



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M 29/11/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour obtenir le diplôme de MASTER ACADEMIQUE

Filière : Électronique

Spécialité : Électronique des Systèmes Embarqués

Présenté par :

Belghoul wafa

Bentahnene kheira

**Réalisation d'une prototype de système de contrôle/commande avec gestion intelligent
Du climat D'une serre agricole de haute technologie conncté**

Soutenu le 27/11/2023 devant le jury composé de

President ;	M.Benstali	Prof	Université de Mostaganem
Examineur:	M. Bentoumi	M.C.A	Université de Mostaganem
Encadreur:	M .Abdellaoui	M.C.A	Université de Mostaganem

Introduction générale

Rentabiliser son entreprise agricole est un défi auquel les entreprises du secteur agricole sont confrontées au quotidien. Concevoir et développer un projet de plusieurs hectares pour produire tout type de culture demande non seulement du courage et de l'investissement, mais aussi de grandes compétences techniques. Pour éviter les problèmes, les entreprises se tournent vers des partenaires innovants qui ont les meilleurs projets de serres de haute technologie dans leur catalogue.

C'est dans ce contexte que se situe le sujet de notre projet de fin d'étude ; il s'agit de concevoir et de réaliser un prototype de mini-serre agricole de haute technologie, connectée destinée avant tout à nos entreprises nationales et pouvant avoir une place sur le marché international.

Ceci étant dit, le mémoire de notre projet est divisé en trois chapitres comme suit :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les serres agricoles, le deuxième à la logique floue, concept autour duquel est articulé en grande partie notre travail et le troisième chapitre à la présentation de la réalisation matérielle et logicielle de notre projet.

Chapitre I : Généralités sur les serres agricoles

I.1. Introduction

La serriculture ou cultures sous serre a connu ces dernières années, comme on peut le constater, un développement considérable marqué par la capacité de ce type de culture à satisfaire les besoins nutritionnels des populations, en quantité et en qualité. Dans ce chapitre, nous allons par conséquent d'abord définir ce qu'est une serre agricole, présenter les différents types et les nouvelles technologies qui y sont mises en œuvre pour automatiser le control de leurs paramètres climatiques et ce en vue d'une production meilleure.

I.2. Définition d'une serre agricole

Une **serre** est une structure close ou semi-ouverte translucide, en verre (Figure 1) ou en plastique (Figure 2), soutenue par une structure métallique ou en bois, destinée en général à la production agricole. Elle vise à protéger les cultures vivrières ou de loisir des éléments climatiques, afin d'améliorer la production des plantes, d'en accélérer la croissance et de les produire indépendamment des saisons grâce à un gain de température par blocage de la convection (et non par effet de serre) sous la structure.

Une serre peut également être un édifice architectural d'agrément, soit privé de petite taille à l'intérieur d'une maison (Figure 3), soit ouverte au public et de grande taille (Figure 4), qui satisfait l'esthétique par sa forme architecturale et par la richesse des collections de plantes qu'elle abrite.



Figure 1 : Serres en verre



Figure 2 : Serres en plastique



Figure 3 : Serre de jardinage privée, à l'intérieur d'une maison



Figure 4 : Serre ouverte au public et de grande taille

I.3. Les nouvelles technologies et l'agriculture sous serre :

En grande partie couverte toute au long de l'année, les cultures sous serres non intelligentes peuvent rapidement **souffrir de certains paramètres environnementaux** : hausse de la température, humidité, prolifération des maladies, stress hydrique...etc.

D'où, les nouvelles technologies représentent une réelle opportunité pour que **la transformation numérique profite également au secteur de l'agriculture.**

Les nouvelles technologies peuvent ainsi servir ces usages au sein d'une serre afin d'en améliorer son exploitation et son rendement.

Les serres de haute technologie dites aussi intelligentes pourraient donc être l'avenir de l'agriculture.

I.4. Serre agricole de haute technologie ou intelligente

Ce sont des serres qui réunissent les systèmes agricoles conventionnels et les nouvelles technologies pour une visibilité et une automatisation complètes.

Ce sont des serres qui aident à identifier les inefficacités et à combattre les problèmes qui affectent depuis longtemps les exploitations agricoles afin de protéger les cultures et de maximiser les rendements.

I.5. Nécessité d'une serre agricole de haute technologie

Plusieurs raisons rendent ces types de serres nécessaires :

- Elles constituent des environnements contrôlés et adaptés aux plantes qui y sont cultivées.
- Permettent d'améliorer grandement les conditions de développement des cultures et d'aboutir à une utilisation plus adéquate des ressources naturelles telle que l'eau, notamment dans les cas où la production nécessite des conditions très spécifiques.
- Elles sont les seules types de serres qui peuvent permettre aux entreprises agricoles de tirer le meilleur parti de la croissance, du rendement et de la rentabilité des cultures.
- Le secteur agricole mondial connaît actuellement de rude épreuve en raison du changement climatique, de la diminution des ressources et de l'augmentation de la population et donc elles sont les seules à pouvoir faire face à tous ces problèmes.
- L'imprévisibilité en agriculture augmente de plus en plus, et par conséquent l'utilisation de technologies de pointe s'impose tout naturellement pour améliorer l'efficacité de la production et la résistance des cultures.

- Les conditions météorologiques varient tout au long de la journée et des variables « invisibles » comme des portes non fermées ou des maladies à un stade précoce peuvent continuellement altérer l'environnement **d'une serre** non intelligente et mettre les cultures en danger.
- Elles peuvent aider les agriculteurs à réduire le travail, à améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources et des produits chimiques et à augmenter les taux de rendement en obtenant des informations sur les grandes cultures.
- Dotées de capteurs et de systèmes de communications de pointes, elles surveillent leur environnement et leurs cultures 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.

I.6. Avantages d'une serre agricole de haute technologie

Ces types de serres offrent plusieurs avantages dont on peut citer :

❖ Le maintien d'un microclimat aussi proche que possible de l'idéal pour les plantes.

Grace à ses capteurs intelligents, ces types de serres, permettent aux agriculteurs de collecter de nombreuses données à une échelle beaucoup plus fine. Ils fournissent des informations en temps réel sur des facteurs environnementaux importants tels que la température, l'humidité, l'exposition à la lumière et les niveaux de dioxyde de carbone dans la serre. Ces données favorisent des changements appropriés dans les paramètres de CVAC (HVAC) et d'éclairage pour maximiser la croissance des plantes tout en économisant l'énergie. Les autres types de capteurs intelligents tels que les capteurs de mouvement/accélération aident à identifier les portes accidentellement laissées ouvertes, garantissant ainsi un environnement hautement contrôlé.

❖ Améliorations des pratiques d'irrigation et de fertilisation

Les serres intelligentes peuvent aider les agriculteurs à conserver une vue à 360 degrés de leurs fermes, non seulement en termes de température et d'humidité, mais également en termes de variables clés comme l'exposition au soleil. Cela garantit que les activités d'irrigation et de fertilisation répondent aux besoins des plantes cultivées pour des rendements maximaux. Par exemple, les lectures volumétriques de la teneur en eau du sol révèlent si les cultures subissent un stress hydrique. Les niveaux de salinité du sol, en revanche, fournissent des informations importantes sur les besoins en engrais.

❖ La détection et le traitement précoces des épidémies

Les infections des cultures constituent un problème persistant pour les agriculteurs, chaque épidémie ayant des conséquences néfastes sur les marges des cultures. Les applications agrochimiques sont accessibles, mais les agriculteurs ne savent peut-être pas quand les appliquer. Les pesticides agricoles sont destinés à être utilisés selon les besoins et leur utilisation doit être limitée. Une utilisation excessive peut entraîner des problèmes d'environnement, de sécurité et de coût, tandis que le fait de ne pas appliquer de traitements peut provoquer des épidémies mortelles.

❖ Réductions des vols et améliorations de la sécurité

Les serres contenant des cultures de grande valeur sont des cibles attractives pour les voleurs. De nombreux agriculteurs ne disposent pas d'un système de sécurité viable car les réseaux de vidéosurveillance traditionnels sont coûteux à mettre en place. Dans ce cas, les capteurs intelligents type IoT dans les serres intelligentes offrent une infrastructure peu coûteuse pour surveiller par exemple l'état des portes et détecter les comportements suspects. Ils avertissent immédiatement les agriculteurs lorsqu'un problème de sécurité survient lié à un système d'alarme automatisé.

I.7. Les nouvelles technologies mises en œuvre dans une serre intelligente

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons présenter les différentes nouvelles technologies (Figure 5) qui sont utilisées dans les serres intelligentes en indiquant

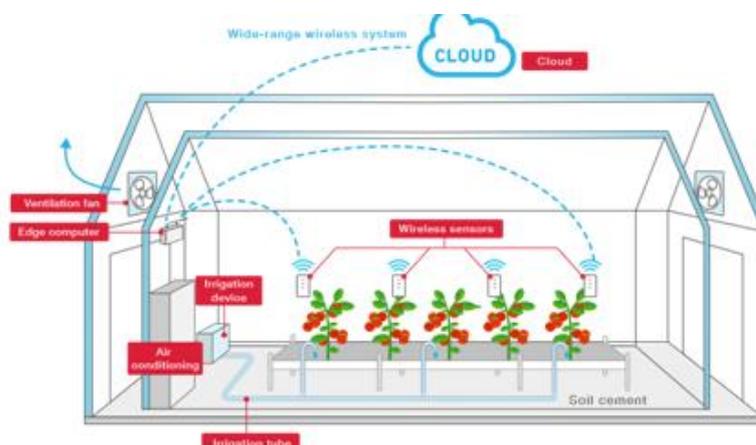


Figure 5 : Exemple de serre intelligente IoT

Ces nouvelles technologies sont : l' « **Internet des objets** », le « **Big Data** », le « **Cloud Computing** », l' « **Edge Computing** » et l' « **Intelligence Artificielle** ».

1.7.1. L'internet des objets et les serres intelligentes

L'Internet des objets (*IoT*) est l'interconnexion entre l'Internet (plus exactement le Cloud) et des objets, des lieux et des environnements physiques.

Les objets, les lieux et les environnements, sont soit des systèmes informatisés qui collectent des informations, les analysent ; les traitent, ensuite les envoient vers une plateforme distante à travers le réseau Internet soit des systèmes informatisés qui reçoivent des ordres d'une plate-forme distante, via Internet.

Les objets dans les serres intelligentes, on les rencontre sous formes de capteurs IoT et d'actionneurs IoT (Figure 6).

