(\pi.\alpha.t)^{0.5}} \quad (2.10)$$

En régime permanent, la température du sol dépend du premier terme T_{S1}(x, t), et la température moyenne en tout point du sol est égale à la température du sol <Ts (0)>, et à partir d'une certaine profondeur, où le terme d'amortissement de T_{S1}(x, t) annule le terme oscillant, la température du sol reste uniforme, égale à la température moyenne du sol à la surface. Le premier

terme $T_{S1}(x, t)$ à partir duquel la profondeur x peut être déterminée, à partir de laquelle les variables de température de surface peuvent être réduites n fois

$$x = \frac{\ln(n)}{\alpha} \tag{2.11}$$

Afin d'accélérer cette convergence, nous avons déterminé la température initiale des couches du sol à partir de l'expression analytique du régime périodique établi Ts1 (x, t).

II.6 Modèle énergétique de la serre agricole

Des nombreux modèles dynamiques pour l'environnement des serres existent dans la littérature existante, et ils sont de nature non linéaire, L'évolution de ces modèles a été rapide, poussée à la fois par le développement de nouveaux moyens informatiques et par une conjoncture où la compréhension et la maîtrise des phénomènes énergétiques devenaient fondamentales.

Notre modèle c'est la connaissance dynamique monodimensionnelle, qui s'articule autour de la formulation des bilans d'énergie des différents composants de la serre (Air intérieur, plantes, sol, échangeur de chaleur). Ce dernier est couplé et fortement non linéaire en ce qui concerne la température (Chauffage/Refroidissement) et l'humidité. Ces équations sont définies comme suit [20] :

$$\rho c_p v_t \frac{dT_{int}}{dt} = Q_{PL} + Q_{ch} + Q_R + Q_V + Q_C + Q_e + Q_{Br} \tag{2.12}$$

$$\rho c_p v_t \frac{dH_{int}}{dt} = H_{PL} + H_{Br} + H_{air,int} - H_{air,ext} + H_e \tag{2.13}$$

ρ : La densité de l'air $[kg.m^{-3}]$

C_p : La chaleur spécifique de l'air $[\mathcal{J}.kg^{-1}.K^{-1}]$

Q_{PL}: La chaleur produite par l'évapotranspiration des plantes [kW]

Q_{ch} : La chaleur du système de chauffage [kW].

QC, Qe, QBr , QV : La chaleur, perdue par la couverture, vaporisation de l'eau, le système du brouillard et par le système de ventilation [kW].

QR : La chaleur produite par le soleil [kw].

Tint : La température de l'air intérieur de la serre [0C].

Hint : L'humidité de l'air intérieur de la serre [%].

HPL : Le taux produit par l'évapotranspiration des plantes [kg.h-1].

HBr : Le taux d'évaporation de l'eau pour le système du brouillard [kg.h-1].

Hair, int , Hair, ext , He : Le taux de transfert d'humidité à partir de l'air extérieur entrant de la Serre, Taux de transfert d'humidité de l'air intérieur sortant de la serre et le taux d'évapotranspiration de l'eau respectivement [kg.h-1].

Remarque

Les volumes V_T et V_H qui sont utilisés en équilibre sont le mélange de volume actif AMV de La température et le volume efficace pour l'humidité respectivement.

En général, AMV de l'espace aéré peut être petit que de 60-70% du volume géométrique. Ceci, naturellement signifie que la température de l'air et de l'humidité intérieure peut être susceptibles d'être uniformes dans tout l'espace aéré. Cependant, dans un modèle à un seul état (ex : Température), la capacité de chaleur efficace doit être prise plus grande que celle correspondante à l'AMV. De même le volume efficace pour l'humidité (EVH) peut être plus petit ou plus grand que la géométrique, selon le degré d'effets de mélange, tels que les pertes d'air et de l'humidité (c-à-d les pertes d'air par des fuites sont également couplées à des pertes d'humidité portées avec l'air, et la condensation sur les surfaces froides évier de l'humidité). [9]

II.6.1 La chaleur produite par des plantes

La chaleur produite par les plantes Q_{PL} et le vapeur d'eau sont des fonctions non linéaires et dépendent de la température de l'air intérieur $T_{int,}$ le nombre de plante N sont données par : [15] [9]

$$Q_{PL} = f(T_{int}, N_{PL}) \quad (2.14)$$

$$H_{PL} = f(T_{int}, N_{PL}) \quad (2.15)$$

Avec:

$$Q_{PL} = 0.096 N_{PL}[0.8 - 1.8510^{-7}(T_{int} - 10)^4]$$

$$H_{PL} = 0.001 N_{PL}[0.26 T_{int} - 6.46 T_{int} + 81.6]$$

Remarque : A l'équilibre thermique QPL négligeables devant le générateur de l'air chaud et Dans une serre de grande taille

II.6.2 La chaleur perdue par le système de ventilation :

Les pertes de chaleur par ventilation Qv sont une fonction linéaire de différence entre la température intérieur et extérieur comme indique l'équation suivante : [15] [9]

$$Q_v = f_v(T_{int}, T_{ext}, V_{vt}) \approx \rho . C_p . V_{vt}(T_{int} - T_{ext}) \quad (2.16)$$

V_{vt} : Taux de ventilation totale.

Le taux de ventilation totale Vvt dans une serre peut être représenté comme une Somme de ventilation mesurée (commandée) Vv, m et le taux d'aération provenant par des petites fissures dans la serre Vv, f comme indique l'équation suivant :

$$V_{vt} = V_{v,m} + V_{v,f} \quad (2.17)$$

En effet, le taux de ventilation Vv, f dépend de la vitesse du vent.

Par conséquent, l'équation précédent prend la forme suivante : [15]

$$V_{vt} = f_{vt}(V_{v,m}, V_{air}) \quad (2.18)$$

II.6.3 Humidité intérieure et extérieure de la serre :

Les taux de transfert d'humidité de l'air extérieur $H_{air,ext}$ et air intérieur $H_{air,int}$ sont aussi des fonctions linéaires et dépendent de et en fonctions de ventilation totale Vvt,

L'humidité intérieure (Hint) et l'humidité extérieure (Hext) sont indiquées comme suit : [15]

$$H_{air,ext} = f_{ext}(V_{vt}, H_{ext}) \approx V_{vt}.H_{ext} \quad (2.19)$$

$$H_{air,int} = f_{int}(V_{vt}, H_{int}) \approx V_{vt}.H_{int} \quad (2.20)$$

H_{ext}, H_{int} Humidité extérieure et intérieure de la serre respectivement [%].

II.6.4 La chaleur perdue par l'évaporation de l'eau :

Les pertes de la chaleur dues à l'évaporation de l'eau sont calculées en utilisant les équations suivantes :

$$Q_e = \lambda\,.H_e \quad (2.21)$$

$$H_e = f_e(T_{int}, H_{int}) = 1.2K_eA_e\left[3.9.10^{-3}e^{\frac{T_{int}}{15.2}} - H_{int}\right] \quad (2.22)$$

λ : La chaleur latente d'évaporation [kj. kg^{-1}]

K_e : Le coefficient d'évaporation qui est en fonction de la vitesse du vent v_{air} [kj. kg^{-1}]

A_eLa surface évaporée (m^2)

$$K_e = 0.223 + 1.149.g_e(v_{air}) \quad (2.23)$$

Puisque la vitesse du vent à l'intérieur de la serre est négligeable et dans le cas où on a une serre de moyenne ou grande taille, donc on peut considérer la chaleur de vaporisation D'eau pour les plantes est négligeable. [15]

II.6.5 La chaleur perdue par l'humidificateur :

Cette chaleur est définie comme suit : [9]

$$Q_{Br} = \lambda\,.H_{Br} \quad (2.24)$$

- Si on a une serre de surface inférieure à 100m2 (petite serre) on peut considérer Qe et He de l'équation K_e comme des perturbations externes de notre modèle.
- Les pertes de chaleur dues au système de brouillard QBr sont liées à la capacité de L'eau du système de brouillard HBr (taux de vaporisation de l'eau par le système du brouillard)

II.6.6 La chaleur transférée par la couverture :

Les pertes de la chaleur conductrice de couverture sont une fonction linéaire entre la différence de température intérieure et extérieure de la serre, et peut être exprimée comme

Suit :

$$Q_c = f_c(T_{int}, T_{ext}) \approx UA(T_{int} - T_{ext}) \quad (2.25)$$

UA : C'est le cœfficient de transfert chaleur de la couverture de la serre [kW. K-1].

II.6.7 La chaleur produite par le soleil :

La chaleur produite par le soleil à l'intérieur de la serre est exprimée comme suit :

$$Q_{si} = a.A_f.S_i = R \quad (2.26)$$

Où :

Af : la surface au sol (m2).

a : l'efficacité du condensation de la chaleur solaire=0.28.

Si : le rayonnement solaire incident (W/m2).

R : la chaleur produite par le soleil (W).

A partir de ces équations on peut écrire notre modèle mathématique de la serre sous

La forme suivante [30]:

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \varphi_T(T_{int}, H_{int}, Q_{ch}, H_{Br}, V_{v,m}, Q_{PL}, V_{air}, T_{ext}, H_e) \quad (2.27)$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = \varphi_H(T_{int}, H_{int}, H_{Br}, V_{v,m}, H_{PL}, R, H_{ext}, H_e) \quad (2.28)$$

II.6.8 Taux d'évapotranspiration des plantes E (R, Hint) :

Taux d'évapotranspiration des plantes E (kg/m2/s) est liée au rayonnement solaire R (W/m2) et l'humidité intérieur par des coefficients appropriés (a, b, g) (Monteith et Unsworth, 1990).

Dans le cas général, le modèle de l'Equation (2.28) a des paramètres inconnus qui dépendent de facteurs tels que la culture, le stade de croissance, l'indice de surface foliaire (LAI), la résistance des feuilles, etc. [20 - 30]

$$E(R, H_{int}) = \frac{\alpha}{\lambda}R + \frac{h_t}{\lambda\gamma}H_{int} \quad (2.29)$$

Avec : $h_t = 1.65.LAI.\left(1 - 0.56.e^{-\frac{R}{1.32}}\right)[w.m^{-2}.K^{-1}]$

En remplace h_t dans E (R, Hint) :

$$E(R, H_{int}) = \frac{0.154\ln(1+1.1.LAI^{1.13})}{2.3.10^6}.R + \frac{1.65.LAI.(1-0.56.e^{-\frac{R}{1.32}}}{2.3.10^6}.H_{int} \quad (2.30)$$

Avec :

$$\lambda = 2.3.10^6 j.kg^{-1}, \gamma = 66 = \frac{R}{M_{H_2O}}\frac{C_p}{\lambda}\rho.[pa/k]$$

h_t : Enthalpie spécifique de l'air.

γ : Constante psychométrique [kj.kg-1 air sec]

$$E(R, H_{int}) = \frac{\alpha}{\lambda} R + \beta_T H_{int} \quad (2.31)$$

Où : $\alpha = 0.154 \ln(1 + 1.1.LAI^{1.13})$

LAI : l'indice de foliaire.

La variation journalière de l'indice de foliaire est donnée par la fonction suivante :

$$\Delta LAI = a.LAI + B.LAI.\ln(LAI) + c.LAI^{1.5} \quad (2.32)$$

Avec : $a = 0.09515907$; $b = 0.029229701$; $c = 0.00872732$

À l'équilibre thermique on obtient :

$$Q_{tot} = Q_{Ch} + Q_{PL} - Q_e = Q_{Ch} + Q_{PL} - \lambda.H_e \quad (2.33)$$

$= Q_{Ch}$(Q_{PL} et Q_c Sont négligeables devant le générateur de l'air chaud et le système d'humidification).

$$H_{tot} = H_{Br} + H_{PL} + H_e \quad (2.34)$$

$$H_{PL} + H_e = E(R, H_{int}) \quad (2.35)$$

Donc:

$H_{tot} = H_{Br} + E(R, H_{int})$

Les équations (2.12) et (2.13) deviennent ainsi :

$$\rho c_p v_t \frac{dT_{int}}{dt} = Q_{ch} + Q_R - Q_V - Q_C - Q_{Br} \quad (2.36)$$

$$\rho v_t \frac{dH_{int}}{dt} = H_{tot} - H_{air,int} + H_{air,ext} \quad (2.37)$$

Notre modèle peut finalement décrie comme suit :

$$\frac{dT_{int}}{dt} = f_T\left(T_{int}, T_{ext}, R, V_{v,m}, Q_{tot}, H_{Br}\right) \quad (2.38)$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = f_H\left(H_{int}, H_{ext}, R, V_{v,m}, , H_{tot}\right) \quad (2.39)$$

Selon l'équation (2.12) et (2.13) et les équations ci-dessus, on peut déduire la Variation de la température et l'humidité à l'intérieure de la serre comme suit :

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho c_p v_t}(Q_{ch} + R - \lambda H_{Br}) - \frac{V_{v,m}}{V_T}(T_{int} - T_{ext}) - \frac{UA}{\rho c_p v_t}(T_{int} - T_{ext}) \quad (2.40)$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho v_H}(H_{Br}) + \frac{1}{\rho V_H} E(R, H_{int}) - \frac{V_{v,m}}{\rho v_H}(H_{int} - H_{ext}) \quad (2.41)$$

De nombreux modèles dynamiques pour l'environnement des serres existent dans la littérature, et ils sont de nature non linéaire. Notre variable d'état est la température de l'air, avec l'humidité relative (ou l'humidité absolue) et la concentration de dioxyde de carbone également prise en compte. Perturbations d'une serre ou d'une autre centrale thermique l'environnement se produisent principalement à partir du rayonnement solaire R, température extérieure (T_{ext}) et l'humidité extérieur (H_{ext}) les interactions avec les occupants (plantes), le chauffage et la ventilation contrôlés l'équipement

II.7 Linéarisation et découplage du système :

La méthode présentée de découplage d'un système hautement non linéaire et couplé s'est avérée très efficace pour répondre aux exigences formelles de contrôle climatique des serres. Le contrôleur de rétroaction/anticipation réalise une linéarisation et un découplage globaux des entrées/sorties. Enfin, le contrôleur de rétroaction PI externe compense l'inadéquation du modèle et les écarts par rapport à perturbations attendues (R, T_{ext} , H_{ext})cette technique permet le processus de contrôle de la température/humidité à coupler avec d'autres systèmes d'aide à la décision qui peuvent utiliser des modèles biologiques quelconques. La méthode peut donc être facilement utilisable pour l'optimisation multi objectif de la consigne de température et d'humidité sélection, où les poids des paramètres de coût peuvent être évalués par rapport au risque ou autres facteurs de coût [14].

II.8 Modèle dynamique du climat d'une serre agricole :

Notre modèle dynamique peut être décrit par un système d'équations qui peut être

Représenté comme suit [14,20] :

$$\dot{X} = f(x,u,v) = A(x,v) + B(x,v)u \quad (2.42)$$

$$Y_i = h_i(X) \quad (2.43)$$

Avec :

$X \in R^n$: Vecteur d'état

U_i Et Y_i $(i = 1,2, \dots \dots \dots P)$: Commandes d'entrée et de sortie.

$V \in R^d$: Vecteur de perturbation.

A (x, v), B (x, v) et $Y_i = h_i(X)$ sont des fonctions évaluées par des matrices analytiques.

Dans le cas où les perturbations du système, v, sont inconnues (ou ne peuvent pas être mesurées), Il n'y a pas de cadre théorique général pour contrôler un système de forme (2.42)

Toutefois, dans le cas où les perturbations peuvent être mesurées et où le système (2.43) peut être apporté au formulaire :

$$Y_i^{(r_i)} = F_i(X,V) + g_i^T(X,V)U\,, \quad i = 1, \dots, P \quad (2.44)$$

R_i: Degré relatif du système, on suppose la matrice D (x, v) suivante :

$$D(X,V) = \begin{bmatrix} g_1^T(X,V) \\ \vdots \\ g_p^T(X,V) \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

$D(X,V)$: Matrice non singulière.

Donc la loi de commande feedback/ feedforward est écrite comme suit :

$$U = D^{-1}(X,V)\left\{-\begin{bmatrix} f_1(X,V) \\ f_2(X,V) \\ \vdots \\ f_p(X,V) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \widehat{U_1} \\ \widehat{U_2} \\ \vdots \\ \widehat{U_p} \end{bmatrix}\right\} \quad (2.46)$$

Avec : $\widehat{U_\iota}: i = 1,2,\dots,P$: Ensemble d'entrées externes, rend le système en boucle fermée E/S Linéaire et découplé avec perturbation d'isolement ayant la forme suivante :

$$Y_i^{r_i} = \widehat{U_\iota} \quad (2.47)$$

À condition que les états du système soient mesurables. De cette façon, chaque intermédiaire Entrée de contrôle $\widehat{U_\iota}$ contrôle directement le taux r_i de la ième sortie y_i

Remarque:

Si $\sum_{i=1}^{p} r_i < n$: alors le système (2.42) contient un ensemble d'état inobservables, Appelés dynamique interne, pour que le système en boucle fermée stable, la dynamique Interne du système doit être nulle par des nouvelles commandes en entrées.

Évidemment, le système en boucle fermée (2.47) peut être maintenant commandé En ajoutant une commande externe ″ boucle externe″, pour satisfaire, quelques paramètres de cette boucle d'asservissement, ce dernier peut être basé sur n'importe quelle stratégie linéaire conventionnelle de commande, et aussi peut être simple comme contrôleur PID.

Avec l'application de la loi externe de commande sous la forme :

$$\widehat{U_i} = -\sum_{j=0}^{r_i-1} a_{ij} Y_i^j + b_i \widetilde{U_\iota} \quad (2.48)$$

Le nouveau système en boucle fermée aura la forme :

$$Y_i^{r_i} + \sum_{j=0}^{r_i-1} a_{ij} Y_i^j = b_i \widetilde{U_\iota} \quad (2.49)$$

En outre, il faut composer les perturbations qui n'est pas été prises en considération dans (2.43) ou les incertitudes paramétriques pour atteindre la convergence asymptotique de L'erreur à zéro, en dépit de ces incertitudes, une commande additionnelle de la boucle avec L'action intégrale (par exemple contrôleur PID) doit être utile dans la plupart des cas.

