

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'ingéniorat

Département : Electronique

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique Industrielle

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Contrôle d'une serre agricole par logique floue

Présenté par : ALOUYERE Mohamed Amine

Encadrant : : SAIDI Mohammed Larbi Grade : Professeur

Université : BADJI MOKHTAR Annaba

Jury de Soutenance :

ARBAOUI Fayçel	Professeur	UBM Annaba	Président
GHERBI Soufiane	Professeur	UBM Annaba	Examineur
SAIDI Mohammed Larbi	Professeur	UBM Annaba	Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Avant tous, Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce travail.

Mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier plus particulièrement Messieurs SAIDI Mohamed Larbi et BENMOUSSA Samir respectivement Encadreur et chef département qui se sont toujours montré à l'écoute et disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu me consacrer et sans eux ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Je remercie tous les enseignants du Département électronique, qui ont partagé leurs savoirs et leurs connaissances pendant tout le processus de mes études

Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce travail.

Résumé :

La régulation industrielle nous offre assez de méthodes de contrôle. L'utilisation de la bonne méthode s'effectue en fonction du type du système considéré. Dans notre cas ,la régulation par logique floue est utilisée pour le réglage du taux de co2 ainsi que l'intensité lumineuse d'une serre agricole . Après modélisation du système, les étapes de conception des régulateurs sont abordées et une simulation avec le logiciel 'MATLAB /SIMULINK' a été réalisée. Une comparaison entre les résultats des régulateur flous et les régulateurs PID a été faite.

Abstract:

Industrial regulation offers us enough control methods. The use of the correct method depends on the type of system considered. In our case, fuzzy logic regulation is used to adjust the level of co2 as well as the light intensity of an agricultural greenhouse. After modeling the system, the design stages of the regulators are discussed and a simulation with "MATLAB / SIMULINK" software has been carried out. A comparison between the results of fuzzy regulators and PID regulators was made.

ملخص

يوفر لنا التنظيم الصناعي طرق تحكم كافية. يعتمد استخدام الطريقة الصحيحة على نوع النظام الذي يتم النظر فيه. في حالتنا ، يتم استخدام التنظيم المنطقي الضبابي لضبط مستوى ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى شدة الضوء في الدفيئة الزراعية. بعد نمذجة النظام ، تمت مناقشة مراحل تصميم المنظمين وتم إجراء محاكاة باستخدام برنامج "MATLAB / SIMULINK". تم إجراء مقارنة بين نتائج المنظمين الضبابي ومنظمي .PID

Sommaire.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Introduction générale.....	1

Chapitre 1 : Généralité sur les serres agricoles

1.Introduction.....	3
2. Principe de régulation du climat.....	3
3. Types de construction.....	3
4. Types de serres.....	4
5. Choix d'emplacement de la serre	5
6. Niveau de lumière requis par les cultures.....	5
7. Aération.....	6
8. Dosage de CO2 dans les serres agricoles.....	6
8.1 Pourquoi le dosage à l'aide de CO2 pur est la meilleure solution pour l'horticulture en serre ?.....	6
8.2 Les avantages du CO2 pur liquide par rapport à la récupération du CO2 provenant des combustibles fossiles.....	6
8.3 La plateforme CO2 d'Air Liquide.....	8
8.4 Installation de dosage du CO2 pur.....	8
8.5 Concentration du CO2 dans une serre	8
8.6 Capteurs de CO2.....	9
8.7 Capteurs de luminosité.....	9
9. Equipement de la serre.....	10
9.1 Les actionneurs.....	10
9.1.1 Générateur d'air.....	10
9.1.2 Extracteurs	11
9.1.3 Doubles parois gonflable	11
9.1.4 Le système de réfrigération (Cooling).....	11
9.1.5 Brasseur d'air	12

9.1.6 Le Fog System	12
9.1.7 Système d'éclairage	13
a) L'éclairage LED	13
Avantages de l'éclairage LED	13
b) Éclairage par lampe de sodium haute pression (SHP)	13
c) Eclairage par lampes fluorescente	14
9.2. Le Microclimat de la serre.....	15
9.2.1 Intérêts de la détermination du microclimat	15
9.2.2 La température.....	15
9.2.3 L'effet de serre	15
9.2.4 Consigne pratique de température ambiante	16
9.2.5 L'humidité	16
a. Consigne pratique d'hygrométrie	16
b. La déshumidification	16
Conclusion	17

Chapitre 2 : Généralité sur la logique floue

1. Introduction.....	19
2.Limites des régulateurs flous.....	19
3. Régulateur de type Mamdani.....	19
4. La régulation par logique floue.....	19
4.1 Historique.....	19
4.2 Notion de commande floue.....	20
4.3 Description d'un procédé.....	20
4.4 Fonction d'appartenance.....	20
4.5 Les opérateurs de la logique floue.....	21
4.5.1 Opérateur NON (complément, négation, inverse).....	21
4.5.2 OpérateurOU (maximum)	22
4.5.3 Opérateur ET (minimum)	22

4.6 Autres réalisations des opérateurs ET et OU.....	23
4.6.1 Opérateurs ET et OU réalisés par opérations arithmétiques.....;	23
4.6.2 Opérateurs ET flou et OU flou.....;	24
4.7 Dédution floue ou inférence.....	24
4.7.1 Inférence avec une seule règle.....	24
4.7.2 Inférence à plusieurs règles.....	25
4.8 Le fonctionnement d'un système flou.....	25
4.9 Conception d'un régulateur par logique floue.....	26
5. Fuzzification.....	27
5.1 Fuzzification pour une grandeur exacte.....	27
5-2 Fuzzification pour une mesure incertaine.....	27
6. Bases de règles et inférences.....	28
6.1 Description par matrice d'inférences.....	28
6.2 Description par tableau d'inférences.....	28
7- Défuzzification.....	28
7.1 Méthode de la moyenne des maximas.....	29
7.2 Méthode du centre de gravité.....	29
8 Les avantages et les inconvénients de la commande floue.....	30
8.1 Avantages:.....	30
8.2 Les inconvénients:.....	30
9. Les domaines d'applications de la logique floue.....	30
Conclusion.....	31

Chapitre 3: Contrôle du CO2 et la lumière d'une serre par régulation floue

Introduction	33
1. Modélisation du système :.....	33
1.1 Modélisation de la partie Dioxyde de carbone:.....	33
a. Flux externe de CO2.....	33
b. Sous Système de CO2	34
1.2 Modélisation de la partie du flux lumineux:.....	34
a. Flux externe de l'intensité lumineuse	34
b. Sous système de lumière :	35
1.3 Entrées/sorties du système :.....	35

2. Régulateur à base de la logique floue :.....	36
2.1 Régulation du CO2 :.....	36
2.1.1 Définition des fonctions d'appartenances :	36
2.1.2 Définition des règles d'inférence :.....	38
2.2 Régulation du flux lumineux :	39
2.2.1 Définition des fonctions d'appartenances :.....	39
2.2.2 Définition des règles d'inférence :.....	41
3. Résultat de simulation :.....	42
3.1 Interprétation des résultats :.....	43
3.1.1 Lumière.....	43
3.1.2 CO2	43
3.2 Comparaison des résultats du régulateur flou avec un régulateur PID	
:cas CO2.....	43
Conclusion générale :.....	45

Liste des figures

Figure 1.1 : Types de serres.....	5
Figure 1.2 : Développement des plantes dans une serre.....	7
Figure 1.3 Capteur de CO ₂	9
Figure 1.4 : Capteur de lumière.....	10
Figure 1.5 : Double parois gonflable.....	10
Figure 1.6 : Chauffage d'air.....	11
Figure 1.7 : Extracteurs.....	11
Figure 1.8 : Double parois gonflable.....	12
Figure 1.9 : Brasseur d'air.....	12
Figure 1.10 : Eclairage LED.....	13
Figure 1.11 :Lampe à sodium haute pression.....	14
Figure 1.12 :Lampe fluorescente.....	14
Figure 2.1 : Classification des personnes en trois ensembles selon la logique floue.....	20
Figure 2.2 : Fonction d'appartenance de formes triangulaire et trapézoïdale.....	21
Figure 2.3 : Opérateur NON.....	21
Figure 2.4 : Opérateur OU	22

Figure 2.5 : Opérateur ET.....	22
Figure 2.6 :Opérateur ET réalisé par la fonction produit	23
Figure 2.7 :Opérateur OU réalisé par la fonction de la somme	24
Figure 2.8 : Schéma de fonctionnement d'un système flou.....	26
Figure 2.9 : Structure interne d'un régulateur par logique floue.....	26
Figure 2.10 : Fuzzification d'une mesure exacte.....	27
Figure 2.11: Fuzzification pour une mesure incertaine.....	28
Figure 3.1 : CO2 Flow	33
Figure 3.2 : Sous système de CO2.....	34
Figure 3.3 : Light Flow.....	34
Figure 3.4 :Sous système de lumière.....	35
Figure 3.5 :Entrées/sorties du système	35
Figure 3.6 : Fonction d'appartenances de l'erreur	36
Figure 3.7 : Fonction d'appartenance de la dérivé de l'erreur.....	37
Figure 3.8: Fonction d'appartenance de la commande	37
Figure 3.9 : Règles d'inférence	38
Figure 3.10 : Fonction d'appartenance de l'erreur	39
Figure 3.11 : Fonction d'appartenance de la dérivé de l'erreur	40
Figure 3.12 : Fonction d'appartenance de la commande	40
Figure 3.13: Règles d'inférence de la lumière	41
Figure3.14: Régulation du CO2.....	42
Figure 3.15 :Régulation du flux lumineux.....	42
Figure 3.16: Comparaison entre le contrôleur PID et le contrôleur floue	44

Liste des tableaux:

Tableau 1. Avantages et inconvénients des différents types de serres.....4
Tableau 2. Table de comparaison entre régulateur floue et régulateur PID.....43

Introduction Générale

De nos jours, l'un des principaux problèmes de l'homme est la gestion alimentaire dans le secteur agricole, ce qui nous amène à penser aux diverses solutions d'optimisation afin d'avoir une meilleure production dans ce domaine .

Alors comment peut-on avoir une production importante avec un meilleur rendement ?

Jour après jour, la culture agricole se développe pour faire face à un marché concurrentiel conditionné par des normes de qualité de plus en plus sévères, les serres agricoles deviennent considérablement sophistiquées grâce aux dernières techniques de contrôle et d'intelligence artificielle, c'est pourquoi les serristes doivent optimiser leurs investissements en maîtrisant les conditions de production.

Pour avoir une production optimale ainsi que les performances souhaitées, il est important de suivre de près le développement des aliments qui sont liées à l'effet des facteurs climatiques de la serre tels que : la température, l'humidité, l'humidité du sol, l'intensité lumineuse et le taux de dioxyde de carbone.

Cette mission est dédiée à l'agriculteur, qui cherche à réduire l'influence du climat afin d'avoir une production parfaite à faible coût, minimiser les erreurs et éviter les catastrophes causées par le manque de ces paramètres climatiques.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés au contrôle du taux de CO₂ ainsi que l'intensité lumineuse, nous allons développer un contrôleur flou qui respecte les performances souhaitées et l'intégrer dans notre boucle d'asservissement afin d'avoir un contrôle optimal des deux paramètres.

Le premier chapitre est dévoué aux différents types de serres, les équipements et les actionneurs généralement utilisés ainsi l'impact de la lumière solaire, la lumière artificielle et le dioxyde de carbone sur les plantes.

Le deuxième chapitre est consacré aux généralités sur la logique floue, ces principes ainsi que les différentes étapes à suivre pour élaborer un contrôleur flou idéal.

Le dernier chapitre mettra l'accent sur l'implémentation des contrôleurs flous dans la serre agricole. Cette partie sera consacrée à la présentation des boucles de régulation, la modélisation des sous systèmes à commander et la conception des régulateurs. Enfin, une interprétation des résultats obtenus ainsi qu'une comparaison entre les régulateur flous et les régulateurs PID ont été réalisées.

Chapitre 1 : Généralités sur les Serres Agricoles

1.1 : Introduction:

Dans toutes les serres agricoles, il existe toujours des périodes pendant lesquelles la température ou l'humidité relative à l'intérieur de la serre devient extrêmement dangereuse pour la survie de la plante, ceci arrive à cause de l'incapacité de l'homme à avoir des jugements précis et rapides.

Beaucoup de systèmes automatiques effectuent des opérations que l'homme est incapable de réaliser. Le contrôle automatique et la régulation peuvent donc se substituer à l'intervention de l'homme en réalisant un meilleur travail et en libérant les contraintes de surveillance.

Les différents contrôles dans une serre s'appliquent sur plusieurs paramètres tels que l'humidité relative de l'air, la température, la luminosité et le taux de dioxyde de carbone (CO₂).

Dans notre travail, nous ne considérerons que deux paramètres : la luminosité et le taux de dioxyde de carbone.

1.2 : Principe de régulation du climat

Dans la culture sous abri, l'objectif principal est de maintenir un régime de température qui répond aux besoins du type de plantes cultivées, les plantes n'exigent pas les mêmes températures optimales, certaines peuvent survivre à une température minimale de croissance.

La maîtrise du climat s'obtient en combinant les sources de chaleurs naturelles et artificielles, l'humidité, les pertes de chaleur, le matériel d'aération et les méthodes de protection contre la lumière, ce n'est pas toujours une tâche aisée les jours de vents froids ou de grand soleil.

D'autres facteurs peuvent également avoir de l'importance pour certains groupes de plantes : humidité, intensité de la lumière et mouvement de l'air [4].

1.3 : Types de construction:

Les serres peuvent être entièrement vitrées ou bien avoir un ou plusieurs côtés en planches ou en briques jusqu'à la hauteur de l'étagères, avec des avantages de chacun et le choix doit dépendre de l'usage que l'on veut faire de la serre, des étagères sont indispensables, le mur peut parfaitement être en dur, des demi parois en brique, en bois ou en polystyrène fournissent une bonne isolation et abaissent les frais de chauffage de la serre, au moment du choix du modèle il faut cependant tenir compte de l'emplacement où elle sera montée, la serre couverte de plastique par exemple résiste moins longtemps dans les endroits très éventés [4].

