الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITES YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études de Master

Filière : Électronique
Spécialité : Système Embarqué

Thème

Contrôle floue d'un environnement agricole basé sur l'internet des objets

Présenté par,

Mlle.AISSANI Manel

M.FACI Nesrine

Dirigé par :

Dr. BOUHEDDA Mounir

Co-dirigé par :

Mr. BEYEZZA Hamza

Promotion 2019

Travail préparé au sein du Laboratoire des Systèmes Électroniques Avancés (LSEA)
De l'Université de Médéa, ALGÉRIE

Remerciements :

Notre remerciement va en premier lieu à ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi et de nous avoir permis d'en arriver là.

Nous tenons à remercier particulièrement notre encadreur Mr. BOUHADA Mounir
Et Mr. BENYEZZA Hamza comme Co-encadreur son encadrement et pour l'intérêt qu'elle a manifestée à notre travail.

Nous remercierons très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examinateur.

Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui ont contribué à notre formation tout au long de nos années d'étude.

Nous tenons également à remercier tous nos collègues de promotion que nous avons eu le plaisir de les côtoyer pendant cette période de formation.

Nous remercierons tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je commence par rendre grâce à dieu et à sa bonté, pour la patience, la compétence et le courage qu'il m'a donné pour arriver à ce stade ;

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une joie immense, que je dédie ce modeste travail tout d'abord : à mes parents pour leurs amours, leurs sacrifices et leur encouragement qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui ;

A mon binôme Aissani Manel, avec qui j'ai partagé les joies et les difficultés durant ce projet ;

A mes chers sœurs Ihcene Imene Racha mon frère Amhamed Abd Eldjalil et ma nièce Yousra et aussi mon marie Amine que je leurs souhaite une bonne réussite ainsi qu'à toute ma famille ;

Je n'oublierai pas de dédier ce travail à mes précieuses amies Ahlem Nawel Rima Amel Manel Nadia Soumeya KHLIL CHORFI et à toute personne qui me connait ; A mes amis frères et sœurs chers collègues de la promotion électronique des systèmes embarqué avec qui j'ai passé de merveilleux instants et de beaux souvenirs.

A toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Faci Nesrine

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre d'ALLAH, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père.

A la femme qui a souffert sans me laisse souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse :

Mon adorable mère.

A mes chères sœurs Naziha et Fadia pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral et mon cher frère Mohammed Qu'ALLAH le protège et leur offre le bonheur et la réussite.

A tous mes enseignants et toutes mes enseignantes : je saisis cette occasion pour leur exprimer mes respects et ma considération.

A mon binôme Nesrine, avec qui j'ai partagé les joies et les difficultés durant ce projet,
Qu'ALLAH te réalise tes rêves et te protège.

Je n'oublierai pas de dédier ce travail à mes précieuses amies Anfal Nawel Rima Amel Manel Nadia Hayet Hanen Samia et Khadidja et KHLIL CHORFI et à toute personne qui me connait ; A mes amis frères et sœurs chers collègues de la promotion électronique des systèmes embarqué avec qui j'ai passé de merveilleux instants et de beaux souvenirs.
A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment

AISSANI Manel.

العنوان: التحكم الضبابي في بيت بلاستيكي بناءا على انترنت الاشياء

الملخص

الغرض من هذا العمل هو الاشراف و التحكم الضبابي في درجة الحرارة الرطوبة و الاضاءة في بيت بلاستيكي القائم على انترنت الاشياء. لتحقيق ذلك يتم استخدام شبكة استشعار/ مشغل لاسلكي (شبكة الاستشعار اللاسلكية)،يتم تطبيق خوارزمية التحكم الضبابي التي يتم تطويرها استنادا الى لغة بيثون في خادم(رازبيري) حيث يتم تجهيز واجهة الانسان–الة ضمن نظام نود–راد الخاص ب(آلات الأعمال الدولية) للاشراف و التحكم.

Title: Fuzzy control of an agricultural greenhouse based on the Internet of Things

Abstract

The goal of this work is the fuzzy supervision and control of the temperature, humidity and light of an agricultural greenhouse based on the Internet of Things (IoT). To achieve this, a wireless sensor / actuator network (WSN) is used, the fuzzy control algorithm developed based on the Python language is implemented in a Raspberry server where a Human Machine Interface (HMI) is realized. under IBM's Node-Red platform for supervision and control. Tests are carried out on a greenhouse prototype have validated the effectiveness of the proposed system.

Keywords: Fuzzy Control, IoT, HMI, Node-Red, Greenhouse, WSN.

Titre : Contrôle flou d'une serre agricole basé sur l'Internet des objets

Résumé

L'objectif de ce travail est la supervision et le contrôle flou de la température, humidité ainsi que la lumière d'une serre agricole basés sur l'Internet des objets (Ido). Pour arriver à cette fin, un réseau de capteur/actionneur sans fils (WSN) est utilisé, l'algorithme de contrôle flou développé à base du langage Python est implémenté dans un serveur de Raspberry où une interface Homme-Machine (IHM) est réalisée sous la plateforme Node-Red d'IBM pour la supervision et le contrôle. Des tests sont réalisés sur un prototype d'une serre ont validé l'efficacité du système proposé.

Mots clé : Contrôle flou, Ido, IHM, Node-Red, Serre agricole, WSN.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE……1

Chapitre I : les serres agricoles

I.1. Introduction 3

I.2. Définition d'une serre 3

I.3. Intérêt de la serre 4

I.3. Composantes d'un abri serre 4

I.3.1. Ossature (armature).....4

I.3.2. Matériaux de l'enveloppe 5

I.3.2.1. Verre 5

I.3.2.2 Matériaux plastique.....6

I.4. Types de serre.....6

I.4.1. Serre tunnel 6

I.4.2. Serre isolée.....7

I.4.3. Serre mobile.....7

I.4.4. Serres châssis 8

I.4.5. Serres en cloche 8

I.4.6. Serres multi-chapelle 8

I.5. Mise en place de la serre.....10

I.6. Équipements d'une serre 10

I.6.1. Extracteurs 10

I.6.2. Humidificateur 11

I.6.3. Chauffage de la serre 11

I.6.4. Type de ventilation de la serre.....12

I.6.4.1. Ventilation naturelle.....12

I.6.4.2. Ventilation forcée.....13

I.6.5. Système automatique d'aération d'une serre.....13

I.6.6. Électrovanne 14
I.6.7. Éclairage de la serre avec des lampes à LED 15
I.6.8. Système d'arrosage 16
I.7. Conclusion 17

Chapitre II : Environnement et outils de travail

II.1. Introduction 18
II.2. Internet des objets 18
II.2.1. Définition 18
II.2.2. Architecture de l'IdO 19
II.2.3. Applications de l'Internet des Objets 20
II.3. Logique floue 21
II.3.1.Logique floue : intérêts et limites 21
II.3.2. Logique floue vs logique classique 22
II.3.4. Opérateurs de la logique floue 25
II.3.5. Règles floues 26
II.3.6. Variables linguistiques : 26
II.3.7.1. Interface de fuzzification 29
II.3.8. Avantages et inconvénients de la logique floue 31
II.4. Node Red 32
II.5. Arduino 36
II.5.1. Principe de fonctionnement 36
II.5.2. Carte Arduino Uno 37
II.5.3. Arduino IDE : 37
II.6. Raspberry 38
II.7. Conclusion 40

Chapitre III : Réalisation du projet

III.1. Introduction 41

SOMMAIRE

III.2. Cahier de charge 41
III. 3. Fonctionnement général du système de supervision et de contrôle proposé 41
III.4. Présentation des composants.....42
III.4.1. Capteur de température et d'humidité DHT22.....42
III.4.2. Les actionneurs.....44
III.4.2.1. Système de ventilation .....**Erreur ! Signet non défini.**
III.4.2.2. Dispositif de chauffage.....**Erreur ! Signet non défini.**
III.4.2.3 : humidificateur .....**Erreur ! Signet non défini.**
III.4.2.4. Extracteur.....46
III.4.2.5. Relais.....46
III.5. Supervision, algorithmes de contrôle et protocole de communication 47
III.5.1. Algorithmes.....47
III.5.2. Problématique : 50
III.5.2.1. NRF 24L01 50
Protocole de montage.....53
III.5.2.2. Protocole Enhanced Shock Burst.....53
Transaction simple 53
Gestion de transaction.....54
Multi-récepteur (multi-receiver).....54
Transaction avec donnée en retour.....54
III.6. Communication sans fil 54
III.6.1. Le nœud principal (Maitre) 55
III.6.1.1. Initialisation.....55
III.6.1.2. Configuration : .....**Erreur ! Signet non défini.**
III.6.2.Le nœud de capteurs (Esclave) : 58
III.7. Interface Homme Machine (IHM) 58
III.7.1. Programmation visuelle de l'IHM.....59

III.7.2. Affichage des grandeurs 62

III.8. Supervision et contrôle à base de l'IoT 63

III.8.1 FRED (Front End for Node-Red).....63

III.9. Protocole de test réalisé 63

III.9.1.Mesure et test 66

- Premier cas (logique floue) :.....66
- Deuxieme cas (tutorial) 68

III.9.2. Résultats et discussion 69

III.11.Conclusion 70

CONCLUSIONGENERALE……71

REFERENCE BIBLIOGHRAPHIQUE……..72

Liste des figure

chapitreI :les serres agricoles

Figure I.1. Serre tunnel 4
Figure I.2. Serre isolée 5
Figure I.3. Serre mobile 5
Figure I.4. Serre châssis 5
Figure I.5. Serre en cloche 6
Figure I.6. Serre multi-chapelle 6
Figure I.7. Aération uniforme située sur le faîtage. 7
Figure I.8. Ouverture par déplacement vertical. 7
Figure I.9. Extracteur 8
Figure I.10. Humidificateur. 8
Figure I.11. Chauffage 9
Figure I.12. Ventilation forcée 10
Figure I.13. Aération automatique. 12
Figure I.14. Électrovanne 12
Figure I.15. Utilisation des LED dans les serres 13
Figure I.16. Kits irrigation – arrosage 14

chapitreII:environnement et outils de travails

Figure II.1.une nouvelle dimension pour l'IdO 17
Figure II.2. L'architecture d'Internet des Objets 18
Figure II.3. Domaines d'applications de l'IdO 19
Figure II.4. Logique floue VS logique Classique 21
Figure.II.5. fonction d'apparence 22
Figure. II. 6. opérateur Ou et Et 24
Figure.II.7. Variable linguistique 'qualité du service' 25
Figure.II.8. Variable linguistique 'qualité de la nourriture' 26
Figure.II.8. Variable linguistique 'montant du pourboire' 27
Figure II.9. Schéma général d'un système flou. 28
Figure II.10: Défuzzification par centre de gravité. 29

Figure II.11. Environnement de programmation 31
Figure II.12. Installation de gestionnaire des nœuds (npm)..... 31
Figure II.13. Installation de Dashboard 32
Figure II.14. Dashboard Install 32
Figure II.15. Dashboard 33
Figure II.16. réglage d'une gauge 34
Figure II.17. Carte Arduino 35
Figure.II.18. Arduino IDE 36
Figure II.19 Modèle Raspb 38

chapitreIII :réalisation pratique

Figure. III. 1. Système de supervision et de contrôle..... 41
Figure. III.2. DH22 capteur..... 42
Figure.III.3. Principe de montage 43
Figure.III.4.ventilateur 43
Figure . III.5. chauffage 44
Figure.III.6. Humidificateur..... 45
Figure III.7. Relais électrique 12V 46
Figure III.8. Principe de supervision et de contrôle de température et l'humidité 47
Figure . III.9. nRF24L01+..... 49
Figure III.10. Brochage du module nRF24L01+ 50
Figure III.11. Brochage avec Arduino 51
Figure. III.12. Communication multiple de Nrf24L01+ 52
Figure III.13.code de configuration de NRF24L01+ 54
Figure III.14. communication maitre/esclave 54
Figure.III.15 .donnée collectée au nœud principale..... 55
Figure III.16. transaction de donnée en retour 56
Figure III.17.configuration du port serial 57
Figure III.19. Nœud Python dans Node-Red 58
figure III.18. Fonctions d'appartenance des entrées 58
Figure.III.19. fonction d'appartenance des entrés 58

Figure III.21.separation de données via json **59**
Figure III.22.configuration de la fonction json **59**
Figure III .24.configuration interne des fonctions **60**
Figure III.26. Installation de FRED **61**
Figure III.27. configuration interne des fonctions de FRED (input/output) **62**
Figure III.28. node-red board **62**
Figure III.30. les données capturées **64**
Figure III.31.visualisation dashboard **65**
Figure III.32. visualisation réel **65**
Figure III.33 visualisation dashboard **66**
Figure III.34.Visualisation réel **66**
Figure III.35.Visualisation dashboard **67**
Figure III.36.evolution de temperature **67**
Figure III.37. Évolution d'humidité **68**

Liste des tableaux

Tableau III.1 : paramètres du module nRF24L01+ 49
TableauIII.2 : brochage de NRF24L01+ 50

Introduction générale

Les applications industriels est une nouvelle branche de technologie qui a exploré le marché ses dernières années dans les maisons, les écoles, les officines et aussi l'agriculture ; ce qui a permet une indépendance aux systèmes, ce dernier a créé un confort pour les ouvriers ainsi qu'aux responsables. Cette technologie apporte un plus à l'automatisation des systèmes utilisé, ce qui permet la minimisation du nombre d'ouvriers, la réduction considérable du cout, l'augmentation du rendements et l'optimisation de la production sur tous les plans.

L'électronique, l'informatique la télécommunication et la physique forment un ensemble de disciplines qui intègrent la domotique, cet ensemble à intérêt de contrôler er superviser l'éclairage, l'arrosage, le réglage de température et humidité et autres paramètres dans une serre agricole. La serre est un abri exploitant le rayonnement solaire, destinée à la culture et à la protection des plantes.

L'objectif étant de créer un environnement propice à leur développement en tirant parti de l'influence du climat. En créant un micro climat, la serre permet d'influencer le cycle végétatif des plante [1]. Pour interagir avec le matériel en faisant la collecte des données des capteurs, le stockage dans une base de données et l'envoi des consigne aux actionneur, il nous faux un lien qui est 'Une Interface Homme-Machine' (IHM) permettant de connecter une personne à une machine, à un système ou à un appareil [2].

L'Internet des objets (IdO), ou IoT (Internet of Things), est un scénario dans lequel ces objets se voient attribuer des identifiants uniques, ainsi que la capacité de transférer ces données sur un réseau sans nécessiter aucune interaction humain-à-humain ou humain-à-machine. L'IdO est issu de la convergence des technologies sans fil, des systèmes micro-électromécaniques et d'Internet.[3]

C'est dans ce contexte que notre travail consiste à proposer une solution pour la supervision et le contrôle intelligent à base de logique floue des paramètres d'une serre agricole (température, humidité, lumière) en se basant sur l'Internet des Objets.

Un prototype d'une serre est utilisé, un réseau de capteurs sans fils à base d'Arduino et module de communication radiofréquence (NRF24L01+) est implémenté et relié à une carte Raspberry qui héberge la plateforme de supervision et contrôle réalisée sous Node-Red d'IBM. Les différents programmes de contrôle, communication, IHM ont été réalisés en utilisant les langages Python, C et JavaScript.

La description du travail réalisé dans ce mémoire est structurée en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre nous avons présenté les serres agricoles en détail en donnant les composants des serres les types et aussi l'équipement utilisé dans les serres.
- Dans le deuxième chapitre nous avons introduit les outils de travail et l'environnement dans lesquels la réalisation proposée a été mise en œuvre.
- Dans le troisième chapitre on a présenté la réalisation de notre projet fin d'étude, les divers composants éléctronique et physique qui rentrent dans notre réalisation en mentionnent les étapes de développement ainsi que l'environnement de programmation d'interface homme-machine et les étapes de la réalisation pratique.

Finalement, la conclusion générale fait la synthèse générale de ce mémoire, et résume les résultats obtenus et donne des perspectives pour ce projet.

I.1. Introduction

Les cultures maraichères ont connu un développement considérable sur le pourtour du bassin méditerranéen. Nous remarquons lors de ces dernières années, les structures d'agriculture dans les pays méditerranéens se sont rapidement et profondément transformées. La serre est conçue comme une enceinte limitée par une paroi transparente, protégée de certains effets indésirables du climat extérieur, créant alors des conditions peu favorables aux cultures. Une serre est destinée en principe à fournir un milieu plus propice pour la culture des plantes moins rustiques qui auraient du mal à se développer dans les conditions ambiantes locales normales.

La réussite des plantes cultivées sous serres ou abris du même genre dépend en général de la couverture en verre ou plastique, la source de chaleur, l'humidité et la lumière. Donc la différence essentielle entre la culture en plein air et la culture sous abri repose donc sur une maitrise totale de l'environnement de la serre.

I.2. Définition d'une serre

Dans son sens le plus large, une serre désigne un dispositif établi pour modifier à moindres frais l'action des facteurs naturels et l'adapter au mieux aux besoins des plantes. Par sa présence, la serre crée, à partir du milieu naturel, un milieu semi-artificiel permettant de cultiver des végétaux qui, sans elle, ne pousseraient pas ou ne monteraient pas à fleurs et à fruits, ou pousseraient avec des rendements dérisoires. Bien que très éloignée de la serre, la simple haie brise-vent, pour un investissement minime, évite déjà efficacement le dessèchement à une certaine surface cultivée.

Plus élaborés, les abris légers (tunnels plastiques, châssis ou abris vitrés), encore peu onéreux, permettent de monter de quelques degrés la température au niveau des plantes et les protègent des gelées, d'où un gain de deux à quatre semaines de précocité selon les espèces, sous les climats tempérés.

Enfin, les serres classiques comprennent un bâti en dur, supportant une ossature en bois ou en métal, garnie de vitrages avec vasistas, en cas d'usage hivernal, un chauffage est ajouté, un éclairage artificiel peut être prévu en appoint plus d'autres équipements selon le besoin.[1]

I.3. Intérêt de la serre

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid). Elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO_2 et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en hors saison.

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

I.3. Composantes d'un abri serre

I.3.1. Ossature (armature)

Il en existe quatre types pour la structure d'ossature : le bois, le PVC, l'aluminium, et l'acier.

- **Le bois** : est le matériau le plus esthétique et le meilleur isolant thermique, il devra être choisi imputrescible et sans nœud ni fissure. La qualité du bois est un critère de longévité, éviter un bois trop tendre qui risque de se détériorer plus facilement s'il n'est pas régulièrement entretenu. La serre en bois devra être isolée du sol par un support en briques, évitant ainsi tous les problèmes de dégradation de la base.
- **Le PVC** : est le moins cher de tous les matériaux, c'est en outre un bon isolant, qui limite la condensation et permet des économies d'énergie, de plus, son entretien est aisé. Cependant il faut savoir que le PVC ternit avec le temps, sa longévité est moindre par rapport au bois ou à l'aluminium et il ne supporte pas un poids très élevé, ce qui l'écarte pour la construction de grandes structures.
- **L'aluminium** : est la structure la plus courante, elle apporte une grande résistance notamment aux vents violents. Léger, il nécessite peu d'entretien et ne rouille pas. Les serres en aluminium haut de gamme peuvent avoir une durée de vie d'une centaine d'années. Côtés inconvénients, l'aluminium n'est pas un très bon isolant, il faudra privilégier un système de fixation à clip en acier à chaque angle couplé avec des bourrelets en PVC ou du mastic pour l'étanchéité des joints.

- **L'acier :** est idéal quant à lui, pour la construction de très grandes serres car il est souple et résistant, il est rarement destiné à l'usage des particuliers et doit être galvanisé pour éviter la rouille.

I.3.2. Matériaux de l'enveloppe

I.3.2.1. Verre

- Le verre minéral plat transparent ou translucide est un silicate de chaux et soude à 74 % chaux 10 à 15 % et soude 13 à 17 %. Les différents types de verre utilisés dans les cultures sous serre sont : Le verre transparent ou claire (appelé verre horticole) ; Le verre martelé ou cathédrale (verre horticole coulé), le verre horticole à faible émissivité, le double vitrage, le verre isolant, le verre trempé, le verre armé, et le verre feuilleté.
- Le verre horticole clair est très transparent à l'ensemble du rayonnement solaire, entre 380 et 2500 nm, sa transmission dans le visible est particulièrement élevée, comprise généralement entre 89 et 91 % en incidence normale.
- Le verre martelé ou cathédrale, est très utilisé durant les années 60, il présente une face plane et l'autre volontairement ondulée. La face plane est dirigée vers l'extérieur. II est beaucoup moins utilisé actuellement. Ses avantages sont : Ce verre diffuse fortement la lumière, ce qui est avantageux dans l'éclairement des plantes. Ses inconvénients sont les pertes très élevées par réflexion.
- Le double vitrage est conçu pour réduire les pertes thermiques, on utilise souvent, sur les parois latérales, un double vitrage constitué de deux vitres posées de (6 à 20 mm) l'une de l'autre. Les vitres peuvent avoir la même épaisseur (4mm). L'espace entre les vitres contient de l'air (sec de préférence).
- Le verre isolant, est un ensemble préfabriqué de deux feuilles de verre espacées l'une de l'autre de façon définitive et étanche, emprisonnant un gaz déshydraté (mélange riche en CO_2, par exemple), ce type de vitrage est bien performant en isolation thermique, en revanche il présente une réduction de la transmission lumineuse et un coût d'investissement plus élevé.
- Verre trempé, verre armé, verre feuilleté, ils sont plus solides que les verres précédents, ces matériaux sont utilisables dans des zones à fort risque de grêle ou sur des serres recevant du public (jardineries). Ils sont alors en concurrence avec des matières plastiques. Ils sont caractérisés par leur résistance à la flexion et au choc

suivant certaines directions. Lorsque le verre trempé est brisé, il se réduit en miettes. Leur inconvénient est le surcoût élevé par rapport à un verre normal.