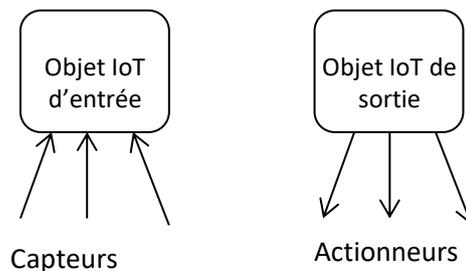


Figure 6 : Capteur et actionneur IoT

Ils sont utilisés pour surveiller les paramètres de la serre et ce, afin d'accroître la productivité, de prévenir l'apparition de ravageurs, des maladies, d'optimiser la rentabilité et de réduire les pertes au minimum.

Un autre intérêt quand à leurs utilisations est d'éviter à l'agriculteur de passer son temps à se déplacer pour réaliser des relevés dans la serre.

La technologie IoT offre donc une surveillance et un contrôle automatique et distants des différents paramètres climatiques et hydriques d'une serre (Figure 7).

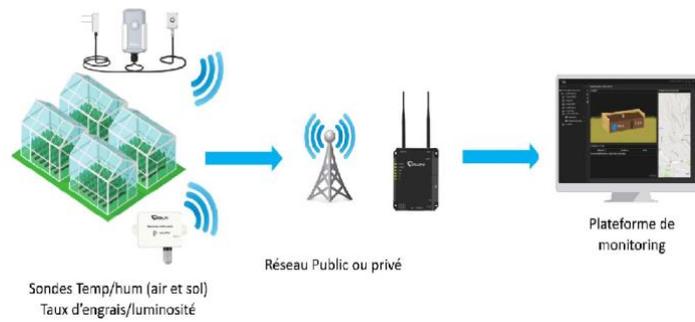


Figure 7 : Contrôle automatique et distant d'une serre intelligente

Ceci dit, un capteur IoT/actionneur IoT est un capteur intelligent/actionneur intelligent connecté à une plate-forme distance via un réseau local intranet ou au réseau public Internet. La plate-forme distante peut être dans la serre ou en dehors de celle-ci (Figure 8).

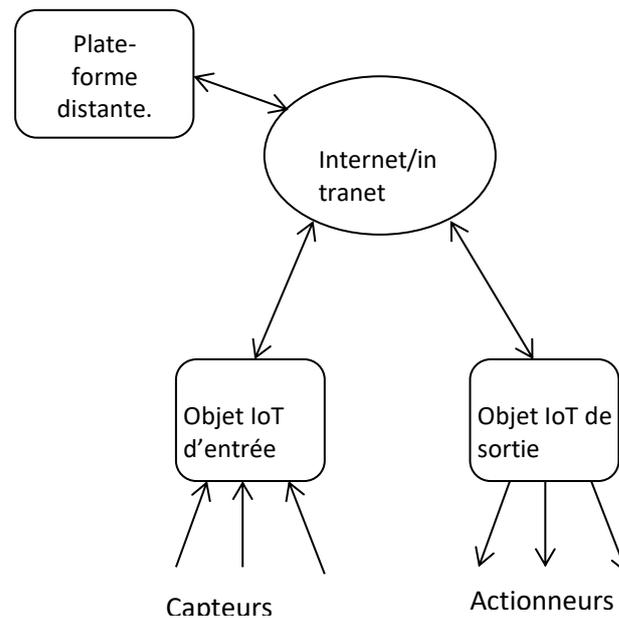


Figure 8 : connexion des objets IoT à Internet

Ceci dit, un capteur (actionneur) intelligent), est un système électronique informatisé doté de fonctions telles que la communication, le traitement du signal, ..., etc.

Il se compose de trois éléments essentiels: un ou plusieurs capteurs (actionneurs) « classiques », un microprocesseur et une interface de communication permettant aussi de le configurer à distance.

Il existe en filaire et sans fil :

- capteur intelligent filaire : acquisition d'une donnée à l'aide d'un capteur de grandeur physique + (traitement) + transmission par technologie filaire.
- capteur intelligent sans fil : acquisition d'une donnée à l'aide d'un capteur de grandeur physique + (traitement) + transmission par technologie sans fil.
- Actionneur intelligent filaire : réception d'une commande par technologie filaire + (traitement) + action.
- Actionneur intelligent sans fil : réception d'une commande par technologie sans fil + (traitement) + action.

On donne à la figure 9 suivante son architecture en couche :

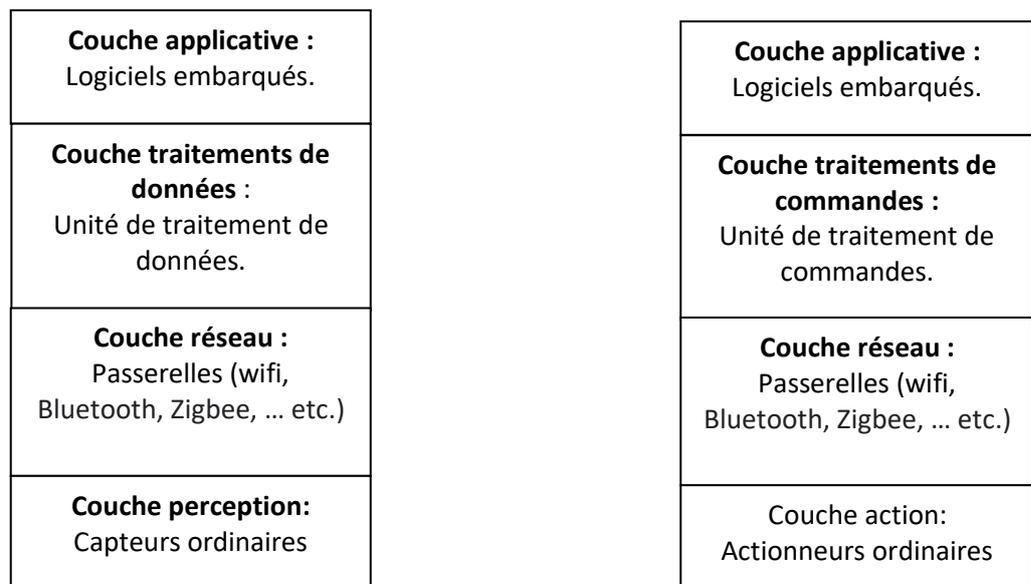


Figure 9 : Architecture (a) d'un capteur IoT, (b) d'un actionneur IoT

1.7.2. Le Big Data

Le Big Data, également appelé « mégas données », « grosses données » ou encore « données massives », désigne un ensemble de données très volumineux difficile à travailler avec les outils classiques de gestion de base de données et de gestion de l'information.

Le Big Data est la solution permettant à tout le monde d'accéder en temps réel à des bases de données immenses et propose ainsi une alternative aux solutions classiques devenues obsolètes face à autant de données.

Il est caractérisé par ses 3V (Figure 10) que sont : le volume, la vitesse et la variété.

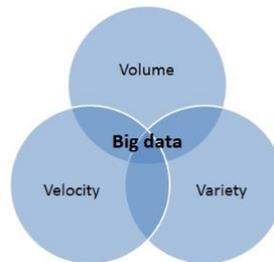


Figure 10 : Les 3 V du Big Data

Concernant le volume : la quantité de données astronomiques générées à travers le monde est en constante augmentation. Donc seul le Big Data est capable de traiter un nombre aussi conséquent de données et d'informations.

Concernant la vitesse : c'est la rapidité à laquelle les données affluent à travers le monde. Autrement dit, la fréquence à laquelle elles sont générées, capturées et partagées.

Concernant la variété : les types de données et leurs sources sont de plus en plus diversifiés supprimant ainsi les structures nettes et faciles à consommer des données classiques. Ces nouveaux types de données incluent un grand nombre de contenus très diversifiés tels que: géolocalisation, connexions, mesures, processus, flux, réseaux sociaux, texte, web, images, vidéos, mails, livres, tweets, enregistrements audio...pour ne citer que ceux-là !

Maintenant son rapport avec la serriculture intelligente, est qu'une grande quantité de données peut être collectée à l'intérieur de la serre à l'aide de capteurs IoT permettant d'y contrôler les conditions climatiques les plus importantes, telles que la température, l'humidité, la lumière et les niveaux de CO2 et ce, avec une très grande précision. Comme les capteurs fonctionnent en permanence, on peut ajuster les paramètres à l'intérieur de la serre chaque fois que cela est nécessaire pour créer les environnements optimaux pour les plantes, en optimisant leur croissance. Ce qui

en conséquence, permettra d'avoir des plantes plus saines et des rendements plus élevés.

1.7.3. Le Cloud Computing

Le « Cloud Computing » (l'informatique en nuage) est la pratique consistant à utiliser des serveurs informatiques à distance et hébergés sur internet pour stocker, gérer et traiter des méga données donc des big data, plutôt qu'un serveur local ou un ordinateur personnel.

Le « Cloud Computing » dans la sericulture intelligente, est utilisé pour regrouper les données (Big Data) provenant de capteurs, d'images, ...etc. Ensuite les traiter pour permettre entre autres, d'avoir un contrôle et une gestion du climat automatique de la serre beaucoup plus précis favorisant une croissance optimale des plantes de la serre.

1.7.4. L'edge Computing

L' « edge computing » ou « informatique de précision » désigne le traitement informatique qui s'effectue à l'emplacement physique ou à proximité de la source des données,.

Son rapport avec les serres intelligentes est en partie identique à celui du « cloud computing » sauf que les traitements qu'il fournit sont temps réels, contrairement au cloud computing !

1.7.5. L'intelligence artificielle (Logique floue et réseaux de neurones)

Le « big data » généré par une serre intelligente ne pouvant être traité et analysé qu'à l'aide d'algorithmes qui relèvent de l'IA, alors l'apport de cette dernière à l'agriculture sous serre est énorme. En effet étant qu'entité distincte capable de prendre elle-même des décisions calculées, l'intelligence artificielle est capable de prendre entièrement en charge le processus agricole de la serre intelligente et dans ce cas-là, l'on peut imaginer les résultats.

I.8. Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre après avoir présenté les différents types de serres agricoles que les nouvelles technologies tels que l' « IoT », le « cloud computing », l' « edge computing » et l' « IA » avec ses deux aspects « logique floue » et « réseaux de neurones », mises en œuvre ensemble ou combinées, apportent beaucoup à la serriculture en permettant de l'exercer avec une très grande facilité et une très grande précision.

Chapitre II: Généralités sur la logique floue

II.1. Introduction :

Parmi les récents développements des techniques de commande, l'introduction de la logique floue, a suscité un intérêt sans cesse croissant depuis les quelques dernières décennies. Il suffit de voir les nombreuses applications industrielles qui en découlent et de consulter l'abondante littérature sur ce sujet pour s'en convaincre.