1.4 : Types de serres:

Nous allons classer les serres dans un tableau, en montrant les avantages et les inconvénients de chaque type:

Type de Serre	Avantages	Inconvénients
Serres fermées en verre	<ul style="list-style-type: none"> → Isolation totale pour la serre, lui permettant de n'être affectées par aucun insecte ni maladie → Gestion de l'humidité → Adaptées à une culture très intensive de la tomate (pied jusqu'à 8 mètres de haut) 	<ul style="list-style-type: none"> → Très onéreuses et destinées à des gros industriels
Serres plastiques Multi chapelles simple ou double paroi	<ul style="list-style-type: none"> → 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 	<ul style="list-style-type: none"> → Manque de luminosité
Serres tunnels	<ul style="list-style-type: none"> → Les plus utilisées par les agriculteurs. Basiques et économiques -> facile à monter -> facile à chauffer 	<ul style="list-style-type: none"> → équipements limité -> hétérogénéité climatique et agronomique -> manque de hauteur -> condition de travail pénible
Serres verres abris perfectionnés permettant une maîtrise du climat	<ul style="list-style-type: none"> → Très lumineuses -> très thermique → Hauteur optimale → Très robustes -> adaptées aux cultures intensives -> pas de pb d'hygrométrie et d'excès de T° 	<ul style="list-style-type: none"> → Plus coûteuses → Plus fragiles (sensibles à la grêle) -> structure lourde

Tableau 1. Avantages et inconvénients des différents types de serres [5]



Figure 1.1 : Types de serres [5]

1.5 : Choix d'emplacement de la serre

Un bon éclairage et une protection contre les vents violents sont les deux facteurs fondamentaux à prendre en considération, le premier est particulièrement important si l'on envisage de cultiver des plantes les mois d'hiver et sans abri, contre les bourrasques. Les pertes de chaleur dépasseront les limites admises, notamment durant les périodes de froid.

Pour profiter au maximum de la lumière du bas soleil d'hiver, la serre doit être montée avec son grand axe dans la direction est-ouest ou le plus près possible de cette orientation. Cette position réduit au minimum l'ombre portée par les poutres des toits et les montants des vitres, elle permet aussi aux rayons du soleil de pénétrer dans la serre sous l'angle le plus efficace.[4]

1.6 : Niveau de lumière requis par les cultures

Les différentes cultures préfèrent des niveaux de lumière différents. Alors que de nombreuses plantes d'intérieur tolèrent des intensités lumineuses de 25 000 à 30 000 Lux. La quantité de lumière qui atteint la majorité des cultures doit être maximisée. Les plantes telles que la rose et l'œillet préfèrent des conditions de lumière plus élevées et tolèrent facilement le plein soleil d'été, tout comme les concombres. L'environnement naturel d'une plante est un bon indicateur de la quantité de lumière qu'une plante préfère.[9]

1.7 : Aération

L'effet de serre qui provoque une rapide accumulation de chaleur à l'intérieur de la serre quand elle est au soleil, il est indispensable d'avoir un système d'aération efficace pour réguler la température, l'aération est également nécessaire pour fournir un apport d'air frais et lutter contre l'humidité.

En effet, l'air confiné offre des conditions idéales pour la propagation des maladies et des parasites.

L'aération doit être considérée comme un facteur contribuant au maintien dans la serre d'un milieu équilibré et son étude ne peut être dissociée de celle du chauffage, et de la régulation de l'humidité.

Pour avoir une aération efficace et complète, la surface totale de l'aérateur doit être égale au moins au sixième de la superficie du sol, et même plus si possible.

Pour une petite serre, il suffit généralement d'aérateur alternée de chaque cotés de l'arête faitière, ou au minimum deux tous les deux mètres dans le cas de grandes serres ou de celles destinées à la culture des plantes alpines, l'idéal est d'installer une série continue d'aérateur le long de chaque côté.

Tous les aérateurs doivent être aisément réglables depuis la position fermée jusqu'à la position grande ouverte ce qui équivaut à une possibilité d'ouverture d'environ 55 degrés.[7]

1.8 : Dosage de CO2 dans les serres agricoles:

1.8.1 : Pourquoi le dosage à l'aide de CO2 pur est la meilleure solution pour l'horticulture en serre ?

Le processus de croissance des plantes est basé sur le principe de la photosynthèse ce qui signifie que le CO2 et le H2O sont absorbés par la plante et transformés sous l'influence de la lumière en sucres, amidon et cellulose.

Le dosage avec du CO2 pur liquide compense cet effet en enrichissant automatiquement l'atmosphère de la serre en CO2 au moment souhaité. Ainsi la concentration correcte en CO2 est garantie en permanence ce qui accroît la récolte des plantes cultivées.

Cette technique est souvent utilisée pour la culture des légumes, des fleurs coupées, des orchidées et des algues.[3]

1.8.2 : Les avantages du CO2 pur liquide par rapport à la récupération du CO2 provenant des combustibles fossiles

Les exploitations horticoles peuvent récupérer du CO2 en brûlant les gaz de combustion de leur unité de cogénération ou chaudière.

Cette méthode présente toutefois des inconvénients, pour commencer, il est souvent impossible d'exploiter (complètement) la chaleur produite, ce qui génère du gaspillage et donc une approche peu durable. De plus, les prix de restitution de l'énergie produite par l'unité de cogénération diminuent de plus en plus, ce qui conduit à un manque à gagner.

Il y a en outre un risque que des substances toxiques et nocives soient libérées lors de la récupération du CO₂. Ces substances, comme l'éthylène, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, l'acétylène ou le propylène peuvent s'accumuler dans la serre et causer des dommages aux cultures. Les risques de problèmes augmentent lorsque l'horticulture en serre recourt de manière croissante aux serres fermées.

La solution d'Air Liquide basée sur le CO₂ dosable, garantit en revanche que l'atmosphère de la serre soit enrichie avec la quantité adéquate de CO₂ pur à chaque fois que cela s'avère nécessaire de sorte que le risque de dommages aux cultures est inexistant.

Le secteur horticole Néerlandais en concertation avec les pouvoirs publics a fixé des objectifs dans le protocole d'accord Schone en zuinige agro sectorielle (secteurs agricoles propres et économes).

Le secteur a entamé la réalisation d'une transition d'au moins 20 % des combustibles fossiles aux sources d'énergie durables, comme les systèmes géothermiques, la chaleur résiduelle industrielle, le chauffage au bois biologique, etc...

D'ici 2050, la conversion devrait être totale. Suite à cette transition, la disponibilité des gaz de combustion du CO₂ va diminuer, de sorte que les exploitations horticoles dépendent d'avantage du CO₂ provenant d'autres sources.

Afin de pouvoir offrir une réponse adéquate, Air Liquide continue à investir en permanence dans l'extension de ses sources de CO₂. Pour que la fiabilité de livraison du CO₂ liquide reste également garantie dans le futur.[3]



Figure 1.2 : Développement des plantes dans une serre.[3]

1.8.3 : La plateforme CO2 d'Air Liquide

Air Liquide possède le plus grand nombre d'usines de CO2 en Europe, réparties stratégiquement dans tout le continent, pour garantir une fourniture fiable, Air Liquide a mis en place une plateforme CO2 spéciale.

Cette plateforme assure :

- La continuité de l'approvisionnement en CO2 pur
- La qualité du CO2 au point de livraison
- La conformité du CO2 par rapport aux normes de sécurité en vigueur

1.8.4 : Installation du dosage du CO2 pur

Le CO2 pur liquide est livré par camion-citerne et déchargé sur place dans un réservoir conçu à cet effet. Les réservoirs d'Air Liquide ont été développés spécialement pour stocker le liquide sous pression et ils satisfont aux exigences strictes de la P.E.D. (Pressure Equipment Directive).

Depuis, le réservoir dont la capacité dépend de la superficie des serres et varie de 6000 à 60000 litres, le CO2 liquide est transporté via des conduites vers le point d'alimentation. Les tuyauteries doivent répondre à des exigences de sécurité strictes et sont posées par les monteurs certifiés, conformément aux normes en vigueur. Pour finir, le CO2 est évaporé au point d'alimentation et dosé dans la serre.

La manière dont le CO2 liquide est évaporé dépend de l'installation déjà présente sur le site du client et est déterminée lors d'une visite du spécialiste. Une solution peut ainsi être élaborée en fonction de nos besoins.

1.8.5 : Concentration du CO2 dans une serre

La réaction des plantes et les considérations économiques déterminent à quel point on peut enrichir la serre en gaz carbonique. Les producteurs de fleurs et de légumes n'interviennent pas nécessairement de la même manière. De façon générale, on recommande un apport de 1000 ppm durant la journée quand les conduits d'aération sont fermés, lorsque ces derniers sont ouverts à 10 % on peut interrompre l'enrichissement en CO2 ou le réduire à 400-600 ppm. Par ailleurs, les concentrations de CO2 peuvent être établies en fonction de l'intensité lumineuse afin d'améliorer l'efficacité économique. Pour la culture de légumes, on recommande un enrichissement de 800 ppm, par temps ensoleillé lorsque les conduits d'aération sont fermés. Par temps couvert, lorsque l'intensité lumineuse est inférieure à 40 watts/m², on recommande de se limiter à un apport de 400 ppm. Toutefois, la plupart des producteurs de fleurs apportent un supplément de 1 000 ppm quelle que soit l'intensité de la lumière. L'ordinateur qui règle l'environnement de la serre peut être programmé pour que la concentration de CO2 s'ajuste en fonction de la mesure de l'intensité lumineuse. Cependant lorsque l'ouverture des conduits d'aération est supérieure à 10 % ou que les ventilateurs d'évacuation fonctionnent au deuxième niveau, on cherche plutôt à maintenir la concentration de CO2 à 400 ppm à l'intérieur du couvert végétal.[11]

1.8.6 : Technologie de capteurs de CO2

Le dioxyde de carbone absorbe la lumière dans la région infrarouge (IR) à la longueur d'onde de 4,26 μm . Cela signifie que lorsque le rayonnement IR traverse le gaz contenant du CO₂, une partie du rayonnement est absorbée. Cela permet de mesurer cette absorbance. Le capteur de dioxyde de carbone CARBOCAP est doté d'un filtre interférométrique Fabry-Pérot (FPI) innovant, micro-usiné et ajustable électriquement. Outre la mesure de l'absorption du CO₂, le filtre FPI permet d'effectuer des mesures de référence au niveau d'une longueur d'onde en l'absence d'absorption. Lorsqu'il utilise les mesures de référence, le filtre FPI est accordé électroniquement pour éviter la longueur d'onde d'absorption.

Cette mesure de référence compense toutes les modifications potentielles de l'intensité de la source lumineuse, ainsi que la contamination ou l'accumulation de saleté sur le chemin optique. Par conséquent, le capteur CARBOCAP est très stable dans le temps. Et en intégrant les deux mesures dans un seul capteur, cette technologie compacte peut être incorporée dans des sondes, modules et transmetteurs de petit format.

Avec la technologie CARBOCAP, les chercheurs n'ont pas à se soucier de la dérive de l'étalonnage ou de la défaillance des capteurs.[6]



Figure 1.3 : Capteur de CO2

1.8.7 : Capteurs de luminosité

Les capteurs de luminosité sont des détecteurs photosensibles ou détecteurs de lumière qui transforment la lumière absorbée en grandeur mesurable, qui est généralement une tension électrique ou un courant électrique. En d'autres termes, il s'agit d'un mécanisme capable de délivrer une énergie électrique en captant de la luminosité.

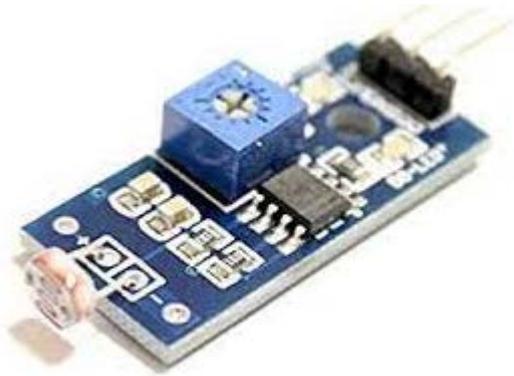


Figure 1.4 : Capteur de lumière

1.9 : Equipement de la serre

1.9.1 : Les actionneurs

1.9.1.1 : Générateur d'air

Les générateurs d'air chaud sont spécialement indiqués lorsqu'il n'existe pas de demande de chauffage importante de façon continue et comme défense ponctuelle face aux gelées avec ce système, il est possible d'obtenir une précocité et productivité majeure dans les saisons froides avec un degré de technicité moyen.[4]



Figure 1.5 : Chauffage d'air [4]

1.9.1.2 : Extracteurs

Les ventilateurs extracteurs permettent de forcer l'aération dans la serre lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit ou du périmètre ne permet pas d'atteindre le taux de renouvellement d'air désiré. Il s'agit d'un besoin essentiel dans la production de cultures et dans les fermes d'élevage. Ils sont indispensables pour un système de refroidissement avec des panneaux évaporateurs et souvent aussi avec des systèmes de brumisation d'eau afin d'obtenir un certain niveau de réfrigération adéquat.[4]



Figure 1.6: Extracteur [4]

1.9.1.3 : Doubles parois gonflables

Le système de double paroi gonflable se base sur la création d'une chambre d'air entre deux couches de film plastique. La chambre d'air est gonflée avec de petits ventilateurs qui insufflent l'air dans la chambre à travers des tuyaux en PVC, cela permet de créer une chambre qui réduit le coefficient de transmission de chaleur vers l'extérieur pour obtenir une économie considérable d'énergie.[4]



Figure 1.7 : Double parois gonflable [4]

1.9.1.4 : Le Système de réfrigération (Cooling)

Ce système de réfrigération par évaporation d'eau est composé d'extracteurs et de panneaux de refroidissement placés sur les parois opposées de la serre pour créer une zone de pression négative dans la serre, cela permet à l'air extérieur de traverser les panneaux humides

en se chargeant avec des molécules d'eau afin de se refroidir et de réduire ainsi la température à l'intérieur de la serre.