II.9 Modèle de commande de la serre :

Le modèle dynamique du bilan énergétique et massique de l'air de serre est montré à Être hautement non linéaire. Un modèle simple de chauffage/refroidissement de serre peut être Obtenue en considérant les équations différentielles, qui régissent les équations sensibles et latentes la chaleur, ainsi que les équilibres d'eau sur le volume intérieur. Ces équations différentielles sont les suivantes [9 ,14] :

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho.Cp.V}(Q_{ch} + R - \lambda H_{br}) - \frac{V_{v.m}}{V}(T_{int} - T_{ext}) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}(T_{int} - T_{ext}) \quad (2.50)$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho.V} H_{br} + \frac{1}{\rho.v} E(R, H_{int}) - \frac{V_{v.m}}{\rho.V} (H_{int} - H_{ext}) \quad (2.51)$$

Pour l'opération d'été, on met $H_{br} = 0$ dans l'équation (2.51), on peut alors noter que dans une première approximation le taux d'évapotranspirations E (R, Hint) est dans la plupart des parties liés à l'énergie solaire radiante, par la relation simplifiée suivante :

$$E(R, H_{int}) = \frac{\alpha}{\lambda} R + \beta_T H_{int} \quad (2.52)$$

Sur la base de ces observations, les relations (2.50) et (2.51) prennent les formes suivantes :

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho.Cp.V} (R - \lambda H_{br}) - \frac{V_{v.m}}{V} (T_{int} - T_{ext}) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V} (T_{int} - T_{ext}) \quad (2.53)$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = -\frac{\beta_t}{\rho.V} H_{int} - \frac{1}{\rho.v} H_{br} + \frac{\alpha}{\lambda.v} R - \frac{V_{v.m}}{\rho.v} (H_{int} - H_{ext}) \quad (2.54)$$

Toutefois, dans le cas précédent, les relations (2.53) et (2.54) peuvent également être écrits sous la forme suivant :

$X = [X_1 X_2]^T \triangleq [T_{int}, H_{int}]^T ; \mathrm{Y} = \mathrm{X} ; \mathrm{r1} = \mathrm{r2} = 1$

$U = [U_1, U_2]^T \triangleq U = [V_{v.m}, H_{br}]^T$

$V = [V_1, V_2]^T \triangleq V = [R, T_{ext}, H_{ext}]^T$

Ces variables de perturbations du modèle d'aération (chauffage/ refroidissement) de la serre peuvent être facilement mesurées par l'instrumentation installée dans le camp météorologique dans la serre.

En outre, la complexité de tels systèmes est plutôt soulagée par le fait que les états du système changent lentement et dépendent de paramètre BT qui peut être considéré constant.

Par conséquent, dans ce cas, la linéarisation combinée de feedback avec feedforward est possible.

II.10. Modèle Commande de ventilation et de brouillard :

Nous pouvons appliquer la méthode de contrôle de la ventilation et de l'humidité à travers la matrice D (X, V) comme suit [14]:

$$D(x, y) = \frac{1}{\mathrm{v}} \begin{bmatrix} V_2(t) - X_1(t) & -\frac{\lambda}{\rho.\mathrm{Cp}} \\ V_3(t) - X_2(t) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

Le déterminant doit être non nul, par ce que le système E/S peut être linéaire et découplé avec perturbation d'isolement (2.47). Dans ce modèle, la somme de degré relatif est égale à la dimension du système, tellement il n'y a aucune dynamique interne, dans le cas où déterminant =0, l'entrée U1 (t) affecte les états du système X1 (t) et X2 (t), avec exactement la même manière

que U2 (t) est découplé de ce fait, aussi bien pour feedback et feedforward la linéarisation est impossible,

Nous avons appliqué même algorithme de commande ci-dessus peut être récapitulé dans les deux relations suivantes : (voir la méthode en annexe)

$$U_1 = Q^{-1}\left[\frac{\rho.Cp.v}{\tau_1}\widetilde{U_1} + \frac{\lambda.v}{\tau_2}\widetilde{U}_2 - (\alpha+1)V_1 - U_A V_2 + \left(U_A - \frac{\rho.Cp.v}{\tau_1}\right)X_1 + (\lambda\cdot\beta_T - \frac{\lambda.v}{\tau_2})X_2(t)\right] \quad (2.56)$$

$$U_2 = Q^{-1}\left[\left(U_A - \frac{\rho.Cp.v}{\tau_1}\right)X_1 + \frac{\rho.Cp.v}{\tau_1}\widetilde{U}_1 - V_1 - U_A\cdot V_2\right] - (X_2 - V_3) + Q^{-1}\cdot\rho\cdot Cp\cdot V\left[\left(\beta_T - \frac{V}{\tau_2}\right)X_2 + \frac{V}{\tau_2}\widetilde{U}_2 - \frac{\alpha}{\lambda}V_1\right](V_2 - X_1) \quad (2.57)$$

Avec : $Q = \rho\, C_p[V_2 - X_1] + \lambda[V_3 - X_2]$.

II.11. Commande du modèle de ventilation et de chauffage

Dans ce qui suit, la méthode de contrôle présentée est appliquée au modèle de ventilation de la serre, aussi bien pour le système de chauffage.

En Hiver, $H_{int} \geq H_{ext}$, $H_{br} = 0$ alors notre système prend la forme suivante : [14]

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho.Cp.V}(Q_{ch} - R) - \frac{V_{v.m}}{V}(T_{int} - T_{ext}) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}(T_{int} - T_{ext}) \quad (2.58)$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = -\frac{\beta_T}{\rho.V}H_{int} + \frac{\alpha}{\lambda\cdot V}R - \frac{V_{v.m}}{\rho.V}(H_{int} - H_{ext}) \quad (2.59)$$

$X = [X_1 X_2]^T \triangleq [T_{int}, H_{int}]^T$; Y = X ; r1 = r2 = 1

$U = [U_1, U_2]^T \widehat{=}\ U = [V_{v.m}, H_{br}]^T$

$V = [V_1, V_2]^T \widehat{=}\ V = [R, T_{ext}, H_{ext}]^T$

Donc le nouveau system peut écrit sous la forme suivante :

$$\frac{dX_1}{dt} = \frac{1}{\rho.Cp.V}(U_1 + V_1) - \frac{U_A}{V}(X_1 - X_2) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}(X_1 + V_2)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = \frac{1}{\rho.V}X_2 + \frac{\alpha}{\lambda.v}V_1 - \frac{U_A}{\rho.V}(X_2 - V_3)$$

$$D(x,y) = \begin{bmatrix} g_1^T(X,V) \\ g_2^T(X,V) \end{bmatrix} = \frac{1}{v}\begin{bmatrix} V_2 - X_1 & \frac{1}{\rho.Cp} \\ V_3 - X_2 & 0 \end{bmatrix}$$

Le déterminant de la matrice D (X, V) doit être non nul, nous avons appliqué même algorithme ci-dessus donc, les commandes pour l'opération d'hiver peut être récapitulé dans les deux relations suivantes : (voir la méthode en annexe)

$$U_1 = \frac{1}{dt}\left(\frac{1}{\rho.Cp.\tau_2}X_1 - \frac{\beta_t}{\rho.Cp.V}X_2 + \frac{\alpha}{\lambda\cdot\rho.Cp.V}V_1 - \frac{1}{\rho.Cp.\tau_2}\widetilde{U}_2\right) \quad (2.60)$$

$$U_2 = \frac{1}{dt}\left[\left(\frac{U_A}{\rho.Cp.V}X_1 - \frac{1}{\rho.Cp.V}V_1 - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}V_2 - \frac{1}{\tau_1}X_1 + \frac{1}{\tau_1}\widetilde{U}_1\right)(X_2 - V_3) + \left(\frac{\beta_t}{V}X_2 - \frac{\alpha}{\lambda.V}V_1 - \frac{1}{\tau_2}X_1 + \frac{1}{\tau_2}\widetilde{U}_2\right)(V_2 - X_1)\right] \quad (2.61)$$

II.12 Conclusion

Ce chapitre nous l'avons consacré a développé un modèle de bilan énergétique simple, capable de représenter le comportement thermique de la serre. La mise en œuvre de ce modèle a permis de formuler le bilan énergétique global journalier de la serre en mettant en évidence les apports thermiques naturels d'une part, et de préciser leurs évolutions d'autre part.

Ce model ils sont de nature non linéaire. La variable d'état central est typiquement l'air Température (Chauffage/Refroidissement) avec humidité relative. Perturbations d'une serre thermique provient principalement du rayonnement solaire, de la température extérieure et humidité extérieure, Cette recherche nous permettra d'aborder Des outils pour contrôler facilement notre serre.

Chapitre III

Stratégie de commande et simulation par contrôleur Pdof

III.1 Introduction :

De nos jours, des systèmes de régulation automatique du fonctionnement des processus sont intégrés dans de nombreuse application, tant que le domaine scientifique que technologique, Le climat à l'intérieur d'une serre agricole est un système dynamique très complexe, la température et l'humidité à l'intérieur sont non linéaires et fortement couplées par les lois de la thermodynamique, par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de contrôle précises et fortes.

Dans ce chapitre, nous discutons de l'amélioration du modèle dynamique détaillé dans le chapitre précédent d'une serre afin de contrôler son environnement interne. Dans un premier temps, nous allons présenter les contrôles avec lesquels nous allons travailler, qui sont les contrôleurs dynamiques après PID, PDF et la technique de PSO. Ensuite, nous simulerons la température interne et l'humidité en utilisant le logiciel MATLAB, l'outil SIMULINK et en utilisant les contrôleurs dynamiques PD0F

III.2 Schéma synoptique de la serre agricole :

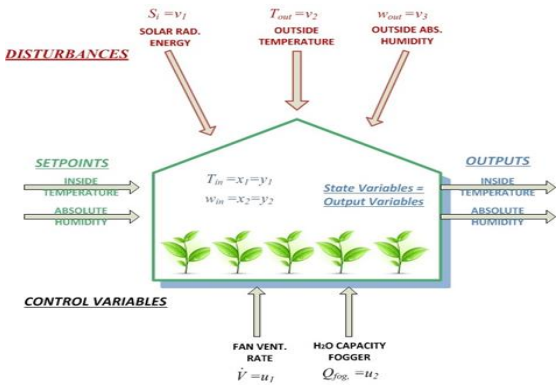


Figure III.1: Schéma synoptique de la serre agricole

- Les entrées commandes :
  - Q_{ch} : La Chaleur fournie par le système du chauffage de la serre (w).
  - H_{br} : Le teaux d'évaporation de l'eau du système de brouillard (kg/h)
  - V_{vm} : ventilation
- Les perturbations :
  - R : L'énergie solaire radiante (w).
  - T_{ext} : la température extérieure (°C).
  - H_{ext} : humidité extérieure
- Les sorties :
  - T_{int}: La température intérieure (°C)
  - H_{int}: Humidité intérieure (%).

III.3 Régulateur PID :

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID, est un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie ou ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques. L'action conjuguée PID permet une régulation optimale en associant les avantages de chaque action : la composante P réagit à l'apparition d'un écart de réglage, la composante D s'oppose aux variations de la grandeur réglée et stabilise la boucle de régulation et la composante I élimine l'erreur statique. Ce type de correcteur est le plus utilisé en milieu industriel [22].

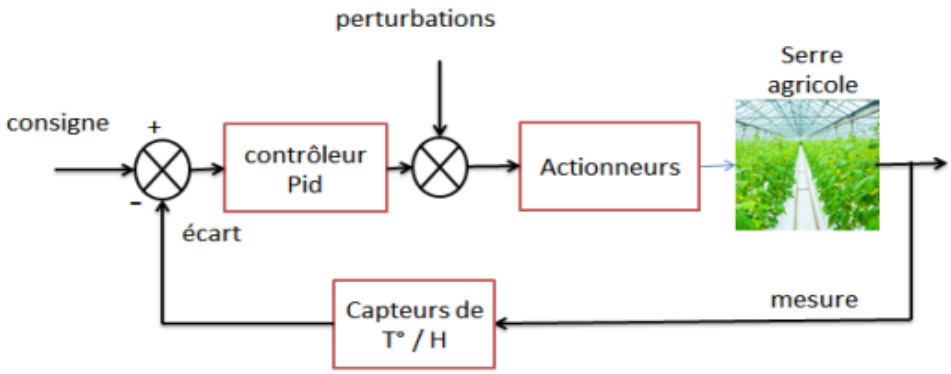


Figure III.2 : Structure du contrôleur PID adaptatif.

Ce type de correcteur est le plus utilisé en milieu industriel. Dans un régulateur PID, il existe plusieurs façons d'associer les paramètres P, I et D. En effet, le correcteur PID peut avoir une structure série, parallèle ou mixte

III.3.1 Description du correcteur Proportionnel Intégral Dérivé :

C'est un organe de contrôle permettant d'effectuer une régulation en boucle fermée d'un système industriel. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie, et il permet de contrôler un grand nombre de procédés. L'erreur observée est la différence entre la consigne et la mesure. Le PID permet 3 actions en fonction de cette erreur :

- Une action Proportionnelle : l'erreur est multipliée par un gain G
- Une action Intégrale : l'erreur est intégrée sur un intervalle de temps s, puis divisée par un gain Ti
- Une action Dérivée : l'erreur est dérivée suivant un temps s, puis multipliée par un gain Td Il existe plusieurs architectures possibles pour combiner les 3 effets (série, parallèle ou mixte).

La description mathématique de la loi de contrôle est généralement écrite sous la forme idéale suivant [29] :

$$U(t) = k_c e(t) + \frac{K_I}{T_i}\int_0^t e(t)dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

III.3.2 Régulation par le contrôleur PDF (Pseudo-Dérivative Feedback Contrôler)

Les contrôleurs PDF sont structurés à l'aide de la technique FPA et l'efficacité du contrôleur proposé est testée dans un système d'alimentation thermo-thermique dérégulé à deux zones pour une large gamme de demandes de charge et de perturbations dans des conditions de fonctionnement différentes. Les différentes sorties simulées montrent que les performances du contrôleur PDF basé sur FPA sont rapides, plus précises et meilleures que les résultats simulés avec les contrôleurs PI et PID. L'unité HES est incluse dans la zone 1 afin d'améliorer les performances du système. On voit clairement que dans tous les cas (basé sur le poolco, sur la base bilatérale et sur la violation de contrat), la variation de fréquence devient nulle en régime permanent avec moins de temps de réglage en raison de l'application coordonnée des unités HES qui assure l'exigence primordiale de l'AGC. De plus, le contrôleur PID proposé avec système AGC a des unités HES qui démontrent de meilleures performances pour assurer l'amélioration du PSRI afin d'offrir un temps de restauration inférieur avec une fiabilité améliorée du système [9].

Actuellement, le contrôleur de PDF est une variation du contrôleur conventionnel PID, différant dans les points principaux suivants :

- Le contrôleur PID Assurer une réponse acceptable pour des signaux de consigne définis en fonction du temps.
- Le contrôleur PID Fournir des caractéristiques fréquentielles (gain, déphasage) demandées dans une bande de fréquences.
- Les contrôleurs de PDF peuvent réaliser l'amortissement critique avec un temps de Stabilité plus rapide qu'un contrôleur de PID avec dépassement.
- Dans le cas des contrôleurs PDF, non seulement il n'y a pas d'erreur à l'état stable, mais le système de commande peut être rendu immunisé contre la divergence de la réponse idéale à une rampe en ajoutant une dérivée d'ordre plus élevé.

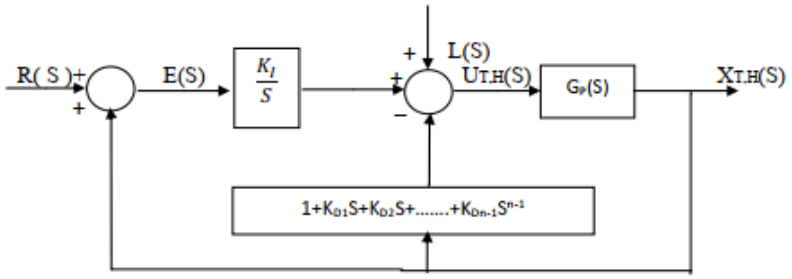


Figure III.3: Structure générale de la commande PDF

III.3.3 Méthode de traitement :

Afin d'obtenir les nouvelles commandes $U_T(t)$ et $U_H(t)$ qui rendent le système linéaire et découple, les lois de commande doivent être appliquées à ces relations (2.42) et (2.43), le produit d'un système en boucle fermée sera linéaire et fermé, et il nous donnera le modèle suivant :

$$\dot{x}_T(t) = -\frac{U_A}{\rho.Cp.V} + \widetilde{K}_T\widetilde{U}_T(t) \quad (3.2)$$

$$\dot{x}_H(t) = -\frac{\beta_t}{V}x_H(t) + \widetilde{K}_H\widetilde{U}_H(t) \quad (3.3)$$

Afin de mesurer la température et l'humidité à l'intérieur de la serre, un hygromètre et un thermomètre doivent être placés, et il doit y avoir une distance entre eux et les ventilateurs de la serre et le système de brouillard, et il peut y avoir un grand retard indiqué par les jauges, de sorte que le changement de température et d'humidité peut être déterminé Après un délai d_T et d_H respectivement (dT < dH) avec cette observation, il est facile de vérifier que la réponse aux changements d'entrée peut être décrite par fonction de transfert suivante [9] :

$$X_T(t) = \frac{K_T.e^{-d_T S}}{\tau_T s+1}\widetilde{U}_T(s) \equiv G_T(s)\widetilde{U}_T(s) \quad (3.4)$$

$$X_H(t) = \frac{K_H.e^{-d_H S}}{\tau_H s+1}\widetilde{U}_H(s) \equiv G_H(s)\widetilde{U}_H(s) \quad (3.5)$$

Avec $X(S)$, $X(S)$, $\widetilde{U_T}(s)$ et $\widetilde{U_H}(s)$ sont des transformés de la place de $x_T(t)$, $x_H(t)$, $u_T(t)$ et $u_H(t)$ respectivement, et :

$\tau_T = \frac{\rho.Cp.V}{U_A}$, $K_T = \frac{\rho.Cp.V}{U_A}\widetilde{K}_T$, $\tau_H = \frac{V}{\beta_T}$ $K_H = \frac{V}{\beta_t}\widetilde{K}_H$

En été, le refroidissement par évaporation est faible βt L'indice dans les résultats de l'équation (2.32) est relativement faible.

On peut donc s'en passer, de sorte que l'équation (2.44) est parfaite, et à partir de là les relations (3.2) et (3.3) deviennent de la forme suivante :

$$\dot{x}_H(t) = \widetilde{K}_H\widetilde{U}_H(t) \quad (3.6)$$

$$X_H(t) = \frac{K_H.e^{-d_H S}}{\tau_H s+1}\widetilde{U}_H(s) \equiv G_H(s)\widetilde{U}_H(s) \quad (3.7)$$

La température est contrôlée sur la base des équations (3.4) et (3.7) par un contrôleur de premier ordre et l'humidité peut être contrôlée par intégration, et maintenant nous pouvons contrôler l'humidité et la température séparément en utilisant plusieurs types de dispositifs de contrôle, et dans notre étude on s'appuie sur (PDF) (pseudo dérivé feedback Controller)

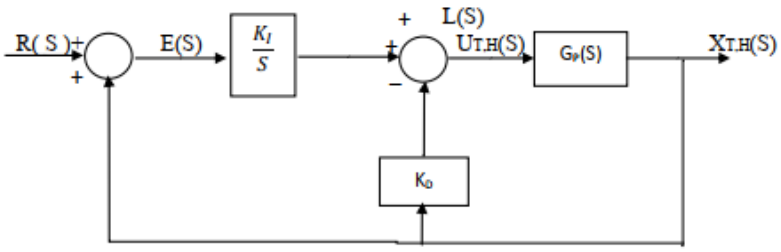


Figure III.4: Structure de la commande de PD0F appliquée au modèle de processus.