L'intérêt de la logique floue réside dans sa capacité à traiter, l'imprécis, l'incertitude et le vague. Elle est inspirée de la capacité de l'homme à décider et agir de façon pertinente malgré le flou des connaissances disponibles et a été introduite dans le but d'approcher le raisonnement humain à l'aide d'une représentation adéquate des connaissances. Aussi, le succès de la commande floue trouve en grande partie son origine dans sa capacité à traduire une stratégie de contrôle d'un opérateur qualifié, expert, en un ensemble de règles linguistiques « si ... alors » facilement interprétables.

L'utilisation de la commande floue est particulièrement intéressante lorsqu'on ne dispose pas de modèle mathématique précis du processus à commander ou lorsque ce dernier présente de trop fortes non linéarités ou imprécisions.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les notions principales de la théorie de la logique floue, ainsi que de la commande floue. D'abord, nous présentons les concepts de base de la logique floue ensuite leurs applications pour la synthèse d'une commande floue.

II.2. La logique floue

La logique floue (ou fuzzy logic en anglais) est une approche de l'informatique basée sur des « degrés de vérité » plutôt que sur la logique booléenne habituelle « vrai ou faux » (1 ou 0), et sur laquelle repose l'informatique moderne.

La logique floue peut être vue comme une extension de la logique booléenne classique qui permet de prendre en compte l'incertitude et l'imprécision : alors que la logique classique ne considère que deux valeurs (« vrai » et « faux »), la logique floue considère un ensemble infini de valeurs réelles entre 0 et 1.

Cette logique a été introduite par Zadeh [1] afin de se rapprocher du raisonnement humain. La logique floue permet d'écrire des règles plus proches du langage naturel. La logique floue présente pour avantage d'être intuitive et de faire intervenir des variables qualitatives. Exemple : Si le feu passe à l'orange, que ma vitesse est moyenne (entre 50 et 80 km/h) et que ma voiture est assez proche du feu (entre 65 et 35 mètres) alors je freine.

Le mot « **flou** » désigne des choses qui ne sont pas claires ou vagues. En effet, parfois, il nous arrive de ne pouvoir décider si un problème ou une affirmation donnée est vraie ou fausse. Ce concept fournit donc de nombreuses valeurs entre le vrai et le faux et nous donne la flexibilité nécessaire pour trouver la meilleure solution à un problème.

Un exemple pour mieux appréhender ce concept : répondre à la question « est-ce que c'est de l'eau chaude ? » en le comparant au raisonnement booléen. En logique booléenne ou binaire : seulement 2 réponses sont possibles : oui ou non et ces réponses sont quantifiées par 1 ou 0 respectivement. **Donc, en logique binaire**, une affirmation est vraie ou fausse et son degré de vérité vaut 1 ou 0.

En logique floue par contre: plusieurs réponses sont possibles, 3 par exemple : beaucoup, un peu, très peu et ces réponses peuvent être quantifiés par des valeurs comprises entre 0 et 1. Par exemple : 0.9, 0.25, 0.1 respectivement. **Donc, en logique floue**, une affirmation est plus ou moins vraie (donc, plus ou moins fausse) et son degré de vérité varie entre 0 et 1.

II.3. Les concepts

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons présenter les différents concepts utilisés en logique floue, et pour faciliter leurs compréhensions, à travers les exemples donnés dans les paragraphes précédents.

II.3.1. Le concept de valeur linguistique

Dans le vocabulaire de la logique floue, les réponses (**beaucoup, peu, très peu**) de l'exemple (**est-ce que c'est de l'eau chaude ?**) ci-dessus, sont appelées « **valeurs linguistiques** » dites aussi, « **valeurs symboliques** » ou « **labels flous** ».

II.3.2. Le concept de degré de vérité

De même, en logique floue, les valeurs de quantification (**0.9, 0.25, 0.1**) des réponses de ce même exemple, sont appelées « **degrés de vérité** ».

II.3.3. Le concept de variable linguistique

De même, la proposition « **eau Chaude** », utilisée dans la question de cet exemple, et que l'on peut écrire sous la forme « **eau Chaude** » dans cette logique, est appelé « **variable linguistique** ».

II.3.4. Le concept de sous-ensembles flous:

En logique floue, une variable linguistique d'entrée/sortie peut être associée à plusieurs labels flous ou valeurs linguistiques (Fuzzification).

Ces valeurs linguistiques ou labels flous, d'entrée/sortie définissent les valeurs floues de la variable linguistique d'entrée/sortie et sont appelés en logique floue, **sous-ensembles flous** (FUZZY SET).

II.3.5. Le concept d'ensembles de discours :

En logique floue, les labels ou les sous-ensembles flous, correspondent chacun à une partie d'un ensemble appelé dans le vocabulaire de cette logique : **ensemble de discours**.

II.3.6. Le concept de fonction d'appartenance :

En logique floue, un sous-ensemble flou A d'un ensemble de discours X est totalement caractérisé par une fonction appelée « **fonction d'appartenance** ». Elle est utilisée aussi bien en entrée comme en sortie.

Les fonctions d'appartenance peuvent théoriquement prendre n'importe quelle forme. Toutefois, elles sont souvent définies, pour des raisons de facilité d'utilisation, par des segments de droites, et donc sont « linéaires par morceaux ». Elles sont notées par le symbole μ . Pour exprimer le degré de vérité d'une valeur numérique (crisp value) d'une variable linguistique, d'appartenir à un label, la fonction d'appartenance est utilisée comme suit :

$$\mu_{\text{Label}}(\text{variable linguistique} = \text{valeur numérique})$$

II.3.7. Fonction d'appartenance d'entrée et fuzzification

En pratique, on utilise les fonctions d'appartenance d'entrée montrées aux figures 11, 12, 13 et 14 suivantes:

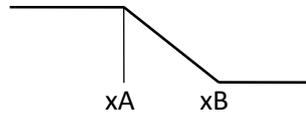


Figure 11 : Demi-trapèze gauche

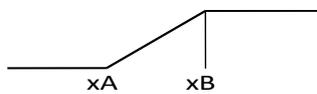


Figure 12 : Demi-trapèze droit

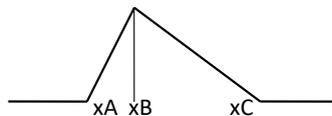


Figure 13 : Triangle symétrique ou asymétrique

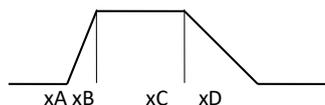


Figure 14 : Trapèze symétrique ou asymétrique

En entrée, cette fonction sert à quantifier le degré d'appartenance de la valeur numérique (mesurée, calculée, ..., etc, d'une variable linguistique d'entrée, à un label parmi les labels associés à cette variable.

En logique floue, l'association de labels ou de sous-ensembles flous d'entrée ou de sortie à une variable linguistique d'entrée ou de sortie est appelée « **fuzzification** ».

Pour illustrer cette dernière (fuzzification), on donne à la **figure 15** ci-dessous, comment elle fonctionne, sur l'exemple d'une valeur de température mesurée réelle (crisp value) et sa fuzzification en labels : FAIBLE, MOYENNE et ELEVEE.

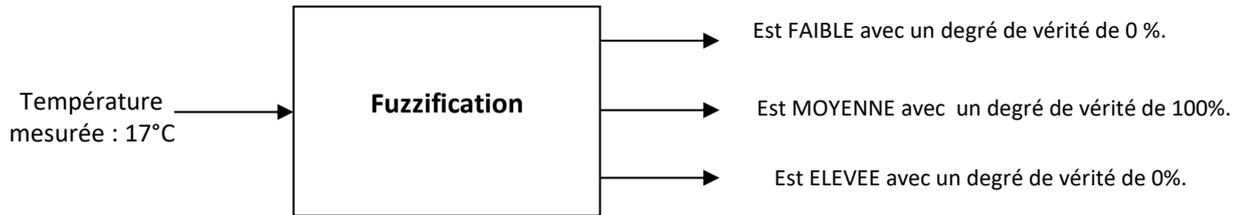


Figure 15 : Exemple de fuzzification d'une valeur mesurée de température

Concrètement, cette opération (fuzzification), se fait en prenant la valeur « crisp » d'une entrée et lui faisant correspondre des valeurs floues en effectuant sa projection orthogonale sur ses labels et en évaluant ses degrés de vérité ou d'appartenance à ces labels à l'aide de la fonction d'appartenance associée.

Exemple 1 :

Une valeur d'une variable d'entrée linguistique ici de température, mesurée, peut appartenir à plusieurs labels, avec des degrés de vérité divers. : Degré d'appartenance de l'entrée T au sous ensemble flou ou au label Froid ou Chaud (Figure 16).

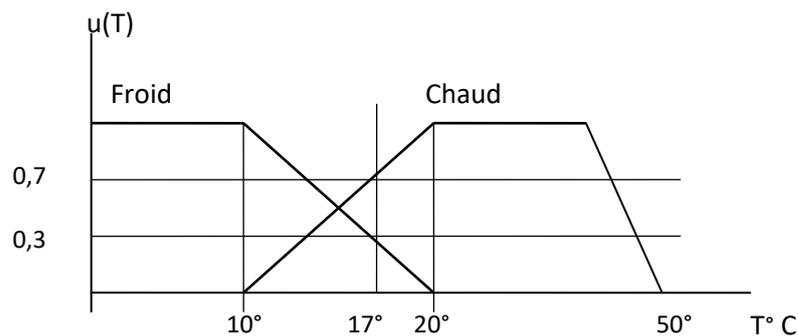


Figure 16 : Exemple de sous-ensemble flou d'entrée, ensemble de discours d'entrée, variable linguistique d'entrée.

Sur le graphique de l'exemple ci-dessus, les sous-ensembles flous « Froid » et « Chaud » correspondent respectivement aux sous-ensembles de valeurs de température $[0,20]$ et $[10,50]$. L'ensemble flou est égal à $\{\text{Froid}, \text{Chaud}\}$

D'après ce graphique, on constate, que pour une valeur de température $T = 17^\circ$, le degré d'appartenance au sous ensemble flou « froid » vaut $\mu_{\text{Froid}}(T=17^\circ) = 0,3$ et le degré d'appartenance au sous ensemble « chaud » vaut $\mu_{\text{Chaud}}(T=17^\circ) = 0,7$.