I.3.2.2 Matériaux plastique

- Les matériaux plastiques rigides, ces matériaux appelés également verres organiques, se présentent soit sous forme de plaques rigides d'une épaisseur de l'ordre de 4 mm (PVC, Polyester), soit sous forme de plaques à double ou triple paroi (polycarbonate, poly-méthacrylate de méthyle). On peut citer quatre types principaux de ce type de plastique rigide : Le polyester armé de fibres de verre (PRV), le chlorure de polyvinyle biorienté (PVC biorienté), le polycarbonate (PC), le poly méthacrylate de méthyle (PMMA).
- Les matériaux plastiques souples (films), ce sont des matériaux plastiques souples ou films souples utilisés sur des structures simples et économiques de type tunnel ou sur des constructions plus élaborées, mais à charpente plus légère que celles des serres vitrées. Le choix de l'utilisation se fait généralement à partir des caractéristiques de ces matériaux qui dépendent en grande partie de leur composition chimique. Les films les plus utilisés sont à base de polyéthylène ou plus exactement de polyéthylène à basse densité (PE bd) avec de nombreux produits dérivés, (PE thermique). Le polychlorure de vinyle (PVC) plastique est peu employé en couverture de serre dans notre pays.[3]

I.4. Types de serre

I.4.1. Serre tunnel

Une serre tunnel est formée de plusieurs grands arceaux métalliques, recouverts d'un filme souple en plastique transparent, qui lui donne la forme d'un tunnel. Les dimensions de la serre dépendent des besoins du jardinier, ces types de serres sont caractérisées de :

- La hauteur varie généralement entre 2 et 2,50 mètres.
- La largeur se situe entre 3 et 5 mètres.
- Une surface au sol minimale de 6 m²
- La deuxième porte est nécessaire dès que la serre tunnel dépasse les 6 mètres de long (figure I.1).



Figure I.1. Serre tunnel

I.4.2. Serre isolée

Dans ce type de serre on peut avoir des murs droits ou inclines vers l'intérieur. Quant à leur toit, il peut être simplement à deux versants ou bien en croup avec un arêtier ou encore curvilinéaire à double croupe (figure I.2).



Figure I.2. Serre isolée

I.4.3. Serre mobile

Les exploitants commerciaux utilisent des serres mobiles qui peuvent être déplacées au-dessus des cultures sur un système de rails, cela facilite leur programme de rotation (figure I.3).



Figure I.3. Serre mobile

I.4.4. Serres châssis

Une serre châssis de bonne taille mesure environ 1.2x1.80m² comme la figure 4. On peut se procurer des châssis doubles et multiples de ces modèles se bases, ces châssis légers en métal ou en plastique sont faciles à déplacer, on peut disposer des châssis le long des côtés d'un serre a demi parois de planches pour qu'ils bénéficient du surplus de chaleur provenant de la serre .la forme la plus simple de châssis est un panneau léger de verre ou de plastique que l'on place au-dessus d'une force peu profonde (figure I.4).



Figure I.4. Serre châssis

I.4.5. Serres en cloche

Le serre la plus récente est la cloche tunnel en feuille de plastique souple que l'on étire sur une série d'arceaux en fil métallique et que l'on maintient en place le long de la rangée grâce à d'autre arceaux métalliques, les extrémités y sont fermement ancrées lorsqu'on les enfouit dans le sol, l'aération est assurée en relevant le plastique de côté opposé au vent (figure I.5)[4]



Figure I.5. Serre en cloche

I.4.6. Serres multi-chapelle

Les différentes pièces qui composent la structure de la gamme à serres multi-chapelle sont conçues pour être parfaitement assemblées grâce à des joints vissés qui simplifient le montage tout en absorbant idéalement les différentes forces qui ont un impact sur la structure. Elles sont très demandées pour leur robustesse et leur grande capacité d'adaptation aux dimensions et aux caractéristiques du terrain (figureI.6).



Figure I.6. Serre multi-chapelle

Ces types de serres sont caractérisés par :

- ✓ Matériaux de revêtement :
  - Film plastique,
  - Matériaux semi-rigides.
  - Plaque rigide.
- ✓ Les éléments en aluminium et les profils d'ancrage.
- ✓ Un volume intérieur important.
- ✓ L'inclinaison des arceaux permettent de tirer le meilleur parti des rayons solaires.[5]
  - Aérations au faîtage (figure I.7).



Figure I.7. Aération uniforme située sur le faîtage.

  - Aérations latérales (figure I.4).



Figure I.8. Ouverture par déplacement vertical.

I.5. Mise en place de la serre

Le choix du site d'implantation des serres est essentiel. L'ensoleillement et le potentiel de production sont beaucoup plus faibles dans septentrionales que dans les régions méditerranéennes.
Les premières ont une vocation naturelle pour la production estivale de qualité, et les secondes ont l'avantage en hiver.

Il faut enfin garder à l'esprit que l'objectif de la production serre comme toute production, n'est pas d'attendre le rendement maximal de produits de qualité mais de générer la marge, la plus élevée possible, ce qui est infiniment plus subtil.

D'autres considérations que l'ensoleillement entrent donc en considère l'heure du choix socioéconomique, l'environnement scientifique et technique. [6]

I.6. Équipements d'une serre

I.6.1. Extracteurs

Les ventilateurs extracteurs (figureI.9) permettent de forcer l'aération dans la serre lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit et/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**.**



Figure I.9. Extracteur

I.6.2. Humidificateur

Un humidificateur permet d'incorporer un grand nombre de microparticules 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. L'humidificateur (figure I.10) est très pratique pour humidifier et refroidir de façon contrôlée la serre en ayant aussi la possibilité d'effectuer des traitements de désinfection avec des produits phytosanitaires soluble.



Figure I.10. Humidificateur.

I.6.3. Chauffage de la serre

La chaleur est abondante, tandis qu'en hiver il faut du chauffage artificiel. Dans une serre, la température monte intensément quand le soleil brille. Sans ventilation et/ou protection, elle peut devenir fatale pour les plantes. Les rayons à ondes courtes du soleil traversent le verre et chauffent le sol, les tablettes et les parois. La chaleur est réfléchie sous la forme longues ondes, qui ne pourront plus ressortir en passant par le verre, ainsi la température augmente. Le chauffage est très important lorsque la serre est utilisée pour l'hivernage des plantes vivaces, contre les gélives en général, les pélargoniums, les vieux arbustes de fuchsia, etc. Nous prévoirons un apport suffisant d'air frais. Il est très important d'assurer une température adaptée aux espèces de plantes que vous cultivez dans votre serre. Les critères pour votre choix de chauffage sont : une puissance suffisante, le prix d'achat, la facilité à l'emploi, l'entretien.

Si on opte pour le raccordement au courant du secteur, on pourra installer des radiateurs électriques sûrs, pratiques et efficaces. Ces appareils sont généralement munis d'un thermostat qui permet d'économiser l'énergie. Ils ne nécessitent pas d'entretien et suppriment la corvée d'approvisionnement en combustible. Ces appareils assurent en plus une bonne circulation d'air. Pendant l'été vous pourrez les utiliser en guise de ventilateur, en coupant simplement la fonction chauffage. Utilisez un thermomètre min/max pour maintenir la température souhaitée pendant la nuit. Une isolation appropriée de la serre permettrait de réduire considérablement les frais de chauffage. La méthode la plus efficace serait d'utiliser une serre avec vitrage en polycarbonate à double parois. L'investissement serait amorti en quelques saisons s'il y'a besoin de chaleur constante (figure I.11). [6]



Figure I.11. Chauffage

I.6.4. Type de ventilation de la serre

La température et le taux d'humidité à l'intérieur d'une serre dépendent de son aération. Il s'agit d'un processus complexe qui participe à l'essentiel des échanges de chaleur avec l'extérieur, sa maîtrise permet donc de contrôler certains paramètres essentiels au bon fonctionnement de la serre tels que la température, l'humidité.

I.6.4.1. Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est le système le plus économique pour réguler le microclimat interne de la serre. Il s'agit des ouvrants disposés sur la structure. Les ouvertures doivent représenter environs 20% de la surface au sol et avoir un angle d'ouverture assez important pour permettre à l'air de bien circuler. Par le toit, une installation de l'ouvrant côté Nord est préconisée, les ouvertures au plafond permettent à l'air de se mélanger correctement dans la serre. Il ne faut pas négliger les ouvertures sur les côtés au niveau des plantes qui augmenteront l'efficacité de l'ouvrant du toit et qui moduleront la ventilation. La circulation

de l'air sera alors optimale, créant un circuit interne autorégulé. Au printemps et en été on peut bien évidemment, ajouter l'ouverture totale des portes pour faire encore baisser la température interne.

I.6.4.2. Ventilation forcée

La ventilation forcée nécessitera une installation électrique spécifique dans la serre : boîtiers électriques avec protection des circuits, démarreurs, lignes, canaux électriques … Par la suite on peut installer un ventilateur : Il s'agit habituellement de ventilateurs de type hélicoïdal avec des persiennes, fonctionnant en mode extracteur d'air.

Par son action ces types de ventilateurs fournissent le renouvellement du volume d'air logé dans la serre et permettent l'extraction du et le rééquilibrage du climat général, ces ventilateurs doivent de préférence être installés à l'opposé des vents dominants.

Ce type d'installation figure I.12) est adéquat pour suppléer le fonctionnement de l'aération naturelle dans les serres, garantissant l'aération à des moments déterminés pendant lesquels les conditions environnementales ne conviennent pas aux cultures (fort enneigement empêchant l'ouverture, vent violent)[7]



Figure I.12. Ventilation forcée

I.6.5. Système automatique d'aération d'une serre

Ce système d'ouverture automatique pour serre est l'accessoire indispensable pour que votre serre reste correctement ventilée et que vos cultures puissent s'y épanouir dans un cadre idéal. En effet, le dispositif ouvrira l'aération lorsque la température sera trop élevée et permettra de faire circuler l'air dans votre serre. Une fois la température redescendue, le système automatique refermera l'aération. Ce système absolument indispensable permettra de vous

assurer que la température ambiante de la serre se maintienne à un niveau acceptable, les caractéristiques des systèmes d'aération se sont :

- Ouvre automatiquement l'aération de la serre au-delà d'une température prédéfinie. Il se refermera une fois la température redescendue.
- Température réglable entre 15°C et 23°C.
- Permet une ouverture de 35 cm.
- Système mécanique activé par la chaleur - pas d'électricité, donc pas de frais de fonctionnement
- Convient pour les lucarnes jusqu'à 7kg
- Réaction immédiate aux changements de conditions climatiques - contrôle de la température automatisé.
- Revêtement en métal chromé anticorrosion pour une grande résistance face aux conditions climatiques difficiles.
- Facile à installer - consignes d'installation fournies avec le système d'ouverture.

Ce système automatique d'ouverture capture le gaz qui se répand lorsque la température augmente et s'en sert pour activer l'ouverture et la fermeture de la lucarne sans aucun frais de fonctionnement. Ce système simple, ingénieux, économique et écologique, sera idéal pour réguler la température ambiante de votre serre que vous soyez chez vous ou non. Vous pouvez régler la température d'ouverture entre 15°C et 25°C (Figure I.13).[8]



Figure I.13. Aération automatique.

I.6.6. Électrovanne

Une électrovanne sert à alimenter en eau les appareils. C'est un robinet électromagnétique qui ouvre et ferme, aux moments voulus, les arrivées d'eau. Il est commandé par l'électronique pour l'arrivée d'eau et par le pressostat pour la fermeture du débit lorsque le niveau d'eau requis est atteint. [i]

La présence d'une électrovanne permet d'assurer la gestion de l'eau et son économie en fonction des besoins en arrosage. Dans les systèmes les plus sophistiqués, il est totalement possible de planifier la distribution de l'eau et de paramétrer le débit d'eau de différentes façons au gré de la portion de jardin à arroser ou de la sècheresse du terrain. Le programmateur intégré dans le système d'arrosage facilite cette tâche : on peut régler à la fois le débit et la durée d'ouverture de l'électrovanne (figure I.14).[9]



Figure I.14. Électrovanne

I.6.7. Éclairage de la serre avec des lampes à LED

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

Éclairage LED est considérée comme l'une des options les plus respectueuses de l'environnement, l'efficacité énergétique atteint 96%. Pour créer le niveau d'éclairage nécessaire, il est possible de sélectionner les éléments multicolores, ce qui **les conditions les plus optimales** pour la croissance et le développement des cultures (figure I.15).



Figure I.15. Utilisation des LED dans les serres

L'éclairage d'une serre en utilisant une LED présente plusieurs avantages :

- Économie - l'éclairage des serres par les LEDs permet de diminuer considérablement le coût de l'électricité ;
- Longue durée de vie - jusqu'à 50 000 heures ;
- Exclu la crédibilité brûlure des feuilles, puisque les lampes pour les serres sont LED, ne chauffent pratiquement pas ;
- Pas besoin de temps pour se réchauffer, ils s'allument instantanément.
- Ils résistent au froid et les conditions de serre ;
- Lampe à glace résistant aux surtensions ;
- Absence de composants cassants, résistance à la contrainte mécanique ;
- Éclairage à diode grâce à flux de lumière diffusée ce qui permet d'éclairer de grands espaces.[10]

I.6.8. Système d’arrosage

L'arrosage est évidemment primordial dans la réussite de vos cultures. On propose une gamme avec différents systèmes et technologies de distribution de l'eau : Le système d'arrosage goutte-à-goutte est particulièrement adapté aux tomates, et aux autres plants qui préfèrent l'arrosage au pied. L'aspersion permet un arrosage uniforme, et est particulièrement apprécié de variétés telles que les radis, salades et fleurs (par contre les tomates ne supportant pas ce système). Le système de micro-goutteurs est parfait si on a une culture en pots, puisqu'il permet de diriger précisément le jet sur une zone de votre choix (figure I.16).[11]

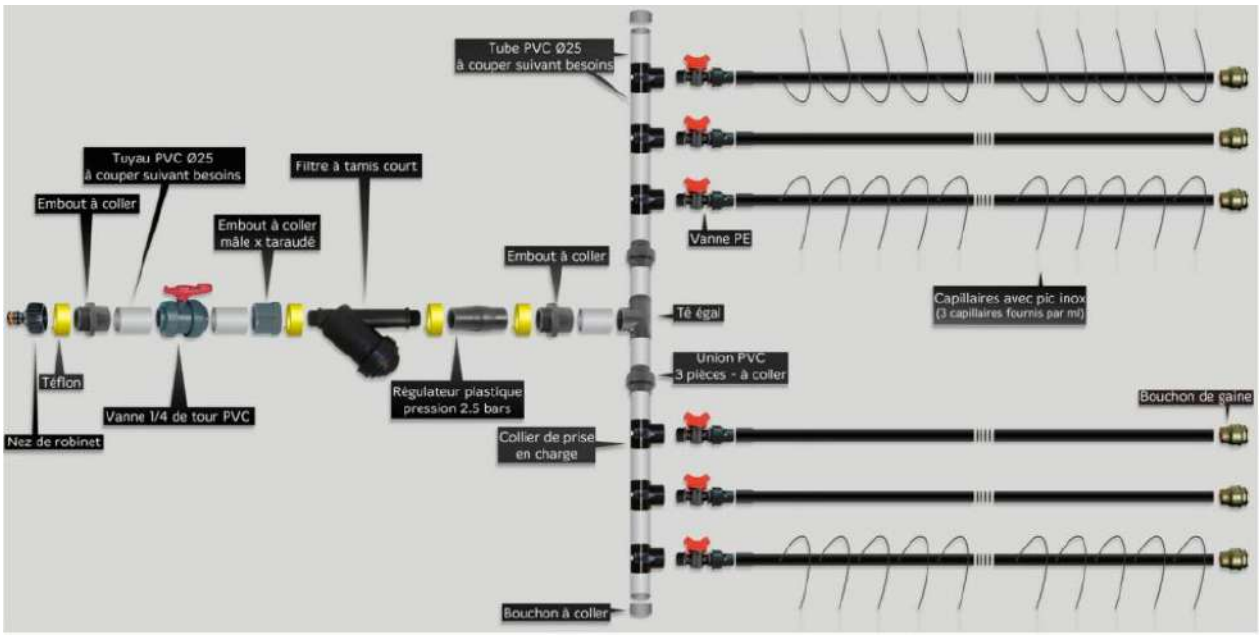


Figure I.16. Kits irrigation – arrosage

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les serres agricoles aussi que quelques concepts liés à la serre agricole. Cette dernière est devenue l'intérêt et l'objectif de plusieurs entreprises agricultures vu son rendement bénéfique en terme qualitatif et quantitatif.

Le futur de l'agriculture se centre au tour de cette technologie, et en combinaison avec les technologies émergentes telles que l'internet des objets vont beaucoup améliorer et développer ce domaine.

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'ensemble des outils matériels et logiciels utilisés tels que Arduino, Raspberry et ensembles des capteurs et de composants, le lien entre ces composants est basé sur internet des objets ce qui nous permet de contrôler notre serre a distance.

Pour le développement de notre interface, nous présentons l'environnement de programmation « python, Node Red ». Ensuite, nous profitons de ce chapitre pour introduire la notion du « Cloud Storage » utilisée dans notre projet pour sauvegarder les données sur le Cloud.

II.2. Internet des objets

II.2.1. Définition

On définit l'internet des objets comme une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global a des capacités d'auto-configuration basé sur des standards et des protocoles de communication interopérables. Dans ce réseau, les objets physique et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des interfaces intelligentes, et ils sont intégrés au réseau d'une façon transparente

Cette définition montre les deux aspects de l'IdO : temporel et spatial qui permettent aux personnes de se connecter de n'importe ou à n'importe quel moment à travers des objets connectés (Figure.II.1) (Smartphone, tablette, capteurs, caméra de vidéosurveillance…etc.) L'Internet des objets doit être pensé pour un usage facile et une manipulation sécurisée pour éviter des menaces et risques potentiels, tout en masquant la complexité technologique sous-jacente.

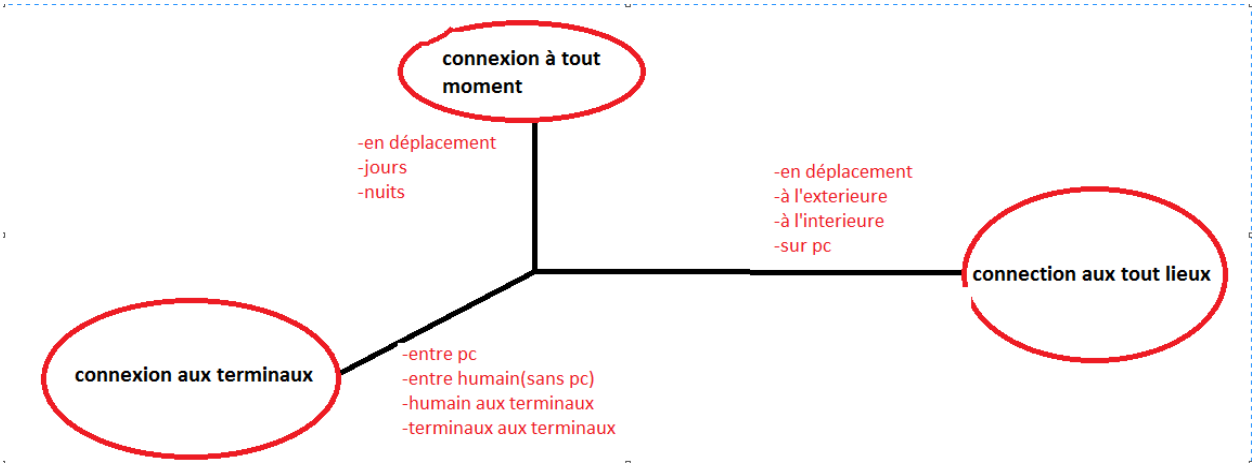


Figure II.1.une nouvelle dimension pour l'IdO

II.2.2. Architecture de l'IdO

Vu le développement rapide de l'IdO, il devenait nécessaire d'avoir une architecture de référence(figure.II.2) qui permettrait d'uniformiser la conception des systèmes et favoriserait l'interopérabilité et la communication entre les différents écosystèmes de l'IdO. Par exemple, un objet de marque X devra pouvoir envoyer des informations à une plateforme Y via le réseau Z. L'interopérabilité peut être vue sous deux angles , soit «fermé » au sein e grands écosystèmes qui partagent les mêmes standards , soit « native » basée sur des standards plus globaux.