1.9.1.5 : Brasseur d'air

Les brasseurs d'air ou ventilateurs permettent d'obtenir un mouvement d'air pour aider à maintenir un climat intérieur homogène de façon à éviter l'accumulation d'air chaud dans la partie supérieure de la serre ce qui réduit considérablement l'effet de condensation de l'eau et favorise la transpiration et l'absorption de CO₂ par les cultures. Ils peuvent aussi être employés comme soutien des extracteurs ou bien comme systèmes d'humidification ou d'application de traitements.



Figure 1.8 : Brasseur d'air [4]

1.9.1.6 : Le Fog System

Il s'agit d'incorporer un grand nombre de micro particules d'eau qui restent suspendues dans l'air de la serre pendant assez de temps pour s'évaporer sans mouiller les cultures. L'eau est incorporée sous forme de brouillard par des buses spéciales distribuées uniformément tout le long de la surface de la serre.

Le Fog System est très pratique pour humidifier et refroidir de façon à contrôler la serre en ayant aussi la possibilité d'effectuer des traitements de désinfection avec des produits phytosanitaires solubles.



Figure 1.9: Le FOG system [4]

1.9.1.7 : Système d'éclairage

La lumière solaire constitue la source la moins chère pour la croissance des plantes mais elle n'est pas toujours disponible, grâce à une lumière d'intérieur, il est possible de mieux maîtriser la croissance des plantes et d'assurer une production effective tout au long de l'année.

a) L'éclairage LED

La technologie LED a de plus en plus de succès comme source d'éclairage innovante dans le secteur mondial de l'horticulture sous serre. L'avenir des lampes LED est prometteur. L'éclairage par LED permet déjà une efficacité supérieure de 30 à 46% ceci s'explique par le fait que les plantes utilisent l'énergie émise par la technologie LED de manière plus efficace que l'énergie émise par les lampes classiques. Les chiffres sont encore plus impressionnants en matière d'économie d'énergie : la différence avec les lampes classiques peut dans certains cas s'élever à 80%. [7]



Figure 1.10: Eclairage LED

Avantages de l'éclairage LED

- Les lampes LED ont par ailleurs une durée de vie prolongée par rapport aux autres lampes classiques qu'on connaît.
- L'installation d'éclairage de croissance avec des LED peut très bien être montée entre les plantations.
- Les lampes LED sont très efficaces et économes en énergie.

b) Éclairage par lampe de sodium haute pression (SHP)

Les lampes à sodium haute pression (SHP) produisent une lumière plus rouge qui peut être comparée à la lumière naturelle d'un coucher de soleil en automne. Une couleur plus jaune/rouge du spectre et moins bleue favorise une fleur haute par rapport aux feuilles. Les lampes à sodium haute pression sont utilisées pendant les heures de faible luminosité ou de totale obscurité. [7]

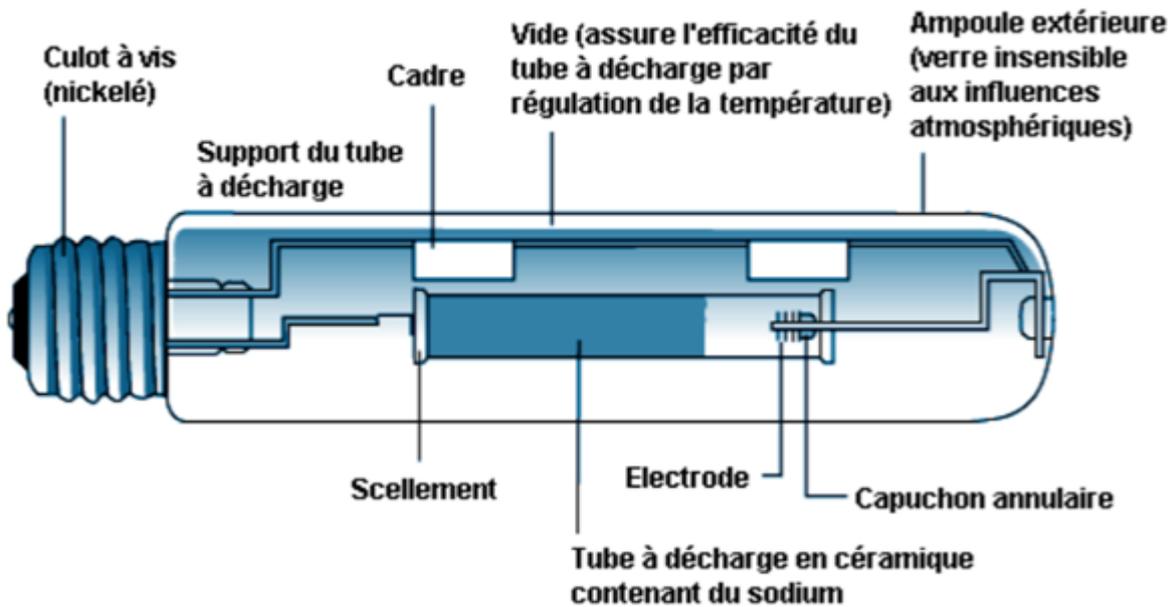


Figure 1.11 : Lampe de sodium à haute pression

c) Eclairage par lampes fluorescentes

Les lampes fluorescentes présentent une intensité plus faible que les lampes au sodium. Comme elles ne dégagent pas beaucoup de chaleur, elles n'assurent pas le support de croissance lorsqu'elles sont placées à proximité de la plante. Elles sont donc idéales pour la propagation et la croissance végétale précoce; Ainsi ne dégageant pas beaucoup de chaleur, elles peuvent être placées à environ 2,5 cm des plantes sans nécessiter la présence d'un système d'aération pour éliminer la chaleur.[7]

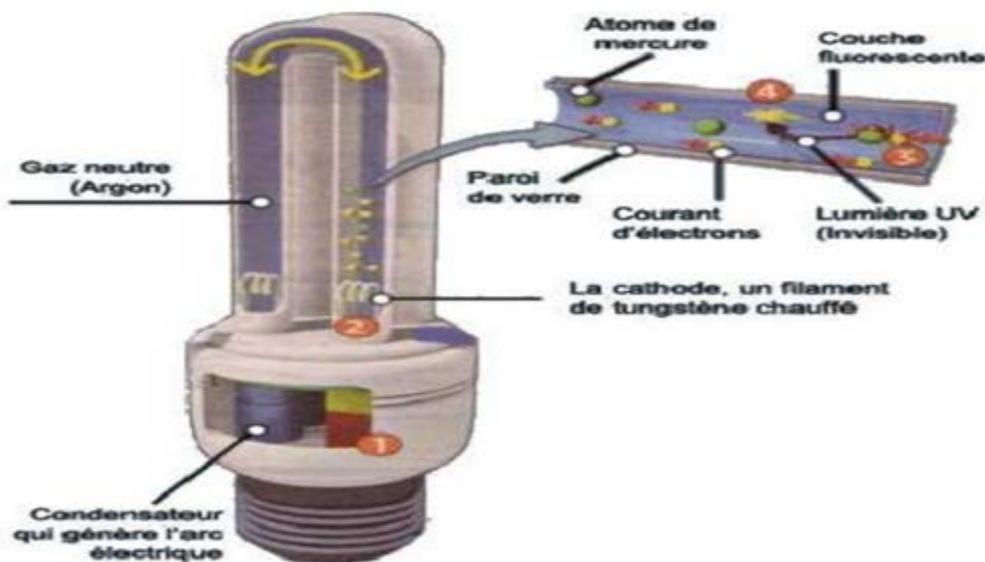


Figure 1.12: Lampe fluorescente

1.9.2 : Le Microclimat de la serre

Les facteurs climatiques qui influent le plus sur le climat à l'intérieur de la serre sont la température, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire et le vent extérieur. En réalité chacun de ces facteurs engendre une combinaison d'effets qui peuvent être favorables ou non à l'aridité des sols extrême, la température et l'humidité interviennent de façon prépondérante dans la croissance et le développement de la végétation puisque les espèces pour lesquelles sont mises en œuvre les techniques de cultures protégées sont essentiellement des espèces de saison chaude adaptées à des températures moyennes mensuelles de l'air se situant entre 17°C et 28°C, ce qui correspond aux conditions limites ci-après : Moyenne mensuelle des températures minimales : 12°C Moyenne mensuelle des températures maximales : 32°C .[4]

1.9.2.1 : Intérêts de la détermination du microclimat

Pour répondre à ces besoins, de nouveaux outils et techniques de production ont été développés.

L'outil serre et ses équipements de chauffage permettent de mieux gérer la croissance des plantes, car la gestion du climat est maîtrisée.

1.9.2.2 : La température

Le contrôle adéquat de la température est le facteur le plus important pour garantir une bonne croissance des plantes. En effet, la température est l'un des paramètres les plus importants dans la gestion du climat mais aussi le plus difficiles à gérer. La température optimale diffère d'une culture à une autre et selon le stade de la culture, elle influe sur plusieurs phénomènes énergétiques (respiration, photosynthèse). Toute grande déviation de la température par rapport aux températures typiques d'une plante provoque un ralentissement de la croissance et la détérioration dans certains cas, de ce fait on note l'importance de ce paramètre dans les systèmes de gestions des serres agricoles.[4]

1.9.2.3 : L'effet de serre

L'effet de serre est le résultat d'interposition entre l'atmosphère et le sol d'un matériau transparent pour les radiations courtes provenant du soleil et absorbant au maximum les radiations longues en provenance du sol.

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 [DT] multipliée par le nombre d'heures pendant lesquelles cette différence existe (H). Effet de serre = DT.H.

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, ce phénomène s'explique par plusieurs raisons :

La nuit, les parois et la toiture échangent de la chaleur avec l'extérieur par conduction, convection et rayonnement; Les fuites potentielles provoquent un renouvellement d'air qui substitue à l'air chaud intérieur l'air froid de l'extérieur, d'autres pertes ont également lieu par

le sol par conduction et évaporation, de plus, la serre ne possédant pas des parois épaisses ne peut emmagasiner beaucoup de chaleur, on dit qu'elle possède une faible inertie thermique.

Elle correspond alors à un volume dans lequel la température s'élève facilement, mais en contrepartie peut rapidement diminuer.

1.9.2.4 Consigne pratique de température ambiante

Nous avons vu que la détermination des consignes de température était très délicate. En attendant de disposer de modèles élaborés prenant en considération la physiologie des plantes, les échanges de chaleur et les données économiques.

Ce sont en général les fournisseurs de matériel végétal qui donnent les meilleurs conseils en matière de consignes de températures.

1.9.2.5 L'humidité

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ambiant, elle influe sur la croissance de la plante et sur le développement des maladies. En pratique, quand on parle de la mesure de l'humidité, on fait allusion au taux d'humidité exprimé en % ce qui représente l'humidité relative. L'humidité de l'air et la température présentent une grande relation.

En effet, la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau double chaque fois que la température augmente d'une dizaine de degrés. Maintenir un niveau d'humidité et de température optimal dans une serre permet d'avoir un bon rendement de croissance. Le contrôle de tous ces paramètres se fait via de nombreux dispositifs des plus simples au plus complexes tels que : l'ouverture des toits ouvrant, les ventilateurs extracteurs, les chauffages, les humidificateurs...

a. Consigne pratique d'hygrométrie

Il n'existe pas de recommandations espèces par espèce, tout au plus peut-on dire que:

Pour la phase de multiplication, l'humidité relative doit être supérieure à 80%. Pour les phases de croissance, de floraison et de fructification, la plupart des plantes s'accommodent d'une humidité relative comprise entre 60 et 80%, à l'exception des plantes vertes et du concombre qui préfèrent une hygrométrie supérieure à 70%, et des plantes succulentes (Cactées) qui préfèrent une humidité relative comprise entre 30 et 60%. La pollinisation de la tomate requiert une humidité relative comprise entre 50 et 70%, on peut aussi donner les conseils généraux suivants : Éviter les condensations, les hygrométries proches de la saturation (100%). Éviter les hygrométries inférieures à 40% des plantes arrosées de manière incorrecte ainsi que les jeunes plantes qui n'ont pas encore été durcis. Éviter absolument les hygrométries inférieures à 20%.

b. La déshumidification

L'humidité de l'air est généralement exprimée en humidité relative ou déficit hydrique. On constate que la technique de déshumidification traditionnellement employée par les producteurs combine l'aération et le chauffage.

Le chauffage permet d'une part de diminuer l'humidité relative de l'air en augmentant la pression de vapeur saturante, d'autre part de faciliter l'évaluation de l'air chaud chargé d'humidité grâce à l'aération.

Cette technique entraîne une perte d'énergie puisqu'une partie de l'énergie dégagée par le chauffage est évaluée par l'aération (cette pratique de la déshumidification représente environ 20 à 30% des dépenses énergétiques).

Conclusion

Le choix d'une structure de serre, des équipements et de la conduite climatique est le maillon clé de la qualité de la serre-culture. Dans ce chapitre nous avons vu les types de serres agricoles les plus en vogue, ensuite nous avons défini les différents composants nécessaires à la gestion efficace des paramètres climatiques sous serre. Enfin nous avons déterminé les paramètres les plus agissants sur la croissance de la culture sous serre. 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.

Chapitre 2 :

Généralités sur la logique floue

2.1 : Introduction

Dans la perspective des sciences, nous pouvons admettre que dans les situations où les méthodes traditionnelles de modélisation à partir d'observations physiques s'avèrent non satisfaisantes, les sciences subjectives, particulièrement la logique floue, peuvent rendre beaucoup de services, dès lors que les connaissances sur la façon de résoudre un problème ,d'effectuer un réglage sont disponibles.

En pratique, la résolution d'un problème concret peut avoir recours à l'utilisation conjointe des méthodes objectives traditionnelles et celles subjectives. La logique floue offre un cadre formel qui n'existait pas auparavant, pour mettre en œuvre de telles méthodes de façon rigoureuse.