Exemple 2 :

Une valeur de la variable de sortie linguistique (Crisp value) dans l'exemple ci-dessous : « OuvertureDeLeV », mesurée peut appartenir à plusieurs labels, avec des degrés de vérité divers : Degré d'appartenance de la valeur de la variable de sortie « OuvertureDeLeV » au label EVFermée ou EVOuverte (Figure 17)

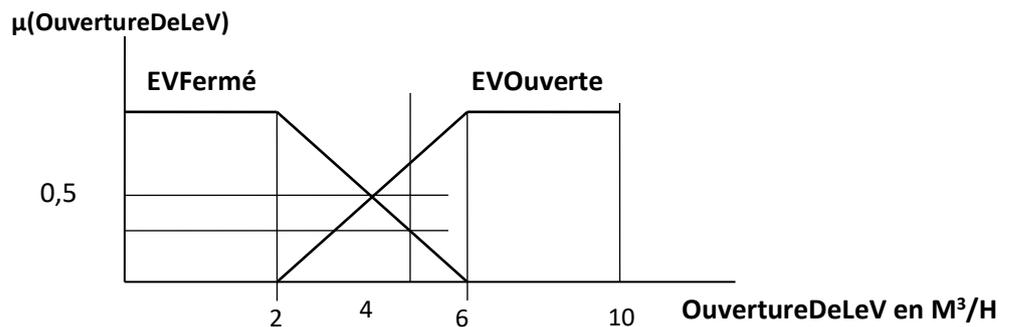


Figure 17 : Exemple de sous-ensemble flou, ensemble de discours de sortie, labels de sortie, variable linguistique de sortie

D'après ce graphique, on peut constater que pour une valeur d'OuvertureDeLeV = 4M³/H, le degré d'appartenance au label EVFermée vaut $\mu_{\text{EVFermée}}(\text{OuvertureDeLeV}=4\text{M}^3)=0,5$. De même pour la même valeur d'OuvertureDeLeV, le degré d'appartenance au label EVOuverte = 0,5.

II.3.8. Fonction d'appartenance de sortie, règles, inférence floue et déffuzification

En pratique, on utilise les fonctions d'appartenance de sortie montrées aux figures 18 et 19 suivantes:



Figure 18 : Singletons ou Rectangles Etroits

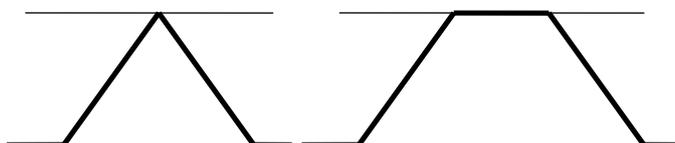


Figure 19 : Triangle / Trapèze

En sortie, cette fonction sert à calculer la valeur numérique réelle (Crisp Value) de la sortie qui va être utilisée pour commander ou contrôler un système. Et cette opération est appelée en logique floue **déffuzzification**.

Maintenant, cette opération (**déffuzzification**) se fait en calculant les différents degrés de vérité des différentes affirmations (dite en logique floue : conclusions ou déductions) sur une variable de sortie d'appartenir à un label parmi les labels associés à cette variable ensuite les exploiter pour calculer la valeur crisp de la sortie.

Le calcul des différents degrés de vérité des différentes affirmations est appelé en logique floue : **l'inférence floue**.

Elle est dite **inférence floue** car elle est basée sur un raisonnement flou et donc approximatif qui dit : plus la condition sur les entrées est vraie plus l'action préconisée pour les sorties doit être respectée. Par exemple :

Plus la température est basse plus il faut chauffer fort, que l'on peut exprimer sous forme de **règle floue** d'expert comme suit :

Si température est très basse **ALORS** chauffer plus.

Et dans ce cas la conclusion de la règle floue (**chauffer fort**), est l'appartenance d'une variable floue de sortie **chauffer** à un sous ensemble flou ou label **fort**.

En logique floue, les variables linguistiques d'entrées, de sorties, et les labels sont utilisés pour définir les connaissances d'experts humains, sous forme d'expressions floues dans un ensemble de règles. Ces règles sont basées sur une combinaison de propositions floues élémentaires. Une proposition floue élémentaire est de la forme : « **Variable linguistique est Label** » par exemple « **Température est Froide** ».

En logique floue, une combinaison de propositions floues élémentaires est réalisée à l'aide d'opérateurs logiques : négation (NON), conjonction (ET) et disjonction (OU).

Par exemple : « *V est A et W est B* », « *V est A ou non W est B* » sont des expressions floues.

Les propositions floues élémentaires sont des cas particuliers d'expressions floues.

Ces expressions sont utilisées pour exprimer les connaissances des experts humains à l'aide de **règles** floues.

En logique floue, une règle floue est composée d'une **prémisse** (dite aussi **antécédent**) et d'une **conclusion** (dite aussi **conséquence**) et est de la forme :

« SI prémisse ALORS conclusion ».

Une prémisse est donc une expression floue alors qu'une conclusion est une déclaration ou affirmation floue de nature différente.

Une conclusion peut être une proposition floue. Et dans ce cas-là, ces types de règles, sont dits de « **Mamdani** ».

Exemple 1 :

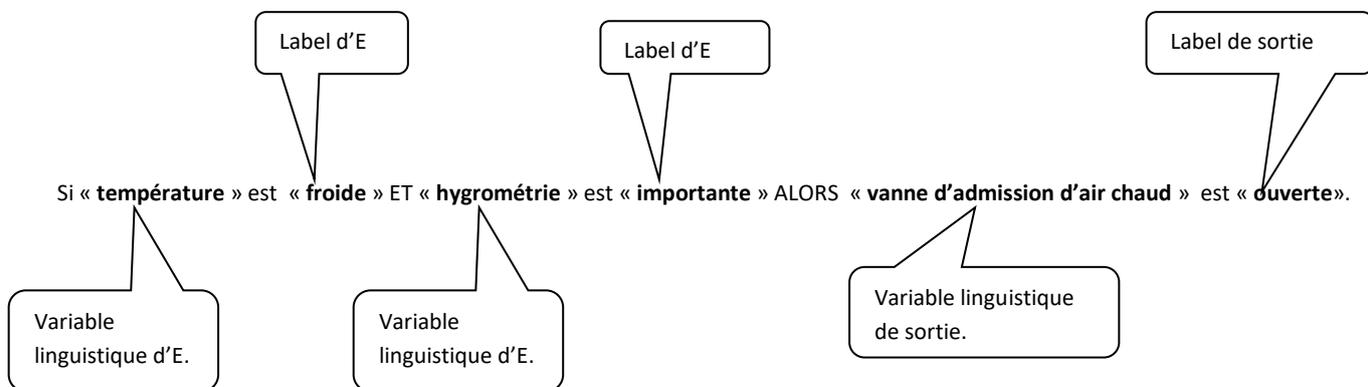


Figure 20. : Exemple de règle floue avec une conclusion floue

Exemple 2:

SI Température est Froide Alors Vitesse est Minimale.

De même, une conclusion peut être une fonction mathématique des entrées des prémisses. Dans ce cas-là, ces types de règles sont dits de « **Takagi-Sugeno** ».

Exemple 3 :

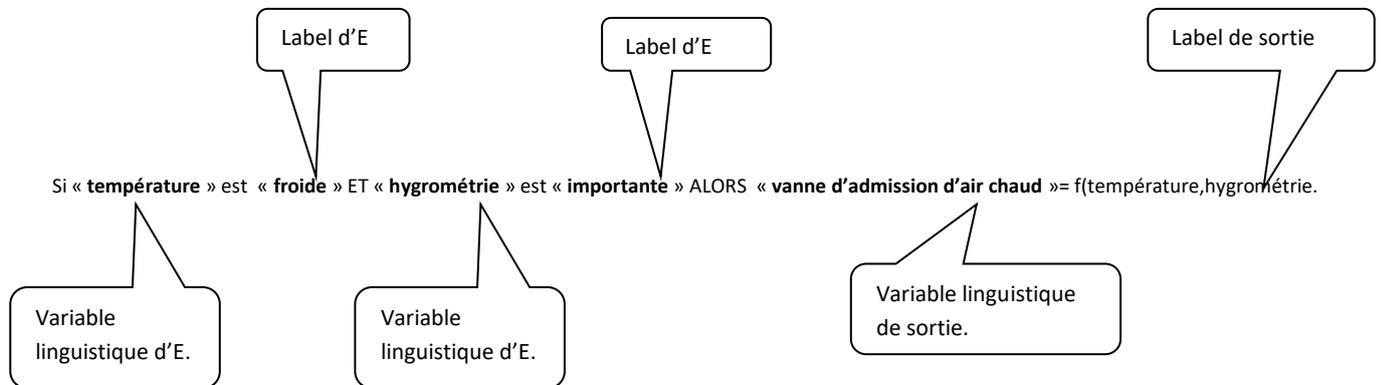


Figure 22 : Exemple de règle floue avec une conclusion égale à une fonction mathématique des entrées.

Exemple 4 :

SI Température est Froide Alors Vitesse = $J+k1 * Température$.

Ainsi les règles associent les entrées du système aux sorties à l'aide d'une implication floue (dénotée par ALORS). En logique floue, ces types de règles sont dits « règles aux déductions ».

Par conséquent, le raisonnement en logique floue implique de faire un recueil d'expertise : C'est-à-dire définir un ensemble de règles reliant entre elles les entrées du système par des opérateurs OU ou ET aux sorties à l'aide de l'implication floue ALORS.

Dans les paragraphes qui suivent nous allons donner plus de détails quant aux opérations d'inférence floue et la déffuzification.

L'inférence floue, On le rappelle, c'est le calcul des différents degrés de vérité des affirmations des règles reliant entre elles les entrées aux sorties du système.

Par exemple :

❖ **Cas de Mamdani :**

Si **Température Est Faible** Ou **Humidité** Alors **Vitesse** du ventilateur Est **Faible (degré de vérité ?)**.

Si **température** est **Moyenne** (degré de vérité) Et **Humidité** est **Moyenne** (degré de vérité) Alors **Vitesse** du ventilateur Est **Moyenne (degré de vérité ?)**.

Si **Température** Est Elevée (quel que soit l'humidité) Alors **Vitesse** du ventilateur Est Elevée (**degré de vérité ?**).

❖ Cas de sugeno :

Si Température Est **Faible** (degré de vérité) Ou **Humidité** Est **Sec** (degré de vérité) Alors **Vitesse** du ventilateur = 30 (**degré de vérité ?**).

Si température est **Moyenne** (degré de vérité) Et **Humidité** est **Moyenne** (degré de vérité) Alors **Vitesse** du ventilateur = 50 (**degré de vérité ?**).

Si Température Est Elevée (quel que soit l'humidité) Alors **Vitesse** du ventilateur = 70(**degré de vérité ?**)

Donc l'inférence floue consiste à évaluer ces règles en fonction des valeurs floues ou des degrés de vérité de leurs prémisses.

Pour l'évaluation des degrés de vérité des prémisses d'une règle voir § **fuzzification** ci-dessus.

Maintenant pour l'évaluation du degré de vérité des expressions floues et selon la théorie de cette logique, on applique les opérateurs flous Min, Max, de Mamdani [?] sur les valeurs de vérité de leurs prémisses comme suit :

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min} (\mu_A(x), \mu_B(x))$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max} (\mu_A(x), \mu_B(x))$$

Où A et B sont deux sous-ensembles flous, x une variable linguistique et μ la fonction d'appartenance correspondante.