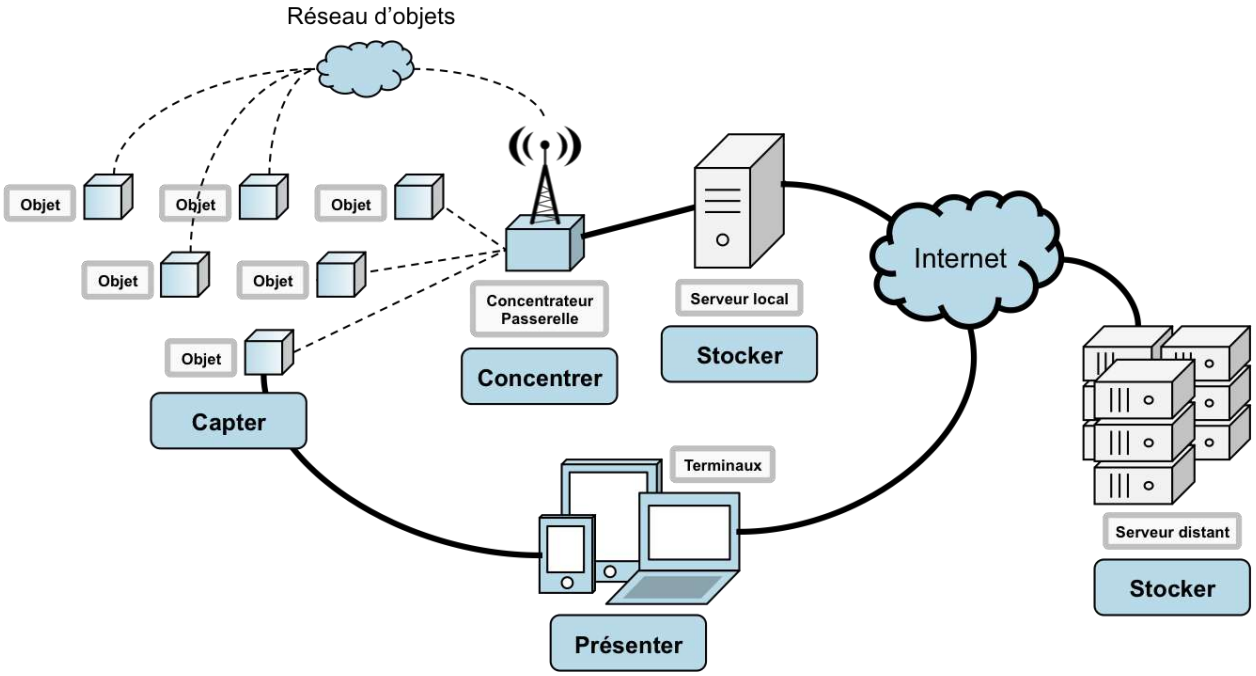


Figure II.2. L'architecture d'Internet des Objets

En mars 2015 le comité IAB (Internet Architecture Board, propose quatre modèles communs d'interactions entre des acteurs de l'IdO :

- La communication entre objets : ce modèle est basé sur une communication sans-fil entre deux objets. Les informations sont transmises grâce à l'intégration d'une technologie de communication sans-fil come ZigBee ou Bluetooth, etc.
- La communication des objets vers le cloud : dans ce modèle, les données collectées par les capteurs envoient à des plateformes de services via un réseau.
- La communication des objets vers une passerelle : ce modèle est basé sur un intermédiaire qui fait le lien entre les capteurs et les applications dans le cloud.
- Des objets au partage des données en back-end : l'objectif de ce modèle permet le partage des données entre les fournisseurs de service. Il est basé sur le concept « web programmable ». Les fabricants mettent en place une API permettant l'exploitation des données agrégées par d'autres fabricants.

II.2.3. Applications de l'Internet des Objets

Les applications de l'IdO touchent pratiquement aujourd'hui toute la vie quotidienne (figure.II.3) :

- La santé et les systèmes de télésurveillance pour aider les personnes.
- L'agriculture connectée pour optimiser l'usage de l'eau.
- Les véhicules connectés aident à optimiser la gestion du trafic urbain.
- Les appareils électroménagers connectés aident à optimiser la consommation et la distribution de l'énergie électrique.
- Les arts numériques.
- Les montres connectées pour le bien-être et le sport...etc.[1]

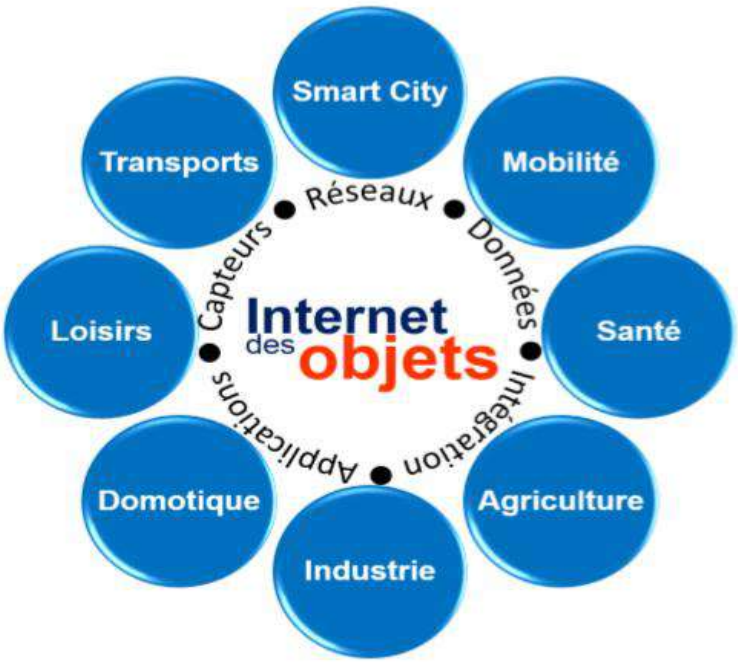


Figure II.3. Domaines d'applications de l'IdO

II.3. Logique floue

La logique floue est une extension de la logique classique qui permet la modélisation des imperfections des données et se rapproche dans une certaine mesure de la flexibilité du raisonnement humain.

Dans ce court d'introduction, nous définirons les notions de base de la logique floue en les illustrant par un exemple qui sera gardé tout au long du cours. Cet exemple sera la décision du montant du pourboire à l'issue d'un repas au restaurant, en fonction de la qualité du service ressentie ainsi que de la qualité de la nourriture (exemple souvent utilisé pour introduire à la logique floue).[2]

II.3.1.Logique floue : intérêts et limites

On entend de plus en plus souvent parler de la logique floue comme d'une méthode offrant des performances hors du commun, permettant de gérer des systèmes complexes de façon intuitive. Certaines boutiques ont même utilisé la logique floue comme outil marketing ; ne vous est-il jamais arrivé de voir sur une machine à laver, une étiquette *Fuzzy Technology Inside* ?? Néanmoins, comme toute méthode, la logique floue apporte son lot d'avantages, mais aussi d'inconvénients. Dans cet article, j'expliquerai le principe de la logique floue comparé à la logique classique. Je mettrai en avant les différents domaines d'applications ainsi que les avantages et inconvénients de l'application d'une telle méthode.

II.3.2. Logique floue vs logique classique

La logique classique est un pan des mathématiques relativement bien connu du public. C'est sur son principe que fonctionne les ordinateurs, calculateurs et la plupart des machines numériques. En logique classique, les décisions sont binaires : soit vraies, soient fausses. C'est sur ce point que la logique floue va se distinguer de la logique classique. En logique floue, une décision peut être à la fois vraie et fausse en même temps, avec un certain degré d'appartenance à chacune de ces deux croyances.

Par exemple, considérons ces deux règles d'inférences :

- Si l'objet est à moins de 20 mètres, alors il est proche
- Si l'objet est à plus de 20 mètres, alors il est loin

En logique classique, un objet ne pourra être que proche ou que loin. Si la distance à l'objet est de 19 mètres, alors celui-ci sera proche. En logique floue par contre, l'objet sera à la fois proche et loin en même temps. Ici, l'objet qui se situe à 19 mètres, sera par exemple proche à 60% et loin à 40%. On se rend compte qu'en logique floue (figure II.4), un fait n'a plus une appartenance stricte à une croyance, mais une appartenance "floue" :

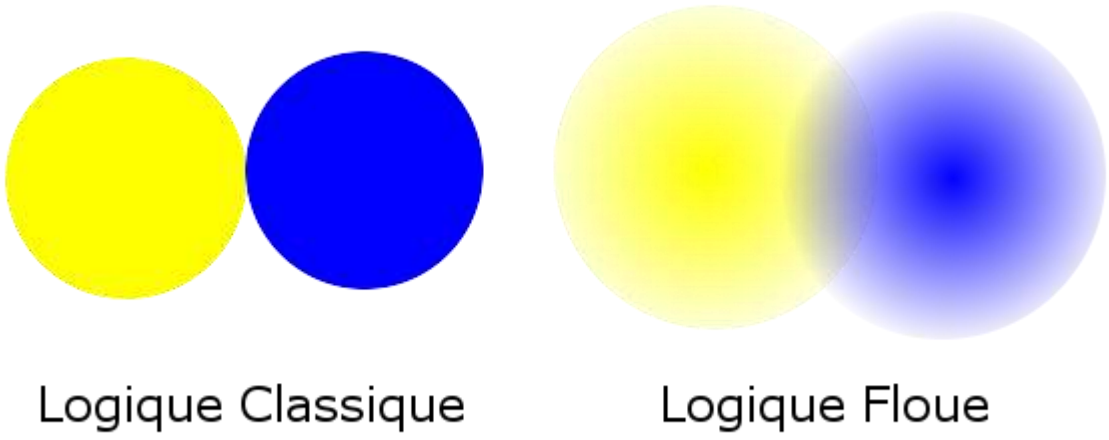


Figure II.4. Logique floue VS logique Classique

La logique floue a été développée et formalisée par Lofti Zahid en 1965. Cette théorie se base sur la théorie des ensembles flous et la logique. Elle généralise notamment le *Modus Ponens* de la logique classique.

- En logique classique, le *Modus Ponens* stipule que *sachant A, si A implique B, alors on en déduit B.* (A,A⇒B⊢B) et on peut lire : « de *A* et de *A* ⇒ *B* on déduit *B* », ou encore « *A* et *A* ⇒ *B* donc *B* », c'est-à-dire que l'on affirme *A* et *A* ⇒ *B*, et on en déduit que l'on peut affirmer *B*.
- En logique floue, le *Modus Ponens* est formulé différemment : *sachant que x est A', si x est A implique y est B, alors on en déduit y est B'*. (x=A′, x=A⇒y=B⊢y=B′)

Avec un exemple un peu plus concret, si l'on sait qu'une tomate est mûre si elle est rouge. Si l'on voit une tomate très rouge, alors ça veut dire qu'elle est très mûre.[3]

Pour pouvoir définir les caractéristiques des ensembles flous, nous redéfinissons et étendons les caractéristiques usuelles des ensembles classiques.

Soit X un ensemble, A un sous-ensemble flou de X et μAμA la fonction d'appartenance le caractérisant.

Définition : La **hauteur** de A, notée h(A)h(A), correspond à la borne supérieure de l'ensemble d'arrivée de sa fonction d'appartenance : h(A)=sup{μA(x)|x∈X}h(A)=sup{μA(x)|x∈X}.

Définition : A est dit **normalisé** si et seulement si h(A)=1h(A)=1. En pratique, il est extrêmement rare de travailler sur des ensembles flous non normalisés.

Définition : Le **support** de A est l'ensemble des éléments de X appartenant au moins un peu à A. Autrement dit, c'est l'ensemble supp(A)={x∈X|μA(x)>0}supp(A)={x∈X|μA(x)>0}.

Définition : Le **noyau** de A est l'ensemble des éléments de X appartenant totalement à A. Autrement dit, c'est l'ensemble noy(A)={x∈X|μA(x)=1}noy(A)={x∈X|μA(x)=1}. Par construction, noy(A)⊆supp(A)noy(A)⊆supp(A).

Définition : Une αα-**coupe** de A est le sous-ensemble classique des éléments ayant un degré d'appartenance supérieur ou égal à αα : α-coupe(A)={x∈X|μA(x)⩾α}α-coupe(A)={x∈X|μA(x)⩾α}.

Voici une autre fonction d'appartenance(figure II.5) pour un pourboire moyen sur lequel nous avons fait figurer les propriétés précédentes :

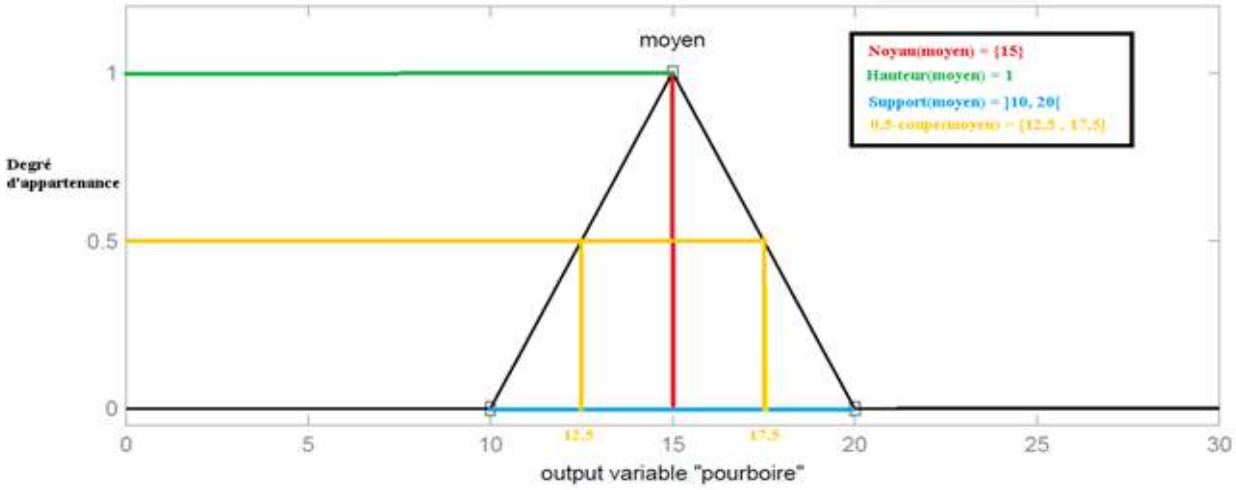


Figure.II.5. Fonction d'apparence

Nous remarquons que si A était un ensemble classique, nous aurions simplement :

Supp(A)=noy(A)supp(A)=noy(A) et h(A)=1h(A)=1 (ou h(A)=0h(A)=0 si A=∅A=∅).

Nos définitions permettent donc bien de retrouver les propriétés usuelles des ensembles classiques. Nous ne parlerons pas de la cardinalité car nous n'utiliserons pas cette notion dans la suite de ce cours.

II.3.4. Opérateurs de la logique floue

Une fois les ensembles flous définis, des mathématiques concernant ce type d'ensemble ont été développées. Les méthaniques élaborées ressemblent beaucoup à celles reliées à la théorie des ensembles conventionnels. Les opérateurs d'union, d'intersection et de négation existent pour les deux types d'ensemble. Les opérateurs habituels, soit l'addition, la soustraction, la division et la multiplication de deux ou plusieurs ensembles flous existent aussi. Toutefois, ce sont les deux opérateurs d'union et d'intersection qu'on utilise le plus souvent dans la commande par la logique floue.

- **Opérateur NON**

$$c = \bar{a} = (a)$$
$$(x) = 1 - (x)$$

- **Opérateur ET**

L'opérateur ET correspond à l'intersection de deux ensembles a et b et on écrit :

C=$a \cap b$

Dans le cas de la Logique floue, l'opérateur ET est réalisé dans la plupart des cas par la formation du minimum, qui est appliquée aux fonctions d'appartenance**µ**a(x)et **µ** b(x) des ensembles a et b, à savoir : **µ** c=min {**µ**a, **µ**b}

Où **µa** signifient respectivement le degré d'appartenance à l'ensemble a, b et c. On parle alors d'opérateur minimum.

- L'opérateur OU : L'opérateur OU correspond à l'union de deux ensembles a et b et on écrit :

  C=a ∪ b

Il faut maintenant calculer le degré d'appartenance à l'ensemble c selon les degrés des ensembles a et b. Cela se réalise par la formation du maximum. On a donc l'opérateur maximum(figure.II.6)

μ c=max {**μ**a, **μ**b}

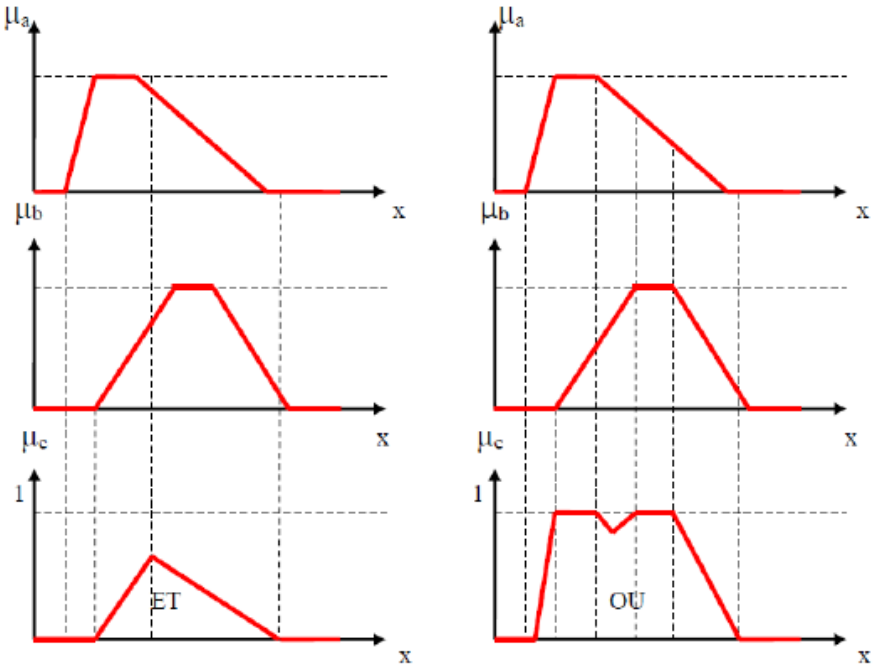


Figure. II. 6. Opérateur Ou et Et

II.3.5. Règles floues

La règle floue est une relation exprimée à l'aide d'une implication entre deux propositions floues, par exemple, considérons deux variables linguistiques (V1, U, Tv1) (V2, U, Tv2) et les deux propositions suivantes 'V1 et A','V2 est B', ou A et B sont deux ensembles flous de V1 et V. On peut définir la règle floue par l'expression, si V1 et A Alors V2 est B.

Généralement, plusieurs règles floues sont nécessaires pour prendre une décision face à une situation donnée. On s'intéresse au cas de plusieurs règles floues dans le domaine de la commande et la régulation. Les règles floues peuvent être décrites de plusieurs façons :

- Linguistiquement
- Symboliquement
- Par matrices d'inférence

II.3.6. Variables linguistiques :

Le concept de fonction d'appartenance vu précédemment nous permettra de définir des systèmes flous en langage naturel, la fonction d'appartenance faisant le lien entre logique floue et variable linguistique que nous allons définir à présent. (Figure.II.7.8.9).

Définition : Soit V une variable (qualité du service, montant du pourboire, etc.), X la plage de valeurs de la variable et TVTV un ensemble fini ou infini de sous-ensembles flous. Une **variable linguistique** correspond au triplet (V,X,TV)(V,X,TV).[2]

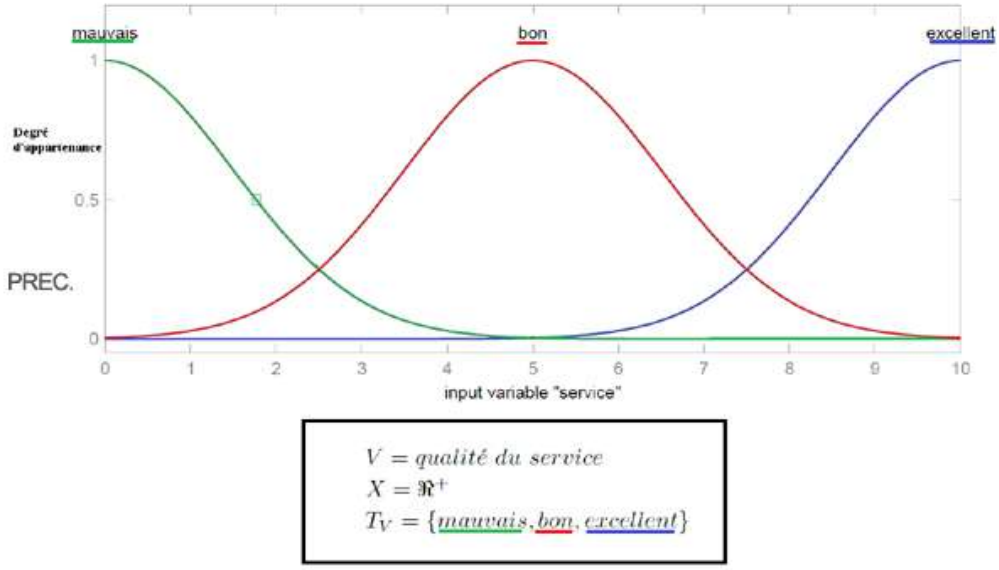


Figure.II.7. Variable linguistique 'qualité du service'

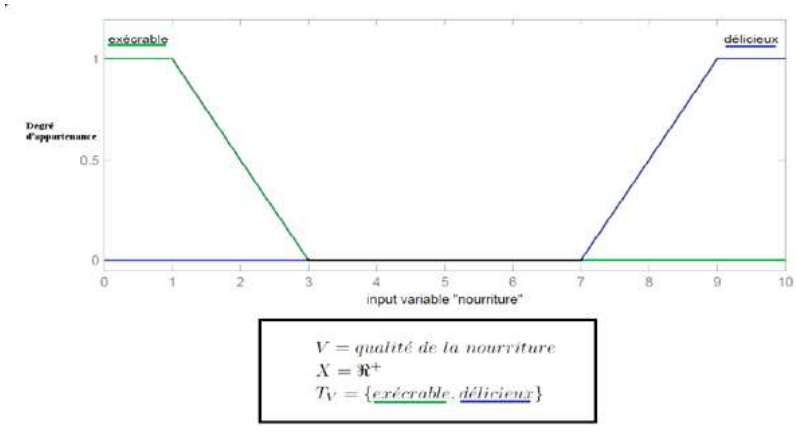


Figure.II.8. Variable linguistique 'qualité de la nourriture'

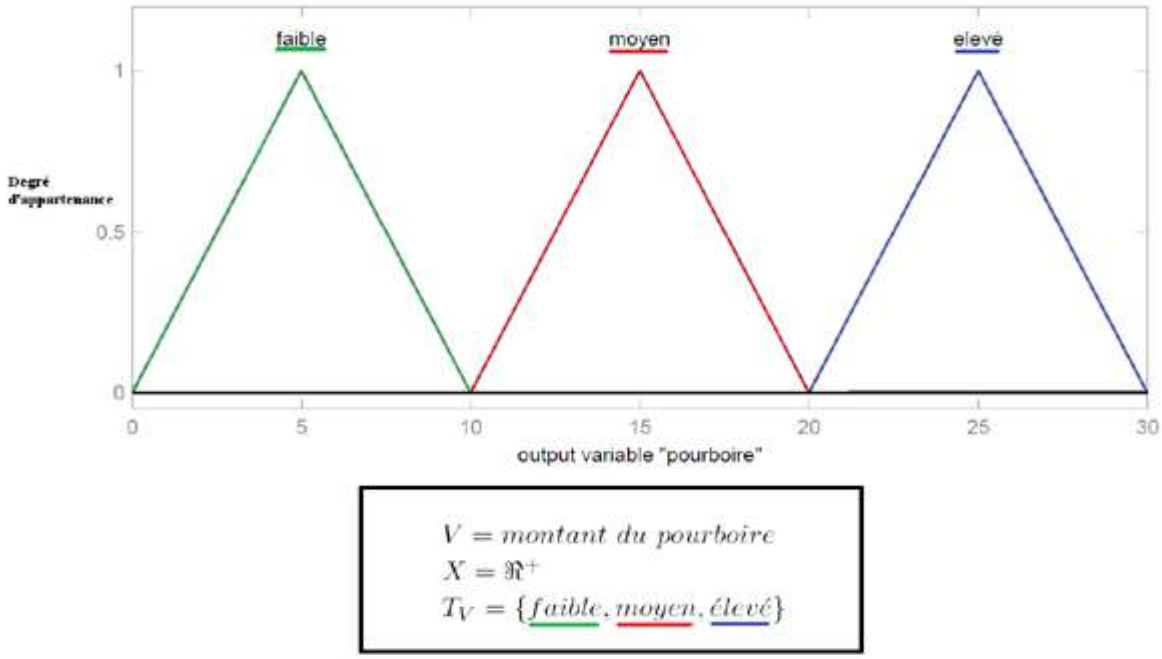


Figure.II.8. Variable linguistique 'montant du pourboire'

II.3.7. Constitution d'un système floue

Un système flou est composé de quatre parties essentielles présenté dans la (figure.II.9) :

- La base de connaissance constituée d'une base de données et d'une base des règles.
- Le système d'inférence.
- L'interface de fuzzification.
- L'interface de defuzzification.