2.2 : Limites des régulateurs flous

En technique de régulation traditionnelle, un modèle du système réglé est d'abord mis au point, le régulateur est ensuite projeté sur la base de ce modèle. Par contre le régulateur flou est directement projeté sur la base des expériences découlant des régulateurs existants ou des expériences individuelles, dès lors, les erreurs dans la phase de création ne peuvent guère être corrigées ultérieurement en raison de la complexité croissante du système. Les dépenses pour la mise au point d'un régulateur flou augmente de façon disproportionnée. Il est difficile de trouver la méthode correcte pour la défuzzification. [2]

2.3 : Régulateur de type Mamdani

En 1974, Mamdani présente pour la première fois, la technique de réglage par la logique floue et conçoit le premier contrôleur flou. Ce contrôleur est construit autour d'un organe de décision manipulant des règles subjectives et imprécises comme celles du langage courant qui est appliqué au système, peuvent le contrôler, l'obtention de ces règles auprès des experts qui connaissent bien le système est facile.[2]

2.4 : La régulation par logique floue

2.4.1 : Historique

Les prémisses de la logique floue ont été introduites en 1965 par Lotfi Aliasker Zadeh Automaticien de réputation internationale, Professeur à l'université de Berkeley en Californie a contribué à la modélisation de phénomènes sous forme floue en vue de pallier aux limites dues aux incertitudes des modèles classiques à équation différentielle. En 1974, M. Mamdani expérimentait la théorie énoncée par Zadeh sur une chaudière à vapeur, introduisant ainsi la commande floue dans la régulation d'un processus industriel.

Les éléments de bases de cette logique sont :

Les variables linguistiques

Leurs définitions par des fonctions d'appartenance

La déduction floue ou inférence

Les opérateurs de la logique floue

2.4.2 : Notion de commande floue

La description d'un phénomène, d'une situation ou d'un procédé contient en générale des expressions floues comme : quelques, beaucoup, souvent,... . Ces expressions forment les valeurs des variables linguistiques de la logique floue. Par exemple, les termes « jeune » « âgé », « entre deux âges » formant des ensembles flous, peuvent être considérés comme les valeurs d'une variable linguistique « âge ».[2]

2.4.3 :Description d'un procédé

La commande d'un processus industriel par la logique floue se repose essentiellement sur la description que l'on fait d'un procédé en vue d'un traitement par série d'instructions, cette description sera mise sous la forme :

SI condition1 **ALORS** opération 1, **OU SI** condition2 **ALORS** operation2

ET SI condition n **ALORS** opération n

La formulation de la description nécessitera beaucoup d'expériences de la part de l'opérateur.

2.4.4 : Fonction d'appartenance

On attribue à chaque valeur de la variable linguistique des fonctions d'appartenance dont la valeur varie entre 1 et 0, en tenant compte de la classification en un certain nombre d'ensemble flou. C'est la fuzzification.

Une fonction d'appartenance est notée :

$\mu_E(x)$ où: x est la variable linguistique et E l'ensemble flou concerné

Mais on peut omettre soit l'argument, soit l'indice, ou les deux s'il n'y a pas de confusion. Une valeur précise de la fonction d'appartenance liée à une valeur déterminée de la variable x est dite facteur d'appartenance.

La notion de fonction d'appartenance permet de donner un coefficient de confiance à l'affirmation « x appartient à l'ensemble A ». Par exemple, les fonctions d'appartenance représentant la variable linguistique « âge » peut être représenté par la figure ci-dessous.[2]

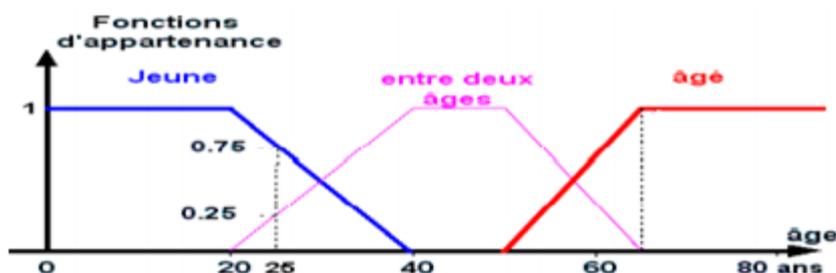


Figure 2.1 : Classification des personnes en trois ensembles selon la logique floue

Ainsi, une personne de 25 ans, aura un facteur d'appartenance $\mu=0.75$ à l'ensemble « Jeune » et $\mu= 0.25$ à l'ensemble « entre deux âges ».

Un système à logique floue comporte : des variables d'entrée sortie, des labels qui représentent les valeurs floues de chaque variable, des fonctions qui définissent le degré d'appartenance des valeurs des variables aux labels. Une valeur mesurée peut appartenir à plusieurs labels avec des degrés divers.

La fonction d'appartenance peut avoir divers formes, mais on peut considérer qu'un fait incertain, tel que x à peu près égal à x_0 , aura une fonction d'appartenance en forme de triangle. L'affirmation de « x à peu près comprise entre x_1 et x_2 » correspond à une fonction trapézoïdale.[2]

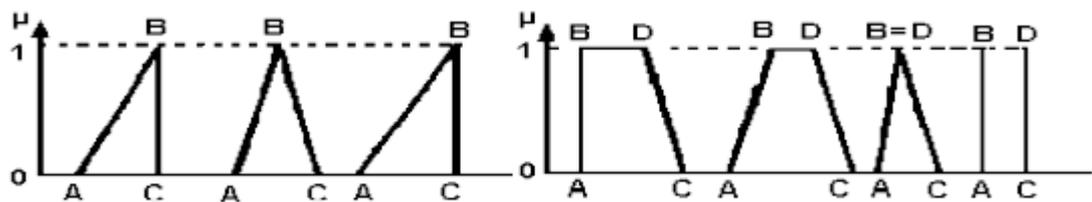


Figure 2.2 : Fonction d'appartenance de formes triangulaire et trapézoïdale

2.4.5 : Les opérateurs de la logique floue

Pour réaliser la déduction floue ou inférence, les variables linguistiques sont reliées entre elles par des opérateurs qui interviennent sur les fonctions d'appartenance représentant les variables linguistiques.

2.4.5.1 : Opérateur NON (complément, négation, inverse)

C'est l'ensemble complémentaire de la théorie des ensembles.

$$C = \bar{A} = \text{NON}(A).$$

On peut l'exprimer par les fonctions d'appartenance de la manière suivante :

$$\mu_C(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (2.1)$$

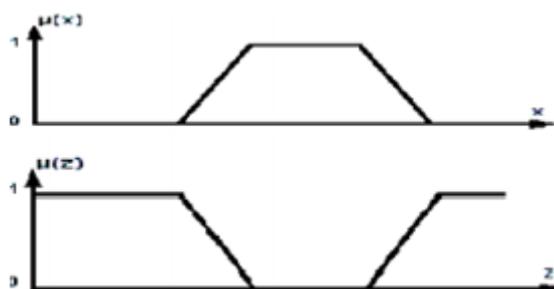


Figure 2.3 : Opérateur NON

2.4.5.2 : Opérateur OU (maximum)

C'est la réunion de deux ensembles.

$$C=A\cup B=A \text{ OU } B$$

La réalisation de l'opérateur « OU » au niveau de la logique floue se fait en général par la formation du maximum appliquée aux fonctions d'appartenance $\mu A(x)$ et $\mu B(y)$ des deux ensembles A et B. On a donc l'opérateur maximum.

$$\mu_C(z) = \mu_{A\cup B}(z) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (2.2)$$

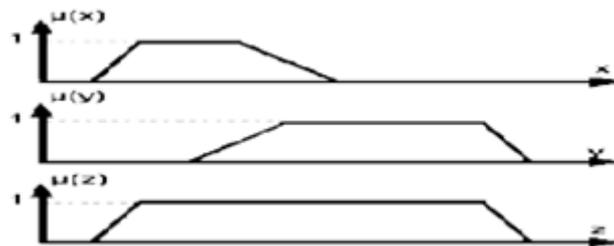


Figure 2.4 : Opérateur OU

Il faut remarquer qu'il est possible que la fonction d'appartenance résultante $\mu C(z)$ atteigne deux fois la valeur 1. L'opérateur maximum est commutatif et associatif.

2.4.5.3 : Opérateur ET (minimum)

L'opérateur ET correspond à l'intersection de deux ensembles A et B, et on écrit : $C=A\cap B=A \text{ ET } B$.

Dans le cas de la logique floue, l'opérateur ET est réalisé par la formation du minimum, appliquée aux fonctions d'appartenance $\mu A(x)$ et $\mu B(y)$ des deux ensembles A et B.

$$\mu_C(z) = \mu_{A \text{ et } B}(z) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (2.3)$$

L'opérateur minimum est commutatif et associatif. [2]

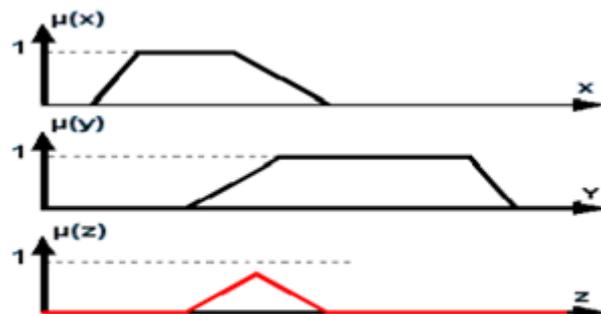


Figure 2.5 : Opérateur ET

Il est possible que la fonction d'appartenance résultante n'atteigne pas la valeur 1. Ces opérateurs sont les plus utilisés pour le réglage par la logique floue, cependant on peut utiliser d'autres réalisations de ces opérateurs soit pour simplifier le traitement numérique soit pour mieux tenir compte des opérations floues.

2.4.6 : Autres réalisations des opérateurs ET et OU

2.4.6.1 : Opérateurs ET et OU réalisés par opérations arithmétiques

Souvent, l'opérateur ET est réalisé par la formation du produit appliqué aux fonctions d'appartenance selon la relation :

$$\mu_C(z) = \mu_A \text{ ET } \mu_B(z) = \mu_A(x) \mu_B(y) \quad (2.4)$$

On a alors l'opérateur produit.

La fonction d'appartenance résultante est toujours inférieure ou égale à 1. Elle reste donc à l'intérieur de l'intervalle $0 \leq \mu \leq 1$. L'opérateur produit est utilisé dans le domaine du réglage et de la commande par logique floue comme alternative à l'opérateur minimum.[2]

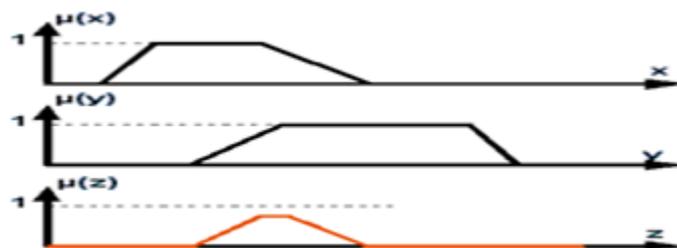


Figure 2.6: Opérateur ET réalisé par la fonction produit

De la même manière, on réalise l'opérateur OU par la formation de la valeur moyenne de la somme des fonctions d'appartenance, définies par :

$$\mu_C(z) = \mu_A \text{ ou } \mu_B(z) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(y)}{2} \quad (2.5)$$

On parle alors de l'opérateur somme.

La somme est divisée par 2. En effet, il est fort possible que la somme $[\mu_A(x) + \mu_B(y)]$ dépasse le domaine admissible $[0,1]$. Afin que cette somme reste dans le domaine défini, on peut l'écrêter ou la normaliser. Dans ce cas, il est possible d'étendre la règle de calcul ci-dessus à plusieurs termes. Il faut alors diviser la somme par le nombre de termes afin d'obtenir une normalisation simple.[2]

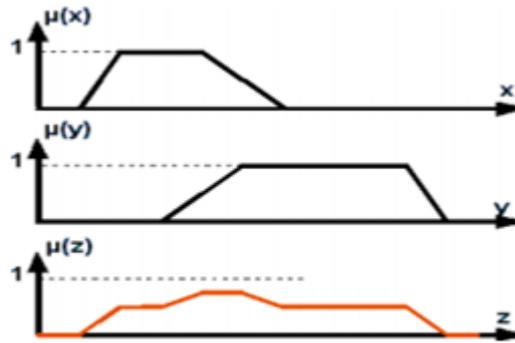


Figure 2.7: Opérateur OU réalisé par la fonction de la somme

2.4.6.2 : Opérateurs ET flou et OU flou

Les opérateurs ET flou et OU flou sont des opérateurs combinés entre l'opérateur minimum et la moyenne arithmétique.

Les opérateurs ET flou et OU flou sont respectivement définis par :

$$\mu c(z) = \mu A \text{ et } B(z) = \gamma \min[\mu A(x), \mu B(y)] + (1 - \gamma) / 2 [\mu A(x) + \mu B(y)] \quad (2.6)$$

$$\mu c(z) = \mu A \text{ ou } B(z) = \gamma \max[\mu A(x), \mu B(y)] + (1 - \gamma) / 2 [\mu A(x) + \mu B(y)] \quad (2.7)$$

Avec le facteur $\gamma \in [0,1]$ il est possible de pondérer l'influence des deux termes.

Pour $\gamma = 1$, on aboutit respectivement à l'opérateur minimal ou maximal. Par contre pour $\gamma = 0$, on obtient pour les deux opérateurs la moyenne arithmétique correspondant à l'opérateur somme. Dans ce cas où le ET flou et le OU flou se confondent, on peut étendre les deux opérateurs ET flou et le OU flou à trois ou à plusieurs termes. La somme qui apparaît entre crochets doit alors être divisée par le nombre de termes de la somme. [2]

2.4.7 :Dédution floue ou inférence

En général, plusieurs valeurs de variables linguistiques convenablement définies par des fonctions d'appartenance sont liées entre elles par des règles. Dans ce contexte, on peut distinguer deux genres de règles d'inférence :

- Inférence avec une seule règle
- Inférence avec plusieurs règles

Dans les inférences de régulateur par logique floue interviennent les opérateurs ET et OU.