Soit : en considérant l'exemple des règles ci-dessus avec les valeurs de leurs prémisses suivantes :

- $\mu_F(T=18^\circ\text{C})=0,5$.
- $\mu_M(T=18^\circ\text{C})=0,33$.
- $\mu_E(T=18^\circ\text{C})=0,0$.
- $\mu_F(H=80\%)=0,25$.
- $\mu_M(H=80\%)=0,75$.

➤ **Pour Mamdani:**

Si T Est **F(0,5)** Ou H Est **F(0,25)** Alors V Est **F(0,5)**

Si T Est **M(0,33)** Et H est **M(0,75)** Alors V Est **M(0,33)**.

Si T Est E (quel que soit l'humidité) Alors V Est **E(0,0)**.

➤ **Et pour Sugeno :**

Si T Est F Ou H Est F Alors V =30(0,5).

Si T Est M Et H est M Alors V =50(**0,33**).

Si T Est E (quel que soit l'humidité) Alors V = **70(0,0)**.

La déffuzification en logique floue, on le rappelle : les méthodes de déduction (Min, Max), fournissent des degrés d'appartenance résultants μ_R de la variable de sortie x_R . Il s'agit donc d'informations floues.

Il faut donc transformer cette information floue en une valeur réelle déterminée (Crisp value) qui sera appliquée à l'interface de commande du processus. Dans le vocabulaire de la logique floue, cette transformation est appelée « **déffuzification** ».

La Déffuzification, se fait à partir de données floues obtenues par l'opération inférence floue et passe par deux étapes : l'**agrégation** des données floues obtenues lors de l'inférence floue ensuite le **calcul de la sortie crisp** à l'aide de la méthode du centre de gravité ou celle de Sugeno.

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons détailler chacune de ces étapes.

L'agrégation :

Deux méthodes peuvent être utilisées dans cette étape : La méthode de coupure et la méthode Sugeno.

- **La méthode de coupure :**

Pour expliquer le fonctionnement de cette méthode, considérons l'exemple d'un contrôleur flou (Figure 23) dont le fonctionnement est régi par les trois règles d'expert suivantes:

Si x Est A Alors n Est D.

Si y Est B Alors n Est E.

Si z Est E Alors n Est F.

Où :

x, y, z sont les variables linguistiques d'entrée et n la variable linguistique de sortie.

A, B et C les labels ou fonctions d'appartenance associés respectivement aux entrées x, y et z .

D, E et F les labels ou fonctions d'appartenances associés à la sortie n .

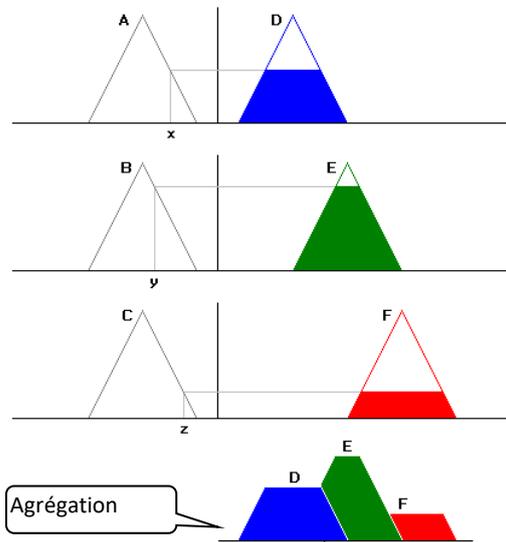


Figure 23 : l'Agrégation avec méthode de coupure

Dans cet exemple, on peut voir que l'agrégation consiste donc à combiner les surfaces en dessous des différentes droites de coupure des données floues des inférences des règles avec les fonctions d'appartenance de la sortie n .

- **La méthode de Sugeno :**

De même, pour expliquer le fonctionnement de cette méthode, considérons ce même exemple de contrôleur flou (Figure 24).

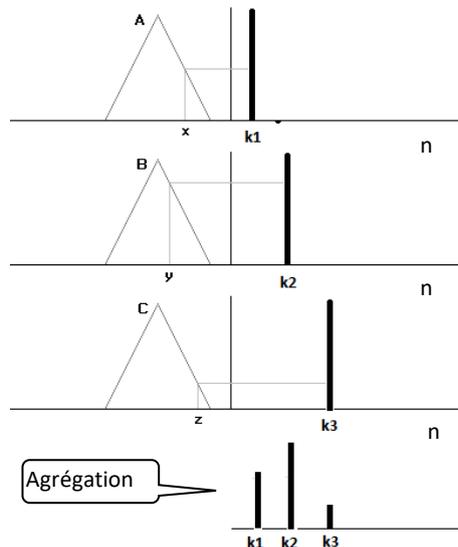


Figure 24 : l'Aggrégation avec la méthode de Sugeno

Dans ce cas, on peut voir que l'agrégation consiste à combiner les singletons pondérés par les valeurs de coupure correspondant aux données floues des inférences des règles avec les fonctions d'appartenance (les singletons unitaires) de la sortie n .

Calcul de la sortie numérique (crisp value)

- **Méthode du centre de gravité**

Avec cette méthode, la valeur numérique de la sortie du contrôleur est calculée avec la formule suivante :

$$C. G = \frac{\sum_{x=a}^b \mu A(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu A(x)}$$

- **Méthode de Sugeno :**

De même, avec cette méthode, la valeur numérique de la sortie du contrôleur est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$C. GSugeno = \frac{\sum_{i=0}^n \mu A(ki) \cdot ki}{\sum_{i=0}^n \mu A(ki)}$$

II.4. Structure d'un contrôleur flou

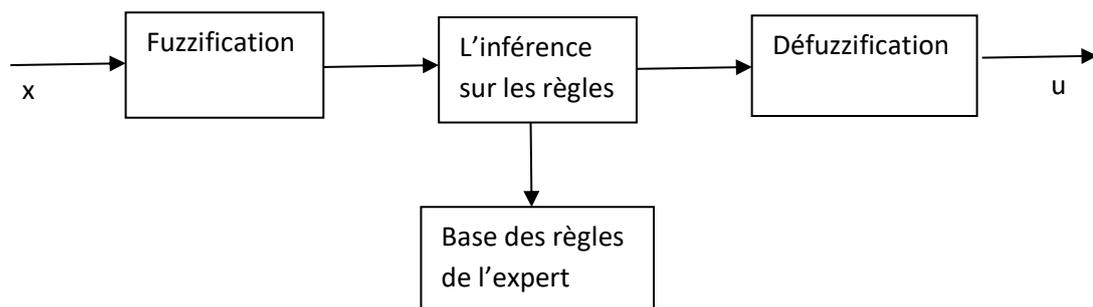


Figure 25 : les composants d'un contrôleur flou

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré, après avoir fait une présentation assez détaillée de tous les concepts sur lesquels la logique floue est basée, que l'application de cette dernière dans la réalisation d'un système de contrôle quel que soit son type (SISO, SIMO, MISO ou MIMO) où l'optimalité de ses entrées permettant d'avoir des sorties elles aussi optimales, ne peuvent être obtenus qu'en faisant recours au concept d'ensembles flous et leurs applications (les ensembles flous) dans un raisonnement flou pour faire la synthèse d'une commande optimale.

Chapitre III : Réalisation matérielle et logicielle

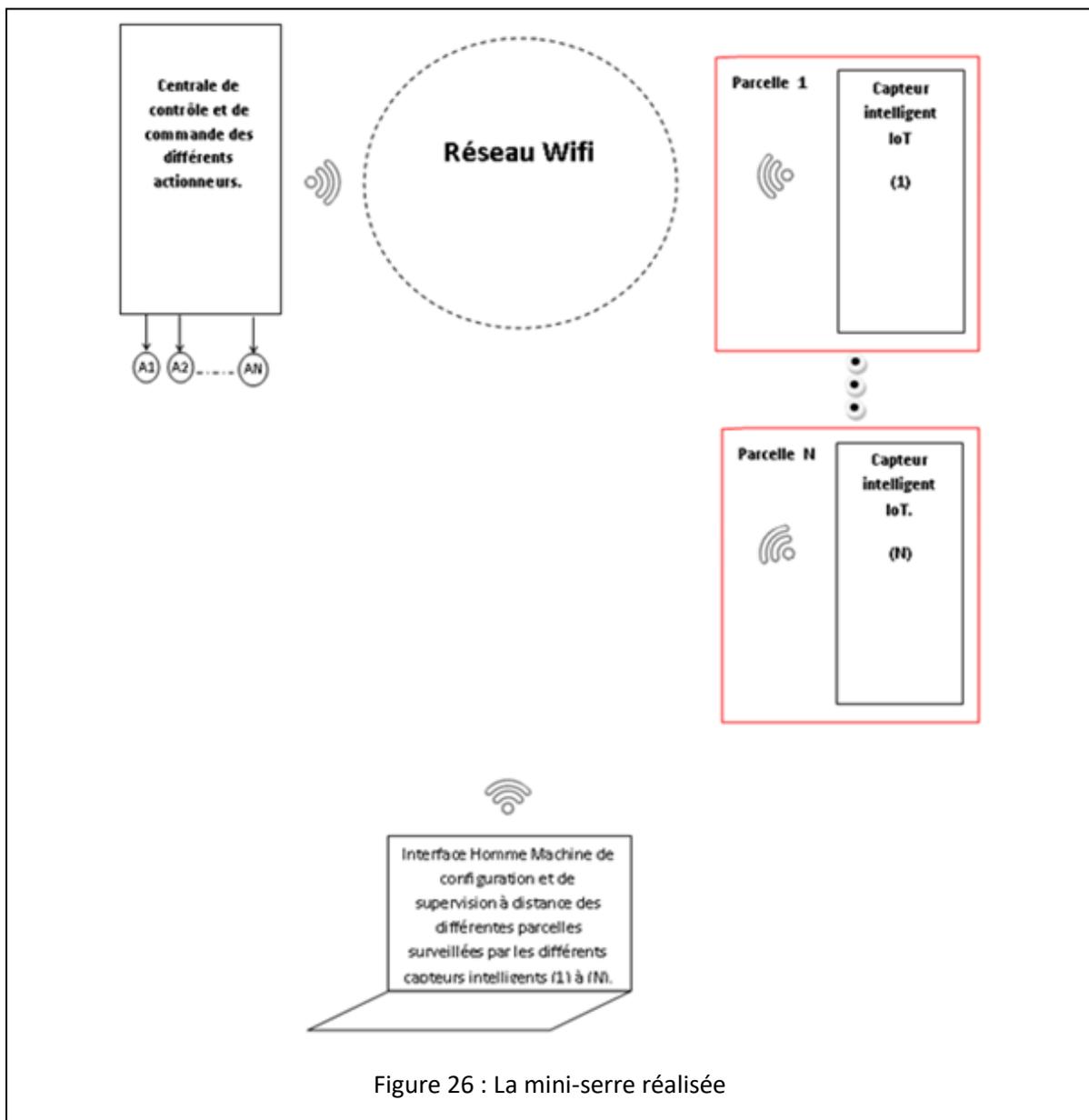
III.1. Introduction

La conception et la mise en œuvre d'un contrôleur à logique floue (FLC) sont présentées.