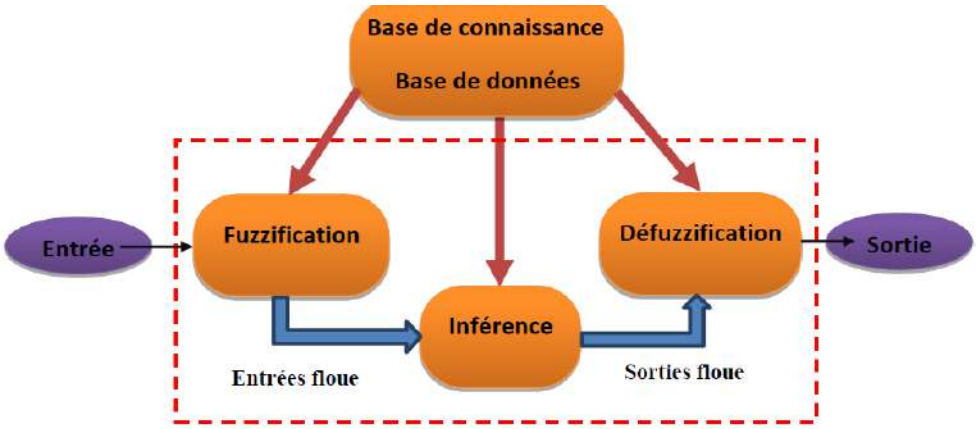


Figure II.9. Schéma général d'un système flou.

II.3.7.1. Interface de fuzzification

La fuzzification est l'opération de projection des variables physiques réelles sur des ensembles flous caractérisant les valeurs linguistiques prises par ces variables. Le bloc de fuzzification effectue les fonctions suivantes :

- Établit les plages de valeurs pour les fonctions d'appartenance à partir des valeurs des variables d'entrées.

Effectue une fonction de fuzzification qui convertit les données d'entrée en valeurs linguistiques convenables qui peuvent être considérées comme l'étiquette des ensembles flous. Cette opération doit être effectuée dans un domaine normalisé généralement par l'intervalle [-1,1] afin de faciliter le calcul.

II.3.7.2. Base de règle

C’est la collection de règle qui permet de lier les variables floues d'entrée et de sortie, elles ont la forme : "if- then" ou "si-alors", elles peuvent être écrites textuellement faisant appel à des entrées et à des sorties et elles sont données par des experts d'une manière directes numériques ou par des termes ou variables linguistique à travers des fonctions d'appartenance.

II.3.7.3. Mécanisme d’inférence floue

Le principe de cette opération consiste à établir la liaison entre les grandeurs d'entrée du régulateur exprimés par des termes linguistiques et la variable de sortie sous sa forme linguistique à partir d'une parfaite connaissance du système à régler et d'une expertise concernant le fonctionnement du processus à régler. Les trois méthodes d’inférence les plus usuelles sont :

- Max-Produit.
- Somme-produit.
- Max-Min (Implication de Mamdani).

II.3.7.4. Interface de Défuzzification

Comme nous avons vu dans la section précédente, les méthodes d’inférence fournissent un résultat qui est une fonction d’appartenance. Or, la sortie du contrôleur est en général une grandeur continue, prenant sa valeur dans un intervalle. La défuzzification est le traitement qui permet de définir une correspondance entre le résultat de l’inférence et la grandeur continue fournit en sortie. Plusieurs stratégies de défuzzification ont été développées. La méthode la plus utiliser est La méthode du centre de gravité « c’est la méthode de Défuzzification la plus utilisée, son principe repose sur la détermination de l’abscisse du centre de gravité x* de la fonction d’appartenance résultante de l’inférence Y C(z). Cette abscisse correspond à la valeur de sortie du régulateur. (Figure.II.10) »

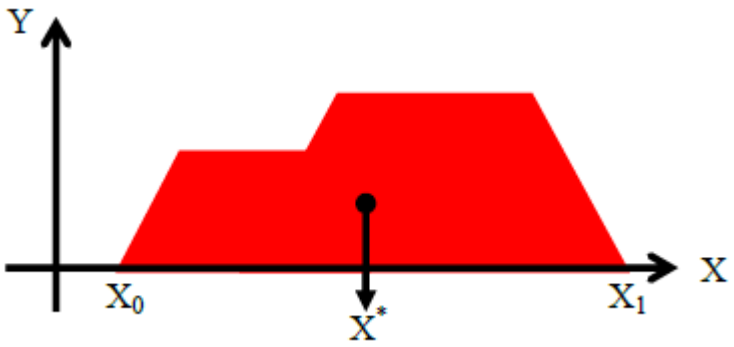


Figure II.10: Défuzzification par centre de gravité.

$$X^* = \frac{\int_{x0}^{x1} x.Y(x).dx}{\int_{x0}^{x1} Y(x).dx}$$

II.3.8. Avantages et inconvénients de la logique floue

La logique floue permet de raisonner non pas sur des variables numériques, mais sur des variables linguistiques, c'est-à-dire, sur des variables qualitatives (grand, petit, moyen, loin, près, fort, etc.). Le fait de raisonner sur ces variables linguistiques va permettre de pouvoir manipuler des connaissances en langage naturel. Tout ce que l'on a à rentrer au système, ce sont des règles d'inférences exprimées en langage naturel. Par example:

- Si le feu est rouge et que je suis proche du feu et que ma vitesse est élevée, alors je freine fort
- Si le feu est rouge et que je suis loin du feu et que ma vitesse est élevée, alors je freine peu fort
- Si le feu est rouge et que je suis loin du feu et que ma vitesse est moyenne, alors je garde ma vitesse
- Si le feu est rouge et que je suis loin du feu et que ma vitesse est faible, alors j'accélère
- etc.

Il y a donc un avantage certain à travailler en logique floue. Cette méthode est très utile lorsque l'on se trouve confronté à des systèmes qui ne sont pas, ou difficilement modélisable. De même, cette méthode est très avantageuse si l'on possède un bon niveau d'expertise humaine. En effet, il faut fournir au système flou toute une base de règle exprimé en langage naturel pour

permettre de raisonner et de tirer des conclusions. Plus l'expertise humaine d'un système est importante et plus on est capable d'ajouter des règles d'inférences au système.

La logique floue permet donc de contrôler des systèmes complexes non forcement modélisable de façon "intuitive". Néanmoins, cette méthode présente divers inconvénients. Tout d'abord, le fait d'exprimer ses connaissances sous la forme de règles en langage naturel (et donc qualitative) ne permet pas de prouver que le système aura un comportement optimal. Tous les réglages que le programmeur doit entrer au système se fait de façon totalement ad-hoc. Cette méthode ne peut donc pas garantir que le système soit stable, précis ou optimal, ni même qu'elle ne peut garantir que les règles entrées par le programmeur ne soient pas contradictoires.

C'est une méthode ad-hoc basée sur le savoir qu'un humain peut acquérir sur un système. Les performances sont donc mesurées a posteriori et ne peuvent être calculées a priori. Les réglages se font donc par essais/erreurs.[3]

II.4. Node Red

Dans de nombreux projets, l'IHM est constituée d'une application web accessible depuis un navigateur. Il n'est pas toujours aisé de programmer le lien entre le matériel (capteurs et/ou actionneurs) et la page web fournie à l'utilisateur. Une solution consiste à utiliser un script Python dont l'exécution peut être planifiée avec Cron, (c'est un programme qui permet aux utilisateurs des systèmes Unix d'exécuter automatiquement des scripts, des commandes ou des logiciels à une date et une heure spécifiées à l'avance, ou selon un cycle défini à l'avance)pour interagir avec le matériel, lire les données des capteurs et les stocker dans une base de données comme MySQL. Un serveur web comme Apache2, via une page web PHP, met à disposition des utilisateurs les informations. Cette solution décrite dans un précédant article nécessite la mobilisation de nombreuses technologies et plusieurs langages de programmation, contraignant les développeurs du projet à retarder la mise œuvre d'un prototype pour se former.[4]

Node-RED est un outil puissant pour construire des applications de l'Internet des Objets (IoT) en mettant l'accent sur la simplification de la programmation qui se fait grâce à des blocs de code prédéfinis, appelés « nodes » pour effectuer des tâches. Il utilise une approche de programmation visuelle (figure.II.11) qui permet aux développeurs de connecter les blocs de code ensemble. Les

nœuds connectés, généralement une combinaison de nœuds d'entrée, de nœuds de traitement et de nœuds de sortie, lorsqu'ils sont câblés ensemble, constituent un «flow » [5]

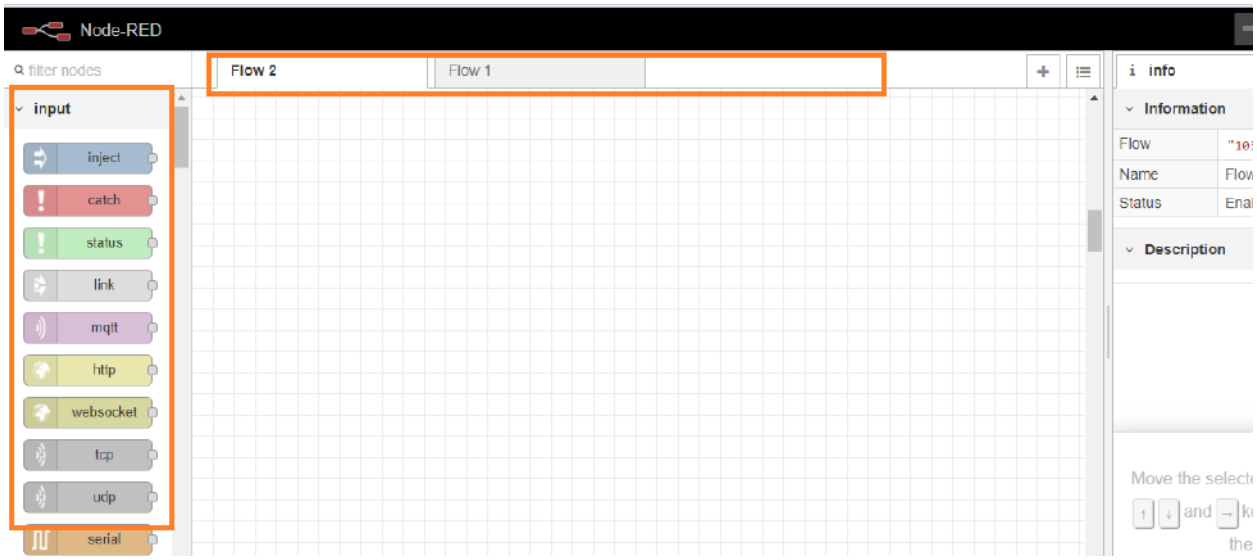


Figure II.11. Environnement de programmation

L'accès à l'interface de programmation se fait à partir d'un navigateur. Il est préférable d'utiliser le navigateur d'un ordinateur connecté sur le même réseau que Raspberry. L'url qui nous permet d'accéder à l'interface de programmation est http://ip_raspberry:1880.

La palette des nœuds (Nodes) d'origine est déjà bien fournie mais il en manque au moins une essentielle qui va permettre de réaliser l'interface web. Elle se nomme Dashboard. Mais avant, il faut installer le gestionnaire de nœuds (npm). Le gestionnaire des nœuds utilisé par Node Red est donc naturellement npm, les commandes pour l'installation de gestionnaire des nœuds sont données par la figure ci-dessous(figure.II.12) :

```
1  $ node-red-stop
2  $ sudo apt-get update
3  $ sudo apt-get install npm
4  $ cd /home/pi/.node-red
5  $ npm rebuild
6  $ node-red-start
```

Figure II.12. Installation de gestionnaire des nœuds (npm)

Les étapes d'installation de Dashboard sont les suivantes :

- ✓ On dispose désormais du gestionnaire des nœuds dans le menu, voir(figure.II.13)

✓ Manage Palette puis on cherche la palette des nœuds à installer.

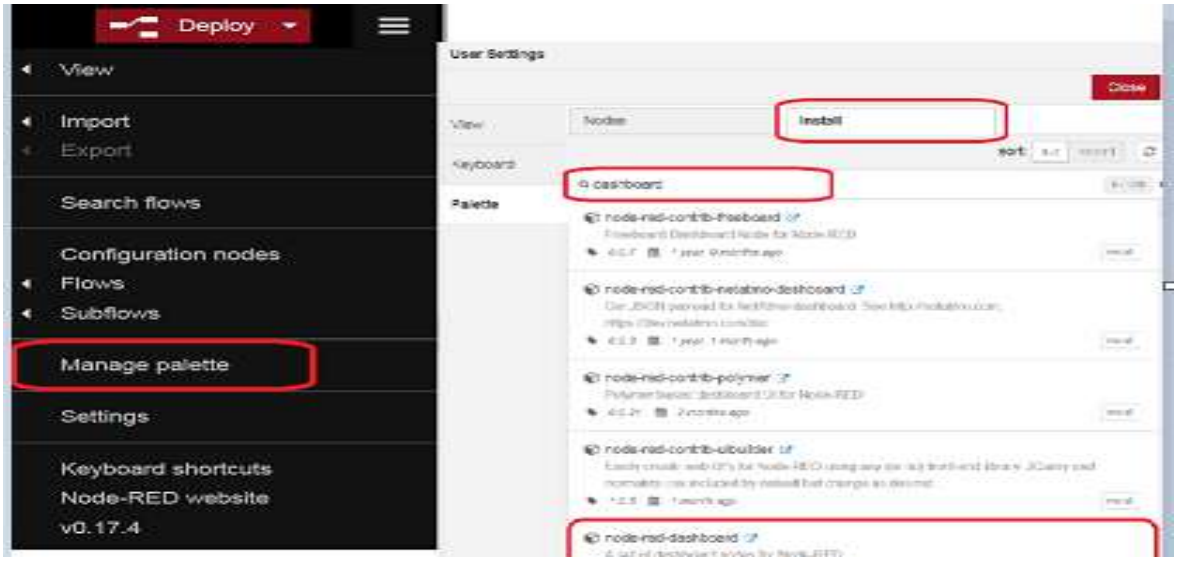


Figure II.13. Installation de Dashboard

Cliquez sur Manage Palette puis recherchez la palette de nodes à installer (figure.II.14):

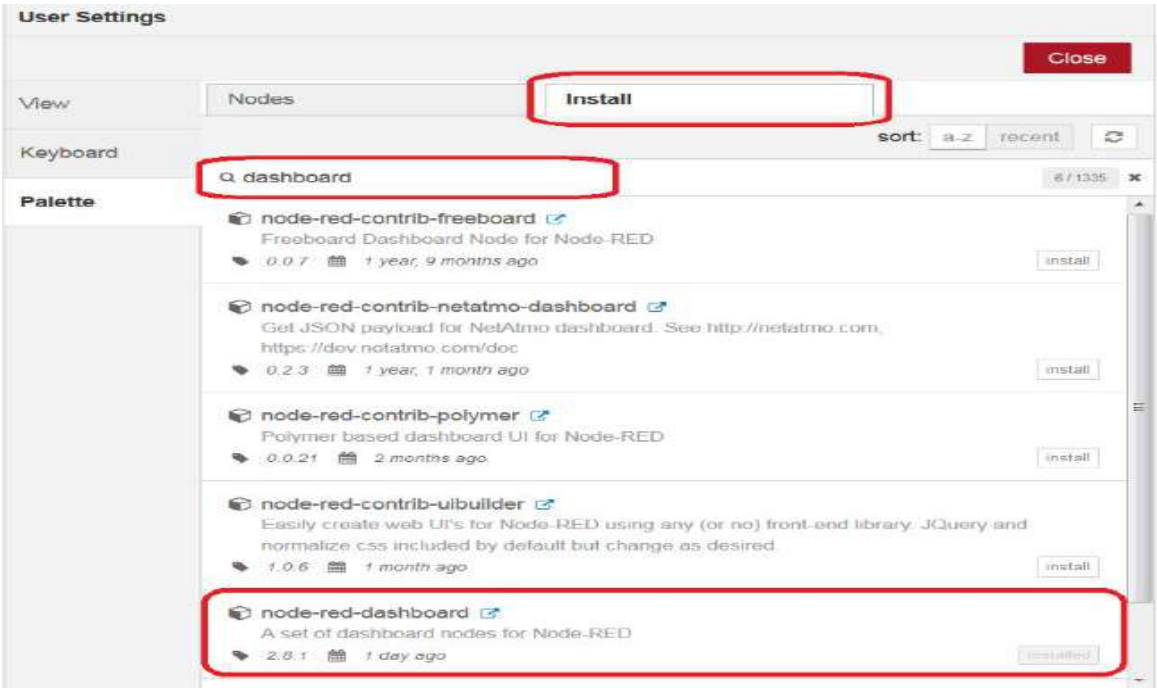


Figure II.14. Dashboard Install

Une nouvelle palette est désormais disponible dans (figure.II.15) :

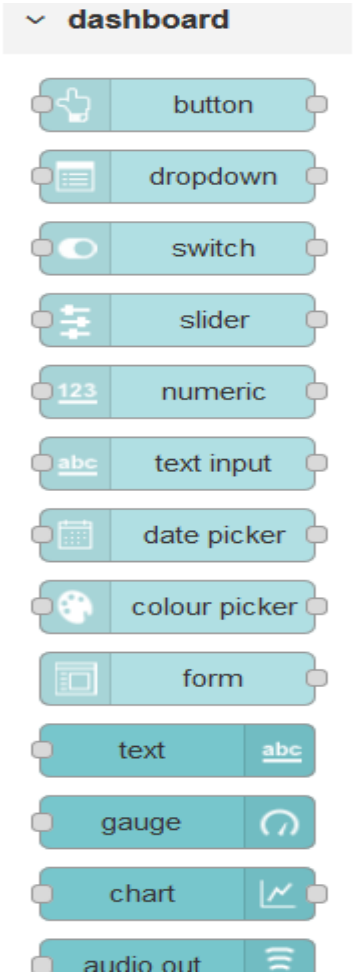


Figure II.15. Dashboard

- **Premier flow** :

Commençons par réaliser un flow très simple (figure.II.16) composé d'un Node Slider et d'un Node Gauge. Pour modifier la configuration par défaut des nodes, il suffit de double-cliquer dessus.

Pour que ces composants soient bien disposés sur la page web, il faut les mettre dans un Tab, puis dans un Groupe, dans la boite de sélection du groupe, cliquez sur Add new ui_group, puis créer un groupe (ici : "Le groupe") et faite de même pour le Tab (ici : "Test").