Le contrôleur de rétroaction pseudo-dérivée (PDF) a d'abord été développé par Phelan (1977) et plus tard étendu et appliqué au contrôle de la température des serres par Setiawan et al. (1998). Il s'agit d'une modification du contrôle intégral avec un algorithme de rétroaction dérivée (I-DF). Cette structure fournit tous les aspects de contrôle du contrôle proportionnel intégral dérivé (PID) mais sans les zéros du système qui sont normalement introduits par un compensateur PID. Phelan (1977) l'a nommé structure de contrôle PDF du fait que le taux du paramètre mesuré est renvoyé sans avoir à calculer une dérivée. Dans la présente demande nous concentrons notre attention sur le cas le plus simple possible de la structure de commande PDF générale, illustrée à la Fig. 3.5 Ce schéma de rétroaction est appelé structure de commande à rétroaction pseudo dérivée nulle (PD-0F). Le seul critère de "conception" de performance retenue est l'affectation des constantes de temps des deux découplés sous-systèmes. À cet effet, on peut observer que pour un modèle de la forme (3.4) ou pour un modèle de la forme (3.7), la fonction de transfert en boucle fermée du system GCL(S) prend la forme [9] :

$$G_{BF}(t) = \frac{K_I G_p(s)}{S+(K_D S+K_I)G_P(s)} \tag{3.8}$$

Où : $G_P(s) = G_T(s)$ ou $G_H(s)$

A partir (3.4), (3.7) et (3.8), nous obtenons :

$$G_{BFT}(s) = \frac{e^{-d_T S}}{s\left(\frac{\tau_T}{K_T K_{I,T}}s+\frac{1}{K_T K_{I,T}}\right)+\left(\frac{K_{D,T}}{K_{I,T}}s+1\right)e^{-d_T S}} \tag{3.9}$$

$$G_{BFT}(s) = \frac{e^{-d_H S}}{s\left(\frac{\tau_T}{K_H K_{I,H}}s+\frac{1}{K_H K_{I,H}}\right)+\left(\frac{K_{D,H}}{K_{I,H}}s+1\right)e^{-d_H S}} \tag{3.10}$$

III.3.4 Régulation par le contrôleur PD0F :

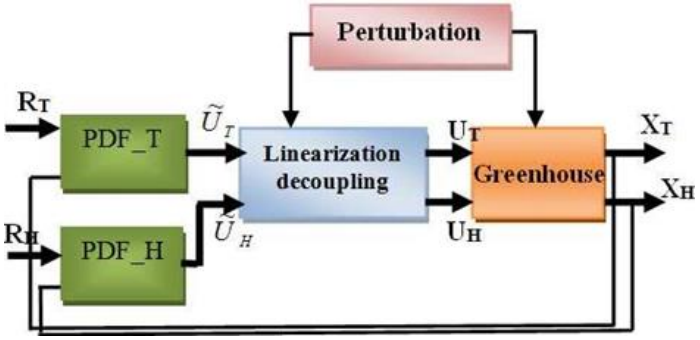


Figure III.5: Stratégie globale de la commande

Nous avons développé un système de contrôle pour le fonctionnement de la serre. Un modèle de lois thermodynamiques non linéaires entre de nombreuses variables du système affectant le climat de la serre a été formulé et un contrôleur PD0F est conçu. Le système a été validé par simulation. Les capteurs et les actionneurs du système se sont comportés de manière raisonnable et ont répondu rapidement aux changements de conditions tels que le climat extérieur prédéterminé et les objectifs de climat intérieur.
Ainsi, les lectures de signal du système pourraient être utilisées comme critères pour les défaillances des capteurs et actionneurs réels. Le contrôle approprié et opportun et la détection des pannes des capteurs et des actionneurs contribueront au fonctionnement efficace de la serre. Les réponses désirées peuvent être décrites par les modèles suivants : [9]

$$H_T(s) = \frac{e^{-d_T S}}{\lambda_T S+1},\ H_H(s) = \frac{e^{-d_H S}}{\lambda_H S+1} \qquad (3.11)$$

λ_T Et λ_H Respectivement, sont les constants de temps désirés.
En égalisant (3.9) avec la première équation (3.11) et (3.10) avec de la deuxième équation, en utilisant les approximations suivantes pour l'exponentielle de dénominateur de (3.9) et (3.10).

$$e^{-d_T S} = 1 - d_T s, e^{-d_H S} = 1 - d_H s \qquad (3.12)$$

Nous obtenons:

$$K_{D.T}(s) = \frac{\tau_T}{K_T d_T}, \qquad K_{I,T} = \frac{d_T + \tau_T}{K_T d_T(\lambda_T + d_T)}$$

$$K_{D.H}(s) = \frac{\tau_H}{K_H d_H}, \quad K_{I,H} = \frac{d_H + \tau_H}{K_H d_H(\lambda_H + d_H)}$$

λ_T>10dT et λ_H>10dH

Ce réglage est simple mais très imparfait, car pour obtenir des résultats satisfaisants, λ_T et λ_T doivent être beaucoup plus grands, $\lambda_T >$ 10dT et $\lambda_T >$ 10dH, et donc on obtient une réponse plus rapide. La méthode dépend des calculs des paramètres du système en

boucle fermée. Cette méthode est la suivante :Sur la base de (3.12), relations (3.9) et(3.10) et les réponses désirées peuvent être comme suit [9] :

$$G_{BF}(t) = \frac{e^{-d_T S}}{\tau_{T,1} S^2 + 2\zeta_{T,1}\tau_{T,1} S + 1} \tag{3.13}$$

$$G_{BF}(t) = \frac{e^{-d_H S}}{\tau_{H,1} S^2 + 2\zeta_{H,1}\tau_{H,1} S + 1} \tag{3.14}$$

En identifiant (3.9) avec (3.13) et (3.10) avec (3.14), nous obtenons :

$$\tau_{T,1} = \sqrt{\frac{\tau_T}{K_T K_{I,T}} - \frac{d_T . K_{D,T}}{K_{I,T}}} \ , \zeta_{T,1} = \frac{\frac{1}{K_T K_{I,T}} + \frac{K_{D,T}}{K_{I,T}} - d_T}{2\sqrt{\frac{\tau_T}{K_T K_{I,T}} - \frac{d_T . K_{D,T}}{K_{I,T}}}} \tag{3.15}$$

$$\tau_{H,1} = \sqrt{\frac{\tau_H}{\widetilde{K}_T K_{I,H}} - \frac{d_H . K_{D,H}}{K_{I,H}}} \ , \ \zeta_{H,1} = \frac{\frac{K_{D,H}}{K_{I,H}} - d_H}{2\sqrt{\frac{\tau_T}{\widetilde{K}_H K_{I,H}} - \frac{d_H . K_{D,H}}{K_{I,H}}}} \tag{3.16}$$

Maintenant choisissant : $\tau_{T,1} = \tau_{T,2}$ et $\xi_{T,1} = \xi_{T,2}$ on résoudre (3.15)

$$K_{D,T} = \frac{\tau_T}{d_T . K_T} - \frac{\tau_{T,2}^2 (d_T + \tau_T)}{d_T K_T (2. d_T \zeta_{T,2} \tau_{T,2} + \tau_{T,2}^2 + d_T^2)}$$

$$K_{I,T} = \frac{\tau_{T,2}^2 (d_T + \tau_T)}{K_T (2. d_T \zeta_{T,2} \tau_{T,2} + \tau_{T,2}^2 + d_{T)}^2}$$

De même, choisissant $\tau_{H,1} = \tau_{H,2}$ et $\xi_{H,1} = \xi_{H,2}$ on résoudre (3.16), nous obtenons :

$$K_{D,H} = \frac{1}{d_H . \widetilde{K}_T} - \frac{\tau_{H,2}^2}{d_H \widetilde{K}_H (2. d_H \zeta_{H,2} \tau_{H,2} + \tau_{H,2}^2 + d_H^2)}$$

$$K_{I,T} = \frac{1}{\widetilde{K}_H (2. d_H \zeta_{H,2} \tau_{H,2} + \tau_{H,2}^2 + d_{H)}^2}$$

Remarquer :

le choix $\tau_{T,2}$ et $\xi_{T,2}$ respectivement ($\tau_{H,2}$ *et* $\xi_{H,2}$), qui sont liés à la loi de commande feedforward et feedforward, se fond sur des mesures d'état actuel (Tint, Hint) et de perturbation.

III.4 Simulation :

Nous allons simuler la réponse du notre système (serre agricole) via le logiciel de programmation MATLAB, par la commande feedback et feedforward et également via le contrôleur PD0F

III.5 Régulation de la température et de l'humidité par contrôleur PDOF

III.5.1 Schéma fonctionnel

Nous allons représenter les équations (2.51) et (2.52) sous forme de blocs dans la librairie SIMULINK, comme le montre la Figure ci-dessous, et des nouvelles commandes feedback/feedforward donnant des réponses dans la serre.

Nous allons tester notre modèle Nous allons avec l'unité de contrôle PD0F.Notre serre a un volume de 4000 m3 et la couverture réduit l'ensoleillement de 60%,

- le coefficient de transfert de chaleur UA = 25 kW.K-1, et la densité de l'air 1,2 Kg.m- 3 avec chaleur spécifique1006 j .Kg-1.K-1.
- Supposons que le capteur ait un retard dans la mesure de la température et de l'humidité de 30 sec (dT= dH =30 sec) .

III.6 Premier test sans changement des conditions extérieures

III.6.1 Contrôle du système sans changement de consigne (point de réglage)

Dans cette partie nous allons tester notre contrôleur PD0F, nous avons aussi KIT=5, KDT=20, KIH=350, KDH=2500, et nous avons aussi Texte=42°C, R=700W.m- 2, TC=22°C, HC=85%.

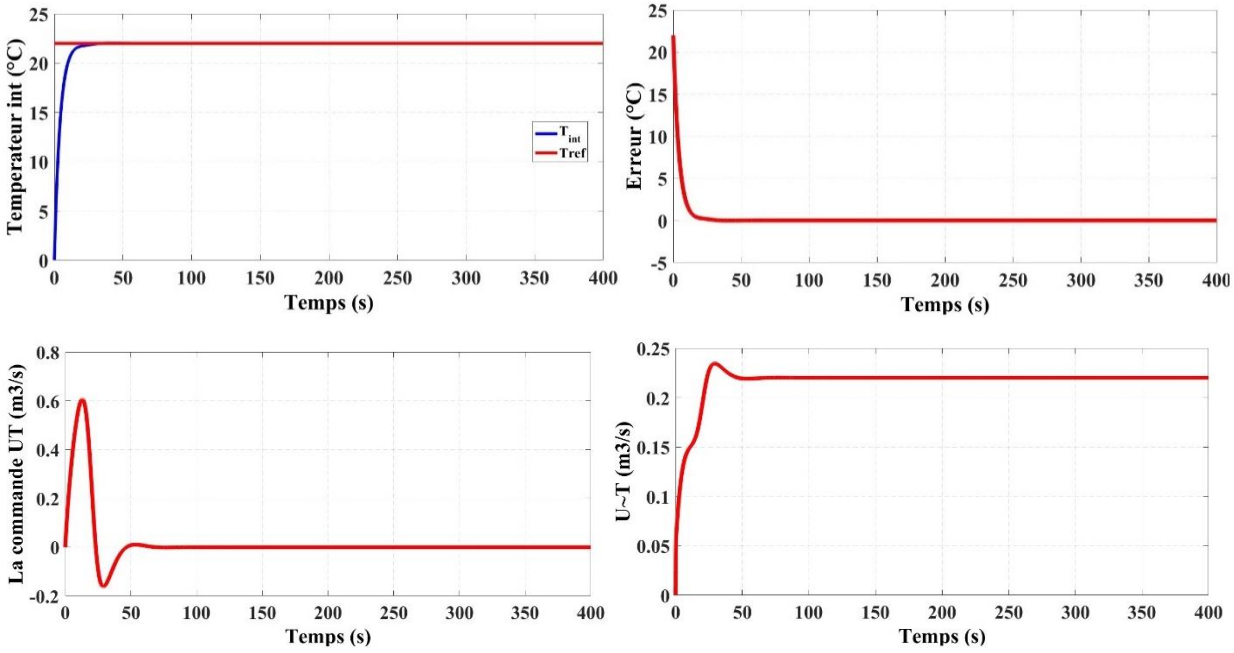


Figure III.6 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

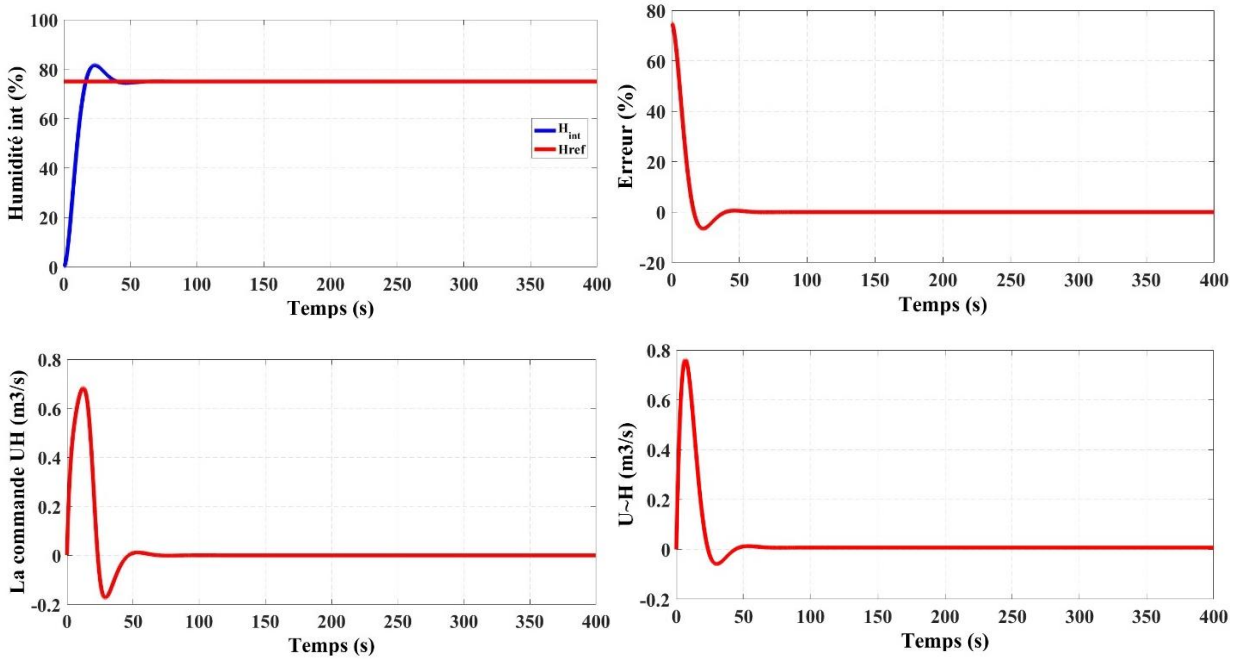


Figure III.7 : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

III.6.2 Contrôle avec changement de consigne

Maintenant, nous allons tester nos contrôleurs en changeant l'étape des points de réglages, le point de réglage de rapport d'humidité sera diminué à t=200 sec de 65% à 45%,et pour la température augmentée a t=150 sec de 18°C à 22°C. Avec même conditions atmosphériques extérieures.

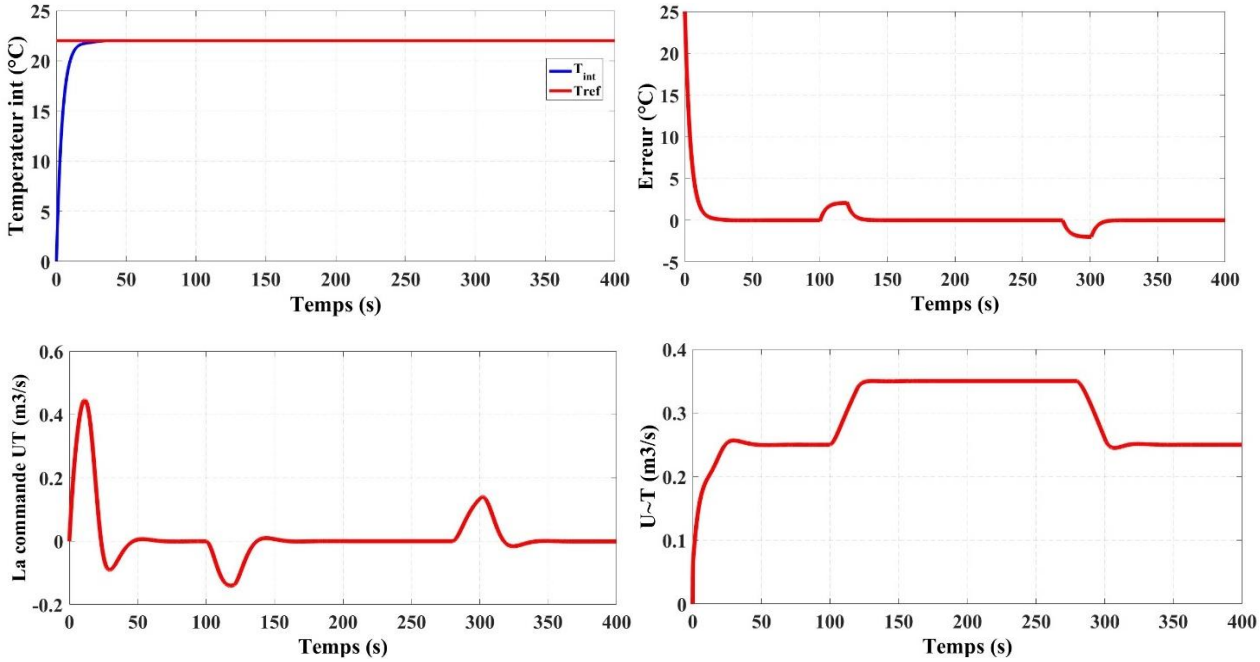


Figure III.8 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

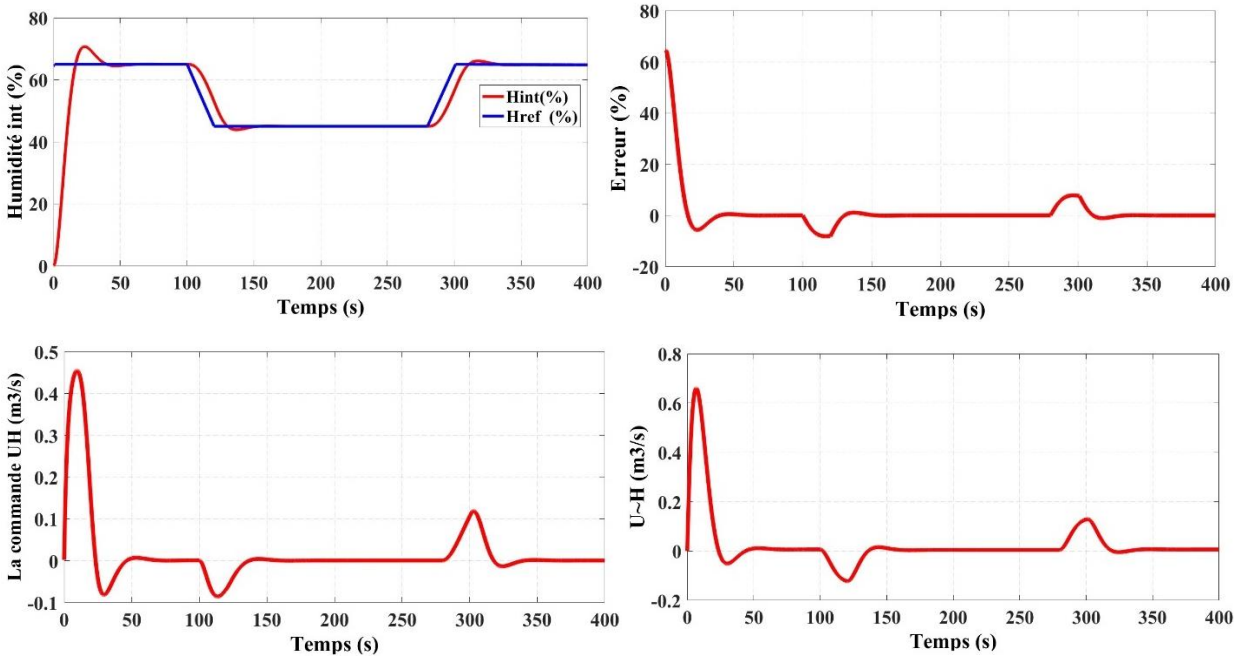


Figure III.9: Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

III.6.3 Contrôle avec série d'impulsions de consigne

Dans cette partie, nous allons choisie la consigne pour la température et l'humidité comme une série d'échelon unité.31