Considérant que les principales variables contrôlables qui affectent la croissance des plantes, sont l'humidité relative (HR) et la température (T), dans ce travail, ces variables sont utilisées pour créer un système dont le but est d'offrir à des plantes cultivées sous serres, un confort atmosphérique. La méthode de « Sugeno » a été utilisée pour la conception du contrôleur flou. Pour les fonctions d'appartenances des entrées du contrôleur flou nous avons utilisé la fonction triangulaire tandis que pour la sortie nous avons utilisé la fonction singleton. Nous avons implémenté le contrôleur flou sur l'esp32 pour des raisons de performance et de richesse en fonctionnalités. La conception proposée met en évidence les avantages technologiques de l'utilisation d'un système contrôlé par logique floue par rapport aux méthodes traditionnelles.

III.2. Structure du système de contrôle réalisé.

On donne à la figure 26 ci-dessous la conception que nous avons faite de ce système.



Son système de contrôle est constitué d'un réseau de capteurs intelligents sans fil de type IoT, une centrale de commande des différents actionneurs associés et d'une IHM de supervision via Internet pour contrôler et surveiller le climat de la mini serre

La redondance des capteurs dans la configuration du système de contrôle, est due au fait qu'on suppose dans notre conception, que la mini serre est constituée de plusieurs parcelles (N parcelles) où dans chaque parcelle est installé un capteur intelligent.

III.3. Principe de fonctionnement du système de contrôle

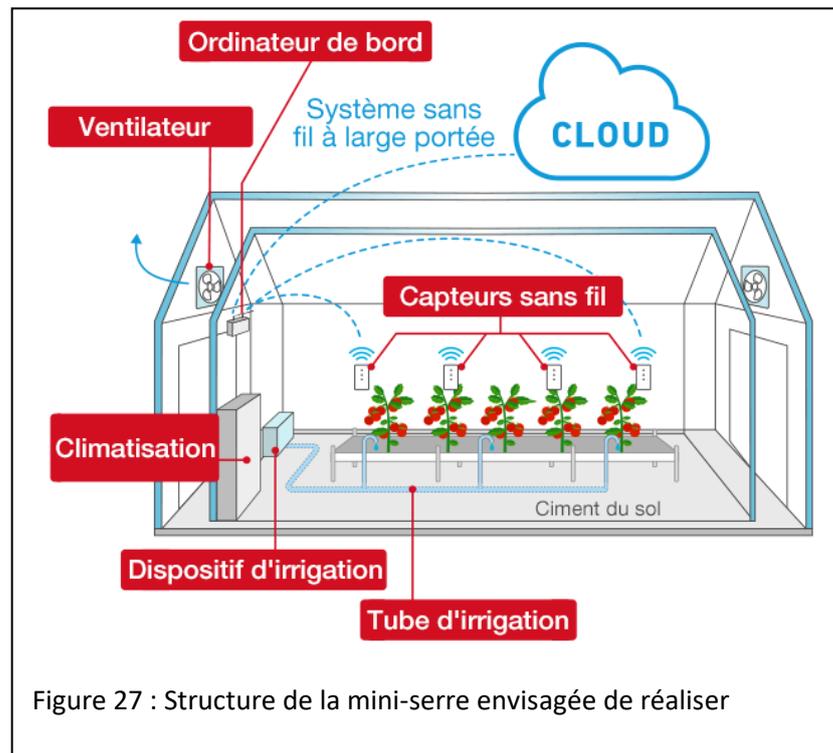
L'application embarquée du système de surveillance et de contrôle, est distribuée sur les différents capteurs et sur la centrale de commande.

Les parties distribuées sur les capteurs, surveillent en permanence et en temps réel, les différents micro-climats des différentes parcelles de la mini-serre et envoient via le réseau « WiFi », les données de commandes des actionneurs à la centrale de commande.

III.4. Construction de la mini-serre

Cette étape de projet était très contraignante. Elle nous a causé beaucoup de problèmes à défaut de moyens. Nous l'avons donc abandonné et nous nous sommes beaucoup focalisées sur la partie de gestion du climat de la mini-serre qui, à nos yeux est la plus importante.

On donne tout de même à la figure 27 ci-dessous, l'image que nous nous sommes faite de la mini-serre que nous avons envisagé de réaliser.



III.4. Réalisation matérielle et logicielle du système de contrôle/commande des paramètres de la mini-serre

On donne à la figure 28 ci-dessous, l'architecture matérielle et logicielle globale du système de contrôle de la mini-serre.

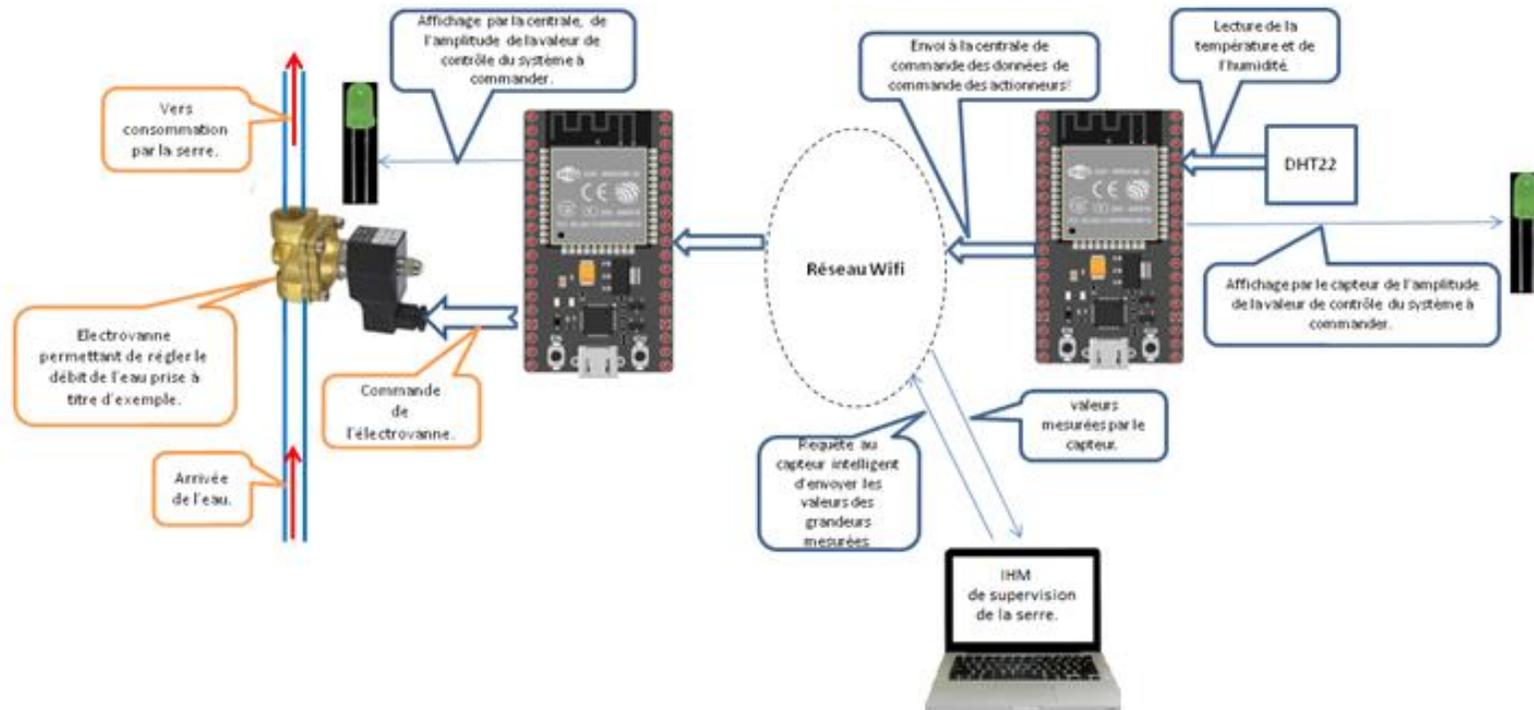


Figure 28 : Le système de contrôle/commande de la mini-serre, réalisé

III.4.1. Réalisation matérielle :

Nous avons réalisé notre réseau de capteurs et la centrale de commande des actionneurs, à l'aide de microcontrôleur ESP32 car il satisfait à nos besoins : communications par wifi, capacité mémoire assez suffisante pour embarquer le logiciel que nous avons développé.

Pour ce qui est du capteur de température et d'humidité nous avons utilisé le DHT22. On montre à la figure 29 ci-dessous comment le brancher à un microcontrôleur.

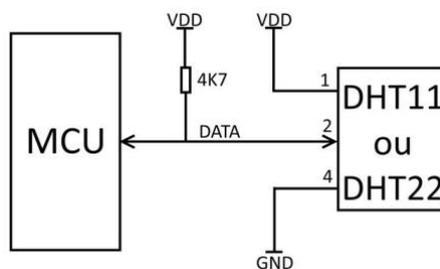


Figure 29 : Branchement d'un DHT22 à un microcontrôleur

III.4.2. Réalisation Logicielle :

Le logiciel prévu de réaliser devrait contenir les composantes suivantes : L'application de gestion du microclimat et l'IHM de supervision à distance, de la mini-serre.

Pour ce qui est de l'application de gestion du microclimat de la mini-serre, l'idée qu'on cherchait à concrétiser était d'effectuer une gestion par intelligence artificielle car elle est beaucoup plus adaptée à ce genre de système. Les actions sur lesquels il était donc question d'intervenir sont : la ventilation, l'irrigation et le chauffage.

❖ La ventilation :

La protection qu'offre la toiture de la serre aux cultures évite les dommages causés par les mauvaises conditions climatiques extérieures : ensoleillement excessif, basses températures, fortes pluies, vents forts, etc., mais elle limite également le renouvellement de l'air et ralentit son mouvement à l'intérieur.

L'air est utilisé pour la transpiration, la respiration et la photosynthèse. Un taux approprié de renouvellement de l'air intérieur ainsi qu'un mouvement adéquat peuvent fournir des niveaux optimaux de température, de déficit hygrométrique et de concentration de dioxyde de carbone uniformément dans tout le volume de la serre. En pratique elle peut être naturelle (Figure 30) ou forcée (Figure 31).