Cliquez ensuite sur le bouton Done, puis déployer le Flow. On accède au site web généré par l'url « http://ip_raspberry:1880/ui »

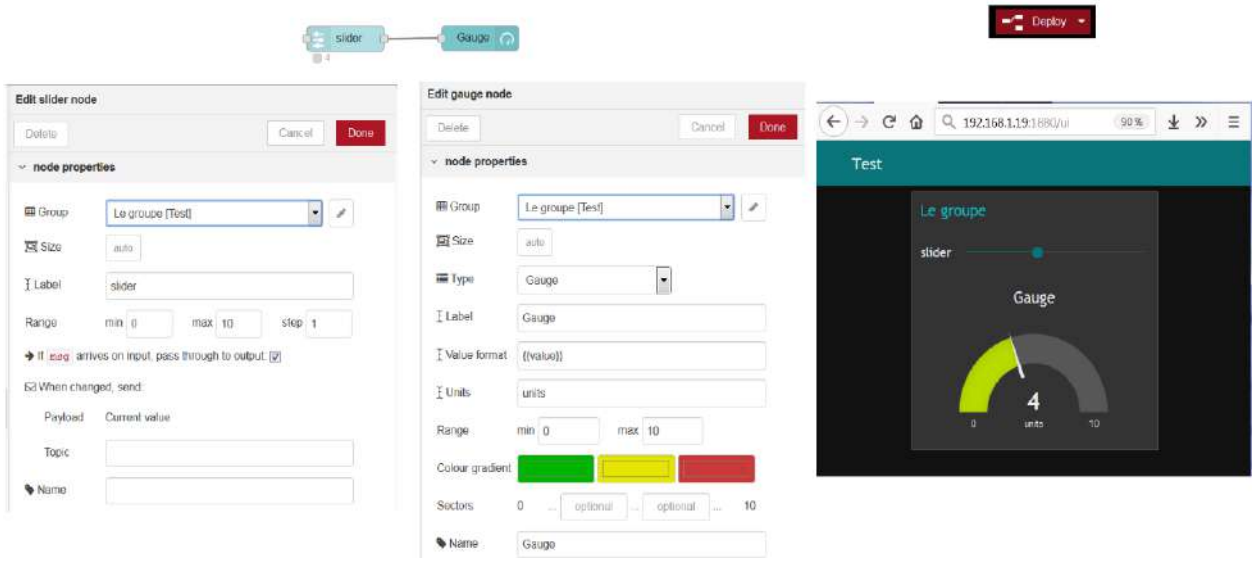


Figure II.16. Réglage d'une gauge

Actionne le **Slider** et constatez l'action sur la jauge (**Gauge**).[4]

Node-Red, bien que déjà riche, ne présente pas autant de possibilités que les plateformes industrielles qui l'utilisent. Il peut dans le cas de déploiements limités ou non critiques être une réponse à lui seul, comme aussi devoir laisser la main à des plateformes beaucoup plus étendues, Ils offriront non seulement des composants très sophistiqués (suite de composants "intelligents" Watson s'appuyant sur les travaux d'IA de l'éditeur), mais aussi la prise en charge de la haute disponibilité, les possibilités offertes par le cloud en termes de scalabilité, etc. [6]

II.5. Arduino

Une carte électronique intégrée fonctionnant sur divers systèmes d'exploitation (Windows, Mac OS, Gnu/Linux) qui permet d'éditer le programme sur un ordinateur et de le transférer via le port USB.

II.5.1. Principe de fonctionnement

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser.

De la même façon, le système Arduino (figure.II.17) simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs.

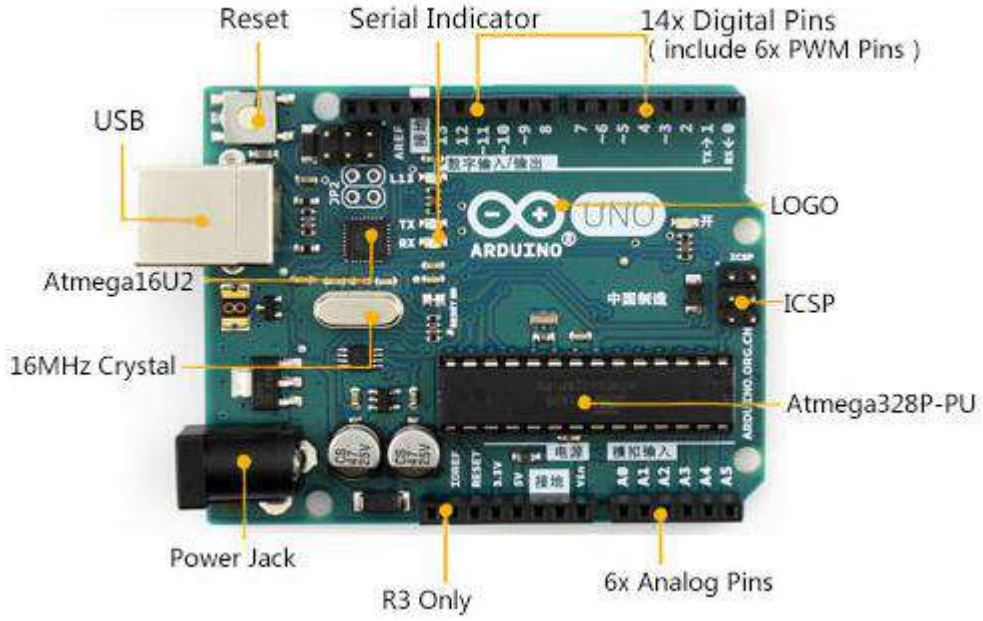


Figure II.17. Carte Arduino

II.5.2. Carte Arduino Uno

Les cartes Arduino font partie de la famille des microcontrôleurs. Un microcontrôleur est une petite unité de calcul accompagnée de mémoire, de ports d'entrée/sortie et de périphériques permettant d'interagir avec son environnement. Une carte Arduino est une interface programmable capable de piloter des capteurs et des actionneurs afin de simuler ou créer des systèmes automatisés. Elle peut stocker un programme et le faire fonctionner. La carte reçoit des informations analogiques ou numériques sur ces entrées. Le microcontrôleur traitera ces informations et les transmettra vers les sorties numériques.

II.5.3. Arduino IDE :

Arduino IDE est un environnement plateforme open source principalement utilisé pour écrire et compiler le code dans le module Arduino(figure.II.18). C'est un logiciel qui rend la compilation de code trop facile, même pour une personne ordinaire sans aucune connaissance technique, pouvant se familiariser avec le processus d'apprentissage.

Il est facilement disponible pour les systèmes d'exploitation tels que MAC, Windows, Linux et s'exécute sur la plate-forme Java dotée de fonctions et de commandes intégrées qui jouent un rôle essentiel pour le débogage, l'édition et la compilation du code dans l'environnement.

Une gamme de modules Arduino disponibles, notamment Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Micro et bien d'autres.

Chacun d'eux contient un microcontrôleur sur la carte qui est réellement programmé et accepte les informations sous forme de code. Le code principal, également appelé esquisse, créé sur la plate-forme IDE générera finalement un fichier Hex qui sera ensuite transféré et chargé dans le contrôleur situé sur le tableau.

L'environnement IDE contient principalement deux parties : l'éditeur et le compilateur, où ancien est utilisé pour écrire le code requis et, plus tard, pour compiler et télécharger le code dans le module Arduino donné. Cet environnement prend en charge les langages C et C ++.[7]

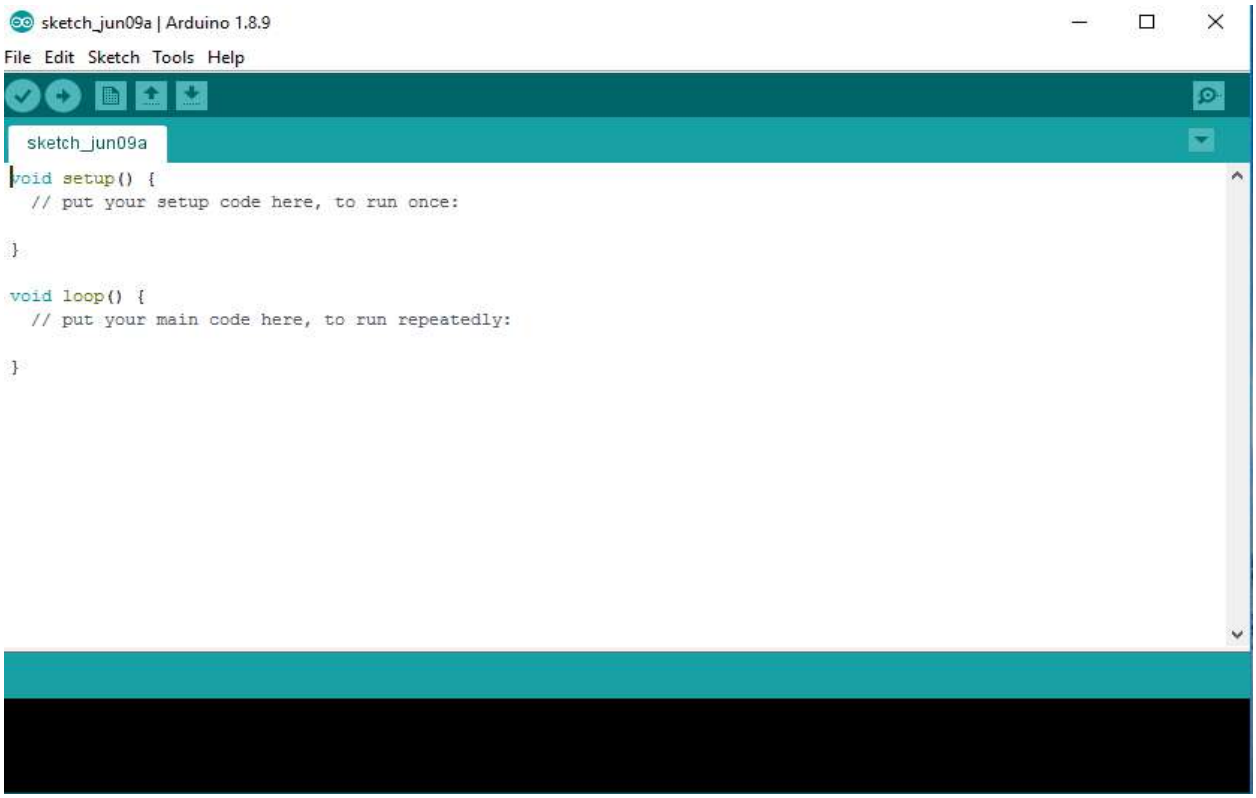


Figure.II.18. Arduino IDE

II.6. Raspberry

Le **Raspberry Pi** est un ordinateur monocarte pouvant se connecter à un moniteur, à un ensemble clavier/souris et disposant d'interfaces Wi-Fi et Bluetooth.

Il démarre depuis une carte micro-SD et fonctionne sous un O.S. Linux ou Windows 10 IoT. Il est fourni sans boîtier, alimentation, clavier, écran et souris dans le but de diminuer le coût et de favoriser l'utilisation de matériel de récupération.

Le modèle Raspberry PI3 +B est basé sur un processeur ARM Cortex-A53 64 bits quatre cœurs à **1,4 GHz**, possède 1 GB de mémoire RAM, une interface Wi-Fi, une interface Bluetooth, 4 ports USB, un port Ethernet, un port HDMI, un port micro-SD et un connecteur GPIO

avec 40 bronches d'E/S. Les interfaces **Wi-Fi et Bluetooth ont été améliorées** par rapport à la version Pi 3 et supportent maintenant le **Wi-Fi 2,4 et 5 GHz** ainsi que le **Bluetooth 4.2**. L'Ethernet a aussi été amélioré permettant des débits jusqu'à 300 Mbps (2x fois plus rapide que le Pi3).

Cette carte est basée sur un processeur ARM et permet l'exécution du système d'exploitation GNU/Linux/Windows 10 IoT et des logiciels compatibles. Le Raspberry Pi peut effectuer des tâches d'un PC de bureau (feuilles de calcul, traitement de texte, jeux). Il peut également diffuser des vidéos en haute définition grâce à son circuit Broadcom Videocore IV (permet le décodage des flux Blu-ray full HD).

La Raspberry Pi 3 B+ nécessite une carte SD munie d'un OS, une alimentation, un clavier USB, une souris USB, un boîtier et des câbles (non inclus). Pour préparer une carte SD bootable, il faut disposer d'un PC avec lecteur de carte. C'est élément sont présenter dans (la figureII.19) :

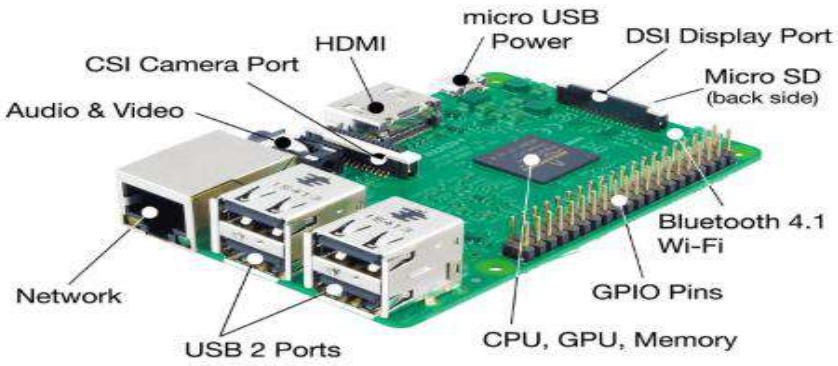


Figure II.19 Modèle Raspberry pi B+

La carte Raspberry est le lien entre la partie matériel et logiciel, cette carte est caractérisée par les éléments suivants :

- Alimentation à prévoir : 5 Vcc/maxi 2,5 A* via prise micro-USB (* intensité maxi si toutes les fonctions sont utilisées)
- CPU : ARM Cortex-A53 quatre cœurs 1,4 GHz
- Wi-Fi: Dual-band 2,4 et 5 GHz, 802.11b/g/n/ac (Broadcom BCM43438)
- Bluetooth 4.2 (Broadcom BCM43438)
- Mémoire: 1 GB LPDDR2
- Ethernet 10/100/1000: jusqu'à 300 Mbps
- 4 ports USB 2.0
- Port ethernet 10/100 base T: RJ45
- Bus: SPI, I2C, Série
- Support pour cartes micro-SD
- Sortie audio:
    - ✓ HDML avec gestion du 5.1
    - ✓ Jack 3.5 mm en stéréo
- Sorties video: HDMI
- Dimensions: 86 x 54 x 17 mm
- Poids: 50 g[8]

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les outils de travail avec lesquels nous avons réalisé notre projet ou la partie matériel et logiciel sont traités. On a présenté la théorie de la logique floue qui est choisie comme technique intelligent de contrôle de la serre. On a donné une idée sur l'internet des objets qui est la base de notre projet avec également le Node-Red : un outil puissant de développement. Sans oublier la partie hardware du travail ou on a utilisé le microcontrôleur Arduino et le Raspberry comme les bases de notre réalisation pratique.

III.1. Introduction

Les serres Agricoles sont une branche qui a vécu un énorme développement dans le domaine de la technologie, ce dernier a facilité la création et le maintien au milieu idéal dans les conditions favorables pour n'importe quel type de plante ou rosasse, ce qui a facilité le travail de l'agriculteur. Par conséquent ce travail nous a menés à produire plus pour une légère main œuvre ce qui nous a permis d'investir et augmenter le profit.

Un contrôle automatique est un système de surveillance qui permet de visualiser de contrôler et coordonner les paramètres de la serre (température, humidité, lumière) en utilisant un réseaux de capteurs afin de collecter les informations et les envoyer au Raspberry qui les traite en se basant sur la technique de la logique floue et renvoi les résultats du traitement aux actionneurs, la communication entre ces paramètres se fait à base d'internet d'objet qui nous permet d'accéder aux information (supervision et contrôle) à distance

L'objectif de ce chapitre est de présenter le cahier des charges en donnant l'ensemble du dispositif expérimental et logiciel mis en œuvre dans notre application de contrôle des conditions prototype ainsi que les actionneurs et les capteurs utilisant l'internet d'objet.

III.2. Cahier de charge

Dans le but de réalisation de notre système de supervision et de contrôle basé sur l'internet des objets appliqué sur un prototype d'une serre agricole, nous avons tracé des lignes qui sont considérées comme des exigences de notre projet, ce qui rend le but de ce travail clair et précis :

- Contrôle de la température, l'humidité et la lumière avec la logique floue.
- Supervision des paramètres de la serre notamment : température, humidité et la lumière par une Interface Homme Machine (IHM).
- La collecte des données en utilisant un réseau de capteur sans fil.
- On prend l'Internet des Objets comme un outil pour la supervision et contrôle à distance

III. 3. Fonctionnement général du système de supervision et de contrôle proposé

Le système de supervision et de contrôle développé (basé sur l'Internet des Objets). Le système utilise un réseau sans fil distribué et composé de 2 nœuds. L'un des nœuds contient un capteur de température et d'humidité (DHT22) (esclave) pour la mesure de la température ambiante à l'intérieur du centre de transmission ainsi que le niveau d'humidité zones.

Le mode de fonctionnement du système est choisi depuis l'IHM de mode automatique. Le mode automatique fonctionne selon un algorithme qui est implémenté en langage python pour activer ou désactiver un ventilateur ou un dispositif de chauffage dans le but de réduire une éventuelle température élevée mesurée ou augmenter la température dans le cas de la chute de température.

Les valeurs mesurées : température, humidité et la lumière envoyées vers le nœud principal à travers le dispositif de communication sans fil (module NRF) comme illustré par la figure III.1. Ce nœud connecté au Raspberry Pi 3 à travers une communication série envoie ces informations issues des capteurs et détecteurs à l'IHM.

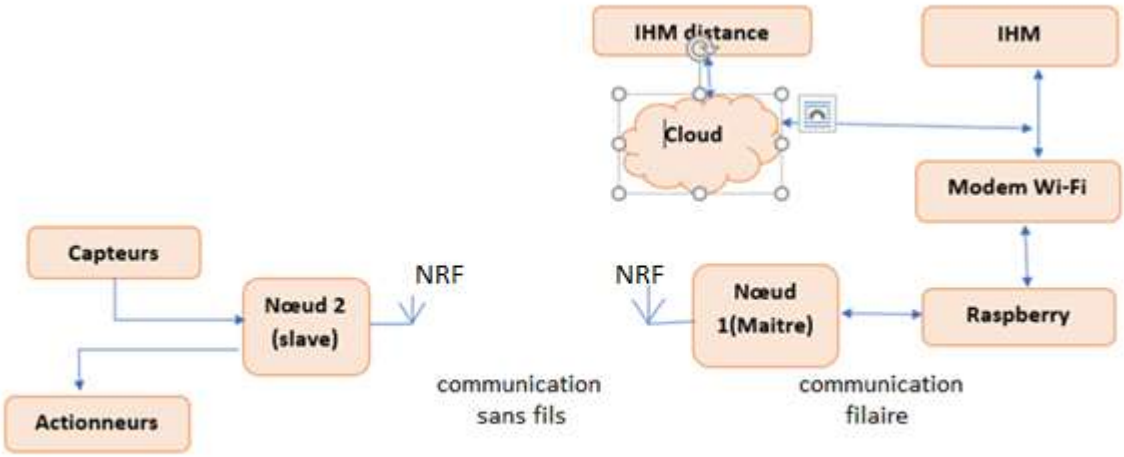


Figure. III. 1. Système de supervision et de contrôle

III.4. Présentation des composants

III.4.1. Capteur de température et d'humidité DHT22

La DHT22 (figure III.2) est un capteur à bas cout permettant d'acquérir une température et une humidité ambiante d'une manière numérique. Il utilise un capteur d'humidité capacitif et une

thermistance pour mesurer la température et l'humidité et la transmet d'une manière numérique sur un bus série. Les données sont actualisées toutes les 2 secondes.

La connexion de ce capteur est très simple, il suffit de relier la première pin à gauche à l'alimentation (3V à 5V), la pin centrale sur une pin Arduino déclarée en entrée (INPUT) et la pin de droite à la masse (GND).

Ce capteur est vendu avec une résistance de pull-up entre 4,7KΩ et 10KΩ pour relier la pin DATA au VCC.[1]

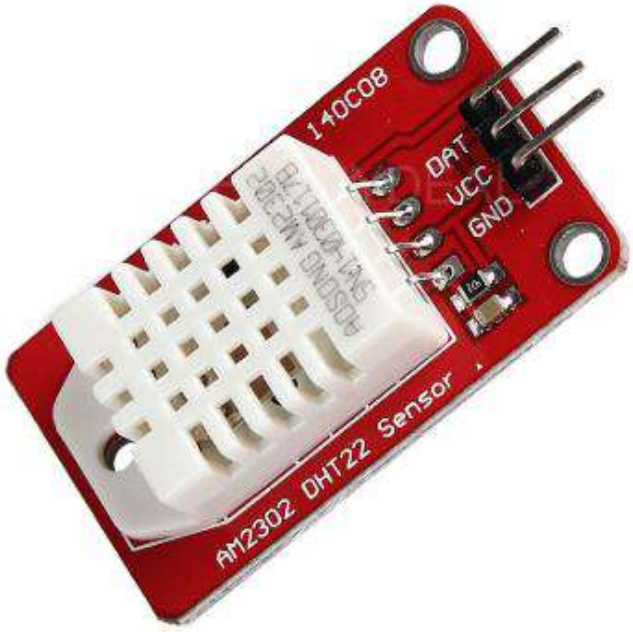


Figure.III.2. DH22 capteur

Principe de montage :Le capteur DHT22 se compose de 3 pins : GND, +Vcc, DATA (pin numérique connecté à la broche numéro 7 d'Arduino), la figure III.3 montre le principe de montage.