L'opérateur ET s'applique aux variables à l'intérieur d'une règle, tandis que l'opérateur OU lie les différentes règles.[2]

2.4.7.1 :Inférence avec une seule règle

Le cas d'une inférence avec une seule règle se présente lorsqu'il faut comparer plusieurs concurrents (objets ou personnes) dans une certaine situation et en choisir l'optimum. Les variables qui déterminent la situation sont des variables floues. On trouve

cette problématique essentiellement dans les domaines non techniques où il faut prendre une décision comme par exemple l'achat d'un appareil, le recrutement d'un employé, etc.

Si x_1, x_2, \dots, x_n sont les variables linguistiques pour évaluer une certaine situation, le critère y pour la prise de décision peut être formulé par une règle, comme par exemple:
 $y = [x_1 \text{ OU } (x_2 \text{ ET } x_3) \text{ OU } \dots] \text{ ET } x_n$

La forme exacte de cette règle dépend évidemment du problème en question. Elle est subjective et possède souvent un certain caractère arbitraire. A chaque variable floue x_i correspond une fonction d'appartenance. On peut alors déterminer le facteur d'appartenance μ_y pour le critère d'évaluation y et en choisir le plus élevé. [2]

2.4.7.2 : Inférence à plusieurs règles

Le cas d'une inférence avec plusieurs règles se présente essentiellement pour des problèmes de réglage et de commande par logique floue, dans lesquelles une ou plusieurs variables linguistiques nécessitent une prise de décision suivant les valeurs qu'atteignent ces variables. Les règles peuvent alors être exprimées sous la forme générale:

Opération := **SI** condition 1, **alors** opération 1, **OU**

SI condition 2, **alors** opération 2, **OU**

SI condition 3, **alors** opération 3, **OU**

SI condition **m**, **alors** opération **m**,

On retrouve ici le formalisme de description d'un procédé. Les conditions peuvent dépendre d'une ou plusieurs variables. A chaque variable sont attribuées des fonctions d'appartenance tenant compte des ensembles flous formés par ces variables.

Selon la réalisation des opérateurs utilisés pour relier les différentes règles, on peut distinguer les méthodes d'inférence suivante :

Méthode d'inférence max -min

Méthode d'inférence max -prod

Méthode d'inférence somme -prod

Les inférences avec plusieurs règles sont caractérisées par le fait qu'en général plusieurs règles sont plus ou moins simultanément vérifiées. Ici encore, il faut remarquer que la formulation exacte des inférences dépend du comportement statique et dynamique du système à régler et de l'organe de commande ainsi que des buts du réglage. [2]

2.4.8 : Le fonctionnement d'un système flou

Le principe d'un système flou, c'est de pouvoir calculer des paramètres de sorties en fournissant au système un ensemble de règles formulées en langage naturel. Pour qu'il y ait compatibilités entre les données capteurs, les règles et les paramètres de sortie, on doit décomposer un système flou en trois parties.

La première partie qui permettra de traduire une donnée numérique provenant d'un capteur en une variable linguistique s'appelle la fuzzification. Grâce à une fonction d'appartenance créée par le concepteur du système flou, on va pouvoir transformer une donnée capteur quantitative en variable linguistique qualitative (par exemple, une donnée provenant d'un capteur pourrait être distance=10.56 mètre. Après fuzzification, on aurait donc distance=30%proche, 50%moyen, 20%loin)

La seconde partie est le moteur d'inférence qui se chargera d'appliquer chacune des règles d'inférence. Ces règles d'inférence représentant les connaissances que l'on a du système dû à l'expertise humaine. Chaque règle générera une commande de sortie.

Enfin, la troisième étape est la défuzzification. C'est l'étape permettant de fusionner les différentes commandes générées par le moteur d'inférence pour lui donner qu'une seule commande de sortie et de transformer cette variable linguistique de sortie en donnée numérique.[1]

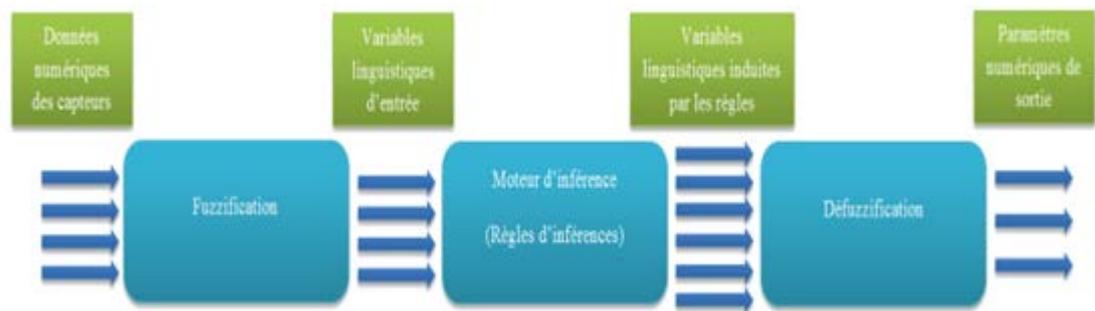


Figure 2.8: Schéma de fonctionnement d'un système flou

2.4.9 : Conception d'un régulateur par logique floue:

Par opposition à un régulateur standard, le régulateur par logique floue ne traite pas une relation bien définie (algorithme de réglage), mais utilise des inférences avec plusieurs règles se basant sur des variables linguistiques.

Un régulateur par logique floue est constitué de trois parties :

-Fuzzification,- Inférence,- Défuzzification



Figure 2.9 : Structure interne d'un régulateur par logique floue

2.5 : Fuzzification [2]

La fuzzification consiste à définir les fonctions d'appartenance pour les variables du système (variables d'entrée et variables de sortie). On réalise ainsi le passage des grandeurs physiques en variables linguistiques qui peuvent alors être traitées par des inférences.

Les opérateurs utilisés dans la commande floue agissent sur des sous-ensembles flous. Par conséquent, il est nécessaire de transformer les variables non floues provenant du monde extérieur en des sous-ensembles flous. Il existe plusieurs façons pour réaliser la fuzzification

2.5.1 : Fuzzification pour une grandeur exacte [2]

Le choix de l'opérateur de fuzzification dépend de la confiance que l'on accorde à la mesure effectuée. Ainsi si la mesure x_0 est exacte, les sous ensemble flou X_0 doivent être représentés par un fait précis. Par conséquent on utilise comme opérateur de fuzzification la transformation dite de singleton. La fonction d'appartenance du sous -ensemble flou X_0 est alors définie par: $\mu_{x_0} : U \rightarrow U$

$$\mu_{x_0}(x) = 1 \text{ si } x = x_0 \quad (2.8)$$

$$\mu_{x_0}(x) = 0 \text{ si } x \neq x_0 \quad (2.9)$$

La figure illustre ce propos.

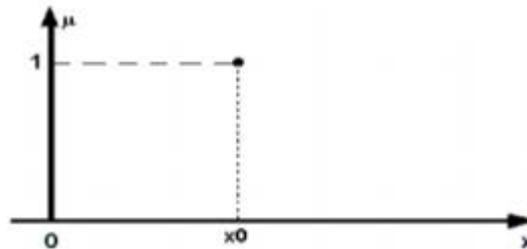


Figure 2.10 : Fuzzification d'une mesure exacte

2.5.2 : Fuzzification pour une mesure incertaine [2]

Par contre, si la mesure de la variable est incertaine, le sous ensemble flou x_0 doit être représenté par un fait imprécis. On utilise alors une méthode de fuzzification qui associe à la variable mesurée x_0 une fonction d'appartenance.

Cela peut s'exprimer par :

$$\mu_{x_0}(x) = \max\{0 ; 1 - \frac{|x-x_0|}{s}\} \quad (2.10)$$

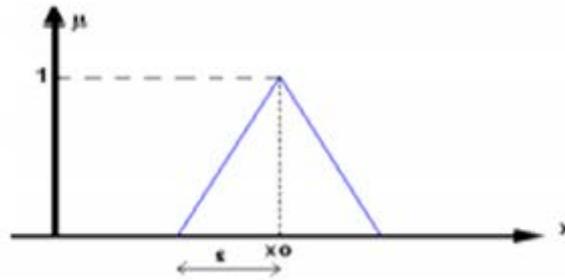


Figure 2.11: Fuzzification pour une mesure incertaine

2.6 : Bases de règles et inférences

Comme on l'a vu dans les paragraphes précédents, on utilise des inférences avec plusieurs règles pour le réglage par logique floue. La description des règles d'inférence est alors une étape très importante. Il existe plusieurs manières d'exprimer les inférences, mais les plus pratiques sont la description par matrice d'inférence et la description par tableau d'inférence.

2.6.1 : Description par matrice d'inférences

À l'intersection d'une ligne et d'une colonne se trouve l'ensemble correspondant de la variable de sortie. Les variables d'entrées sont liées par l'opérateur ET, tandis que les variables de sortie des diverses règles sont à combiner par l'opérateur OU, afin d'obtenir la variable de sortie de l'inférence. Si toutes les positions de la matrice d'inférence sont remplies, on parle de règle d'inférence complète, si non, on parle de règle d'inférence incomplète.

Cependant, ce genre de description devient complexe lorsqu'il y a plus de trois ou quatre variables et si ces derniers sont subdivisés en un nombre élevé d'ensemble. [2]

2.6.2 : Description par tableau d'inférences

Cette description se prête bien à un nombre élevé de variables et surtout à des systèmes avec plusieurs variables de sortie. Pour chaque règle, il y a une ligne indiquant les ensembles des variables d'entrée qui sont liées par l'opérateur ET et montre l'ensemble correspondant pour chaque variable de sortie. Les opérations multi variables des inférences s'obtiennent par combinaison avec l'opérateur OU sur chaque variable de sortie.

2.7 : Défuzzification

La dernière étape pour avoir un système flou opérationnel s'appelle la défuzzification. Lors de la seconde étape, on a généré un tas de commandes sous la forme de variables linguistiques (une commande par règle). Le but de la défuzzification est de fusionner ces commandes et de transformer les paramètres résultants en donnée numérique.

L'étape de défuzzification se déroule en deux temps :

D'abord, il faut fusionner les variables linguistiques communes à l'aide d'un opérateur de la logique floue choisi par le concepteur du système. Si on a plusieurs règles d'inférence qui génèrent plusieurs valeurs de la même variable linguistique, on peut choisir un opérateur pour combiner les valeurs de la variable. Cet opérateur sera dans la grande majorité des cas, le OU logique utilisant l'opérateur de maximalité. Par exemple, si on a trois règles qui génèrent la variable linguistique *accélère fortement* à 20%, 25% et 35%. Il en résulte que la variable *accélère fortement* aura pour valeur finale 35%.

Dans un second temps, nous pouvons réellement entamer la partie délicate de la défuzzification. On a une série de variables linguistiques qui caractérisent une seule et même donnée. Par exemple, on peut avoir trois variables linguistiques : accélération forte à 35%, accélération moyenne à 80% et accélération faible à 0% qui qualifie l'accélération. Ces variables linguistiques possèdent chacune une fonction d'appartenance. Défuzzifier la donnée d'accélération revient donc à trouver la meilleure valeur quantitative en fonction des fonctions d'appartenances des variables linguistiques.

Il existe plusieurs méthodes pour défuzzifier. Parmi les plus utilisés, on peut citer la méthode de la moyenne des maximas et la méthode du centre de gravité. [1]

2.7.1 : Méthode de la moyenne des maximas

La méthode de la moyenne des maximas revient à prendre l'abscisse correspondant à la moyenne des abscisses ayant pour ordonnée la valeur maximale des fonctions d'appartenance. Dans le cas précédent, le maximum de la fonction d'appartenance, c'est 80% pour la variable linguistique accélération moyenne. Il faut donc faire la moyenne des abscisses pour lesquels la fonction d'appartenance accélération moyenne est supérieure ou égale à 80%.

D'un point de vue formel, la méthode de la moyenne des maximas s'exprime de cette façon :

$$\text{Valeur} = \frac{\int_S x \cdot dx}{\int_S dx} \quad (2.11)$$

avec $S = \{x, \mu(x) = \sup(\mu(x))\}$

2.7.2 : Méthode du centre de gravité

La seconde méthode est la méthode du centre de gravité. Elle consiste à prendre l'abscisse correspondant au centre de gravité de la fonction d'appartenance.

Formellement, on l'exprime comme :

$$\text{Valeur} = \frac{\int_S \mu(x) \cdot x \cdot dx}{\int_S \mu(x) \cdot dx} \quad (2.12)$$

Avec S, le domaine de la fonction d'appartenance.

La défuzzification est une partie délicate à implémenter dans un système flou. En effet, elle consomme généralement pas mal de ressources informatiques pour pouvoir transformer les variables linguistiques en données numériques, car dans cette partie, on manipule des fonctions. Ceci peut être un point critique dans un système embarqué et le choix de la méthode de défuzzification y est donc crucial.

2.8 : Les avantages et inconvénients de la commande floue

2.8.1 : Avantages:

1. Robustesse de la commande floue vis-à-vis des incertitudes.
2. La possibilité d'implémenter des connaissances (linguistique) de l'opérateur de processus.
3. La maîtrise du système à régler avec un comportement complexe (fortement non linéaire et difficile à modéliser).
4. L'emploi possible aussi pour les processus rapides (grâce à des processeurs dédiés).
5. La disponibilité de systèmes de développement efficaces soit pour microprocesseurs ou PC (solution logicielle), soit pour circuits intégrés (processeur dédiés, solution matérielle).

2.8.2 : Les inconvénients:

1. Le manque de directives précises pour la conception d'un réglage (choix des grandeurs à mesurer, détermination de la fuzzification, des inférences et de la défuzzification).
2. L'approche artisanale et non systématique (implémentation des connaissances de l'opérateur souvent difficile).
3. L'impossibilité de la démonstration de la stabilité du circuit de réglage en toute généralité (en l'absence d'un modèle valable)
4. La possibilité d'apparition de cycles limites à cause du fonctionnement non linéaire.
5. La précision de réglage est souvent peu élevée.
6. La cohérence des inférences non garanties a priori (apparition de règles d'inférence contradictoires possible).