Pour la température :

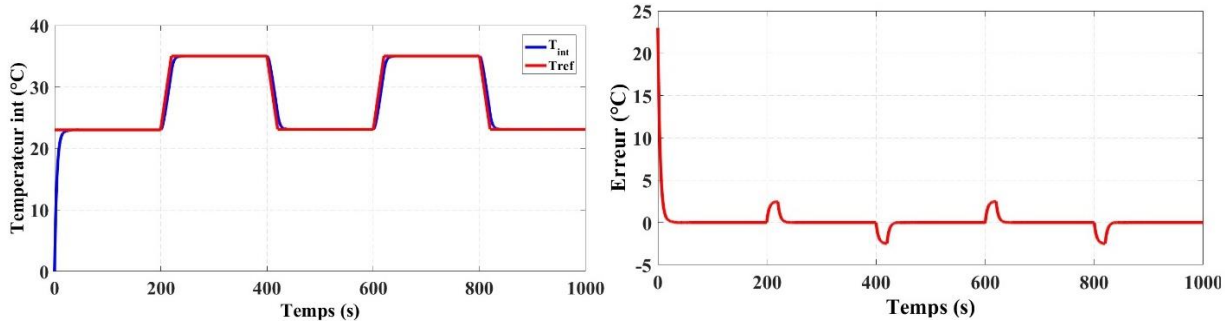
Temps=[0 200 200 400 400 600 600 800 800 1000] (sec)

TC=[35 35 20 20 35 35 20 20 35 35] (C°).

Pour l'humidité :

Temps=[0 200 200 400 400 600 600 800 800 1000] (sec)

HC=[65 65 80 80 65 65 80 80 65 65] (%).



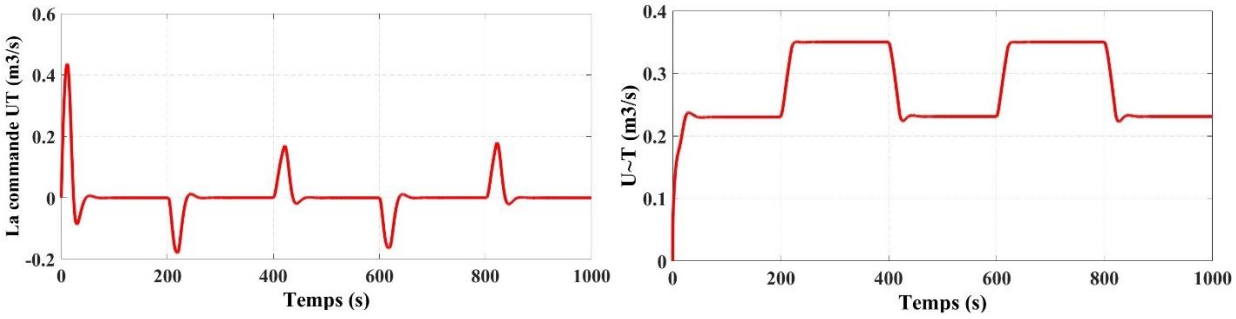


Figure III.10: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes

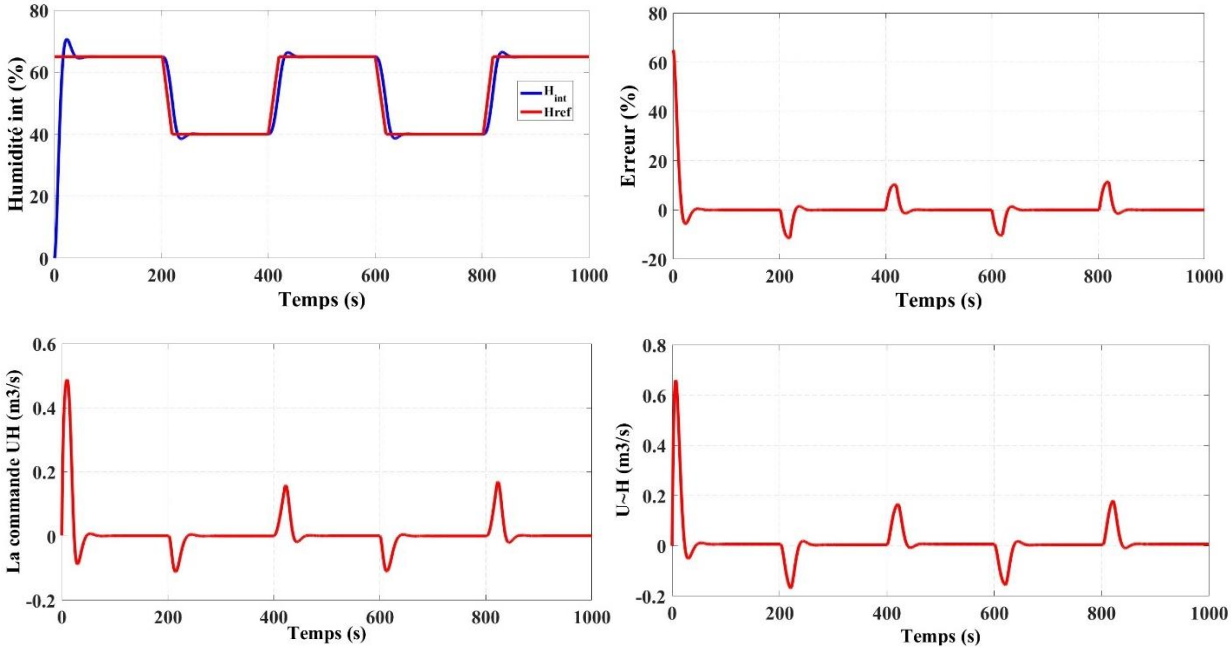


Figure III.11: Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

III.6.4 Deuxième teste avec changement des conditions extérieures

Cette fois, on testera nos contrôleurs avec base des données méthodologique enregistrées par le central d'acquisition tunisienne, les consignes sont choisies comme une série d'échelon unité.

Pour la température :

Temps=[0 200 200 400 400 600 600 800 800 1000] (sec)

TC=[20 20 30 30 20 20 30 30 20 20](C°)

Pour l'humidité :

Temps=[0 200 200 400 400 600 600 800 800 1000] (sec)

HC=[[60 60 75 75 60 60 75 75 60 60](%) R=700Lux

Base de données tunisienne au cours de deux journées 14 et 15/Février/1996 :

Pour la Température:

T(s)	T(°C)	T(s)	T(°C)	T(s)	T(°C)	T(s)	T(°C)
15	25	570	18.2	795	25.7	1090	37.3
30	24.8	585	18.4	810	26.9	1095	37.1
60	24.5	600	18	825	27.3	1100	37.3
75	24.3	615	19.2	840	2.8	1105	36
90	24.3	630	19.9	845	29.1	1110	35.8
105	24.1	645	19.7	850	29.9	1125	34.4
135	23.6	660	19.6	860	30	1140	32.5
165	22.8	675	19.9	870	31.5	1155	32.2
195	22.6	690	20.1	875	32.5	1170	31.5
225	22.2	705	20.3	880	44.4	1180	31.2
240	21.7	720	20.7	885	35	1185	30
270	21.4	730	20	890	35.4	1190	29
285	21.1	735	21.1	895	35.8	1200	28
300	20	750	21.4	900	35.9	1215	26
315	20.7	755	21.7	915	36	1230	25
330	20.3	760	22.2	930	36.2	1245	24
360	20.1	765	22.6	945	36.4	1260	23
390	19.9	780	22.8	960	36.2	1275	/
405	19.6	795	23.6	975	36.7	1290	/
420	19.7	810	24.1	990	36.5	1305	/
450	19.9	825	24.3	1005	36.8	1320	/
480	19.2	840	24.8	1020	36.9	1335	/
510	18	845	25	1040	37.4	1350	/
540	18.4	850	25.8	1050	37	1365	/

550	18.2	860	25.1	1065	37.4	1395	/
555	18.1	870	25.6	1080	37.8	1425	/

Tableau III.1 : Température tunisienne au cours de deux jours 14 et 15/Février/199

- Pour Humidité:

T (s)	H (%)	T (s)	H (%)	T (s)	H (%)	T (s)	H (%)
0	80.8	315	79.1	780	68.4	1100	38
15	81.9	330	78.9	785	66.9	1130	37.1
30	82.8	345	78.5	790	64.1	1160	36.7
45	83.7	360	78.1	800	62.7	1175	36.8
60	84.2	390	78.7	810	61.3	1180	36.4
75	85.5	420	65.2	825	59.7	1185	35
90	86.7	440	65.8	840	59.1	1190	36.3
105	89.3	460	78.5	855	58.3	1195	36.2
120	90	480	78.2	870	57.7	1200	36.1
130	89.5	510	78.8	885	56.1	1205	36.7
140	89.7	540	78.3	900	54.8	1210	36.9
150	89.8	565	78.4	915	52.3	1215	37.1
175	89.1	595	78.7	930	48.1	1220	37.6
190	88.6	630	78.8	945	47.3	1235	37.7
205	88.1	650	79.1	960	45.8	1250	38.9
225	87.5	675	79.5	975	43.2	1265	40
240	87.1	690	80	990	40.9	1280	42.3
250	85.9	705	78.6	1020	39.3	1310	44.8
260	84.1	720	76.1	1035	39.4	1325	46.8
270	82.3	730	74.9	1055	39.2	1340	50.1

280	81.8	740	72.3	1070	39.1	1355	55.1
300	79.3	760	70.7	1090	38.4	1340	59.2
1355	60.1	1370	62.1	1385	62.5	1400	64.2

Tableau III.2 : Humidité tunisienne au cours de deux jours 14 et 15/Février/1996

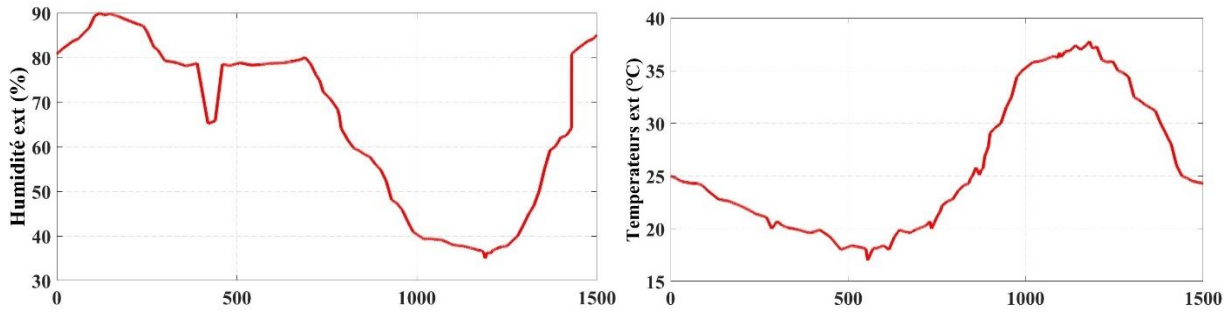


Figure III.12 : Evolution de température et humidité tunisienne au cours de deux jours 14 et 15/Février/1996

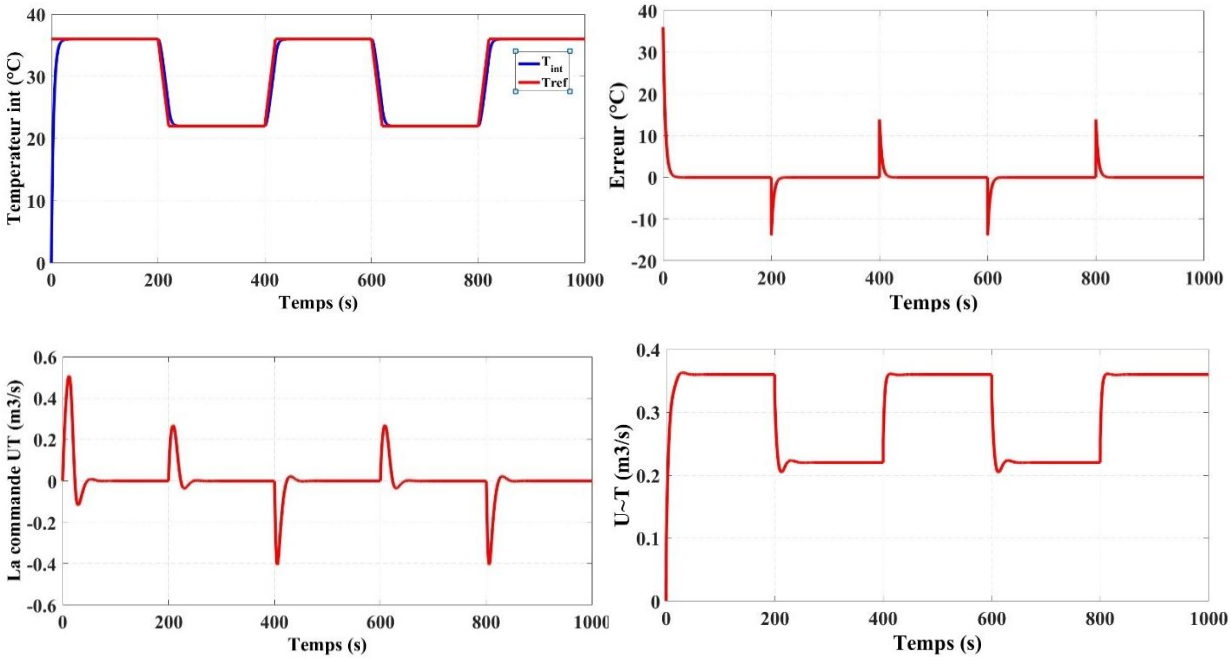
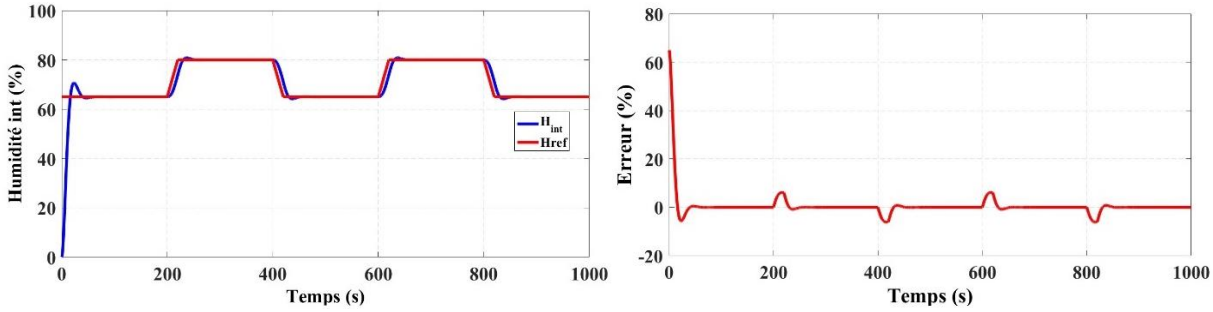


Figure III.13 : Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et les conditions atmosphériques tunisienne



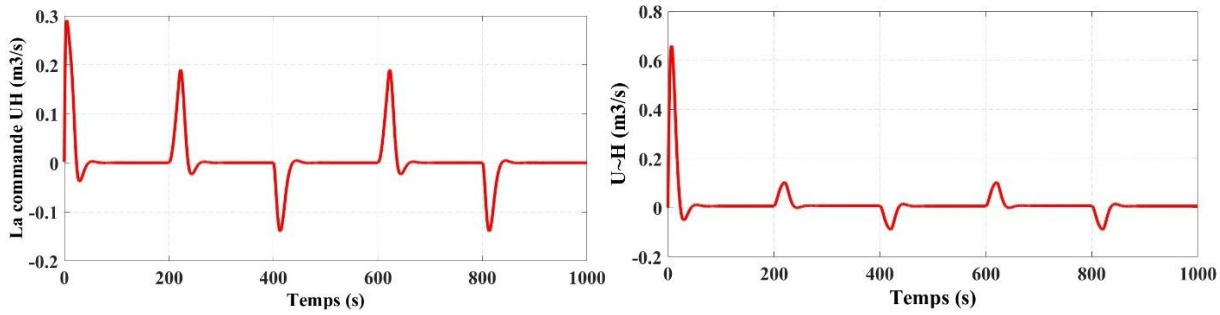


Figure III.14 : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et les conditions atmosphériques tunisienne.

III.7 Conclusion :

Le climat à l'intérieur d'une serre agricole est un système dynamique très complexe, la température et l'humidité à l'intérieur sont non linéaires et fortement couplées par les lois de la thermodynamique, par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de contrôle précises et forte.