Figure.III.3. Principe de montage

III.4.2. Les actionneurs

III.4.2.1. Système de ventilation

Pour pouvoir contrôler la température dans notre prototype, on a utilisé deux ventilateurs 12V (Figure III.4) de dimension (10x11x1.3) cm.



Figure.III.4. Ventilateur

III.4.2.2. Dispositif de chauffage

Pour maintenir la température nécessaire à la survie des plantes on peut installer un système de chauffage dans la serre. Il aura un rôle soit d'antigel en maintenant la température vers + 2° C au minimum soit de chauffage au sens strict du terme pour obtenir une ambiance tempérée dans la serre.[2]



Figure.III.5. Chauffage

III.4.2.3 : humidificateur

C'est un dispositif incontournable éviter la sécheresse à la serre (figure III.6). L'humidificateur d'air sert également à lutter contre l'aridité qui survient en hiver, en cas de chutes des températures. Il faut noter le rôle prépondérant de l'humidificateur sur le bien-être. En effet, ce dernier empêche le dessèchement de l'épiderme. Raison pour laquelle, son utilisation sera surtout pratique pour les plantes fragiles et sensibles à l'humidité[3]

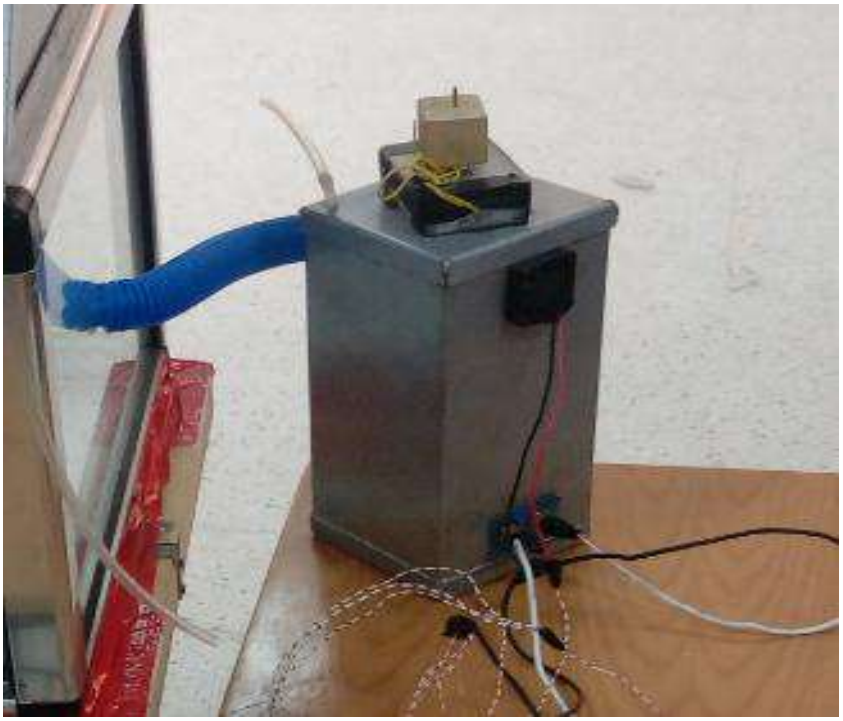


Figure.III.6. Humidificateur

III.4.2.4. Extracteur

Les ventilateurs extracteurs permettent de forcer l'aération dans la serre lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit et/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 cooling avec des panneaux évaporateurs et souvent aussi avec des systèmes de brumisation d'eau afin d'obtenir un certain niveau de réfrigération adéquat.[4]

III.4.2.5. Relais

Un relais est un commutateur électrique qui permet de commander un second circuit utilisant généralement une tension et un courant bien supérieur à ce que l'Arduino pourrait accepter (par exemple, allumer/éteindre une ampoule 220V). Le relais est un mécanisme simple d'interrupteur on/off : il se ferme lorsque l'entrée est à 5V et s'ouvre lorsque l'entrée est à 0V. On le controlera donc à partir de la fonction digitalWrite() dans l'environnement de programmation Arduino.

Le module fournit trois connections COM, NC et NO. NC signifie 'NORMALEMENT FERME'. Cela veut dire que lorsque le relais n'a pas de signal d'entrée (valeur LOW dans digitalWrite()), le circuit haute tension connecté sera actif. Si par contre, on applique une tension de 5V au relais,

le circuit secondaire sera coupé. NO signifie 'NORMALEMENT OUVERT'. Cela veut dire qu'à contrario, une valeur de 5V appliqué au relais (valeur HIGH dans digitalWrite()) coupera le circuit haute tension et inversement(figure III.7).

Pour remplacer un interrupteur classique par le module, la procédure est simple : Retirez l'interrupteur et connecter les fils aux entrées COM et NO. De cette façon lorsque le relais est activé via digitalWrite, le courant parcourt l'appareil qu'on souhaitecontrôler.

Description du module :

- Relais 250V 10A
- Transistor
- LED qui signale que le module est correctement alimenté

Le connecteur est une entrée (INPUT) qui doit être connecté à une des sorties (OUTPUT) de la carte 'Sensor'[5]

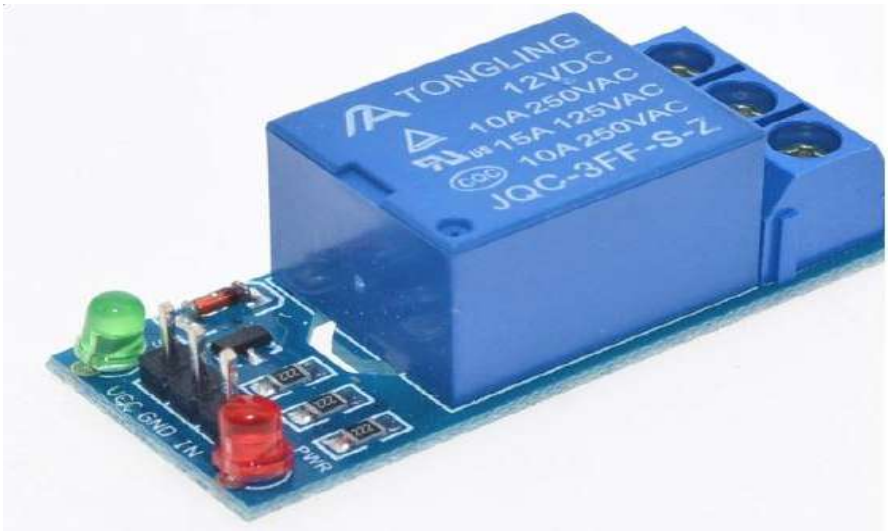


Figure III.7. Relais électrique 12V

III.5. Supervision, algorithmes de contrôle et protocole de communication

III.5.1. Algorithmes

Le mode, par lequel les actionneurs sont contrôlés (ventilateur, chauffage et lumière) ; est spécifié par le superviseur depuis l'IHM basé sur l'internet des objets. Le Raspberry Pi 3 envoie le mode de fonctionnement vers le nœud principale (sink) via le port série. Le sink transmet à son

tour l'information du mode vers le nœud 2 (esclave) à travers une communication sans fil (radio), un traitement local se fait au niveau de l'algorithme basé sur la logique floue qui fait les calculs nécessaires (fuzzification, défuzzification et inférence floue)) et lesenvoyer pour contrôler les actionneurs en donnant leurs l'état , les valeurs de la température ambiante et le niveau de l'humidité mesurée ainsi que la quantité de lumière sont envoyées vers l'IHM d'une manière périodique (très courte durée) pour les mettre à jour ce fonctionnementest bien explique dans l'algorithme illustré dans la figure III.8.

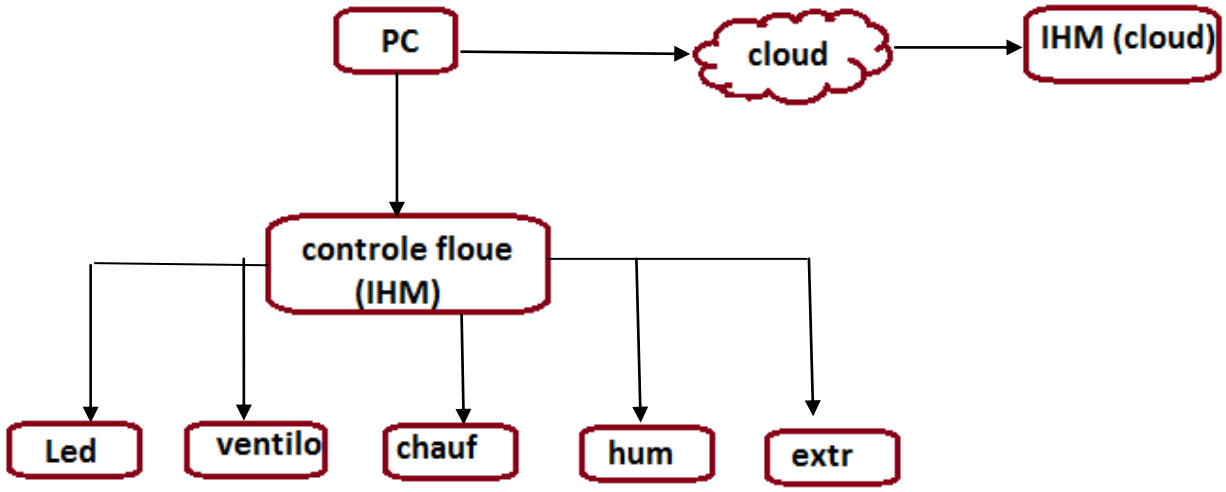


Figure III.8. Principe de supervision et de contrôle de température et l'humidité

III.5.2. Problématique :

Le module de transmission peut être utilisé en deux mode(réception/émission) pour le gérer de flot d'information (reçus/émis) il faut préparer une gestion du mode de transmission. Le protocole de communication doit assurer le basculement entre les deux modes (émission/réception). La collecte de toutes les données (température, humidité et lumière) en même temps au niveau du nœud principal par une communication radio nécessite un protocole de communication bien étudié et établi.

Pour éviter la collision des données qui viennent des capteurs et les collecter d'une manière continue il faut proposer un protocole de communication cohérant. La récupération de données depuis les autres nœuds (différents capteurs) et les affichages dans l'IHM doit être en temps réel. Ainsi, l'exécution des commandes envoyées depuis l'IHM doit être en temps réel, donc la notion

'temps réel' est très importante dans notre projet qui est assurée par le protocole de communication.

III.5.2.1. NRF 24L01

Le module radio NRF24L01 est un module radio tout intégré du fabricant Nordic Semi Conductor. Il s'agit d'un module radio intégrant tout le nécessaire pour émettre et recevoir des données sur la gamme de fréquences de 2.4GHz (comme le WiFi ou le Bluetooth) en utilisant le protocole de communication propriétaire de Nordic nommée "ShockBurst". Ce protocole de communication permet au NRF24L01 d'être considéré comme un modem complet, avec adressage, gestion des erreurs de transmission et retransmission automatique en cas de nonréponse du destinataire. Le module nRF24L01 utilise la même gamme de fréquences que le WiFi et le Bluetooth, mais n'est pas compatible avec ceux deux protocoles.

Il existe deux versions du module nRF24L01 : la version classique et la version "+". Le nRF24L01+ (Figure III.9) est la nouvelle révision du chipset radio. Cette nouvelle version apporte énormément d'amélioration au module radio.

Les deux versions sont compatibles d'un point de vue logiciel, mais d'un point de vue physique, la version "+" est bien plus intéressante. La version "+" a l'avantage d'avoir plus de mémoire, plusieurs canaux de communication simultanés et une fonction de renvoi automatique en cas de non-réponse du destinataire. La version "+" a aussi une plus grande portée, une meilleure sensibilité en réception et un débit plus important en transmission.



Figure.III.9. nRF24L01+

Le débit maximum du nRF24L01+ est de 2Mbps, mais à cette vitesse la portée n'est que de quelques mètres. La portée dépend beaucoup de l'antenne. Une antenne "trace" (directement gravé sur la carte) n'a pas une grande portée, une antenne céramique a plus de portée, le mieux est bien évidemment d'utiliser une "vraie" antenne avec un connecteur SMA (pas de vis plaquée or).

Pour conclure cette petite présentation technique, j'ajouterai que le nRF24L01+ dispose de 32 octets de mémoire en émission et en réception par canaux de communication, pour un total de 6 Canaux de communication simultanés (tableau III.1). La taille maximum d'un paquet est de 32 octets, ce qui est assez faible, mais largement suffisant pour transmettre des mesures, des commandes ou des informations de télémétries pour un robot par exemple.

Tableau III.1 : paramètres du module nRF24L01+

Modèle	nRF24L01+
Fréquence	2.4 GHz
Voltage	3.3-5V
Modulation	GFSK
Débit de donné	250 kbps, 1Mbps et 2Mbps
Sortie (émetteur)	11.3mA à 0dBm
Sortie (récepteur)	13.5 mA à 2 Mbps
Sensibilité	82 dBm à 2 Mbps
Température de fonctionnement	-40 à 85 °C
Dimensions	2.9 *1.5*1.2 cm

Le module radio nRF24L01 communique avec son maitre au moyen d'un bus SPI. On retrouve donc au niveau du brochage les trois broches communes au bus SPI, MISO (données esclaves -> maitre), MOSI (données maitre -> esclaves) et SCK (horloge), de même que deux broches pour la sélection du module sur le bus SPI et son activation / passage en veille, respectivement : CSN et CE. Les paramètres sont décrits dans le tableau III.2suivant.

Tableau1 : brochage de NRF24L01+

MISO	Envoie des données d'esclaves vers le maitre.
MOSI	Envoie des données du maitre vers l'esclave
SCK	Horloge.
CSN	Basculement entre le mode d'émission et le mode de réception.
CE	Passage du mode actif en mode veille.
VCC	Tension d'alimentation comprise entre 3.3 et 5 v.
GND	Connexion à la masse.

On a utilisé dans notre cas seulement les broches montrées par la figure III.10.

MISO (maitre) : pour envoyer et recevoir les données.

MOSI (Esclave) : pour lire les données qui viennent du capteur.

VCC : pour l'alimentation.

GND : avec la masse.

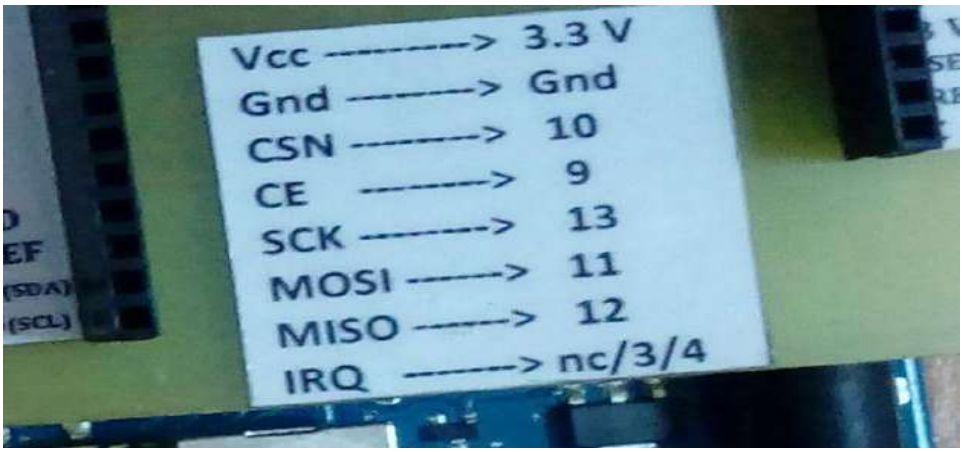


Figure III.10. Brochage du module nRF24L01+

Protocole de montage

Pour réaliser ce montage, il va nous falloir :

- Deux cartes Arduino UNO (et deux câbles USB),
- Deux modules nRF24L01+,
- Deux plaques d'essai et des fils pour câbler notre montage
- Les actionneurs : extracteur, humidificateur, ventilateur, chauffage.

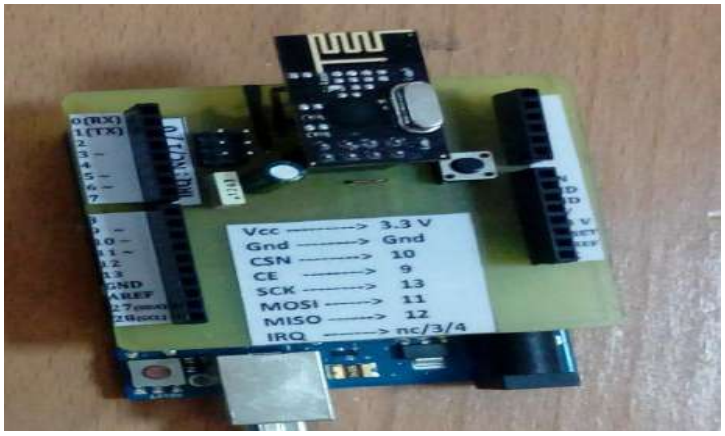


Figure III.11. Brochage avec Arduino

III.5.2.2. Protocole Enhanced Shock Burst

Transaction simple

1. Tx envoie un paquet (PID) à Rx, Tx se met en écoute de l'acquittement (ACK).

2. Rx reçoit le paquet, envoie l'acquittement, et revient en écoute.

3. Si Tx n'a pas reçu l'acquittement, il attend un délai supérieur ou égal à 130µs et revoie le même paquet.

C'est une procédure automatique sans intervention du microcontrôleur, elle est présentée dans la figure III.20 le nombre d'essais est programmable.

Gestion de transaction

• Acquittement automatique : Rx charge un message d'acquittement (jusqu'à 3 en avances) en attente d'un paquet de Tx, une fois la réception du paquet a été faite sans erreurs de transmission Rx renvoie un accusé de réception.

• Auto-retransmission : en cas d'acquittement demandé pas bien reçu, le nombre de retransmission est borné. La retransmission se fait dans le cas ou :

- Tx à trop attendu, le délai dépend de la taille du paquet et du débit.

- Tx n'a pas reçu de paquet avec la bonne adresse.

- Erreurs de transmission.

Multi-récepteur (multi-receiver)

Le module nRF24L01+ utilise 125 canaux différents, ce qui donne la possibilité d'avoir un réseau de 125 nœuds, chaque canal peut avoir jusqu'à six adresses, donc chaque nœud peut communiquer avec six autres nœuds, la figure III.12 représente ce type de communication.

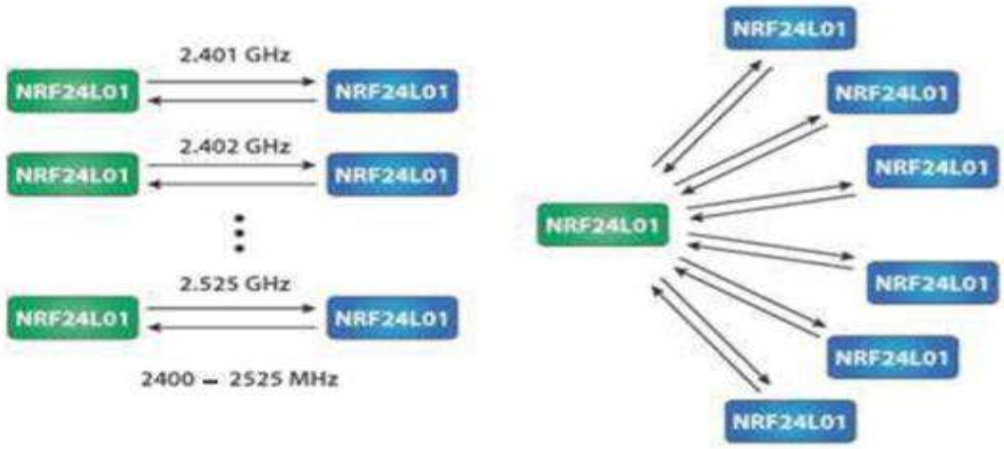


Figure. III.12. Communication multiple de Nrf24L01+

Transaction avec donnée en retour

Dans notre projet on a adopté ce type de transaction comme solution efficace de la problématique posée, nous exploitons l'accusé de réception (ACK) pour transmettre les données des différents capteurs. Donc, lorsque le nœud d'esclave reçoit les données provenant du nœud principal, il charge l'accusé de réception par toutes les valeurs des paramètres issues des capteurs (température, humidité et lumière), puis il envoie l'acquittement.

III.6. Communication sans fil

La communication sans fil par le module nRF24L01+ nécessite l'installation de la bibliothèque <#include RF24.h>et la bibliothèque <RF24 >, car on doit configurer le module nRF24L01+, et utiliser ainsi plusieurs fonctions de cette bibliothèque.

III.6.1. Le nœud principal (Maitre)

III.6.1.1. Initialisation

On appelle la bibliothèque RF24 (#include RF24.h) utilisant la fonction « RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN); » avec les PIN(10.9) ; ensuite on définit des tuyaux (data pipe) de communication avec adresses « thisSlaveAddress[5] = {'R','x','A','A','A'} »;nous initialisons des variables tel que : - La donnée que le maitre va envoyer vers l'esclave (dataToSend)- Le vecteur d'acquittement (ackData [ ]) : c'est un vecteur réservé pour les données de retour sous forme d'accusé (les données des capteurs).

- Variable de temporisation : pour la synchronisation.

III.6.1.2. Configuration :

La partie qui suit explique la configuration du module nRF24L01+, cette configuration se fait par des fonctions prédéfinis dans la bibliothèque < nRF24L01.h > :

- on démarre la communication par la fonction radio.begin ( ).