2.9 : Les domaines d'applications de la logique floue

1. En automatisme, pour faire de la commande et de la régulation floue, etc.
2. En traitement du signal, pour faire de la fusion de données, de la classification, de la reconnaissance de forme ou de la recherche d'information, etc.
3. En robotique, pour faire de la planification de trajectoire, etc.
4. En traitement d'image, pour atténuer le bruit d'une image, pour faire de l'interpolation, etc. Médecine (aide au diagnostic, guidage de systèmes chirurgicaux (laser chirurgie de l'œil par exemple, etc.).
5. Contrôle aérien
6. Gestions des feux de circulations
7. Assurances et finances (préventions des risques, aide à la décision)
8. Environnement (météo, etc.)
9. Robotique (freins ABS, machines à laver, etc.)

Conclusion:

Dans ce chapitre, on a présenté les notions élémentaires et principales pour élaborer un régulateur flou.

D'abord, on a mentionné les opérateurs de la logique floue, les fonctions d'appartenances, les inférences ainsi que les types d'inférences, puis on a expliqué le fonctionnement d'un système floue, enfin on a cité les avantages et les inconvénients de la commande floue avec les domaines d'applications.

Chapitre 3:

Contrôle du CO₂ et la lumière d'une serre par régulation floue

INTRODUCTION :

Nous allons décomposer ce chapitre en 3 parties :

La première partie est dédiée à la modélisation des sous-systèmes de CO2 et de la lumière ainsi que les différents capteurs utilisés dans le système.

La deuxième partie est consacrée à une étude par logique floue où on va choisir les différentes fonctions d'appartenance, leurs intervalles ainsi que les règles d'inférence afin d'élaborer le régulateur floue idéal

La dernière partie présente les résultats de simulation avec une comparaison entre le régulateur flou et le régulateur PID.

3.1 : Modélisation du système :

Le système global est composé de deux sous systèmes intégrés dans une seule boucle d'asservissement, dans cette partie, nous allons modéliser le sous système de dioxyde de carbone ainsi que le sous système de la lumière

3.1.1 :Modélisation de la partie Dioxyde de carbone:

a. Flux externe de CO2

Sous-système permettant de calculer le flux de CO2 dans la serre en fonction du CO2 de la serre et du CO2 extérieur.

$$\text{Flux de CO2} = \text{Coefficient de CO2} * (\text{CO2 extérieure} - \text{CO2 ambiant}). \quad (3.1)$$

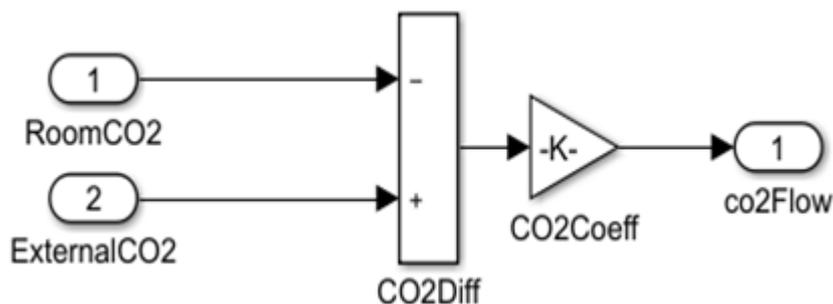


Figure 3.1 : CO2 Flow

b. Sous Système de CO2

Le sous système de CO2 est exprimé par l'équation suivante :

$G_{HCO_2} = \text{La commande} + \text{CO}_2 \text{ Flow} + \text{Room CO}_2$

$G_{CO_2} = \text{Coefficient de CO}_2 * (\text{CO}_2 \text{ extérieure} - \text{CO}_2 \text{ ambiant}) + \text{Commande} + \text{Room CO}_2$ (3.2)

La Figure 3.2 Présente le schéma bloc du sous système de CO2 dans la serre .

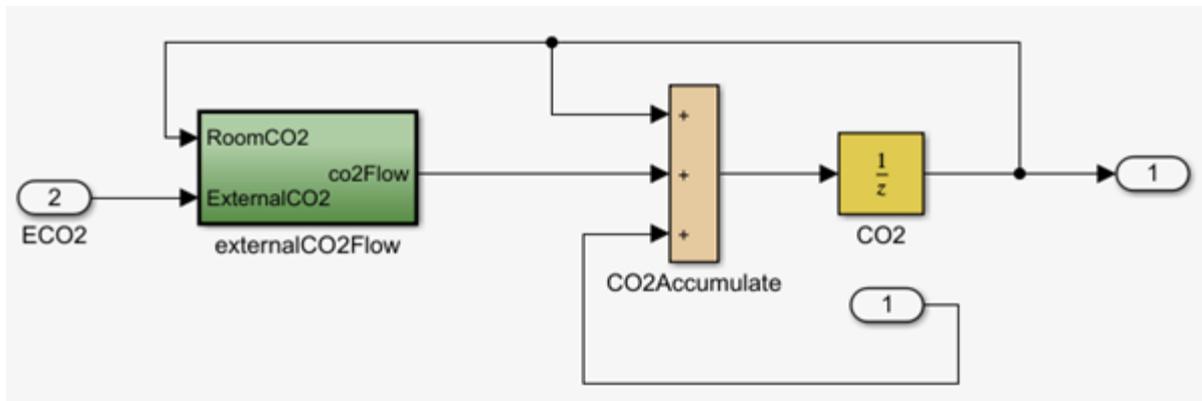


Figure 3.2 : Sous système de CO2

3.1.2 : Modélisation de la partie du flux lumineux:

a. Flux externe de l'intensité lumineuse

Sous-système permettant de calculer le flux lumineux dans la serre en fonction de l'intensité lumineuse de la serre et l'intensité lumineuse extérieure.

Flux lumineux = Coefficient de l'intensité * (intensité extérieur - intensité ambiante). (3.3)

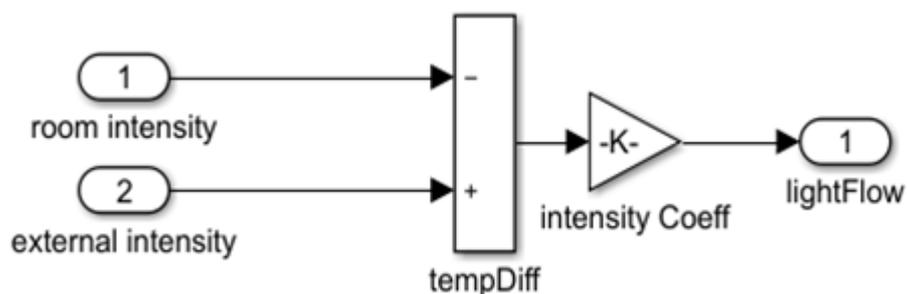


Figure 3.3 : Light Flow

b. Sous système de lumière :

Le sous-système de la lumière est exprimé par l'équation suivante :

$$GH \text{ lum} = La \text{ commande} + LightFlow + Room \text{ intensity}$$

$$GH \text{ lum} = la \text{ commande} + Coefficient \text{ de l'intensité} * (intensité \text{ extérieur} - intensité \text{ ambiante}) + room \text{ intensité.} \quad (3.4)$$

La figure 3.4 Présente le schéma bloc du sous système de lumière dans la serre.

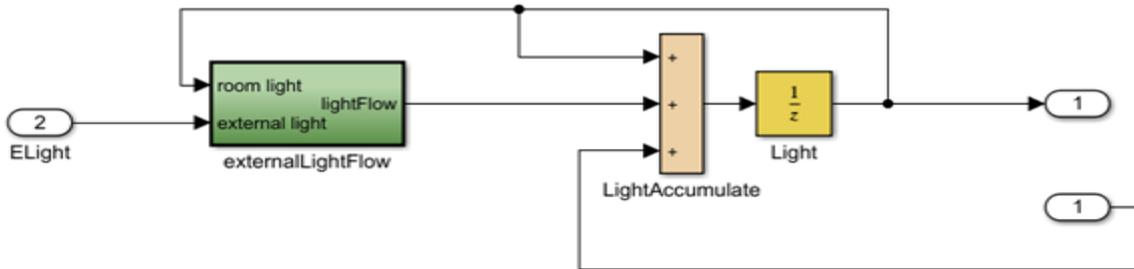


Figure 3.4 : Sous système de lumière

3.1.3 : Entrées/sorties du système :

N'importe quel système possède des entrées/sorties, dans notre serre, les entrées sont des actionneurs qui attaquent la serre, les sorties sont des capteurs qui mesurent l'information requise.

Dans notre boucle d'asservissement, on considère que le régulateur flou est l'entrée de la serre, les capteurs sont des gains, la figure suivante illustre ce propos.

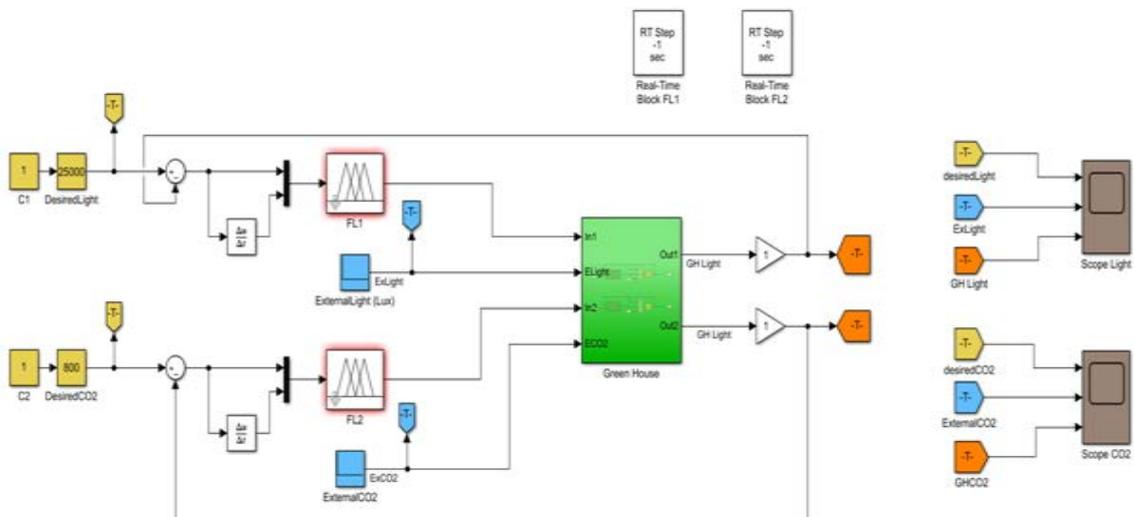


Figure 3.5 : Entrées/sorties du système

3.2 : Régulateur à base de la logique floue :

3.2.1 : Régulation du CO2 :

Pour le réglage du dioxyde de carbone, on a choisi la consigne de 800 ppm, ainsi que la valeur 200ppm qui présente le taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Notre régulateur flou du type Mamdani possède deux entrées et une sortie.

L'erreur ε qui représente la différence entre la consigne et la sortie réelle.

La variation de l'erreur pour avoir plus de précision dans nos résultats.

La fuzzification des variables de commande pour le réglage de la lumière donne les variables linguistiques suivantes :

$$T(\varepsilon) = (N1, Z1, P1)$$

$$T(\Delta\varepsilon) = (N2, Z2, P2)$$

$$T(\text{commande}) = (NG, N, Z, P, PG)$$

On a utilisé la méthode du centre de gravité pour la défuzzification des variables de commande.

3.2.1.1 : Définition des fonctions d'appartenances :

Après plusieurs essais, nous avons pu définir les formes des fonctions d'appartenances ainsi que leur intervalle. On vous présente les fonctions d'appartenance de notre régulateur flou :

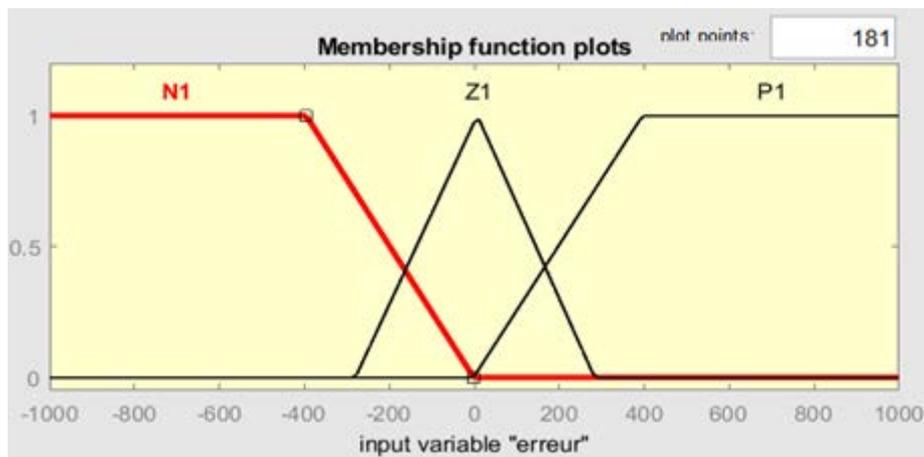


Figure 3.6 : Fonction d'appartenances de l'erreur

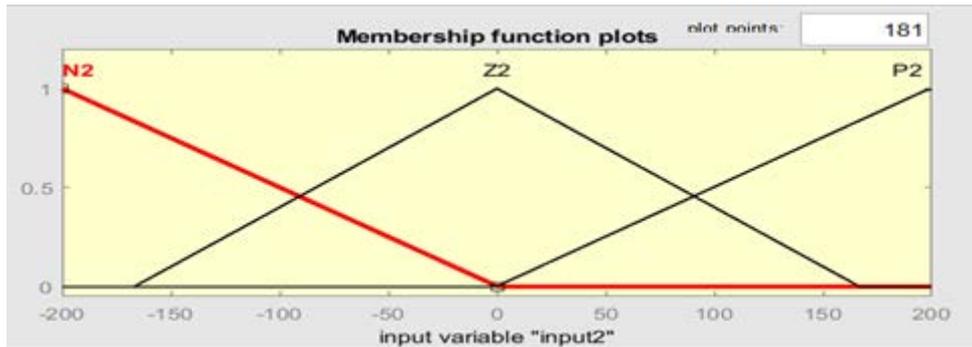


Figure 3.7 : Fonction d'appartenance de la dérivé de l'erreur

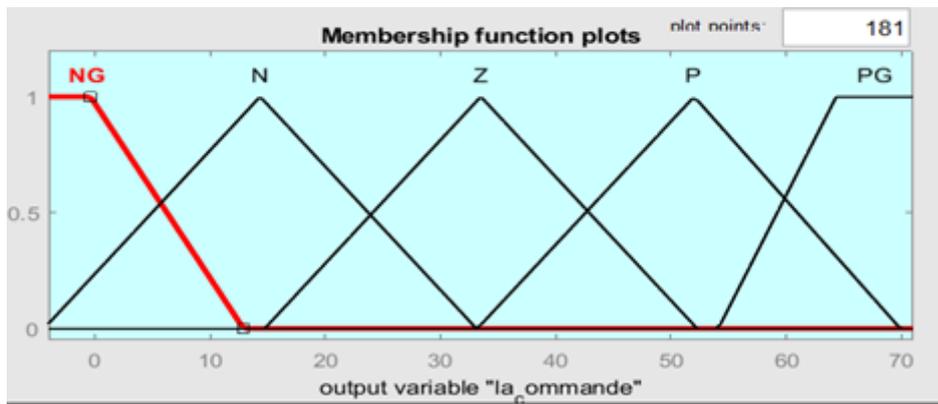


Figure 3.8: Fonction d'appartenance de la commande

3.2.1.2 : Définition des règles d'inférence :