Dans ce chapitre nous allons présenter : Au premier lieu, les outils de contrôle qui seront utilisés dans notre travail, nous développerons des contrôleurs dynamiques PID, PDF

Pour chaque teste, les résultats de simulation démontrent clairement que les commandes PD-OFT et PD-OFH ont été atteint et la réaction du système en boucle fermée est acceptable. La commande simultanée, de température et d'humidité d'une serre, a été simulée en utilisant des conditions atmosphériques proches du cas réel et détaillée dans le chapitre suivant. la méthode intelligente d'optimisation essaim Particulaire (PSO : Particle Swarm Optimization).

Chapitre IV

Stratégie de commande et simulation Par L'optimisation PSO

IV.1 Introduction

L'optimisation des essaims de particules est l'une des l'optimisation méta-heuristique inspirée de la nature la plus populaire cet algorithme développé par James Kennedy et Russell Eberhart En 1995, depuis son développement, de nombreuses variétés ont également été développé pour résoudre des problèmes pratiques liés à optimisation, L'optimisation des essaims de particules est devenu un algorithme prometteur pour résoudre divers problèmes d'optimisation dans le domaine de la science et de l'ingénierie, comme les paramètres de la serre[25].

Dans ce chapitre, nous présentons un nouvel algorithme de contrôle intelligent des serres qui optimise les cultures rendement tout en minimisant les coûts de consommation d'énergie. Pour y parvenir, nous nous sommes appuyés à la fois sur une serre modèle climatique. Notre approche consiste à appliquer l'algorithme d'optimisation des essaims de particules (PSO) pour la détermination des paramètres d'un régulateur PD0F en utilisant t l'environnement MATLAB et Simulink.

IV.2 Définition de l'Optimisation :

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche qui rend minimum ou du maximum d'une fonction mesurant la qualité de cette solution. Cette fonction est appelée fonction objectif ou fonction de cout si l'on pose $F : S \longrightarrow R$ la fonction objective à minimiser a valeur R , le problème revient alors à trouver l'optimum $X \in S$ tel que F(X) soit minimal lorsque l'on veut résoudre un problème d'optimisation , on recherche la meilleur solution possible à ce problème c'est à dire l'optimum globale cependant , il peut exister des solution intermédiaire qui sont également des optimum , mais uniquement pour un sous espace restreint de l'espace de recherche : on parle alors d'optimums locaux . Cette notion est illustrée dans la figure suivant [27].

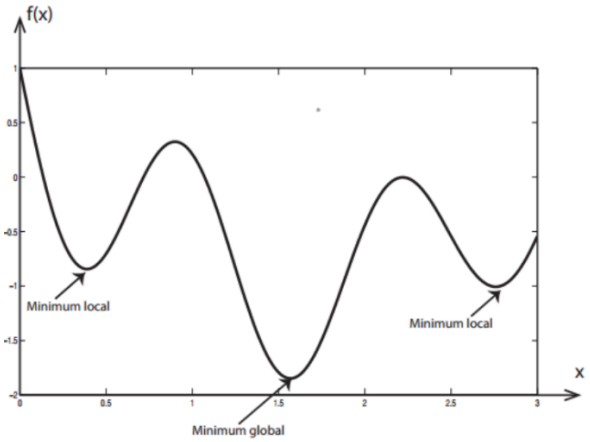


Figure IV.1 : différence entre un optimum globale et locale

IV.3 Caractéristiques

IV.3.1 Sensibilité et robustesse d'une méthode d'optimisation

La méthode d'optimisation est conditionnée par des paramètres de contrôle et des conditions initiales (valeurs initiales des initiales des variables de conception, valeurs paramètres de contrôle...). Elle peut être caractérisée selon le modèle de la boite noire illustré en figure IV.1

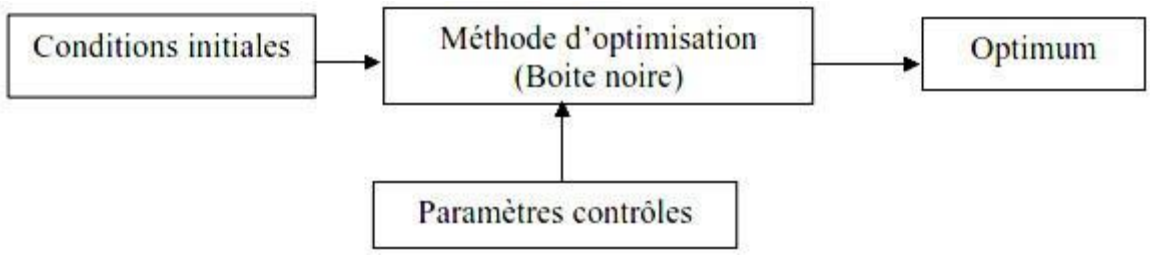


Figure IV.2 : Méthodes d'optimisation (Boite noire)

L'efficacité d'une méthode d'optimisation est liée à la sensibilité et à la robustesse par rapport aux paramètres de contrôle et aux conditions initiales. Lorsque les variables de conception doivent prendre une valeur bien précise pour que la méthode de résolution converge vers l'optimum d'une fonction donnée, la méthode est dite sensible aux conditions initiales. Une méthode d'optimisation est robuste si pour une même valeur des paramètres de contrôle et des conditions initiales, elle est capable de trouver l'optimum de fonctions très différentes.

Une méthode parfaite devrait être totalement insensible aux conditions initiales et aux variables de conception et converger vers l'optimum quelles que soient la fonction objective et les contraintes [24].

IV.3.2 Opérateurs de recherche fondamentaux

La recherche de l'optimum d'une fonction est généralement réalisée à l'aide de deux opérateurs fondamentaux : l'exploration et l'exploitation permet une localisation imprécise de l'optimum global alors que l'exploitation affine cette solution en augmentant la précision de l'optimum.

Le succès et l'efficacité d'une technique de résolution dépendent la plupart du temps d'un compromis entre l'exploration et l'exploitation. Certaine méthode toutefois n'utilisent qu'un seul de ces opérateurs pour parvenir à l'optimum. Ainsi, les méthodes déterministes, exploitant les dérivées de la fonction objectif et des contraintes pour atteindre rapidement et précisément le minimum local le plus proche du point de départ, privilégient l'exploitation au détriment de l'exploration

Tout algorithme d'optimisation doit utiliser ces deux stratégies pour trouver l'optimum global : l'exploiter la connaissance acquise aux points déjà visité et ainsi trouver des points meilleurs. Ces deux exigences peuvent paraitre contradictoires mais un bon algorithme de rechercher doit trouver le bon compromis entre les deux. Une recherche purement aléatoire est bonne pour l'exploration mais pas pour l'exploitation alors que la recherche dans le voisinage est une bonne méthode d'exploitation mais pas d'exploration [24].

IV.3.3 Mode de recherche de l'optimum

Lorsque l'évolution de la méthode de résolution est prévisible et ne laisse aucune place au hasard, celle –ci est qualifiée de déterministe. En revanche les méthodes dites stochastiques s'appuient sur des mécanismes de transition probabiliste qui peuvent conduire à des résultats différents pour des conditions initiales et des paramètres de contrôle identiques. Les méthodes déterministes sont qualifiées de méthode locale, c'est-à-dire qu'elles convergent vers un optimum dépendant uniquement des points de départ, qu'il soit local ou global. A l'opposé, les techniques stochastiques sont reconnues comme des méthodes globales qui permettent de localiser l'optimum global

IV.4 Classification des problèmes d'optimisation

Les méthodes de résolution de problèmes ont été classées en deux catégories : les méthodes exactes et les méthodes approchées [23].

IV.4.1 Méthodes Déterministe (ou exacts)

Il existe de nombreuses méthodes déterministes permettant de résoudre certains types de problèmes d'optimisation et d'obtenir la solution optimale du problème, en un temps raisonnable. Cependant, ces méthodes nécessitent que la fonction objective présente un certain nombre de, nous pouvons citer l'existence de discontinuités, la non-dérivabilité, la présence de bruit caractéristique telles que la continuité ou la dérivabilité. Nous pouvons citer, parmi les méthodes les plus connues, la méthode de Newton, la méthode du simplex ou encore la méthode du gradient. Certains problèmes restent cependant trop complexes à résoudre par les méthodes déterministes. Parmi ces problématiques ou encore la fonction objective peut ne pas être définie précisément. De plus ces méthodes peuvent avoir un temps de résolution trop long. Dans ce cas, le problème d'optimisation est dit difficile, car aucune méthode exacte n'est capable de le résoudre en un temps raisonnable. Il est alors nécessaire d'avoir recours à des heuristiques de résolution dites méthodes approchées, qui fournissent un résultat sans garantie de l'optimalité [25].

IV.4.2 Méthodes approchées (heuristiques)

Les méthodes heuristiques sont connues par le fait qu'elles ne garantissent pas l'optimalité de la solution (elles fournissent des solutions de bonne qualité et des fois optimales), mais elles nécessitent des coûts de recherche raisonnables. Les méthodes approchées sont plus pratiques dans le cas où on cherche une solution de bonne qualité dans un bref délai. Elles permettent la résolution des problèmes d'optimisation de différentes tailles en un temps de calcul raisonnable. Nous pouvons citer des heuristiques très simples telles que les algorithmes gloutons ou les approches par amélioration itérative [24].

Les méta-heuristiques forment une famille d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre des problèmes l'optimisation difficile, pour lesquels nous ne connaissons pas de méthodes classiques plus efficaces. Ces méthodes sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global et qui sont souvent inspirées de processus naturels qui relèvent de la physique ('algorithme du recuit simulé), de la biologie de l'évolution (les algorithmes génétiques) ou encore de l'éthologie (les algorithmes de colonies de fourmis ou 'optimisation par essaim particulaire). La figure IV.3 présente quelque méthode d'optimisation [23]

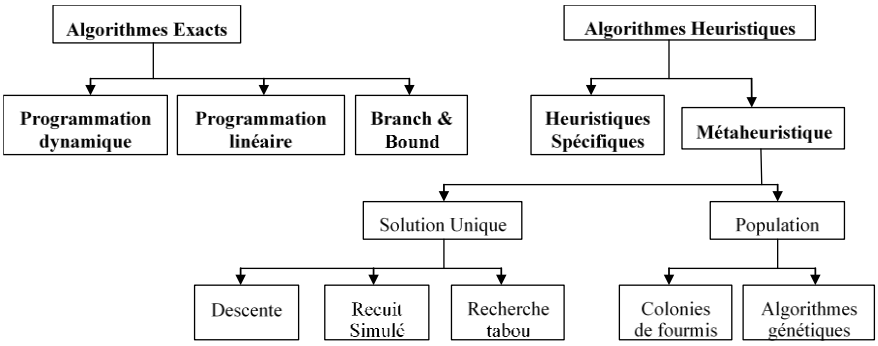


Figure IV.3 : Classification des méthodes de résolution de problèmes d'optimisation.

IV.5 Optimisation par Essaim Particulaire (PSO)

Cet algorithme a été proposé par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy(socio-psychologue) en 1995, L'origine de cette méthode vient des observations faites lors des simulations informatiques de vols groupés d'oiseaux et de bancs de poissons de REYNOLD, HEPPNER et GRENANDER. Les individus observés sont à la recherche de sources de nourriture qui sont dispersés de façon aléatoire dans un espace de recherche, et dès lors qu'un individu localise une source de nourriture, les autres individus vont alors chercher a le reproduire.

Ce comportement social basé sur l'analyse de l'environnement et du voisinage constitue alors une méthode de recherche d'optimum par l'observation des tendances des individus voisins. Chaque individu cherche à optimiser ses chances en suivant une tendance qu'il modère par ses propres vécus [23]



(b)



(a)



(c)

Figure IV.4 : Groupe de : (a) oiseux, (b) poissons, (c) fourmis

IV.6 Optimisation par essaim de particules

IV.6.1 Principe du PSO

L'optimisation par essaim de particules repose sur un ensemble d'individus originellement disposés de façon aléatoire et homogène, que nous appellerons des particules. Ces particules se déplacent dans l'espace de recherche et constituent chacune une solution potentielle. Chaque particule dispose d'une mémoire concernant sa meilleure solution visitée, ainsi que la capacité de communiquer avec les particules constituant son entourage. A partir de ces informations, la particule va suivre une tendance faite, d'une part, de sa volonté à retourner vers sa solution optimale, et d'autre part, de son imitation par Rapport aux solutions trouvées dans son voisinage. A partir des optimums locaux, l'ensemble des particules va normalement converger vers la solution optimale globale du problème, traité.

Le déplacement de ses particules en essaim est complexe, sa dynamique obéit à des règles et des facteurs bien spécifiques :

- Chaque individu dispose d'une certaine intelligence « limitée » (qui lui permet de prendre une décision).

- Chaque individu doit connaitre sa position locale et disposer d'information locale de chaque individu se trouvant dans son voisinage.
- Obéir à ces trois règles simples, « rester proche des autres individus », « aller dans une même direction » ou « voler à la même vitesse ».

Le déplacement d'une particule est influencé par les trois composantes suivantes :

- La particule tend à suivre sa direction courante de déplacement.
- La particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée.
- La particule tend à se fier à l'expérience de ses voisins et, ainsi, à se diriger vers le meilleur site déjà atteint par ses voisins. [23]

Tous ces facteurs et règles sont indispensables pour le maintien de la cohésion dans l'essaim, ceci par l'adoption d'un comportement collectif complexe et adaptatif.

- Une composante d'inertie : la particule s'efforce de suivre spontanément le sens de son déplacement.
- Une composante cognitive : la particule fait tout pour se diriger vers la meilleure position rencontrée jusqu'à présent.
- Une composante sociale : la particule s'inspire également de l'expérience, du parcours des autres particules, pour se diriger vers la meilleure position rencontrée par ses voisins [24].

IV.6.2 Méthode de base

La procédure de la norme PSO se résume comme suit [24] :

- Etape 1 : Initialiser une population de particules à des positions aléatoires et des vitesses, où chaque particule contient D variables.
- Étape 2 : chaque particule et sa valeur objective égal à son courant la position et la valeur objective, et soit g Évaluer les valeurs objectives de toutes les particules. Soit p et sa valeur objective être égale à la position et l'objectif valeur de la meilleure particule initiale.
- Étape 3 : Mise à jour de la vitesse et de la position de chaque particule.
- Étape 4 : Évaluer les valeurs objectives de toutes les particules.

- Étape 5 : Pour chaque particule, de comparer sa valeur actuelle objectif. Si la valeur actuelle vaut mieux, puis mettre à jour p avec la valeur objective de ses p meilleur et sa valeur objective avec la position actuelle et la valeur objective.

- Étape 6 : Déterminer la meilleure particule de l'essaim en cours avec la meilleure valeur objective. Si la valeur objective est meilleure que la valeur objective de g, Mise à jour g et son objective valeur de la position et de la valeur objective de la courante meilleure particule.

- Étape 7 : Si un critère d'arrêt est remplié, veuillez indiquer g de sortie et ses valeur objective, sinon, passez à l'étape 3.

L'organigramme de PSO standard est présenté par la figure suivante :

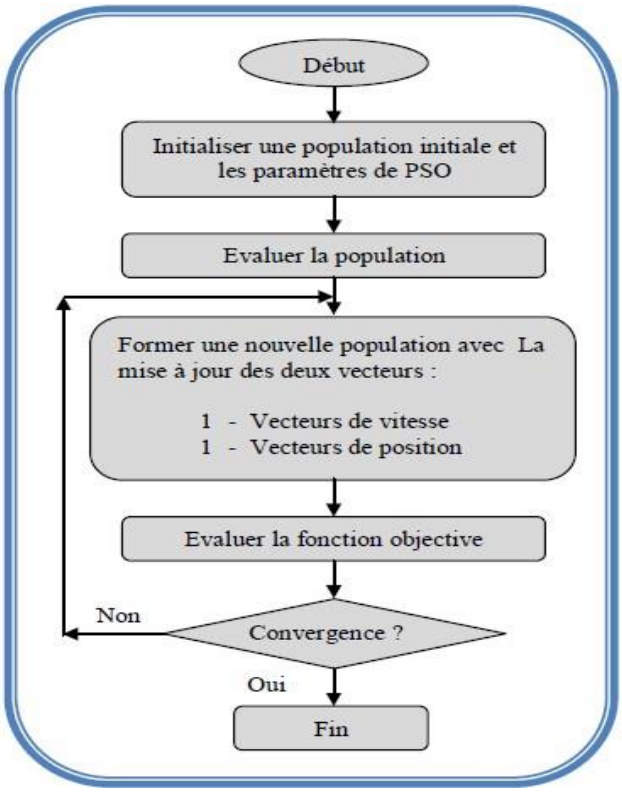


Figure VIV.5 : Organigramme de l'algorithme de PSO

IV.6.3 Formulation générale :

L'optimisation des essaims de particules (PSO) s'inspire des technologies sociales et comportement coopératif affiché par diverses espèces pour remplir leur besoin dans l'espace de recherche. L'algorithme est guidé par des informations personnelles expérience (pBest), l'expérience globale (gBest) et le mouvement actuel des particules pour décider de leurs prochaines positions dans l'espace de recherche. De plus, les expériences sont accélérées par deux facteurs C1 et C2 et deux nombres aléatoires générés entre [0,1] alors que le mouvement actuel

est multiplié par un facteur d'inertie W variant entre [Wmin, Wmax]. La première essaim (population) est noté comme suite : [25]

$$X = [X_1, X_2, \dots \dots, X_n]T \quad (4.1)$$

Où : T désigne la transposition opérateur.