Figure 30 : Exemple de système d'aération naturelle constitué de fenêtres rabattables ou basculantes



Figure 31 : Exemple de système d'aération forcée constitué de ventilateurs/extracteurs

Une gestion intelligente du système de ventilation consiste à procurer à la plante un confort atmosphérique optimal en agissant sur la vitesse de ventilation.

❖ Le chauffage

La plupart des cultures sous serre ont des cycles qui surviennent pendant la saison froide. Une baisse de la température des plantes en dessous d'un minimum optimal provoque différents troubles physiologiques, affections, arrêt végétatif, etc., et l'apparition d'un temps glacial avec des températures extrêmement basses d'une durée suffisante peut produire la mort de la plante ou la perte totale de la récolte.

En pratique il existe plusieurs types. On en donne à la figure 32 suivante un exemple :



Figure 32 : Exemple de système de chauffage constitué de générateurs d'air chaud

Une gestion intelligente du système de chauffage consiste à procurer à la plante un confort thermique optimal.

❖ L'irrigation.

Dans une serre, on ne peut pas compter sur la pluie. On doit donc installer un système d'irrigation.

En pratique il existe plusieurs types. On en donne à la figure 33 suivante quelques exemples.



Figure 33 : Quelques exemples de systèmes d'irrigation

Une gestion intelligente de l'irrigation consiste à contrôler la position d'une électrovanne pour fournir la quantité optimale d'eau par jour dont a besoin une plante.

Maintenant, et à défaut de matériels nous nous sommes limitées à la gestion de la ventilation pour tester et valider notre travail.

Ceci étant dit, le confort atmosphérique est défini par la température et l'humidité relative : la température variant entre une valeur minimale et une valeur maximale et idem pour l'humidité et ce, en fonction de la plante. Dans notre travail nous supposons des plages fictives.

En pratique, il y a deux manières de réaliser un contrôle par intelligence artificielle : à l'aide de la logique floue ou à l'aide de réseaux de neurone. La première étant plus facile à implémenter c'est celle-là que nous avons adoptée pour réaliser notre commande.

III.4.3. Les fonctions d'appartenances utilisées :

Pour la température ainsi que pour l'humidité, nous avons utilisé la fonction triangulaire (Figure 34) définie par l'équation 1. et pour la vitesse de ventilation, nous avons utilisé la fonction singleton (Figure 35).

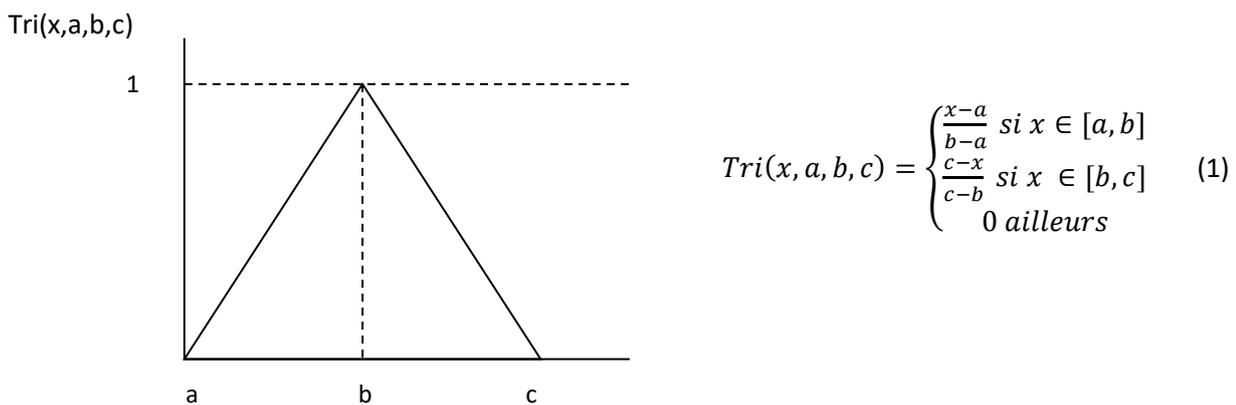
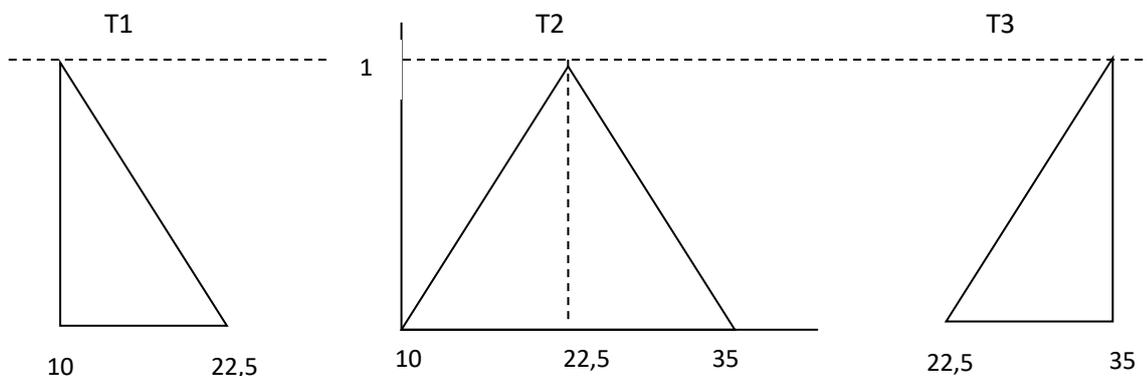
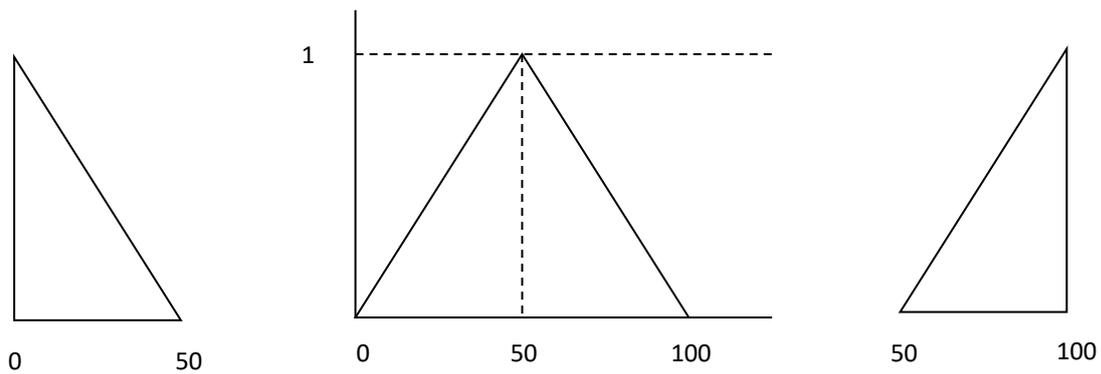


Figure 34 : fonction d'appartenance triangulaire utilisée pour la température et l'humidité.

❖ Fonctions d'appartenances de la température :



❖ Fonctions d'appartenances de l'humidité :



❖ Fonction d'appartenance de la vitesse de ventilation.

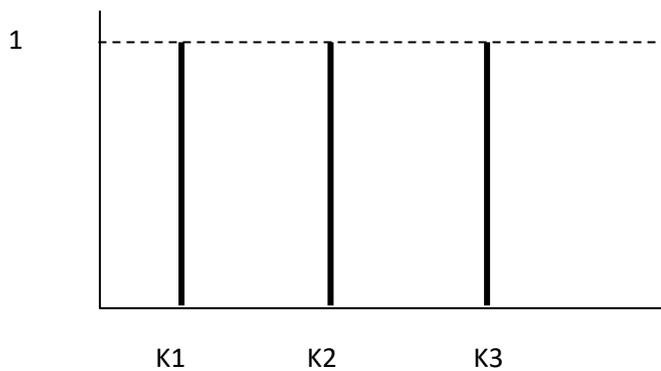


Figure 35 : fonction d'appartenance singleton utilisée pour la vitesse de ventilation

III.4.5. Les règles utilisées :

Nous avons utilisé les règles suivantes :

R1 : if (H is H1) and (T is T1) then (u is U1).

R2 : if (H is H1) and (T is T2) then (u is U2).

R3 : if (H is H1) and (T is T3) then (u is U1)

R4 : if (H is H2) and (T is T1) then (u is U2)

R5 : if (H is H3) and (T is T3) then (u is U1)

R6 : if (H is H3) and (T is T2) then (u is U2)

R7 : if (H is H3) and (T is T1) then (u is U1)

R8 : if (H is H2) and (T is T2) then (u is U3)

R9 : if (H is H2) and (T is T3) then (u is U2)

Avec $U1=K1=0.0$, $U2=K2=0.5$ et $U3=K3=1.0$

III.4.6. Programme du contrôleur flou réalisé :

La figure 36 suivante en montre l'organigramme :

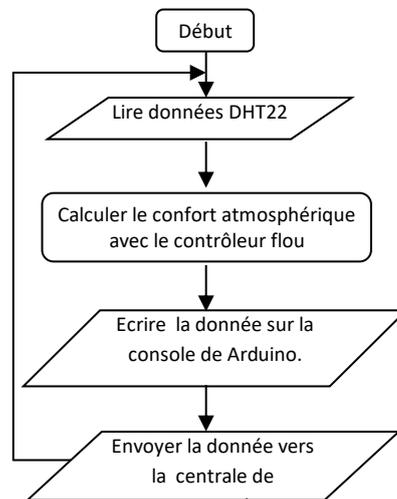


Figure 36 : Programme exécuté par les différents capteurs IoT

III.4.7. Programme de la centrale :

La figure 37 suivante en montre l'organigramme :



Figure 37: Programme exécuté par la centrale de commande

III.4.8. L'Interface Homme Machine réalisée

On donne à la figure 38 suivante, comment se présente cette dernière.