- on fait un appel à la fonction radio.setDataRate(RF24_250KBPS)pour définir le débit de communication.

- Configuration de canal : écriture pour l'émission, et l'lecture pour la réception.

Le code dans la figure III.13 illustre cette configuration

```
Serial.begin(9600);

Serial.println("SimpleRx Starting");
radio.begin();
radio.setDataRate( RF24_250KBPS );
radio.openReadingPipe(1, thisSlaveAddress);
radio.startListening();
dht.begin();
```

Figure III.13. Code de configuration de NRF24L01+

La collection des données des capteurs se fait au même temps, la transmission et la réception des données et des commandes pour les actionneurs est instantanée. Avec un basculement entre les deux nœuds(maitre/esclave) qui se fonctionne en deux mode « émission et réception ».

L'émission de données et la réception sont montrées dans la figure III.14.

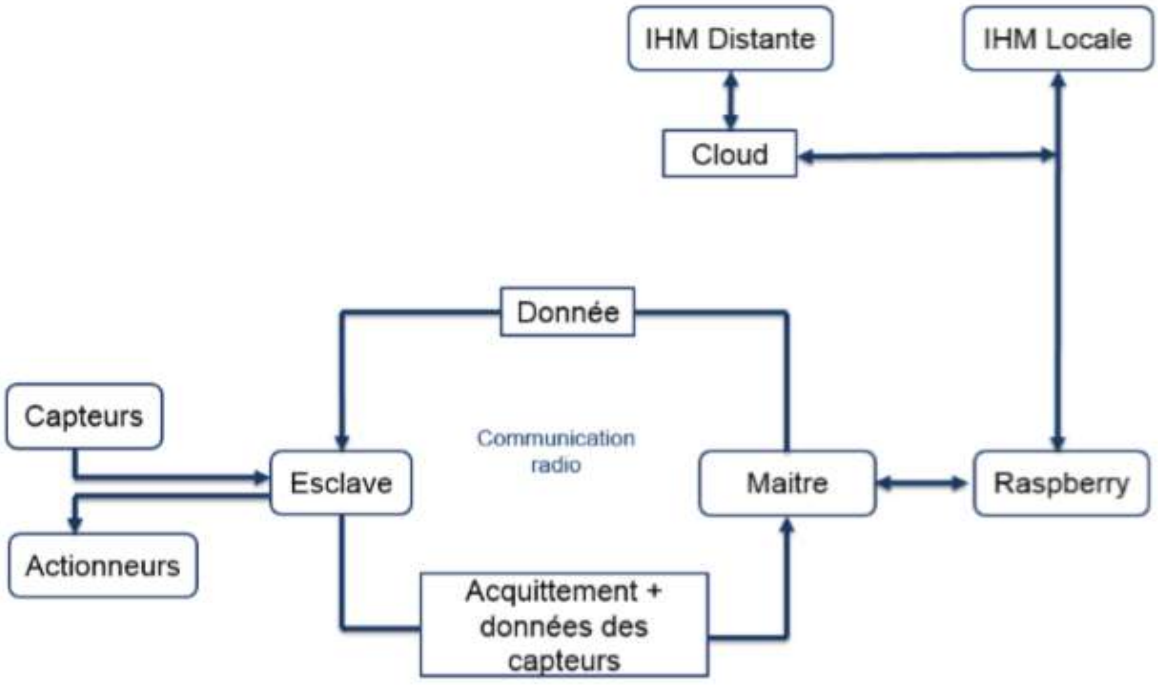


Figure III.14. Communication maitre/esclave

Le maitre lit les données des capteurs puis les transférer vers le Raspberry via le port série au niveau de nœud principal (maitre). Un exemple d'envoi au moniteur série est illustré par la figure III.15.

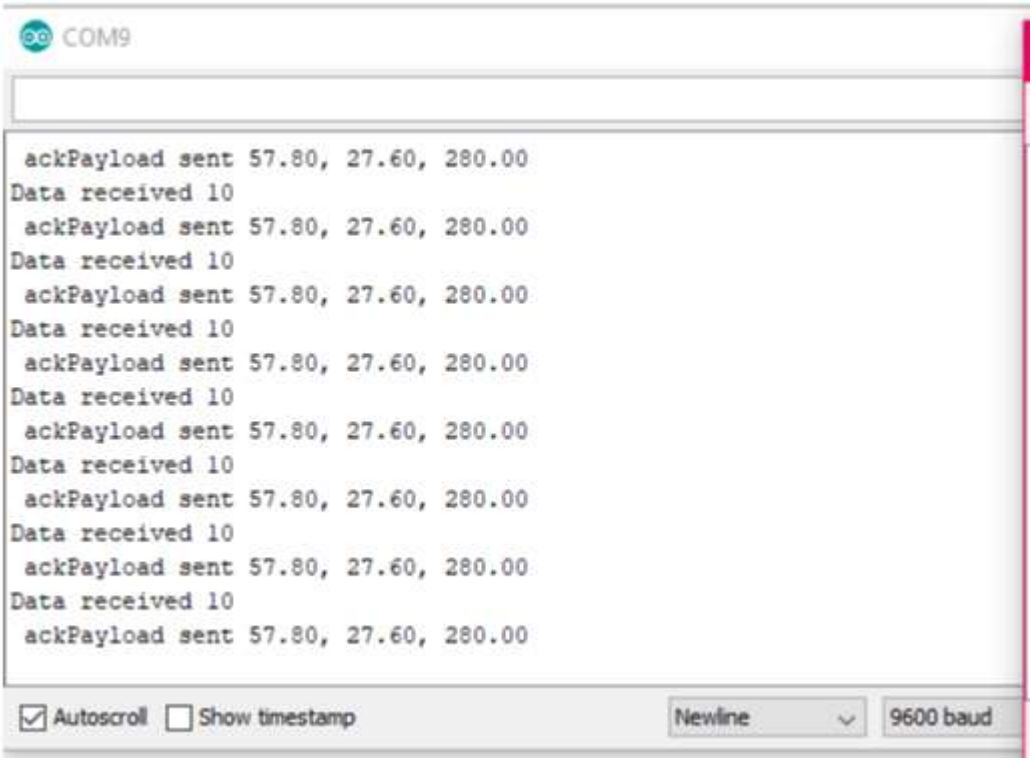


Figure.III.15. Donnée collectée au nœud principale

III.6.2. Le nœud de capteurs (Esclave) :

Au niveau de nœud de capteurs, on a obtenu la donnée nécessaire (température, humidité, lumière) et recevoir par le maitre (ReceivedData). Les commandes qui viennent de l'IHM pour les actionneurs et les exécuter.

Les données envoyées (dataToSend) par le nœud maitre (COM 10), les données reçues (ReceivedData) par le nœud des capteurs qui porte les données de capteurs (COM 09) sont tous illustrées par les moniteurs correspondants donnés par la figure III.16

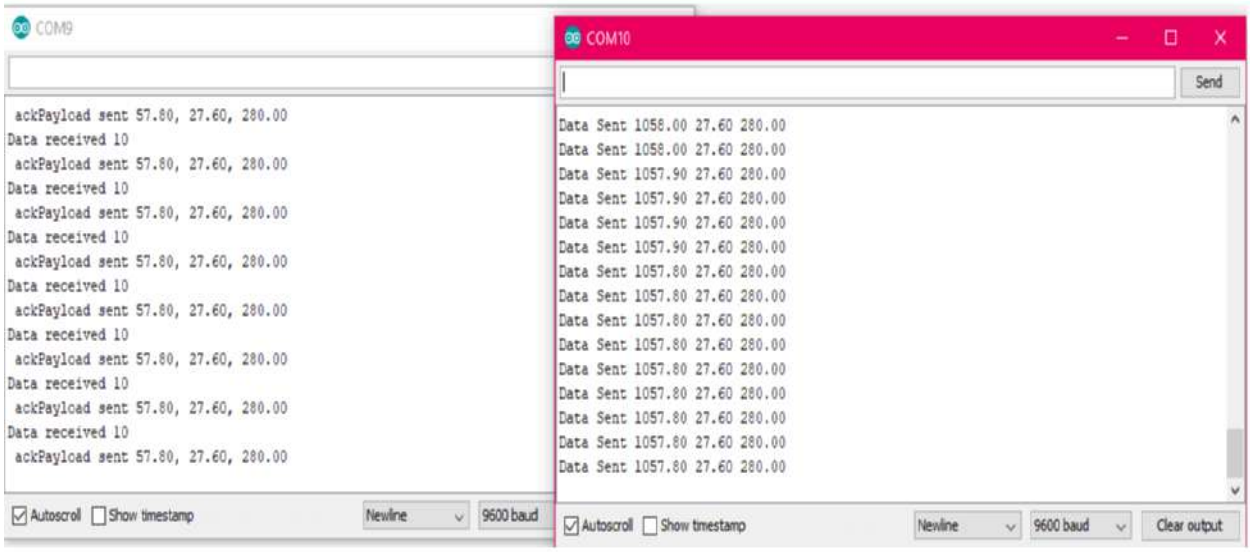


Figure III.16. Transaction de donnée en retour

Les commandes des actionneurs sont envoyées depuis l'IHM à travers le module nRF24L01. Donc au niveau de nœud secondaire, le traitement des données dans l'IHM calcule est délivre un indice aux actionneurs à exécuter , Chaque indice correspondà un certain codage qui définit l'action à faire

III.7. Interface Homme Machine (IHM)

L'IHM est constituée d'une application web accessible depuis un navigateur. Il n'est pas toujours aisé de programmer le lien entre le matériel (capteurs et/ou actionneurs) et la page web fournie à l'utilisateur.

La combinaison entre la partie hard et soft est constituée d'un Raspberry et une carte Arduino, le traitement des données se fait au niveau de node-red utilisant une fonction python qui execute un algorithme de contrôle basée sur logique floue.

Node-RED est un outil puissant pour construire des applications de l'Internet des Objets (IoT) en mettant l'accent sur la simplification de la programmation qui se fait grâce à des blocs de code prédéfinis. Il existe des instances cloud pour la supervision et le contrôle des objets connectés, pour cela nous allons utiliser FRED (Front End for Node-Red), appelés «nodes» pour effectuer des tâches. Il utilise une approche de programmation visuelle qui permet aux développeurs de

connecter les blocs de code ensemble. Les nœuds connectés, généralement une combinaison de nœuds d'entrée, de nœuds de traitement et de nœuds de sortie, lorsqu'ils sont câblés ensemble

III.7.1. Programmation visuelle de l'IHM

Les informations issues de la carte Arduino (maitre) parviennent à la Raspberry via le port série nommé Com10. Nous allons donc placer sur notre flow un nœud Serial et le configurer pour une connexion à ce port. La configuration interne de la fonction d'entrée Serial est donnée dans la figure III.17.

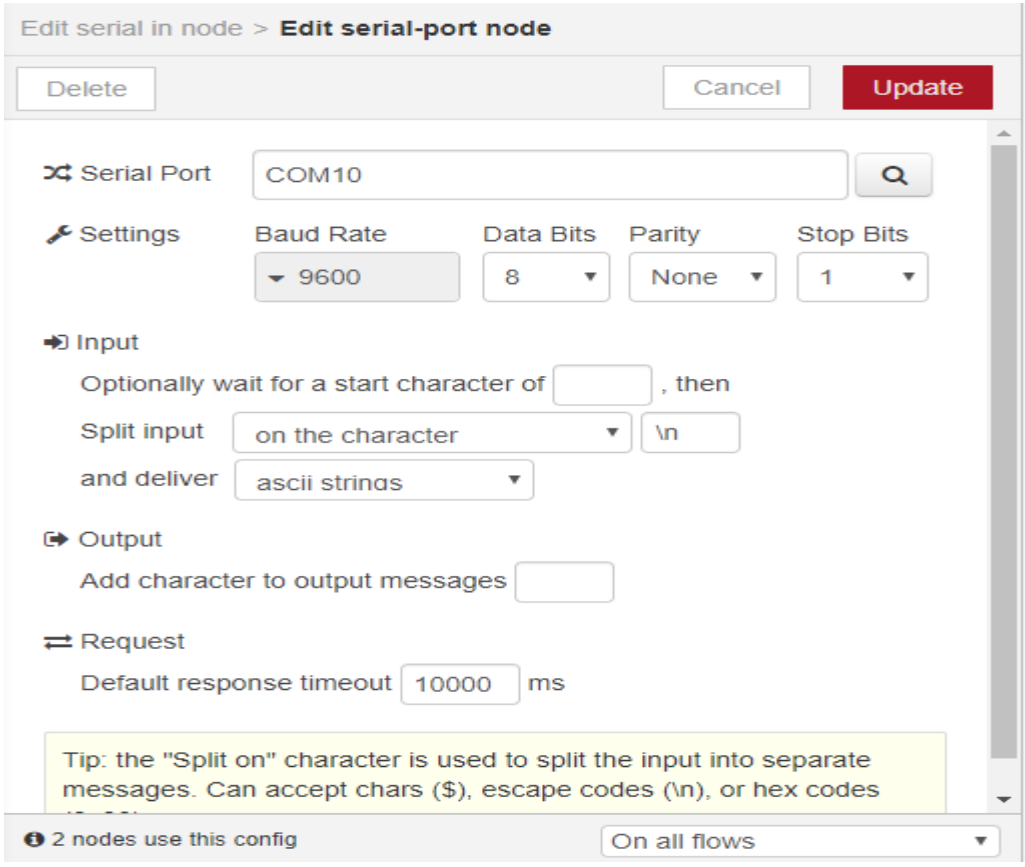


Figure III.17. Configuration du port serial

Le port Serial envoie les données des capteurs (humidité, température et lumière) à la fonction Python appelée sous forme d'un nœud appelé Pythonshell (voir figure III.20). Le programmede contrôle par la logique floue implémenté, cette partie-là qui décide l'ordre à donner aux actionneurs selon des règles données exprimées à l'aide d'une implication entre deux propositions floues et sont donnéespar les figures III.19 et III.20.



Figure III.19. Nœud Python dans Node-Red

Le programme python implémenter est basé sur la logique selon des fonction d'appartenance (figure III.18.19)

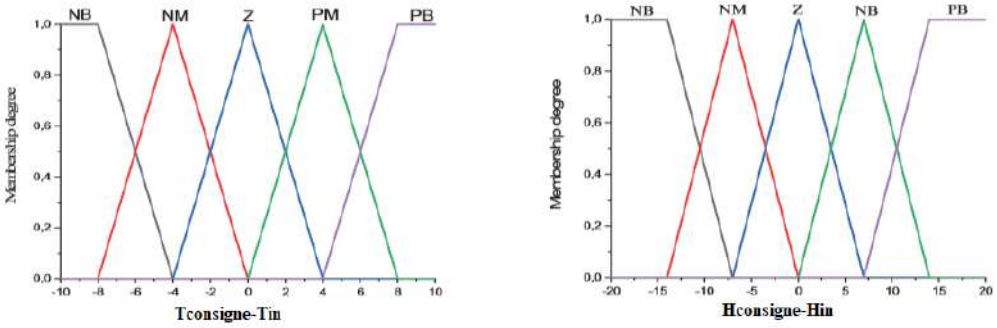


figure III.18. Fonctions d'appartenance des entrées

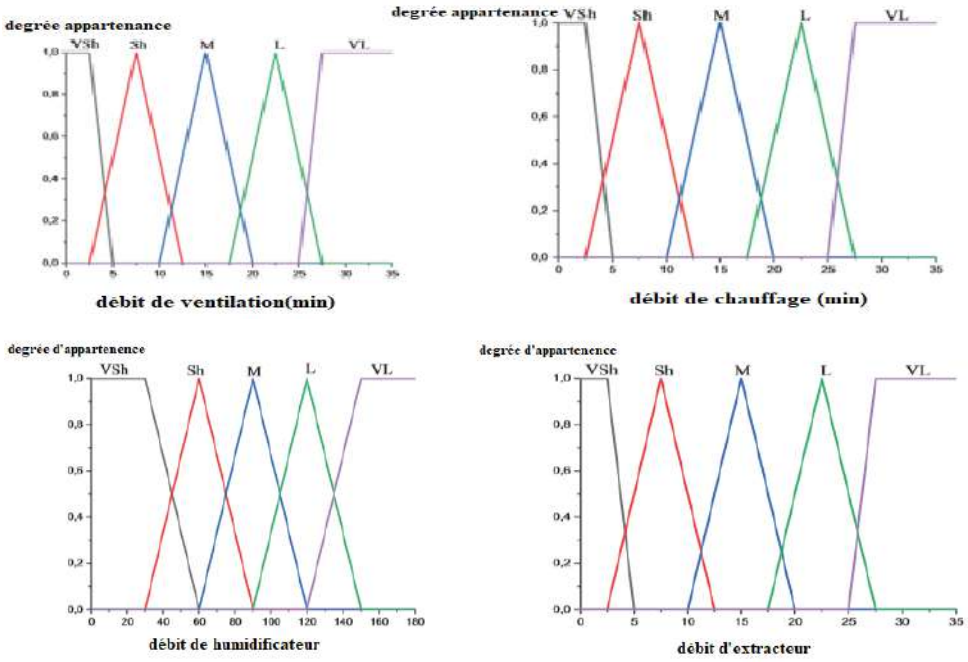


Figure.III.19. Fonction d'appartenance des entrés

La donnée qui résulté du calcul effectué par le nœud Python se compose de température, humidité et la lumière. Donc on a le besoin de séparer ces données pour les afficher séparément, pour cela nous utilisons une fonction de traitement prédéfinît « Json » (voir figure III.21)

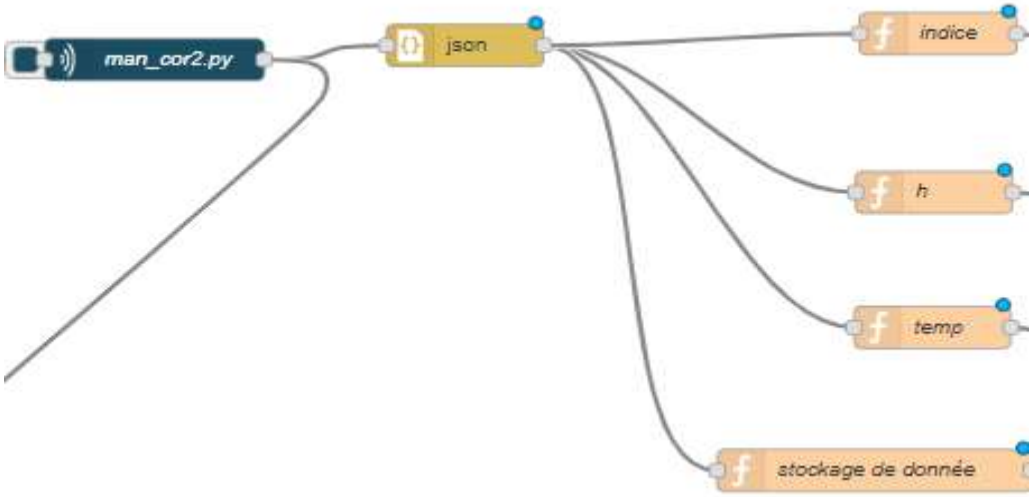


Figure III.21. Séparation de données via json

La configuration de la fonction Json doit être comme la figure III.22 indique,



Figure III.22. Configuration de la fonction json

La fonction "Json" doit être suivi par plusieurs fonctions, chaque fonction représente un type de donnée, le nombre de données désirée sur l'interface d'affichage c'est le même nombre de fonctions qui sont reliés directement à la sortie de la fonction de séparation de données Json. On doit respecter la syntaxe montrée dans la figure III.23 pour chaque fonction.

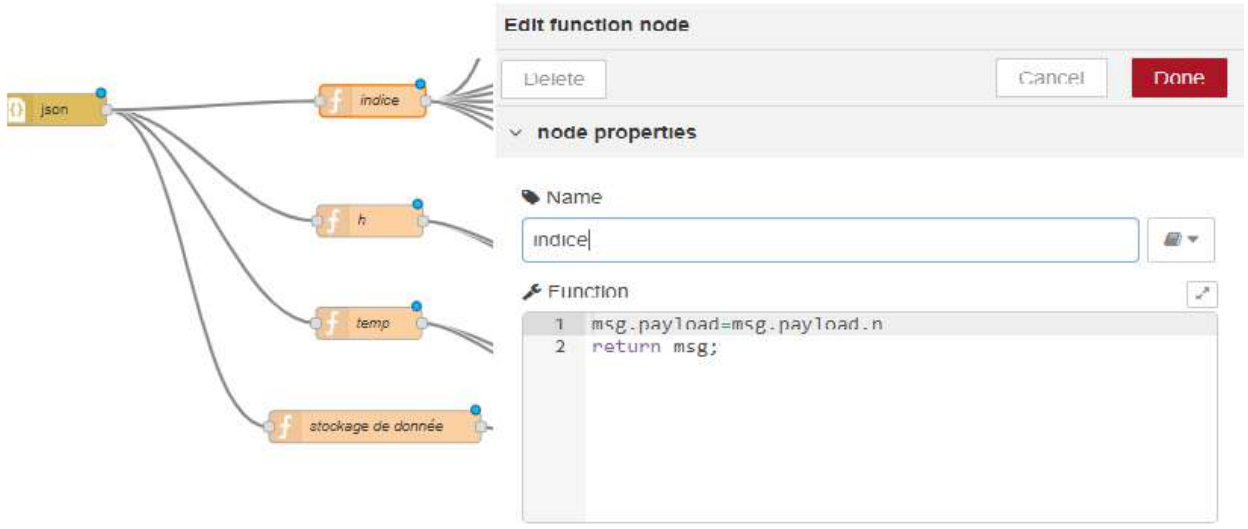


Figure III .24.configuration interne des fonctions

III.7.2. Affichage des grandeurs

Nous avons utilisé la gauge et le chart pour la visualisation des grandeurs(température,humidité) et ainsi on peut visualiser leur variation dans l'IHM. Les différentes grandeurs et états à afficher dans l'IHM sont organisés sous forme de panneaux (figure III.25).