Chaque particule $X_i(i = 1,2,\dots,N)$ est donnée par : $X_i = [X_i, 1, X_i, 2, \dots, X_i, D]$

De plus, la vitesse initiale de la population est notée :

$$V_i = [V_1, V_2, \dots, V_n]T \quad (4.2)$$

Avec chaque terme peut être défini comme ci-dessous :

$$V_i(k+1) = V_i(k) + c_1 . r_1[p_{besti}(k) - x_i(k)] + c_2 . r_2[g_{besti}(k) - X_i(k)] \quad (4.3)$$

$$X_i(k+1) = X_i(k) + V_i(k+1)$$

Où:

- $r_1 et\ r_2$ sont des nombres générés aléatoirement à chaque itération dans l'intervalle [0 1].
- PBest ; représente le record personnel j ème de i ème individuel
- gBest ; représente la j ème composante du meilleur individu de la population jusqu'à l'itération k. Cela peut être plus clarifier dans la Figure suivant :

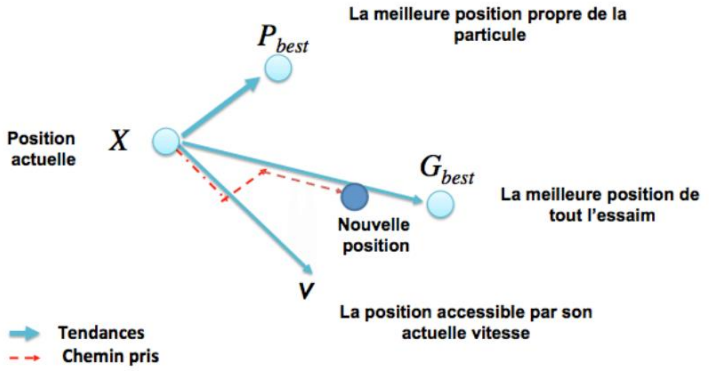


Figure IV.6 : schéma de principe du comportement des particules d'un essaime

IV.6.4 Algorithme de base

[Initialisation de variables et paramètres de l'algorithme]

N : nombre de particules

X_i: Position de la particule P_i

c: vitesse de la particule P_i

P_{best}: Meilleur fitness obtenue pour la particule l_

X_{best}: Position de la particule l_ pour la meilleur fitness

P : valeur aléatoire positive

[Traitement]

Répéter

Pour i de 1 à N faire

Si f (Xi) >P_{best} Alors

P_{best}= f (X_i)

X_{best}= X_i

Fin Si

V_i= V_i+ (X_{best}+X_i)

X_i= V_i+ V_i

Fin Pour

Jusqu'à ce que (le processus converge)

IV.7 Modèles de topologies

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Les particules à l'intérieur d'un voisinage communiquent entre elles. Différents voisinages ont été étudiés et représentent essentiellement les topologies suivantes [23] :

IV.7.1 Voisinages sociaux

Les voisins sont définis à l'initialisation et ne sont pas modifiés ensuite. C'est le voisinage le plus utilisé, on peut citer [23]:

- **Topologie en étoile :** Chaque particule est reliée à toutes les autres, l'optimum du voisinage est l'optimum global. La figure (IV.5) montre la représentation graphique de ce modèle.

- **Topologie en anneau** : Chaque particule communique avec *n* voisines immédiates (en général, n = 2). Chaque particule tend à se déplacer vers la meilleure dans son voisinage

local. C'est la topologie la plus utilisée. La figure (IV.5) montre la. Représentation graphique de ce modèle.

- **Topologie en rayon** : Une particule centrale est connectée à toutes les autres. Seule cette particule ajuste sa position, si cela provoque une amélioration, l'information est communiquée aux autres. Les particules ne communiquent qu'avec une seule particule centrale. La figure (IV.5) montre la représentation graphique de ce modèle [31]

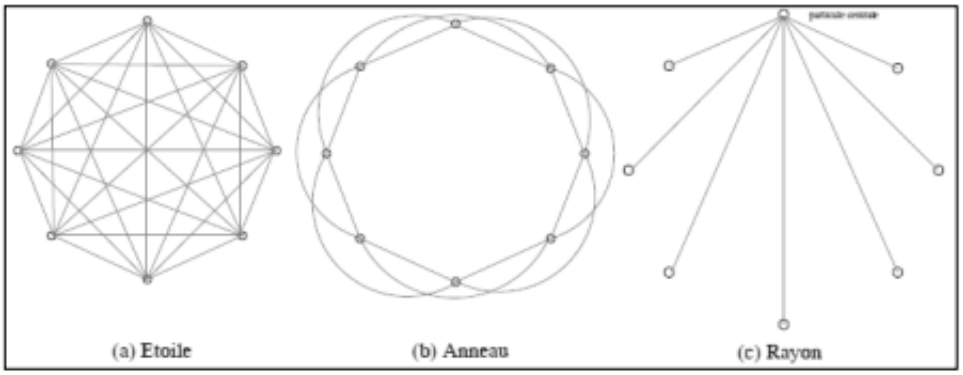


Figure IV.7: Topologies de voisinage social.

IV.7.2 Voisinage géographique

C'est un voisinage dynamique où les voisins sont les particules les plus proches. A chaque itération, les nouveaux voisins doivent être réajustés en se référant à une distance prédéfinie dans l'espace de recherche, c'est donc bien un voisinage dynamique tel qu'illustre la figure (IV.6). [23]

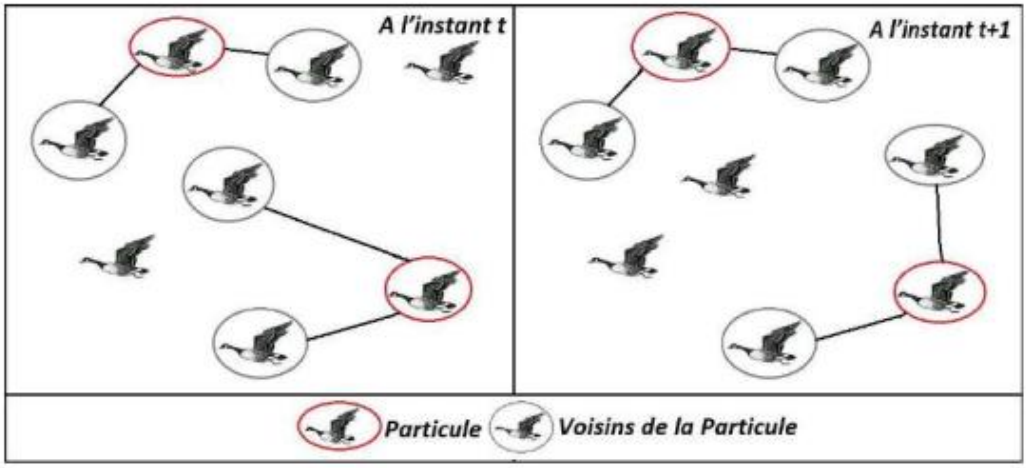


Figure IV.8 : Exemple d**e v**oisinage géographique.

IV.8 Configuration des paramètres

IV.8.1 Nombre de particules

Le nombre de particule utilisé pour la résolution du problème dépend essentiellement de deux facteurs, la taille de l'espace de recherche et le rapport entre les capacités de calcul de la machine et le temps maximum de recherche. Il n'y a pas de règle pour déterminer ce paramètre, faire de nombreux essais permet de se doter de l'expérience nécessaire à l'appréhension de ce paramètre. En général le choix se fait aléatoirement [26-31]

IV.8.2 Coefficients de confiance et coefficient d'inertie

Les coefficients c_1 . r_1 Et c_2 . r_2 De l'équation (2.1) sont appelés coefficients de confiance, ils permettent de pondérer les tendances des particules à suivre leur instinct de conservation ou leur panurgisme. Les coefficients r_1 , r_2 sont des variables aléatoires évaluées à chaque itération suivant une loi uniforme sur le domaine [0 1] et c_1, c_2 sont des constantes définies par la relation $c_1 + c_2 \leq 4$

Le coefficient d'inertie appelé ω dans la formule vue auparavant permet de définir la capacité d'exploration de chaque particule en vue d'améliorer la convergence de la méthode. Fixer ce paramètre revient à trouver un compromis entre une exploration globale ($\omega >$ 1) et une exploration locale ($\omega < 1$). Le coefficient d'inertie représente le sens aventureux de la particule [31].

IV.8.3 Critères d'arrêt

Le critère d'arrêt sert à déterminer le moment où l'on considère que la solution trouvée est d'assez bonne qualité pour être recevable. On peut par exemple :

- Fixer un nombre maximum d'itérations.
- Après un nombre fixe d'étapes n'ayant pas amélioré la solution S.
- Fixer un temps limite après lequel la recherche doit s'arrêter. [24]

IV.9 Avantages et inconvénients de PSO

IV.9.1 Avantages de PSO

L'algorithme de PSO présente un avantage certain sur les méthodes classiques dans le sens où il permet une exploration aléatoire de l'espace de solution. De plus, de sa simplicité à mettre en œuvre et son exécution conduit à l'obtention de très bon résultat, rapidement et facilement avec peu de paramètre à ajuster.

- L'algorithme PSO facile à mettre en œuvre, de sorte qu'il peut être appliqué à la fois dans la recherche scientifique et les problèmes d'ingénierie.
- Il a un nombre limité de paramètres et l'impact des paramètres sur les solutions est faible par rapport aux autres techniques d'optimisation.
- Le calcul dans l'algorithme PSO est très simple.
- Il existe certaines techniques qui assurent la convergence et la valeur optimale du problème se calcule facilement en peu de temps.
- PSO dépend moins d'un ensemble de points initiaux que d'autres techniques d'optimisation.
- Il est conceptuellement très simple. [23]

IV.9.2 Inconvénients de PSO

L'algorithme de PSO a deux inconvénients principaux :

- Le premier inconvénient est que l'essaim peut prématurément converger.
- Le deuxième inconvénient est que les approches stochastiques ont un problème de dépendance tout changement d'un de leurs paramètres peut avoir un effet sur le fonctionnement de l'algorithme tout comme sur la solution obtenue. [23]

IV.10 Simulation

Par programmation en langage MATLAB, on va simuler les réponses de notre système (Serre Agricole) par l'application de l'algorithme PSO.

IV.11 Optimisation de paramètre de régulateur PD0F par l'algorithme PSO

IV.11.1 Schéma fonctionnel

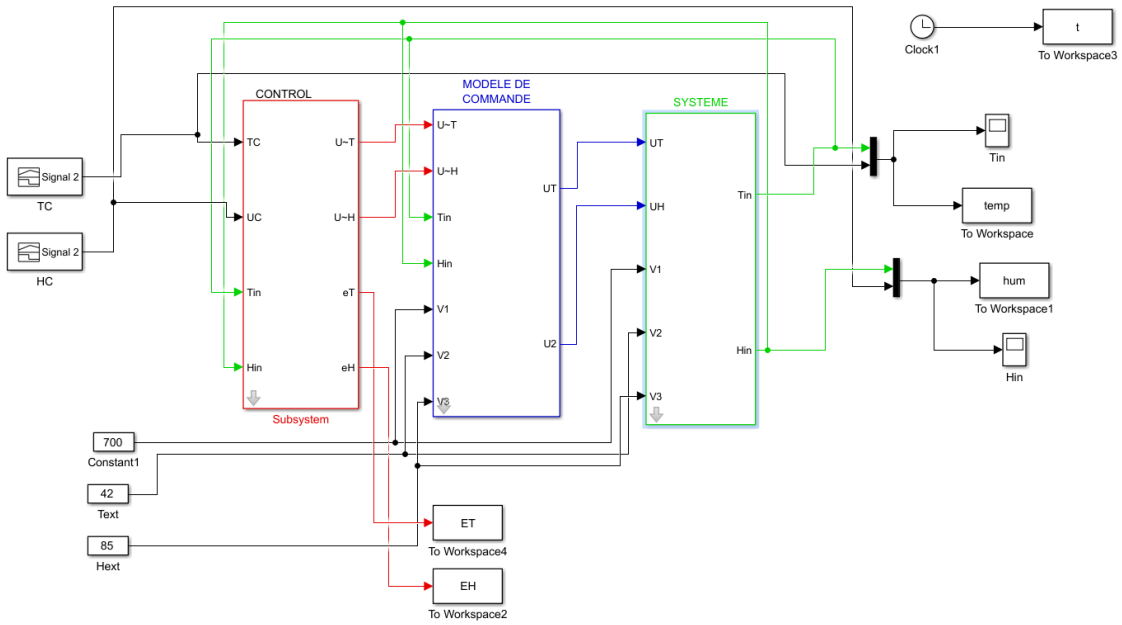


Figure IV.9 : Schéma bloc détaillé avec contrôle de la serre.

IV.11.2 Paramètre de PSO

```
%% Optimisation d'un reguleur PDOF par la mÃ©thode Particle Swarm Optimization

%% Initialisation
clear
clc
tic
global yout
n = 40;             % Nombre de particule, des oiseaux 10
bird_setp = 30;     % Nombre d'itÃ©rations 10
dim = 4;            % Dimension du problÃ¨me

c2 =0.12;            % ParamÃ¨tre C1
c1 = 1.2;          % ParamÃ¨tre C2 0.12;
w =0.9;             % Moment d'inertie
fitness=0*ones(n,bird_setp); % initialisation de la fonction Ã  minimiser=0
                                %----------------------------------------%
```

IV.11.3 Premier test sans changement des conditions extérieures

IV.11.3.1 Contrôle du système sans changement de consigne (point de réglage)

Les résultats, obtenus par l'implémentation de cette expérience dans MATLAB, sont présentés dans les figures (IV.7) et (IV .8) Les résultats montrent que les termes prédictifs des propositions changement de contrôle très rapide et compensation de l'extérieure conditions météorologiques.

Nous avons obtenu un système en boucle fermée avec temps de montée rapide, il Ya petite d'erreur A et dépassement.

Les résultats de la simulation montrent que le contrôle sans interaction a été atteint, de sorte que le contrôle de la température et de l'humidité est complètement découplé et la réponse du système en boucle fermée est acceptable