Selon les connaissances des experts, nous avons pu définir les règles d'inférences de notre régulateur flou :

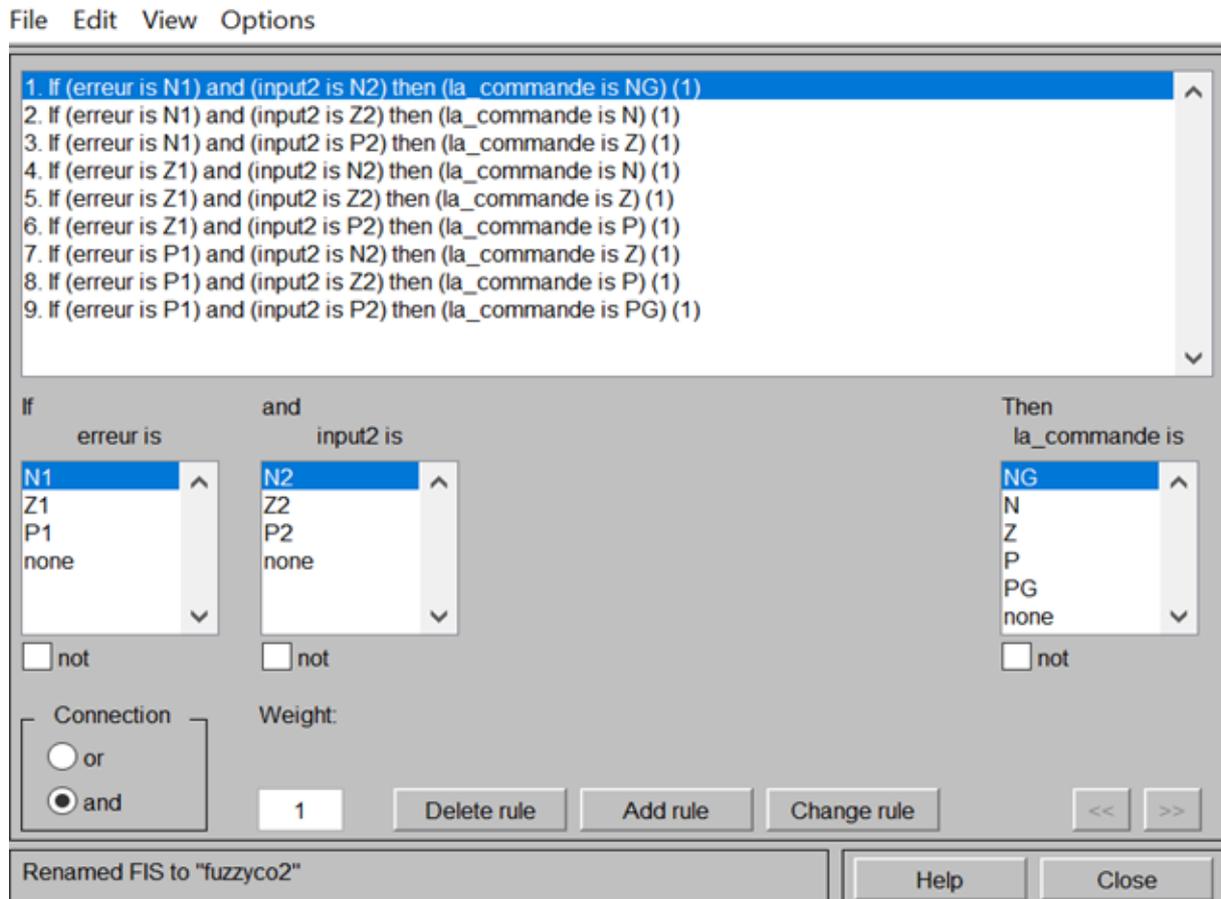


Figure 3.9 : Règles d'inférence

3.2.2 Régulation du flux lumineux :

Pour le réglage de la lumière, on a choisi la consigne à 25000 Lux ainsi que la valeur de 30000 Lux qui présente la quantité de lumière présente dans la serre, on va simuler notre système dans une heure de temps.

Notre régulateur flou possède deux entrées et une sortie :

L'erreur ϵ qui représente la différence entre la consigne et la sortie réelle.

La variation de l'erreur pour avoir plus de précision dans nos résultats

La fuzzification des variables de commande pour le réglage de la lumière donne les variables linguistiques suivantes :

$$T(\epsilon) = (N1, Z1, P1)$$

$$T(\Delta\epsilon) = (N2, Z2, P2)$$

$$T(\text{commande}) = (NG, N, Z, P, PG)$$

On a utilisé la méthode du centre de gravité pour la défuzzification des variables de commande.

3.2.2.1 Définition des fonctions d'appartenances :

Après plusieurs essais, nous avons pu définir les formes des fonctions d'appartenances ainsi que leur intervalle, on vous présente les fonctions d'appartenance de notre régulateur flou :

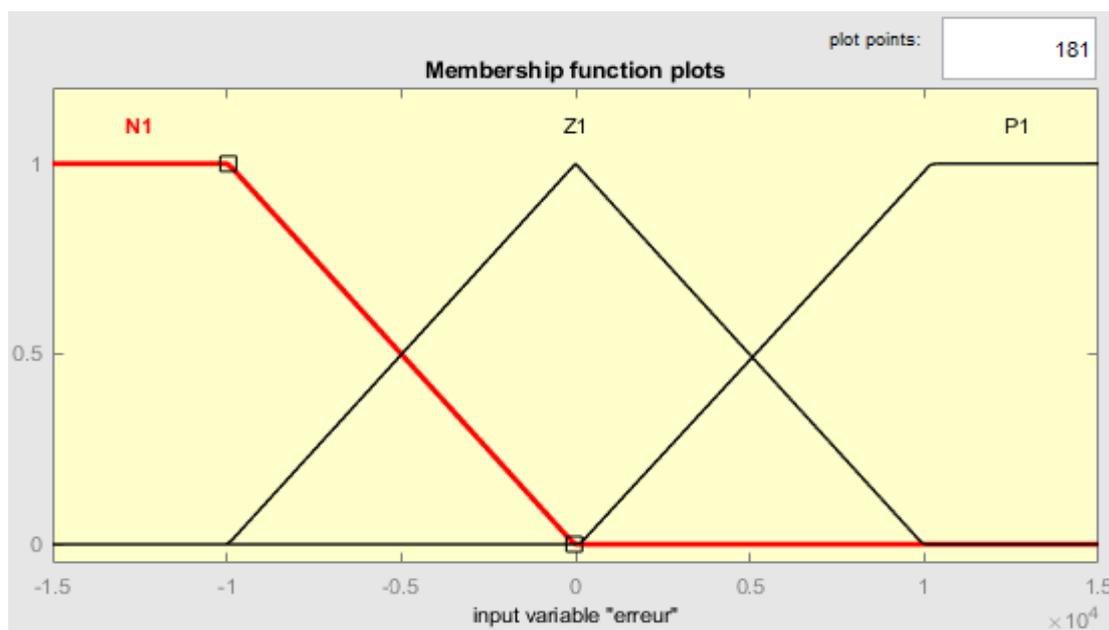


Figure 3.10 : Fonction d'appartenance de l'erreur

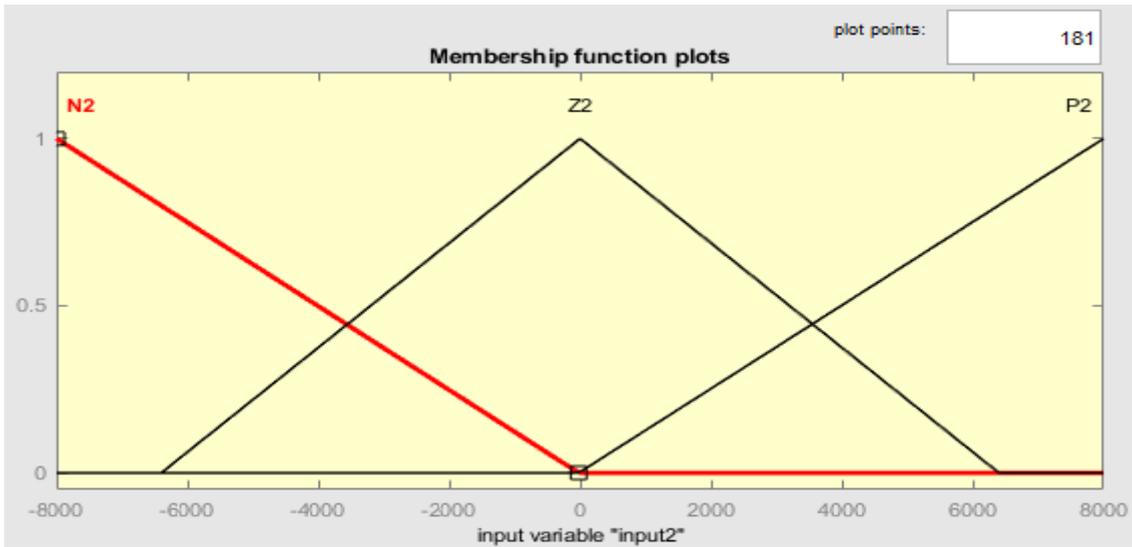


Figure 3.11 : Fonction d'appartenance de la dérivé de l'erreur

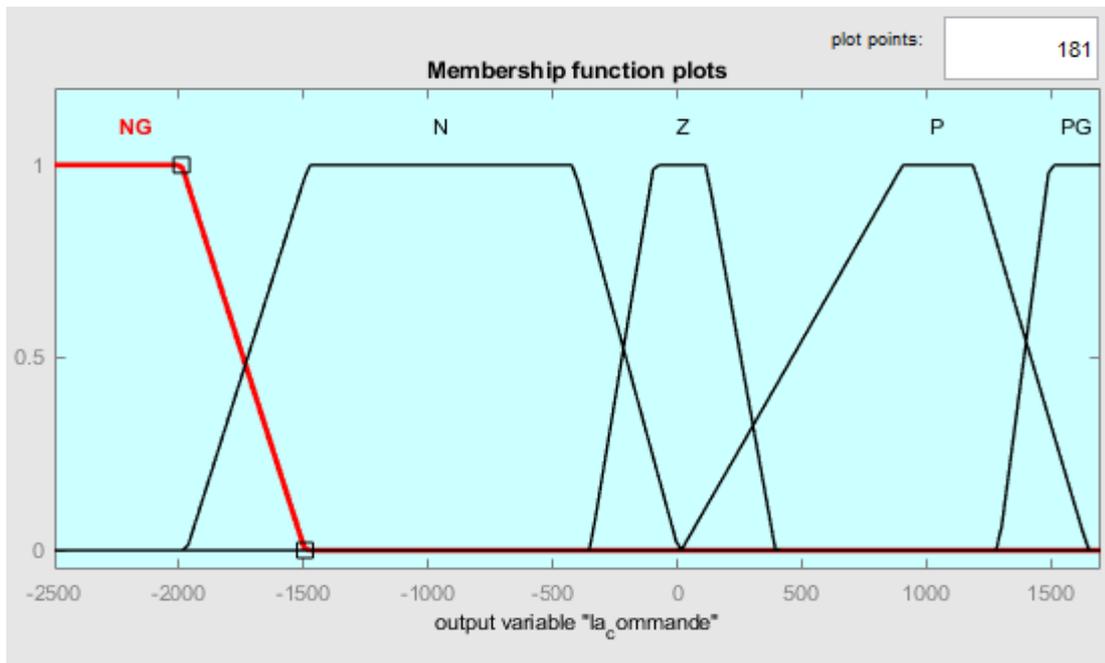


Figure 3.12 : Fonction d'appartenance de la commande

3.2.2.2 :3Définition des règles d'inférence :

Selon les connaissances des experts, nous avons pu définir les règles d'inférences de notre régulateur flou :