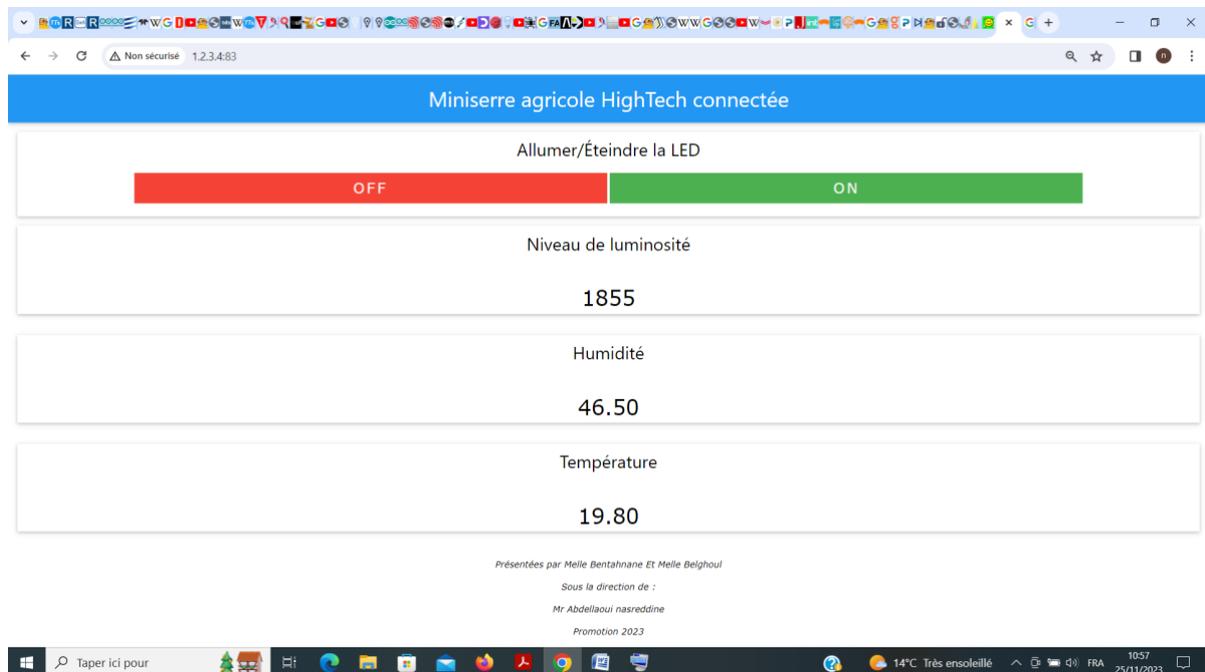


Figure 38 : L'IHM de supervision du climat de la serre

```
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.30 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.38 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.40 *C
Comfort: 72.01 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.40 *C
Comfort: 72.01 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.40 *C
Comfort: 72.01 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.10 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.52 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
Requette bien reçue!!!
Humidity: 62.20 %      Temperature: 20.30 *C
Comfort: 71.45 %
```

Figure 39 : Affichage des paramètres du climat de la serre sur la console de l'IDE Arduino

III.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentés les deux composantes matérielle et logicielle que nous réalises, du système de contrôle et de commande du climat d'une serre. La composante matérielle nous l'avons réalisé à l'aide de l'esp32 car il satisfait nos besoins en performance et fonctionnalités et du capteur numérique de température et d'humidité DHT22 vu sa facilité d'utilisation et sa précision. Maintenant pour ce qui est de la composante logicielle, elle est constituée de trois parties : les algorithmes de control du confort climatique de la serre, qui sont exécutés sur les esp32, le programme de la centrale de commande des différents actionneurs exécuté lui aussi sur un esp32 et de l'IHM de supervision via Internet des paramètres de la serre.

Conclusion générale

Nous avons réalisé dans notre projet, un système de contrôle/commande et de supervision via Internet avec une gestion intelligente à l'aide de la logique floue, du climat atmosphérique d'une serre agricole.

Ce travail nous a été très bénéfique car il nous a permis de consolider nos connaissances, de beaucoup apprendre et de se familiariser davantage avec des techniques de développement qui nous ont permis d'améliorer nos compétences et nos acquis dans la programmation en poo et des interfaces graphiques.

Enfin, ce projet peut constituer une très bonne assise et un très bon prélude pour des travaux se faisant dans ce domaine car nous y avons réunis toutes les bases nécessaires.

Soumaire :

Introduction générale	2
Chapitre I : Généralités sur les serre agricoles	3
I.1. Introduction:	3
I.2 . Définition d'une serre agricole.....	3
I.3.Les nouvelles technologie et l'agriculture sous serre	4
I.4.Serre de haute technologie ou intelligente	5
I.5.Nécessité d'une agricole de haute technologie	5
I.6.Avantage d'une serre agricole de haute technologie	6
I.7.Les nouvelles technologie mises en œuvre dans une serre intelligente ...	7
I.7.1.L'internet des objets et les serre intelligentes.....	8
I.7.2.Le Big date	10
I.7.3.Le cloud Computing	13
I.7.4.L'edge computing	13
I.7.5.L4intelligence artificielle (Logique floue et réseaux de neurones).....	13
I.8.Conclusion.....	13
Chapitre II Généralités sur la logique floue.....	14
II.1. Introduction	14
II.2. La logique floue.....	14
II.3.Les concepts.....	15
II.3.1. Le concept de valeur linguistique.....	15
II.3.2.Le concept de degré de vérité.....	16
II.3.3.Le concept de variable linguistique.....	16
II.3.4.Le concept de sous -ensemble flous.....	16
II.3.5.Le concept d'ensembles de discours.....	16
II.3.6.Le concept de founction d'appartenance.....	16
II.3.7.Fonction d'appartenance d'entrée et fuzzification.....	17
II.3.8.Fonction d'appartenance de sortie,règles,inférence floue et déffuzification	19
Chapitre III :Réalisation matérielle et logicielle	27

III.1.Introduction	27
III.2.Structure du système de contrôle réalisé.....	28
III.3.Principe de fonctionnement du système de contrôle	29
III.4.Construction de la mini-serre.....	29
III.4.R éalisatio matérielle et logicielle du système de contrôle /commande des paramètres de la mini-serre.....	30
III.4.1.Réalisation matérielle	31
III.4.2.Réalisation Logicielle.....	31
III.4.3.Les fonction d'appartenances utilisées.....	35
III.4.5.Les règles utilisés.....	36
III.4.6.Programme du contrôle flou réalisé.....	37
III.4.7.Programme de la centrale.....	37
III.4.8.L'interface Homme Machine réalisée.....	38
III.6.Conclusion.....	40
Conclusion générale	41

LISTE DE FIGURES :

Figure 1 : Serres en verre

Figure 2 : Serres en plastique

Figure 3 : Serre de jardinage privée, à l'intérieur d'une maison

Figure 4 : Serre ouverte au public et de grande taille

Figure 5 : Exemple de serre intelligente IoT

Figure 6 : Capteur et actionneur IoT

Figure 7 : Contrôle automatique et distant d'une serre intelligente

Figure 8 : connexion des objets IoT à Internet

Figure 9 : Architecture (a) d'un capteur IoT, (b) d'un actionneur IoT

Figure 10 : Les 3 V du Big Data

Figure 11 : Demi-trapèze gauche

Figure 12 : Demi-trapèze droit

Figure 13 : Triangle symétrique ou asymétrique

Figure 14 : Trapèze symétrique ou asymétrique

Figure 15 : Exemple de fuzzification d'une valeur mesurée de température

Figure 16 : Exemple de sous-ensemble flou d'entrée, ensemble de discours d'entrée, variable linguistique d'entrée.

Figure 17 : Exemple de sous-ensemble flou, ensemble de discours de sortie, labels de sortie, variable linguistique de sortie

Figure 18 : Singletons ou Rectangles Etroits

Figure 19 : Triangle / Trapèze

Figure 20. : Exemple de règle floue avec une conclusion floue

Figure 22 : Exemple de règle floue avec une conclusion égale à une fonction mathématique des entrées.

Figure 23 : l'Agrégation avec méthode de coupure

Figure 24 : l'Aggrégation avec la méthode de Sugeno

Figure 25 : les composants d'un contrôleur flou

Figure 26 : La mini-serre réalisée

Figure 27 : Structure de la mini-serre envisagée de réaliser

Figure 28 : Le système de contrôle/commande de la mini-serre, réalisé

Figure 29 : Branchement d'un DHT22 à un microcontrôleur

Figure 30 : Exemple de système d'aération naturelle constitué de fenêtres rabattables ou basculantes

Figure 31 : Exemple de système d'aération forcée constitué de ventilateurs/extracteurs

Figure 32 : Exemple de système de chauffage constitué de générateurs d'air chaud

Figure 33 : Quelques exemples de systèmes d'irrigation

Figure 33 : Quelques exemples de systèmes d'irrigation

Figure 34 : fonction d'appartenance triangulaire utilisée pour la température et l'humidité

Figure 35: L'IHM de supervision du climat de la serre

Figure 36 : Affichage des paramètres du climat de la serre sur la console de l'IDE Arduino

Bibliographies

1. Sheetal Vatari, Aarti Bakshi, Tanvi Thakur Green House by using IoT and Cloud Computing 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics Information & Communication Technology
2. Ravi Kishore Kodali, Vishal Jain and Sumit Karagwal —IoT based Smart Greenhouse| 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference
3. P.Rajalakshmi, S.Devi Mahalakshmi —IoT based crop-field monitoring and irrigation automation| 2016 IEEE International Conference on Intelligent System and Control

- 4 Yin Jie, Ji yong Pei, LI Jun,guo Yun,Xu Wei, “Smart Home System based on IOT Technologies” International conferences on computational and Information Science Issue: November-2013

- 5 D.D.Chaudhary, S.P.Nayse, L.M.Waghmare, “Application of wireless sensor network for greenhouse parameter in precision agriculture”, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 3, No. 1, February 2011 PP: 140-149

- 6 Rahul Belsare, Komal Deshmukh, Mayuri Patil, Prof. Hattarge A.M., “Smart Green House Automation” International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET) PP: 1127-1129

- 7 Moataz Soliman¹, Tobi Abiodun¹, Tarek Hamouda, Jiehan Zhou¹, Chung-Horng Lung, “Smart Home: Integrating Internet of Things with Web Services and Cloud Computing” IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science Issue: 2015

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je suis reconnaissante à Dieu Tout-Puissant d'avoir été mon guide, de m'avoir donné la volonté, la force et le courage de faire cet humble travail.

J'exprime ma gratitude à DR. N. ABDALAOUI, pour m'avoir guidé tout au long de ce travail. Je les remercie pour leur grand professionnalisme, leurs conseils, leur soutien et leurs disponibilités continus pour accomplir ce travail.

Je remercie Professeur W. BENSTALI, pour avoir accepté de rendre compte de ce travail et de nous honorer de la présidence du jury.

Je tiens également à remercier DR. M. Bentoumi, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son soutien continu et ses encouragements durant la préparation de ce mémoire, et plus particulièrement mes parents pour leur compréhension, leur présence et leur patience. Merci d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. A tous mes amis de l'université et d'ailleurs, à tous ceux qui ont contribué, de près ou loin, à l'accomplissement de cet humble travail.

Dédicaces

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

A mes chers parents pour avoir été à mes côtés tout au long de mon parcours académique et pour m'avoir encouragé dans ce long cheminement.

A mon frère, ma sœur et mes copines, qui m'accompagné tout au long de mes études et m'a soutenu.

A tous mes professeures et amis qui ont contribué à la réalisation de cet humble travail.