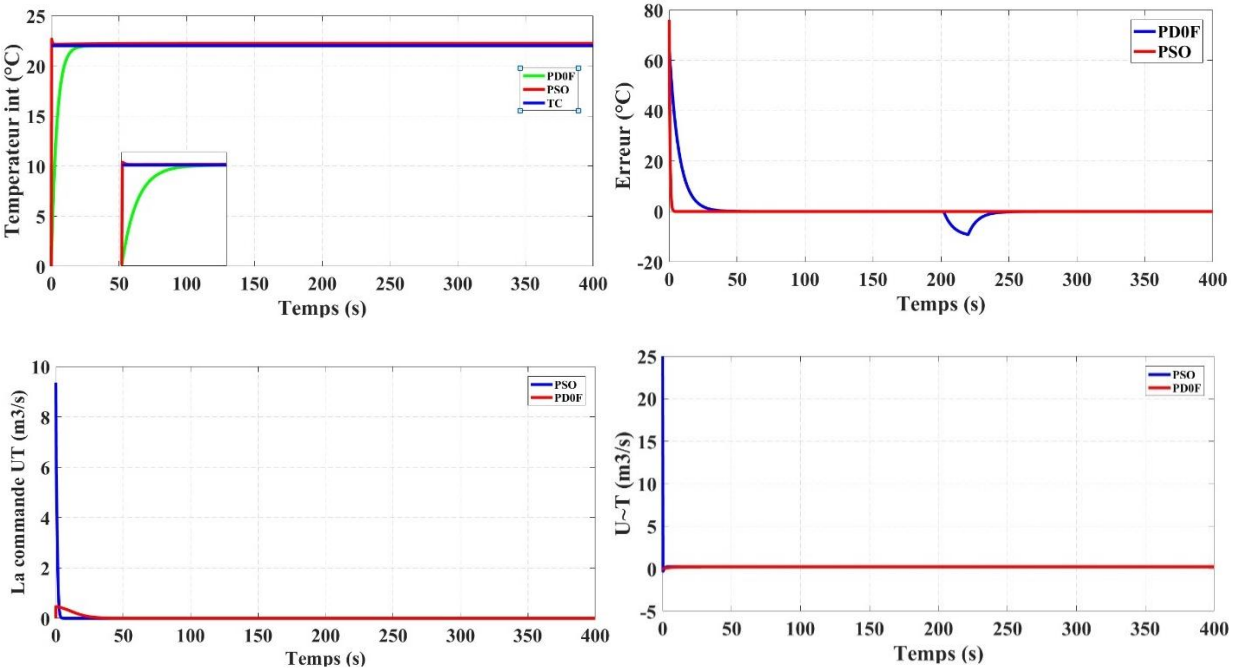


Figure IV.10: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

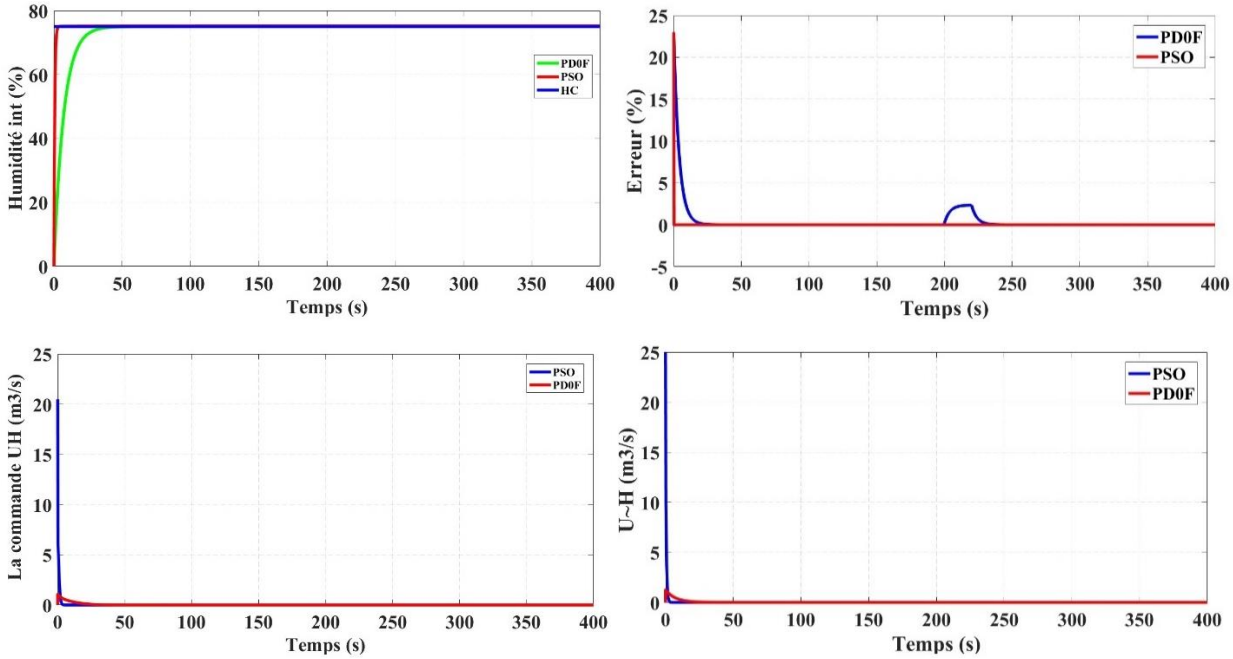


Figure IV.11: Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

IV.11.3.2 Contrôle avec changement de consigne

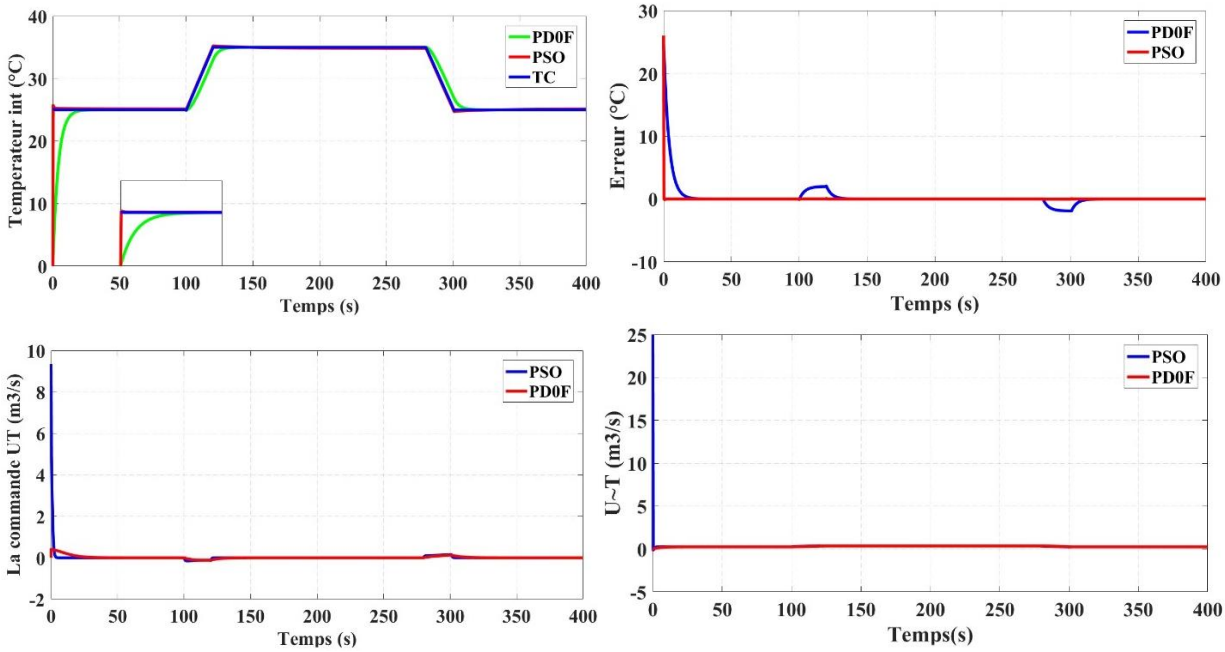


Figure IV.12: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

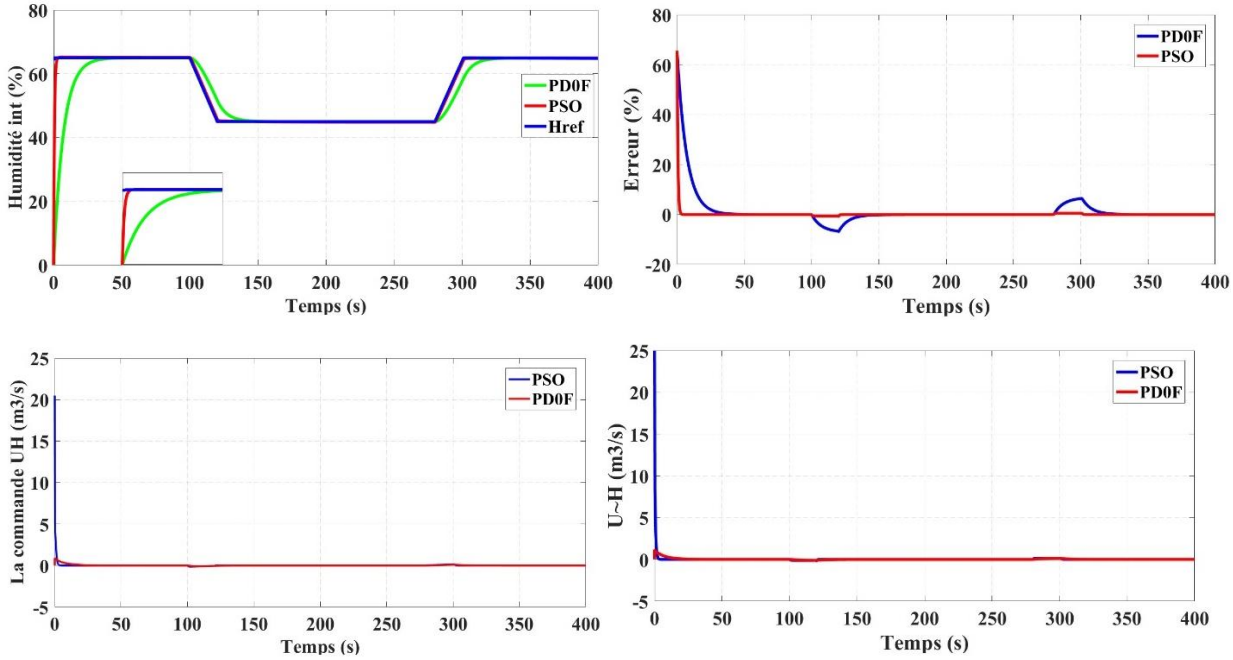


Figure IV.13: Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement d'étape de la consigne et les conditions atmosphériques extérieures fixes.

IV.11.3.3 Contrôle avec série d'impulsions de consigne

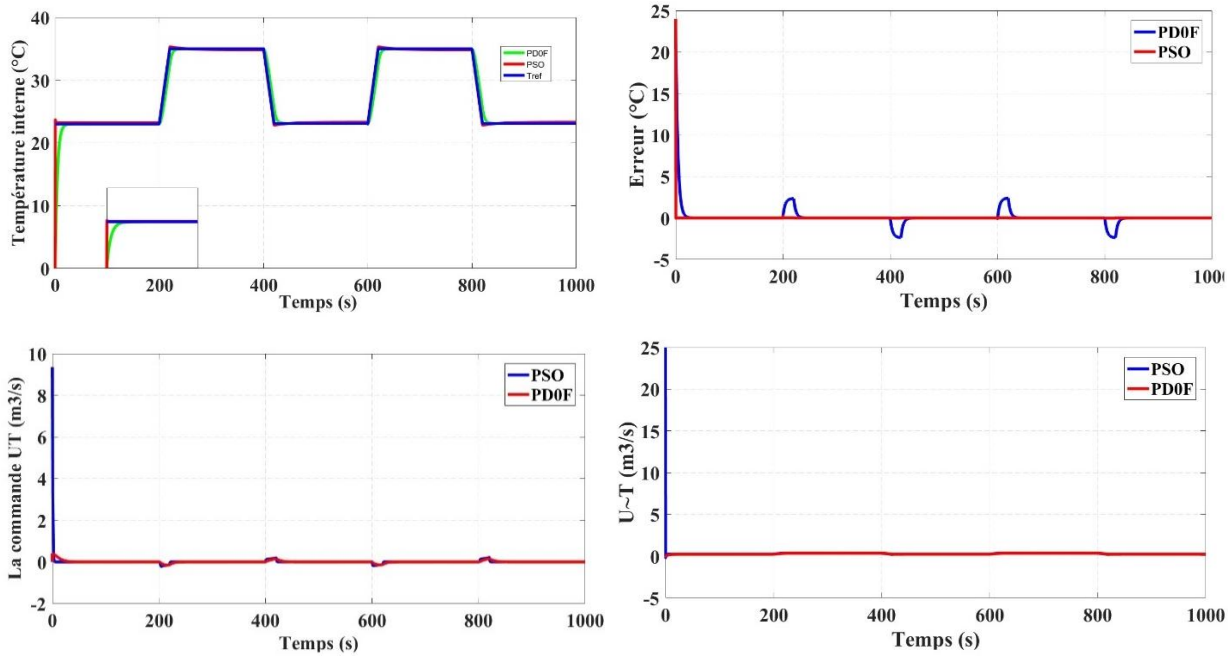


Figure IV.14: Contrôle avec commande de température intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et les conditions atmosphériques fixes.

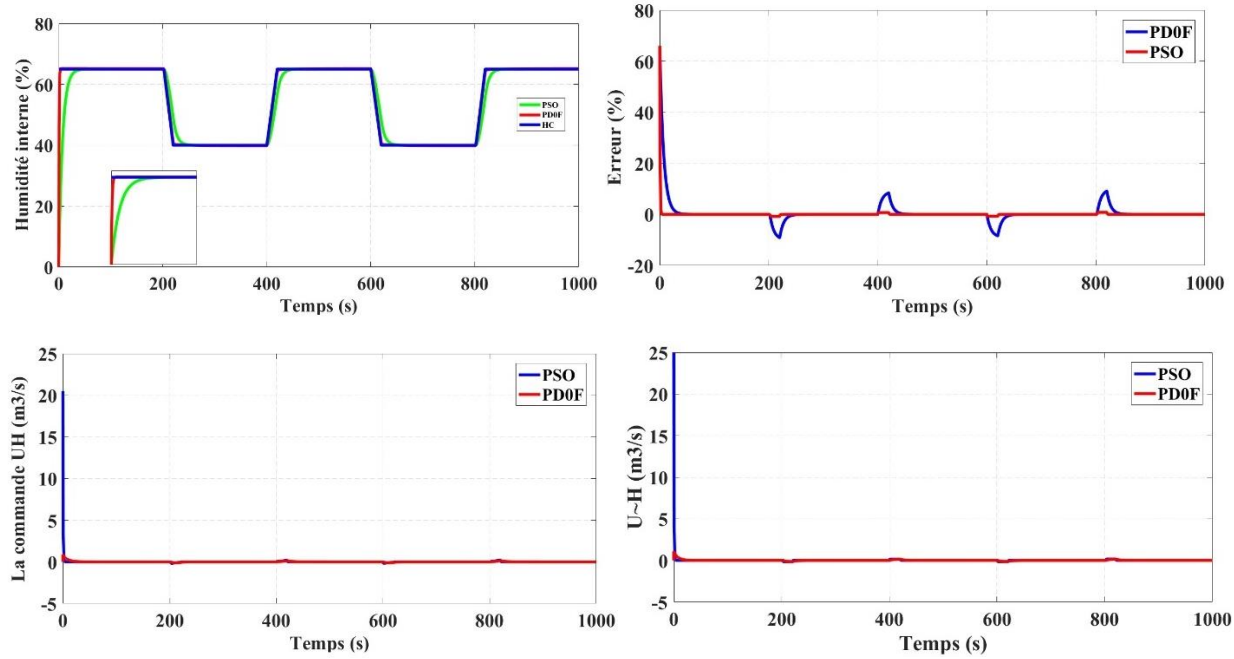


Figure IV.15: : Contrôle avec commande d'humidité intérieure de la serre avec changement des étapes de consigne (série d'impulsions) et la condition atmosphérique fixe

IV.12 Interprétation :

L'objectif d'une optimisation par PSO est donc de trouver la meilleure solution de position de chaque particule notée position locale, puis en chercher la meilleur pour un nombre d'itération prédéfini (40 itérations). En fonction d'une minimisation d'un critère de cout (fonction fitness),

on arriver donc à obtenir une solution globale parfaite (meilleurs position globale) synonyme d'un cout minimal (meilleure coût globale).

D'après les résultats de cette application, on note le suivant :

Dans notre exemple, nous avons choisie comme consigne pour la température, de 22°C et pour l'humidité de 75% avec les condition extérieurs fixes T_{ext} =42 °C,H_{ext}=85%, R=700

Pour chaque figure nous avons remarqué que les sortie (T_{int} et H_{int}) suivants très bien la consigne désirée avec un petit erreur dans le régime permanant de valeurs 1%, mais malheureusement ces contrôleurs ne répondaient pas au changement des perturbations extérieures, aves les même condition extérieurs le temps de réponse trouvé est comme suit :

- Le temps de réponse pour la température t_T =0.7s
- Le temps de réponse pour la l'humidité t_H=1.7s

Les résultats démonteront clairement que la rapidité du système avec la méthode d'optimisation de PSO Est meilleure que celui régulateur PD0F.

IV.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps quelques notions sur métaheuristiques et l'optimisation par essaim de particules, Ensuite nous avons donné une brève description sur le fonctionnement de cet algorithme.

Ensuite, nous avons testé par l'endroit de MATLAB Simulink les performances du système de contrôle du climat des serres avec des contrôleurs PD0F réglés par l'optimisation par essaim de particules et les résultats de la simulation étaient stable et robuste montrent que performances améliorées par rapport aux contrôleur PD0F .

II Conclusion générale

La serre agricole est un bon endroit pour cultiver des légumes et des fruits lorsque les conditions environnementales idéales pour les plantes sont disponibles et que le climat peut être contrôlé dans la serre. La serre contient de nombreux facteurs qui doivent être contrôlés en fonction des plantes plantées. Cependant, il y a des périodes pendant lesquelles ces paramètres, tels que la température, l'humidité, la luminosité, etc., deviennent à l'intérieur de la serre, sont défavorables à la plante [29].

Au cours de la seconde phase, diverses commandes de régulation ont été examinées, les plus importantes étant :

Nous avons initialement créé un modèle mathématique pour la serre, qui utilise un bilan énergétique non linéaire et largement intégré. Notre mémoire détaille une méthode de linéarisation et de découplage efficace pour réguler la température et l'humidité dans la serre, qui sont les paramètres critiques pour optimiser la croissance des cultures. Ces paramètres sont mesurés par un thermomètre et un hygromètre qui sont souvent placés à une distance des ventilateurs et des humidificateurs, ce qui entraîne un délai (dT) et (dH) dans les changements de température et d'humidité.

Toutefois, notre système sera linéaire et découplé grâce à l'utilisation de contrôleurs Feedback et Feedforward dans la loi de commande. Pour cela, il est nécessaire de mesurer les états actuels de température, d'humidité et de perturbations. Cependant, un délai peut nuire à la linéarisation de Feedback et Feedforward, ce qui peut impacter l'exécution du procédé. Afin d'éviter ce problème, nous avons opté pour T >4dT et TH >4d H, qui sont liés à la vitesse de réaction du système en boucle fermée. Cette mesure garantit des résultats satisfaisants entre la réaction de notre système et l'exécution de Feedback et Feedforward.

Au cours de la seconde phase, diverses commandes de régulation ont été examinées, les plus importantes étant :

La simulation par le contrôleur PDOF, preuves suggérant que ce type de contrôle donne des résultats intéressants du point de vue du contrôle de la les signaux de sortie suivent le point de consigne avec une erreur permanente régime pratiquement nul, ce qui suggère que la réponse

du système en boucle fermée reste tolérable pour répondre de manière appropriée aux signaux étapes de point de consigne quelles que soient les perturbations extérieures. Cependant, l'inconvénient majeur de ce type de contrôleur a les réponses qu'il produit très

lentement (temps de réponse allant jusqu'à 30 à 40 min) pour réguler la température et l'humidité

Les résultats obtenus sont satisfaisants. Ils montrent que l'algorithme PSO est un outil d'optimisation performant qui permet d'obtenir des valeurs quasi-optimale des gains du régulateur PD0F est prometteur puisqu'il solutionne le problème de rapidité en termes de temps de réponse allant de 1 à 1.5 min pour régules convenablement la température et l'humidité.

Ce type de l'algorithme PSO possède un meilleur temps de monté et une réponse rapide. Les résultats de simulation obtenus en variant le temps de retard montrent la robustesse du cette technique de PSO

A la fin et comme perspective, on encourage les futurs étudiants à concevoir des nouveaux algorithmes de commande sur notre modèle étudié et Nous proposons l'implémentation de ce type de correcteur sur le terrain sous serre.

Annexe A

La puissance du Flux de chaleur convectif échangé entre la couverture et l'air extérieur est :

$$Q_{cae}^{C} = h_e.S_c.(T_c - T_{ae})$$

La puissance du flux de chaleur convectif échangé entre l'air intérieur et la couverture est défie par :

$$Q_{aic}^{C} = h_i.S_c.(T_{ai} - T_c)$$

La chaleur du flux représentant le transfert d'enthalpies résultant de la condensation de la vapeur d'eau de l'air intérieur sur la face interne de la couverture est définie par :

$$Q_{aic}^{L} = L.K.S_c.(E_{ai} - E_{ais})$$

La puissance du flux de chaleur convectif échangé entre le sol abrité et l'air intérieur est définie par :

$$Q_{sai}^{C} = h_i.S_s.(T_s - T_{ai})$$

Le flux de chaleur convectif dû aux fuites d'air est :

$$Q_{aiae}^{C} = \frac{(T_{ai} - T_{ae}).C_m.\rho.R.V}{3600}$$

La chaleur latente de l'évaporation du sol captée par l'air intérieur est définie par :

$$Q_{sai}^{L} = L.K.S_s.(E_{ai} - E_{ai})$$

$$L = 752.5\ - 0568\left[\frac{273(T_s - T_{ai})}{2}\right]$$

Le flux de chaleur correspondant aux transferts d'enthalpies de l'air intérieur vers l'air extérieur par le phénomène des fuites d'air à travers les assemblages de la serre est défini par :

$$Q_{aiae}^{L} = \frac{(E_{ai} - E_{ae}).L.\rho.R.V}{3600}$$

La puissance du flux de conduction entre deux couches successives du sol est définie par :

$$Q_s^D = \frac{\lambda}{E}.S_s.(T_S - T_{S1})$$

La puissance du flux de rayonnement solaire absorbée par la couverture est :

$$Q_C^S = (a_c - \tau_c - \rho_c)E_g.S_c$$

La puissance du flux de rayonnement solaire absorbé par le sol de la serre est définie par:

$$Q_s^S = (a_s - \tau_c - \rho_s)\tau_c . E_g h . S_c$$

Les pertes de chaleur entre la couverture et l'air extérieur sont données par :

$$Q_{cae} = Q_{cae}^L + Q_{cae}^C$$

Les pertes de chaleur entre l'air intérieur et l'air extérieur sont :

$$Q_{fuit} = Q_{aiae}^L + Q_{aiae}^C$$

La chaleur du flux de rayonnement solaire global capté par les éléments de la serre est définie par :

$$Q_{tot}^s = Q_s^s + Q_c^s$$

Le bilan global de la puissance du flux radiatif infrarouge des éléments de la serre est exprimé par :

$$Q_{tot}^I = Q_s^I + Q_c^i$$

Annexe B

1. Commande du modèle de ventilation et de brouillard

Le modèle dynamique de bilan énergétique de la serre peut être obtenu en considérant les équations (2.12) et (2.13) trouver dans le chapitre2 comme suit :

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho c_p v_t}(Q_{ch} + R - \lambda H_{Br}) - \frac{V_{v,m}}{V_T}(T_{int} - T_{ext}) - \frac{UA}{\rho c_p v_t}(T_{int} - T_{ext})$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho v_H}(H_{Br}) + \frac{1}{\rho V_H}E(R, H_{int}) - \frac{V_{v,m}}{\rho v_H}(H_{int} - H_{ext})$$

Pour l'opération d'été, on met Qch=0, on peut alors noter que dans une première approximation le taux d'évapotranspirations E(R, Hint) et dans la plupart des parties liés à l'énergie solaire radiante, par la relation simplifiée suivante :

$$E(R, H_{int}) = \frac{\alpha}{\lambda}R + \beta_T H_{int}$$

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho.Cp.V}(R - \lambda H_{br}) - \frac{V_{v.m}}{V}(T_{int} - T_{ext}) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}(T_{int} - T_{ext})$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = -\frac{\beta_t}{\rho.V}H_{int} - \frac{1}{\rho.v}H_{br} + \frac{\alpha}{\lambda.v}R - \frac{V_{v.m}}{\rho.v}(H_{int} - H_{ext})$$