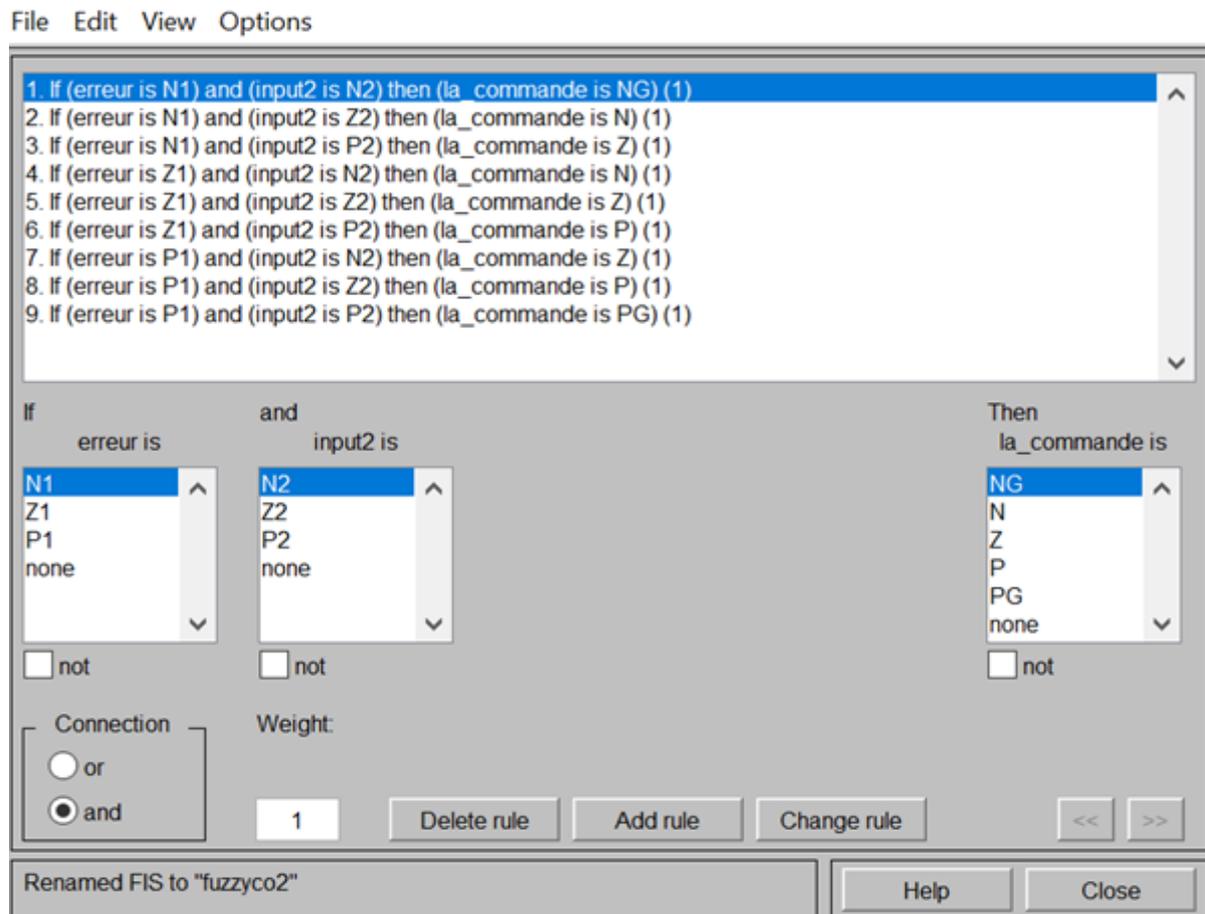


Figure 3.13 : Règles d'inférence

3.3 : Résultat de simulation :

On simule notre système pour une heure de temps et on obtient les résultats suivant :

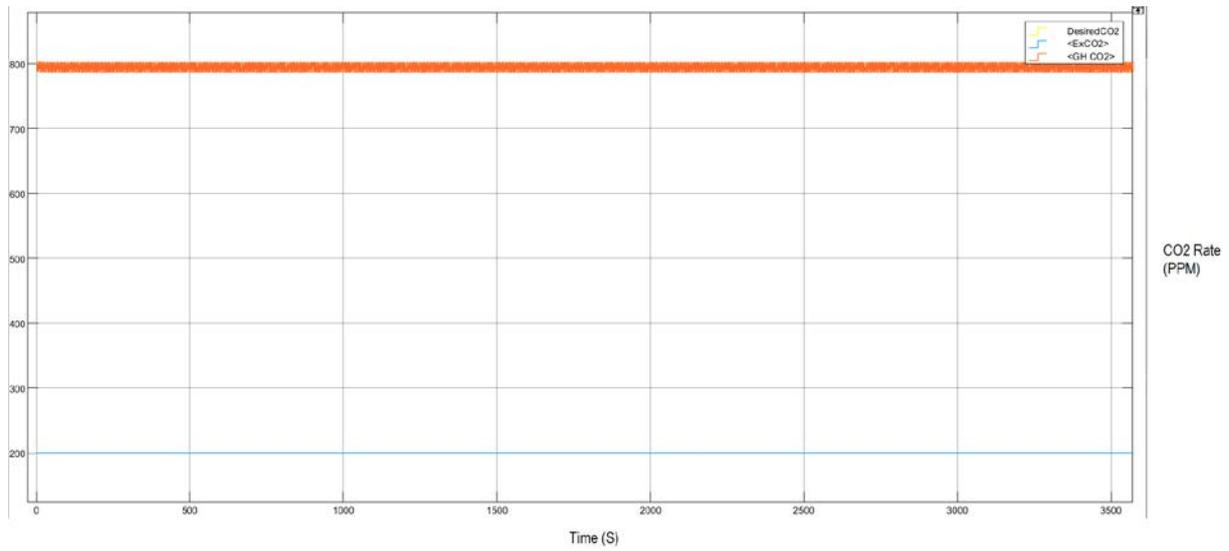


Figure 3.14 : Régulation du CO2

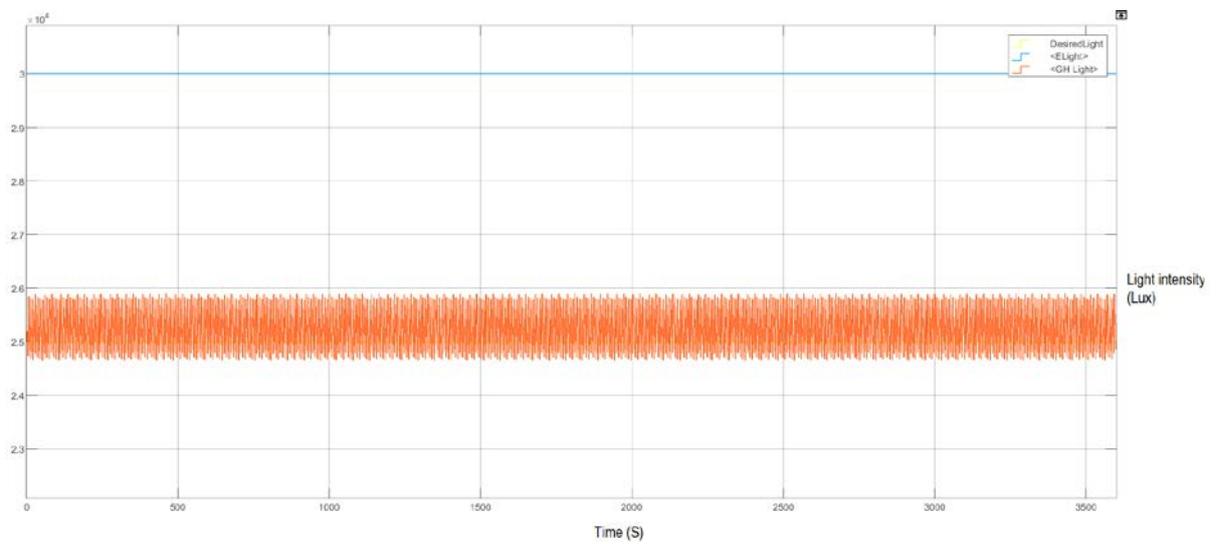


Figure 3.15 : Régulation du flux lumineux

3.3.1 : Interprétation des résultats :

3.3.1.1 : Lumière

Le bon choix des fonctions d'appartenance, l'intervalle des variables linguistiques ainsi que les règles d'inférence nous donnent une courbe harmonieuse avec une variation de 1000 Lux, ce qui est négligeable.

Le fonctionnement non linéaire de la serre nous inspire à utiliser le régulateur flou vu que la modélisation mathématique du système est complexe, donc ce fameux régulateur facilite la tâche de contrôle.

Par contre, le bon choix des paramètres du régulateur reste difficile et nécessite beaucoup d'expérience.

3.3.1.2 : CO2

Pour la régulation du CO2, on a utilisé le même principe que la lumière, car dans les deux cas, on travaille avec l'erreur et la dérivée de l'erreur, sauf qu'on a changé les intervalles des fonctions d'appartenance en fonction de la valeur de l'erreur ainsi que sa dérivée.

On remarque que la courbe orange donne une variation négligeable de 12 ppm, cette variation est due aux règles d'inférence et confirme le bon fonctionnement du système, d'une autre part, le système est rapide et rejoint la consigne dès le début de la simulation, ce qui démontre la puissance du régulateur flou dans notre système.

3.3.2 : Comparaison des résultats du régulateur flou avec un régulateur PID: cas CO2

Le tableau suivant présente les paramètres qui caractérisent les performances du système :

	Rapidité	Stabilité	Précision	Dépassement
Régulateur PID	Tr=200s	Convergence vers la consigne	$\epsilon=0$	94%
Régulateur flou	Tr=0s	Convergence vers la consigne	$0 < \epsilon < 12$	0%

Tableau 2. Table de comparaison entre régulateur flou et régulateur PID

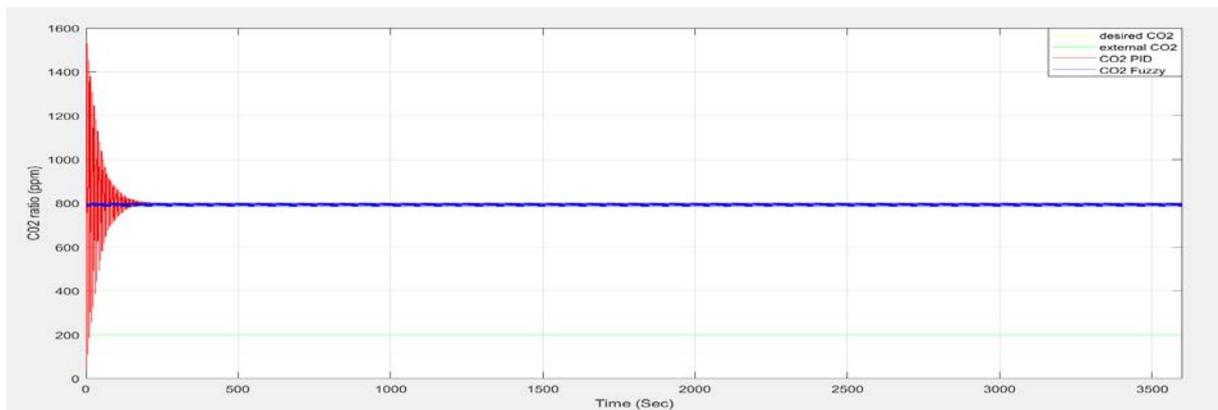


Figure 3.16 : Comparaison entre le régulateur PID et le régulateur flou

Le régulateur flou nous donne une réponse plus rapide et rejoint la consigne dès le début de la simulation, contrairement au régulateur PID qui se stabilise après 200 secondes avec une présence des oscillations, le régulateur PID ne donne pas les performances souhaitées en terme de rapidité et de dépassement, en ce qui concerne le régulateur flou, il est capable de traiter les incertitudes ainsi que le comportement non linéaire du système.

Les deux méthodes de régulation ont des avantages et des inconvénients, la régulation par logique floue permet de contrôler un processus sans avoir un modèle mathématique précis du système.

Cependant, la conception du régulateur flou nécessite beaucoup de compréhension et d'expérience, ce qui n'est pas facile à implémenter. Par contre, la régulation PID nécessite un modèle mathématique, ce qui conduit à la formulation de nombreuses équations différentielles afin d'avoir de bonnes performances dans les résultats. Tout de même, le régulateur flou permet de contrôler des processus multi variables, non linéaires, et non stationnaires.

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire a pour but de traiter le contrôle du taux de CO₂ ainsi que l'intensité lumineuse d'une serre agricole par logique floue.

Nous avons commencé par décrire les différents types de serres, les équipements et les actionneurs utilisés, la concentration du CO₂ dans les serres ainsi que l'intensité lumineuse et son impact sur les plantes.

Nous avons consacré le deuxième chapitre à la généralité sur la logique floue, sa définition et ses applications. L'accent a été particulièrement mis sur les différentes étapes dans le traitement d'un contrôleur flou.

Ensuite, nous avons exposé notre travail qui consiste à la régulation du CO₂ et l'intensité lumineuse dans la serre. Après modélisation des sous systèmes à commander, des contrôleurs flous ont été conçus. Les résultats de simulation obtenus montrent l'efficacité de la régulation floue comparativement à ceux obtenus avec un régulateur PID.

Il faut noter qu'un bon régulateur flou dépend du bon choix des fonctions d'appartenance, leurs intervalles ainsi que les règles d'inférence.

L'avantage de la régulation par logique floue est de pouvoir contrôler un processus sans avoir un modèle mathématique précis du système.

Quant aux perspectives, nous proposons d'élaborer un seul contrôleur flou aux deux paramètres mais dans ce cas, le système devient multi variable et plus complexe ce qui exige de définir une relation entre les deux paramètres.

Bibliographie :

1. <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/08/les-systemes-flous-le-fonctionnement/>
2. <http://d1n7iqsz6ob2ad.cloudfront.net/document/pdf/53bcf0c2bb23a.pdf>
3. <https://industrie.airliquide-benelux.com/belgique-luxembourg/creation-atmospheres-temperature-ambiante/dosage-co2-pur-horticulture-en-serre>
4. <https://dl.ummt0.dz/bitstream/handle/ummt0/6458/BenSaidjZahia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. <https://caldor.fr/gestion-climat/lumiere/>
6. <https://www.vaisala.com/fr/case/capteur-vaisala-carbocapr-pour-mesurer-le-dioxyde-de-carbone>
7. <http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/5091/1/32-530-304.pdf>
8. Hansruedi Böhler « Réglage par logique floue » Presse polytechnique Romande 1994
9. Agnote DPI/254 First edition, September 1999 Jeremy Badgery-Parker District Horticulturist
10. http://www.iai.heigvd.ch/cours/regulation_automatique.pdf
11. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>