Ces deux équations sont non linéaires et couplées qui ne peuvent pas être mises en place dans la forme plutôt familière d'un système analytique non linéaire dû à leur complexité apparaissant dans les termes de produit entre la commande et les variables de perturbation. Cependant, notre système peut être écrit sous la forme comme suite :

$X = [X_1 X_2]^T \triangleq [T_{int}, H_{int}]^T$; Y = X ; r1 = r2 = 1

$U = [U_1, U_2]^T \triangleq U = [V_{v.m}, H_{br}]^T$

$V = [V_1, V_2]^T \triangleq V = [R, T_{ext}, H_{ext}]^T$

$$f_1(X, V) = -\frac{U_A}{\rho c_p v}X_1 + \frac{1}{\rho c_p v}(V_1) + \frac{U_A}{\rho c_p v}V_2$$

$$f_2(X, V) = -\frac{\beta_T}{\lambda}X_2(t) + \frac{\alpha}{\lambda V}V_1$$

$$g_1(X, V) = \begin{bmatrix} \frac{1}{V}(V_2 - X_1) \\ -\frac{\lambda}{\rho c_p v} \end{bmatrix}$$

$$g_2(X, V) = \begin{bmatrix} \frac{1}{V}(V_3 - X_2) \\ \frac{1}{V} \end{bmatrix}$$

$$D(X,V) = \begin{bmatrix} g_1^T(X,V) \\ g_2^T(X,V) \end{bmatrix} = \frac{1}{V}\begin{bmatrix} V_2 - X_1 & -\dfrac{\lambda}{\rho c_p v} \\ V_3 - X_2 & \dfrac{1}{V} \end{bmatrix}$$

Le déterminant d(t) est donné par :

$$\det(t) = \frac{1}{v^2}\left(V_2 - X_1 + \frac{\lambda}{\rho c_p v} V_3 - X_2\right)$$

Le système en boucle fermée prend la forme :

$$Y_i^1 = \widehat{U_\iota}\,; i = 1{,}2\,.$$

Afin de fixer la dynamique de produit Yi nous appliquons les lois de commande externes de la forme :

$$\widehat{U_\iota} = -a_{i0} Y_i + b_i \widehat{U_1} \cong -\frac{1}{\tau_1}\left(Y_i - \widehat{U_\iota}\right)\ ; i = 1{,}2$$

Ou sous la forme de fonction de transfert :

$$H_i(s) = \frac{1}{\tau_1 s + 1}\, i = 1{,}2$$

Avec $\tau_1\,,\ i = 1{,}2$ sont des constantes de temps du nouveau système

$$d(t) = \frac{Q(t)}{\rho\,.\,C_p\,.\,v}$$

$$\mathrm{D}^{-1}(X,V) = \frac{1}{d(t)}\begin{bmatrix} 1 & \dfrac{\lambda}{\rho c_p} \\ V_3 - X_2 & V_2 - X_1 \end{bmatrix}$$

$$U(t) = \begin{bmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \end{bmatrix} = \mathrm{D}^{-1}(X,V)\left\{\begin{bmatrix} f_1(X,V) \\ f_2(X,V) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \widehat{U_1} \\ \widehat{U_2} \end{bmatrix}\right\}$$

Avec:

$$\begin{cases} \widehat{U_1}(t) = \dfrac{-1}{\tau_1} X_1(t) + \dfrac{1}{\tau_1}\widetilde{U}_1(t) \\ \widehat{U_2} = \dfrac{-1}{\tau_2} X_2(t) + \dfrac{1}{\tau_2}\widetilde{U}_2(t) \end{cases}$$

$$U(t) = \frac{\rho\,.\,C_p\,.\,v}{Q(t)}\begin{bmatrix} 1 & \dfrac{\lambda}{\rho c_p} \\ V_3 - X_2 & V_2 - X_1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} = \dfrac{U_A}{\rho c_p v} X_1 - \dfrac{1}{\rho c_p v}(V_1) - \dfrac{U_A}{\rho c_p v} V_2 \\ \dfrac{\beta_T}{\lambda} X_2(t) - \dfrac{\alpha}{\lambda V} V_1 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \dfrac{-1}{\tau_1} X_1(t) + \dfrac{1}{\tau_1}\widetilde{U}_1(t) \\ \dfrac{-1}{\tau_2} X_2(t) + \dfrac{1}{\tau_2}\widetilde{U}_2(t) \end{bmatrix}$$

Donc, les commandes de la serre pour l'opération d'été peuvent être écrites comme suites :

$$U_1(t) = Q^{-1}(t)\left(\frac{\rho c_p v}{\tau_1}\widetilde{U}_1(t) + \frac{\lambda V}{\tau_2}\widetilde{U}_2(t) - (a+1)V_1(t) - UAV_2(t) - \left(UA - \frac{\rho c_p v}{\tau_1}\right)X_1(t) + (\lambda\beta_T - \frac{\lambda V}{\tau_2})X_2(t)\right)$$

$$U_2(t) = Q^{-1}(t)\left(\left(UA - \frac{\rho c_p v}{\tau_1}\right)X_1(t) + \frac{\rho c_p v}{\tau_1}\widetilde{U}_1(t) - V_1(t) - UAV_2(t)\right) - X_2(t) - V_3(t) + Q^{-1}(t).\rho c_p v\left(\left(\beta_T - \frac{V}{\tau_2}\right)X_2(t) + \frac{V}{\tau_2}\widetilde{U}_2(t) - \frac{\alpha}{V}V_1\right)V_2(t) - X_2(t)$$

2. Commande du modèle de ventilation et de chauffage

Dans ce qui suit, la méthode de contrôle présentée est appliquée au modèle de ventilation de la serre, aussi bien pour le système de chauffage. En Hiver, Hint ≥ Hext, HBr=0, alors notre système prend la forme suivante :

$$\frac{dT_{int}}{dt} = \frac{1}{\rho.Cp.V}(Q_{ch} - R) - \frac{V_{v.m}}{V}(T_{int} - T_{ext}) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}(T_{int} - T_{ext})$$

$$\frac{dH_{int}}{dt} = -\frac{\beta_T}{\rho.V}H_{int} + \frac{\alpha}{\lambda\cdot V}R - \frac{V_{v.m}}{\rho.V}(H_{int} - H_{ext})$$

$$X = [X_1 X_2]^T \triangleq [T_{int}, H_{int}]^T; \mathrm{Y} = \mathrm{X}; \mathrm{r1} = \mathrm{r2} = 1$$

$$U = [U_1, U_2]^T \widehat{=} U = [V_{v.m}, H_{br}]^T$$

$$V = [V_1, V_2]^T \widehat{=} V = [R, T_{ext}, H_{ext}]^T$$

$$\frac{dX_1}{dT} = \frac{1}{\rho.Cp.V}(U_1 + V_1) - \frac{U_A}{V}(X_1 + V_2) - \frac{U_A}{\rho.Cp.V}(X_1 + V_2)$$

$$\frac{dX_2}{dT} = -\frac{\beta_T}{\rho.V}(X_2) + \frac{\alpha}{\lambda\cdot V}V_1 - \frac{U_A}{\rho.V}(X_2 + V_3)$$

$$f_1(X,V) = -\frac{U_A}{\rho c_p v}X_1 + \frac{1}{\rho c_p v}(V_1) + \frac{U_A}{\rho c_p v}V_2$$

$$f_2(X,V) = -\frac{\beta_T}{\lambda}X_2(t) + \frac{\alpha}{\lambda V}V_1$$

$$g_1(X,V) = \begin{bmatrix} \frac{1}{V}(V_2 - X_1) \\ \frac{1}{\rho c_p v} \end{bmatrix}$$

$$g_2(X,V) = \begin{bmatrix} \frac{1}{V}(V_3 - X_2) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D(X,V) = \begin{bmatrix} g_1^T(X,V) \\ g_2^T(X,V) \end{bmatrix} = \frac{1}{V}\begin{bmatrix} V_2 - X_1 & \frac{1}{\rho c_p} \\ V_3 - X_2 & 0 \end{bmatrix}$$

Le déterminant de la matrice D(X, V) égale :

$$\det(t) = \left(\frac{V_3 - X_2}{\rho c_p V^2}\right)$$

$$\mathrm{D}^{-1}(X,V) = \frac{1}{d(t)}\begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{\rho c_p} \\ V_3 - X_2 & V_2 - X_1 \end{bmatrix}$$

$$(t) = \begin{bmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{d(t)}\begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{\rho c_p} \\ V_3 - X_2 & V_2 - X_1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \frac{U_A}{\rho c_p v}X_1 - \frac{1}{\rho c_p v}(V_1) - \frac{U_A}{\rho c_p v}V_2 \\ \frac{\beta_T}{\lambda}X_2(t) - \frac{\alpha}{\lambda V}V_1 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{-1}{\tau_1}X_1(t) + \frac{1}{\tau_1}\widetilde{U}_1(t) \\ \frac{-1}{\tau_2}X_2(t) + \frac{1}{\tau_2}\widetilde{U}_2(t) \end{bmatrix}$$

En appliquant la loi de commande de la forme (4.3) le système en boucle fermée prend la forme :

$$Y_i^1 = \widehat{U_\iota}\,; i = 1{,}2\,.$$

Afin de fixer la dynamique de produit Yi nous appliquons les lois de commande externes de la forme :

$$\widehat{U_\iota} = -a_{i0}Y_i + b_i\widehat{U_1} \cong -\frac{1}{\tau_1}\left(Y_i - \widehat{U_\iota}\right)\ ; i = 1{,}2$$

Nous obtenons:

$$Y_i^1 + \frac{1}{\tau_1}Y_i^1 = \frac{1}{\tau_1}\left(\widehat{U_\iota}\right)\ ; i = 1{,}2$$

$$U(t) = \begin{bmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \end{bmatrix} = \mathrm{D}^{-1}(X,V)\left\{\begin{bmatrix} f_1(X,V) \\ f_2(X,V) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \widehat{U_1} \\ \widehat{U_2} \end{bmatrix}\right\}$$

Avec:

$$\begin{cases} \widehat{U}_1(t) = \dfrac{-1}{\tau_1} X_1(t) + \dfrac{1}{\tau_1} \widetilde{U}_1(t) \\ \widehat{U}_2 = \dfrac{-1}{\tau_2} X_2(t) + \dfrac{1}{\tau_2} \widetilde{U}_2(t) \end{cases}$$

Donc, les commandes de la serre pour l'opération d'hiver peuvent être écrites comme suites :

$$U_1(t) = \frac{1}{d(t)} \left(\frac{1}{\rho c_p v} X_1(t) + \frac{\beta_T}{\rho c_p v} X_2(t) + \frac{\alpha}{\lambda \rho c_p v} V_1(t) - \frac{1}{\rho c_p \tau_2}) \widetilde{U}_1(t) \right)$$

$$U_2(t) = \frac{1}{d(t)} \left(\frac{U_A}{\rho c_p v} X_1 - \frac{1}{\rho c_p v} (V_1) \; - \frac{U_A}{\rho c_p v} V_2 - \frac{-1}{\tau_1} X_1(t) + \frac{1}{\tau_1} \widetilde{U}_1(t) \right) (X_2 - V_3)$$

$$+ \frac{\beta_T}{\lambda} X_2(t) - \frac{\alpha}{\lambda V} V_1 - \frac{1}{\tau_2} X_2(t) + \frac{1}{\tau_2} \widetilde{U}_2(t) (V_2 - X_1)$$

Bibliographie

[1] MEGTIT Tedjini., & DAHMANE Dihia ,<<Réalisation d'une serre agricole intelligente et contrôlable à distance par Internet>> ,(2017-2018) ,Mémoire Master en Génie industriel.

[2] Yakoub, B, <<Automatisation d'un serre agricole>> ,(Décembre 2012), Mémoire magister en science agronomique.

[3] islam, B,<<Conception, réalisation et identification d'un modèle de serre>> ,(2020/2021). Mémoire Master 2 Département Electronique

[4] AFOU, Y. E ,<<Constribusion au controle des paramètres climatique sous serre>> . (16 JUIN 2014), THÈSE DOCTORANT DÉPARTEMENT PHYSIQUES .

[5] Loukal nassima, & kebir ouiza.<<Comparaison du champ thermique dans deux types de serre de culture>>.(2017/2018). MEMOIRE MASTER ACADEMIQUE EN GENIE MECANIQUE

[6] Fatiha, M. L ,<<Contribution à l'étude dynamique et thermique de l'air à l'intérieur d'une serre en verre de type Venlo dans les régions des Aurès; les hauts plateaux est d'Algérie (Etude de simulation)>>,(11 /11 /2010). MÉMOIRE MAGISTÈRE DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE.

[7] BAKHTI Issam eddine, & TOUILEB Soheib. <<Modélisation et modification d'une serre agricole avec recyclage d'eau et production d'énergie adapté à la zone saharienne>>.(2019/2020).MEMOIR MASTER DEPARTEMENT Génie Mécanique.

[8] Abdelkadir, B., & CHIBOUB Charef Eddine,<<Contrôle de la maison intelligente par L'utilisation de l'Arduino et via une application Android>> (2019/2020). Mémoire Master Académique DEPARTEMENT ELECTRONIQUE.

[9] MEDJBER, A. <<AUTOMATISATION D'UNE SERRE AGRICOLE>>.(Blida, 24 juin 2008). MEMOIRE DE MAGISTER.

[10] Mr TOUCHERIFT IDRIS, & Mr TAIEB HAMID ,<<Contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole>>,(2017-2018) Mémoire Master DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

[11] C. Monteil, G. Issanchou, & M. Amouroux. <<Modèle énergétique de la serre agricole>>.(1991) Journal de Physique, 429-454.

[12] MESMOUDI, K.<< Etude Expérimentale et Numérique de la Température et de l'Humidité de l'Air d'un Abri Serre Installé dans les Haut Plateaux d'Algérie, Région des Aurès>>.. (09 Décembre 2010). THÈSE Doctorat-en-Science

[13] Mesmoudi Kamel , Azeddine Soudani, Zitouni Bariza, & Pierre-Emmanuel Bournet. <<Experimental study of the energy balance of unheated greenhouse under hot and arid climates>>,(October 2010) Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, 27-37.

[14] G.D. Pasgianos, K.G. Arvanitis, P. Polycarpou, & N. Sigrimis. <<A nonlinear feedback technique for greenhouse>>,(2003) Computers and Electronics in Agriculture, 153/177.

[15] Daskalov, P. I<< Prediction of Temperature and Humidity in a Naturally Ventilated Pig Building>>.. (December 1997). Journal of Agricultural Engineering Research, 329—339.

[16] N. Sigrimis, K.G. Arvanitis, G.D. Pasgianos, & K. Ferentinos,<<Hydroponics water management using adaptive>>.(December 1997) Computers and Electronics in Agriculture, 31-46.

[17] Mr. LEMDANI Rafik, & Mr. MALOUADJMI Nabil,<< Etude, conception et réalisation d'une plateforme pour l'automatisation et le Contrôle à distance des serres agricoles>>.(Juin 2017), Mémoire de Master Département Génie Electrique.

[18] Mesmoudi Kamel, Azeddine Soudani, & Lazhar Serir ,<<Modele de bilan energetique d'une serre en verre sans couvert vegetal>>.(January 2008) Revue des Energies Renouvelables , 51 – 64.

[19] HaiGen Hu, LiHong Xu, Juan Chen, & Songwei Zeng, <<A Novel Anti-windup PID Control Scheme for Greenhouse Climate>>,(July 2012) ,Journal of Convergence Information Technology(JCIT), 168-176.

[20] N. Sigrimis, K.G. Arvanitis, K.P. Ferentinos, & A. Anastasiou. (2002). AN INTELLIGENT NONINTERACTING TECHNIQUE FOR CLIMATE . 15th Triennial World Congress.

[21] Medjber Ahmed, Moualdia Abdelhafidh , & Ould Cherchali Noureddine. <<Climate Control of Greenhouse Using Fuzzy>> , (September 2014). International Journal of Electrical Energy, .232-237.

[22] ABDELLAH, I., & MEDJEDDED SALAH ,<<Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque pour alimenter une serre agricole>>.(2019-2020).MEMOIRE MASTER EN ELECTROTECHNIQUE.

[23] Abdelhakim, B. <<Métaheuristique Hybride Réseaux de Neurones Artificiels-PSO du Recuit Simulé pour la Commande d'un Procédé Industriel Non-linéaire>>.(2012/2013). Mémoire Magistère en Electronique.

[23] HALLALI Mohamed Elhachimi, & BELMESSOUD Khaled.<<Adaptation des paramètres du régulateur PID avec PSO- Application à un système de lévitation magnétique>>. Mémoire MASTER Département d'Electronique et Des Télécommunications.

[24] Abdelhakim, B,<<Métaheuristique Hybride Réseaux de Neurones Artificiels-PSO du Recuit Simulé pour la Commande d'un Procédé Industriel Non-linéaire>>.(2012/2013). Mémoire Magistère en Electronique.

[25] Faten Gouadria, Sbita Lassaad, & Nick Sigrimis. <<A greenhouse system control based on a PSO tuned PI regulator>>.(March 2017). Conference Paper .

[27] DJIHEN, A., & HAMZA Abir ,<< Commande MPPT pour les systémes photovoltaiques en utilisant l'optimisation par essime particules>>.(2021). Mémoire MASTER DÉPARTEMENT DES ENERGER RENOUVELABLES .

[29] Haigen Hu, Lihong Xu, Ruihua Wei, & Bingkun Zhu. (2011). Multi-Objective Control Optimization for Greenhouse. Sensors, 5792-5807.

[30] P.I. Daskalov, K.G. Arvanitis, G.D. Pasgianos, & N.A. Sigrimis. <<Non-linear Adaptive Temperature and Humidity Control in Animal Buildings>>.(2006) Biosystems Engineering, 1–24.

[31] Smail, M. B,<<Contribution à la Commande Robuste d'une Machine Asynchrone par la Technique PSO>> ,(07/05/2009).Mémoire Magister Département d'Electrotechnique.

University of Medea – Faculty of Science

CERTIFICATE

OF PARTICIPATION

THIS IS TO CERTIFY THAT:

TOUAMI Souheyla& ALI KACEM Mohamed Fateh

has attended the «**University week of artificial intelligence** »
16-19 April 2023 – University of Medea
and presented the work entitled

« Contrôle climatique de sous serre agricole en hiver en utilisant l'algorithme méta heuristique PSO»

co-devlopers: AMOKRANE Zouhir, MEDJBER Ahmed

AI'2023

عميد كلية العلوم
أ.د. حديدي نور الدين

مدير جامعة المدية
الأستاذ بوسروري جعفر