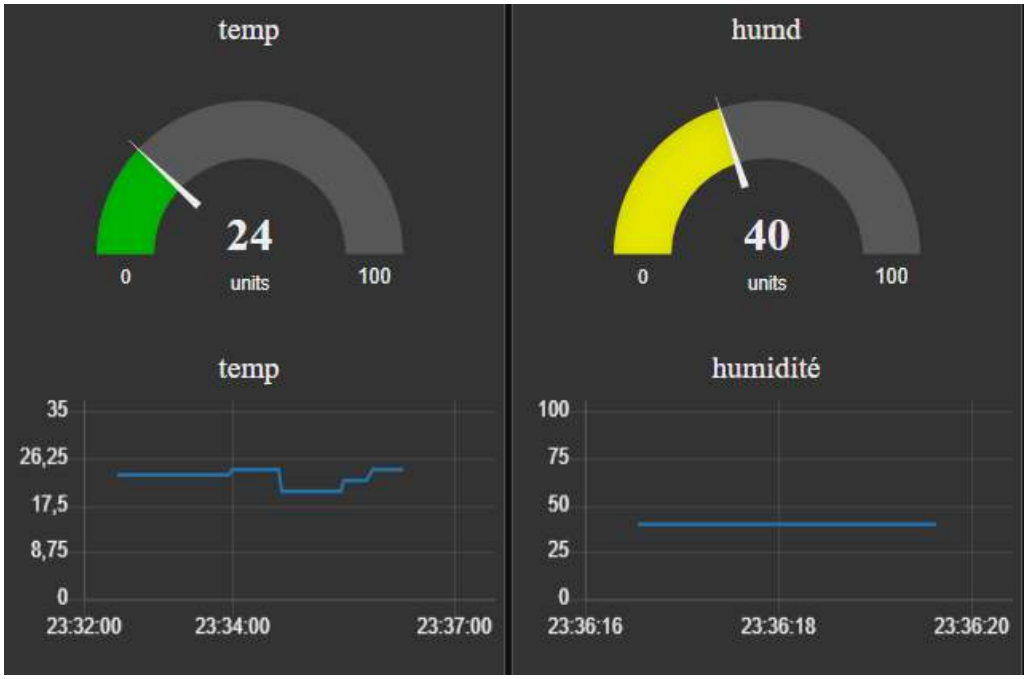


Figure III.25. Affichage de la température et l'humidité

III.8. Supervision et contrôle à base de l'IoT

Pour le contrôle et la supervision à distance de serre on a utilisé des instances cloud par le nœud FRED (Front End for Node-Red).

L'interface utilisateur FRED étend l'interface utilisateur Node-Red en ajoutant un panneau de gestion à gauche de l'interface standard de l'éditeur Node-Red appelé « dashboard » ce panneau permet à l'utilisateur de démarrer et arrêter le processus Node-Red et afficher la sortie standard et les flux d'erreurs gérés par Node-Red, fournit un accès à leur profils utilisateurs et aux informations relatives à leur abonnement[6]. Il faut suivre les étapes suivantes pour la configuration :

• Installation de la fonction d'entrées/ sorties (FRED (Input/ Output)) sur Node-Red (figure III.26).

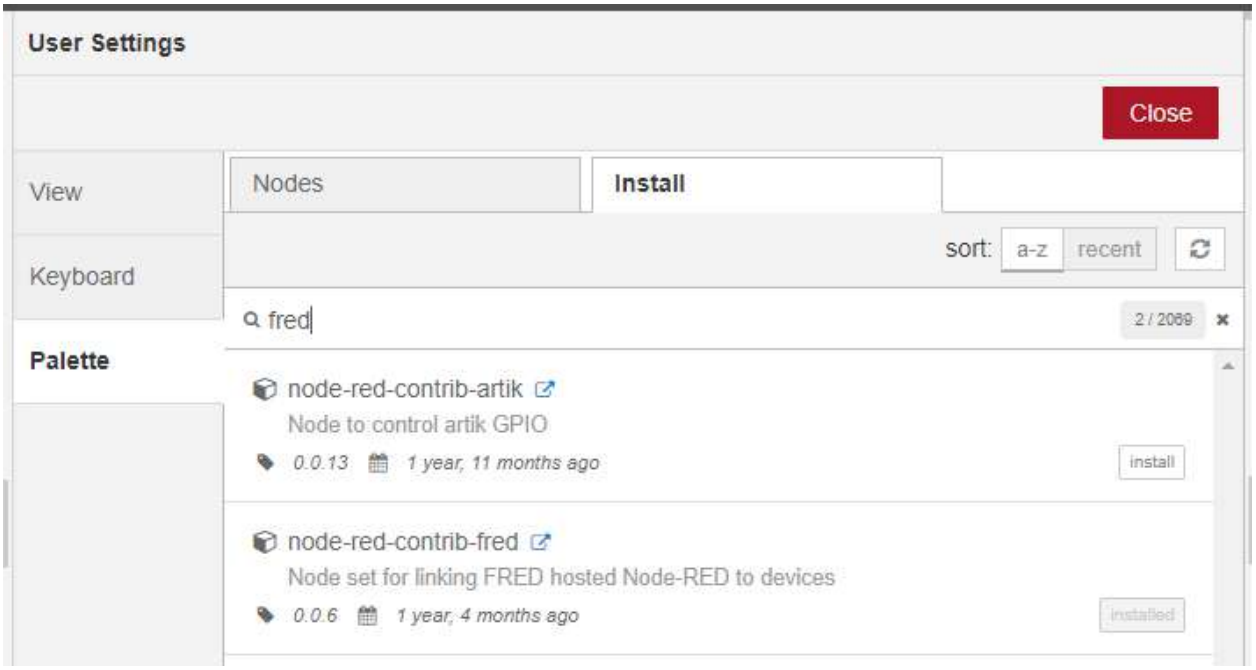


Figure III.26. Installation de FRED

La configuration interne : Les deux fonctions d'entrée/sortie FRED (input/output) doivent être configurées d'une façon qui assure leur connexion, donc il faut que les deux fonctions aient le même topique (Endpoint : temp). La configuration interne de ces fonctions est donnée par la figure III.52

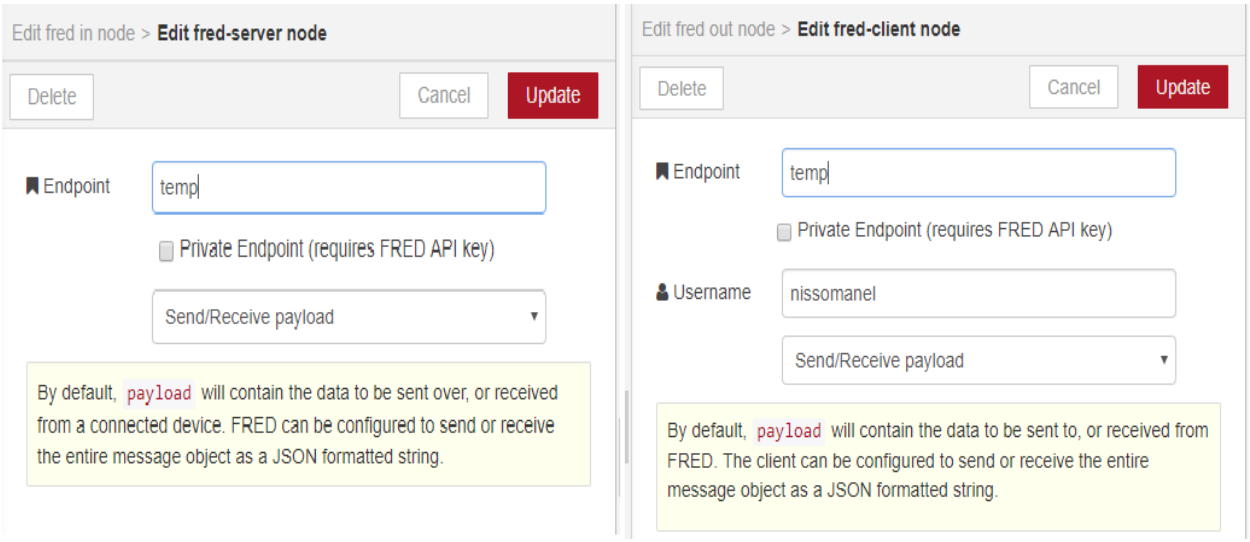


Figure III.27. Configuration interne des fonctions de FRED (input/output)

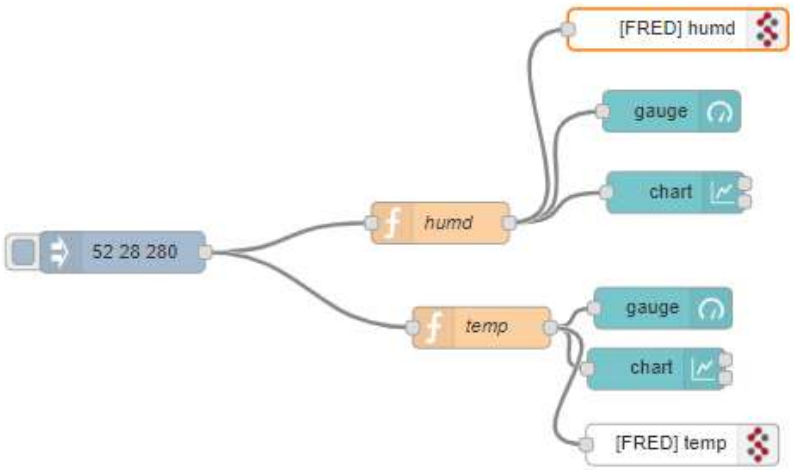


Figure III.28. Node Red board

III.9. Protocole de test réalisé

Afin de réaliser un prototype d'une serre intelligente connectée nous avons implémenté les paramètres suivants : ventilateur, chauffage, humidificateur, extracteur et une LED comme équipements pour la serre et l'Arduino, module NRF24L01+, capteurs et Raspberry comme des modules programmable, la relation entre les deux se fait dans notre application web(Node Red).Les capteurs prennent la mesure des grandeurs(température, humidité et lumière et les fontenvoyer aux Arduino créant un réseau capteur à travers le module NRF(esclave) vers l'Arduino avec module NRF(maitre).Ce dernier envoie la donnée au Raspberry qui est la partie soft implémentédans lui, le traitement des données se fait dans cette étape la traves la fonction python basée sur logique floue qui envoie des indices informant sur l'état de chaque actionneur, cet indice est envoyé à travers Arduino qui est traduit par un état bas ou haut (HIGH, LOW) qui permettra d'allumer ou éteindre l'actionneur.

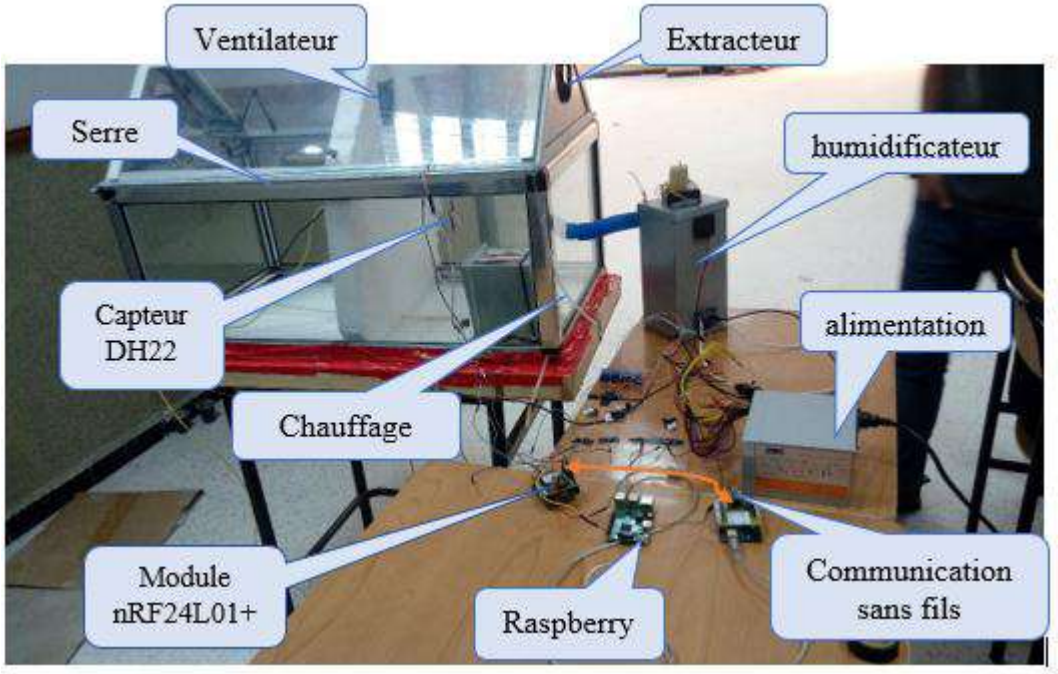


Figure III.29. Prototype réalisé

III.9.1. Tests

Dans notre réalisation on a étudié les cas suivants :

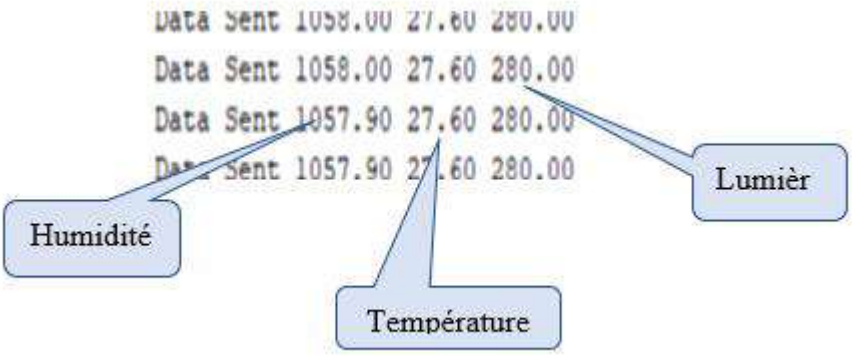


Figure III.30. Les données capturées

- **Premier cas (logique floue) :**

Ces données vont être envoyer à notre interface avec les modules NRF24L01+ placés sur l'Arduino, dans cette étape le traitement des données sera sur notre application web (Node-Red) dans une fonction (fonction python), les résultats sont donnés par la figure III.31 :



Figure III.31. Visualisation Dashboard

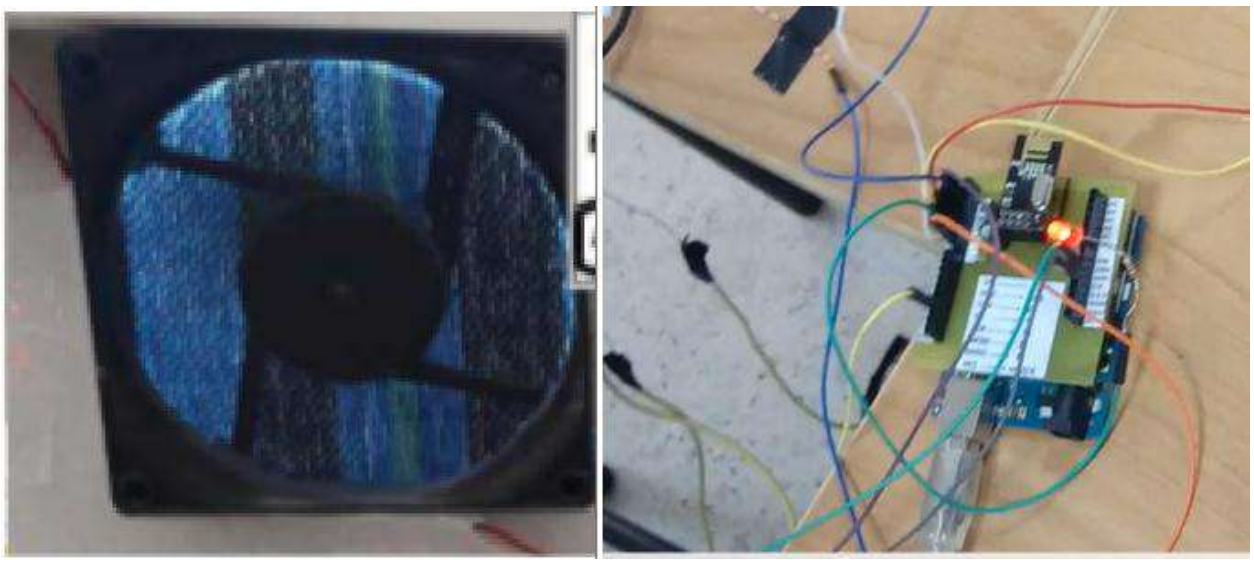


Figure III.32. Visualisation réelle

Après le passage d'un certain temps de 1min et 17sle ventilateur s'éteint (figure III.33).



Figure III.33 visualisations Dashboard

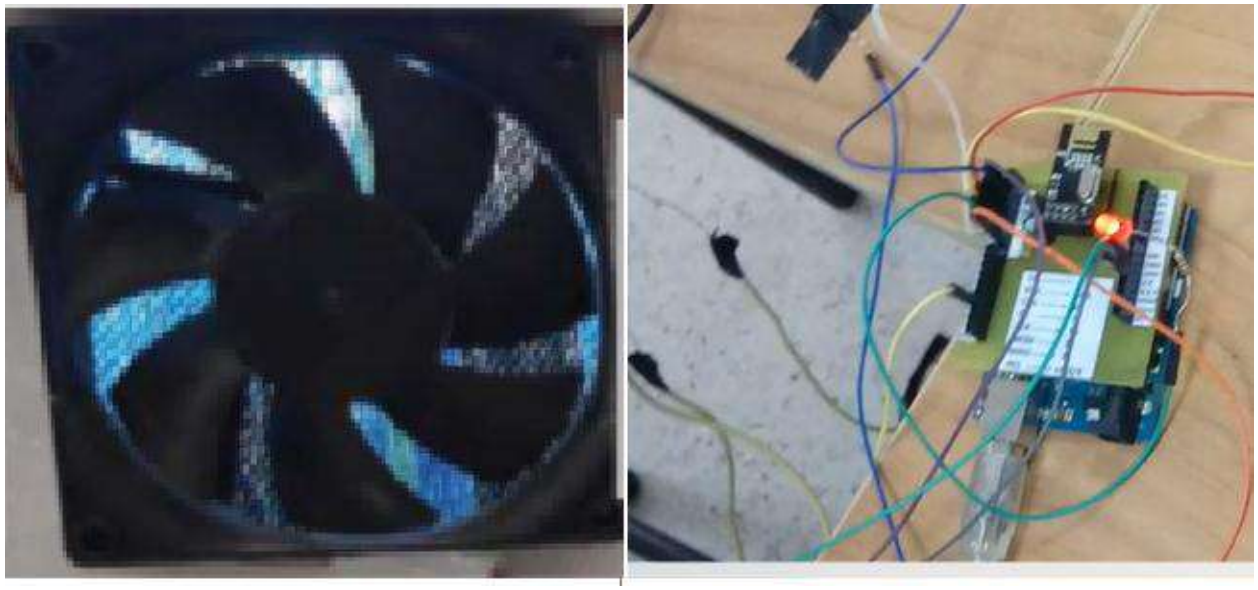


Figure III.34. Visualisation réelle

- **Deuxième cas**: voici les résultats après le passage de (12min) dans la figure (III.35).



Figure III.35. Visualisation Dashboard

III.9.2. Résultats et discussion

Pour valider notre contrôle, on a fait des tests pour valider le contrôle intelligent de la température ainsi que l'humidité. Les figures III.36 et III.37 montrent les résultats des tests.

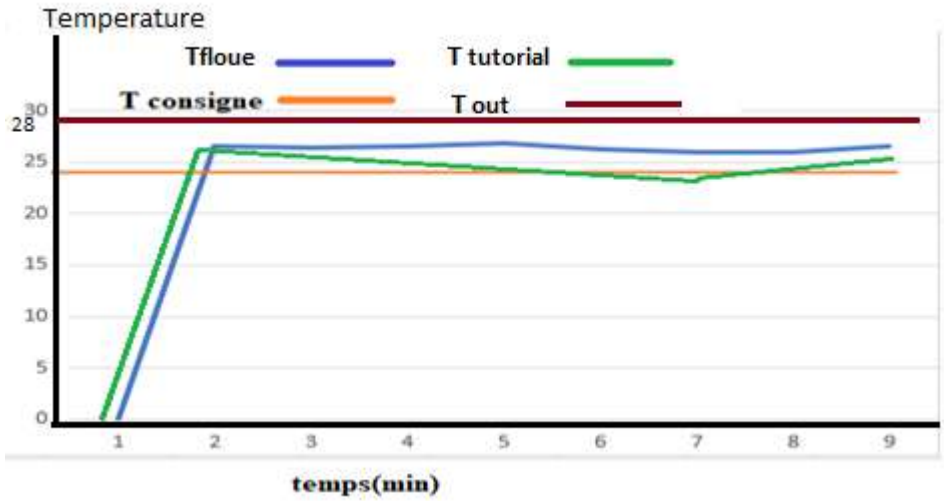


Figure III.36. Évolutions de température

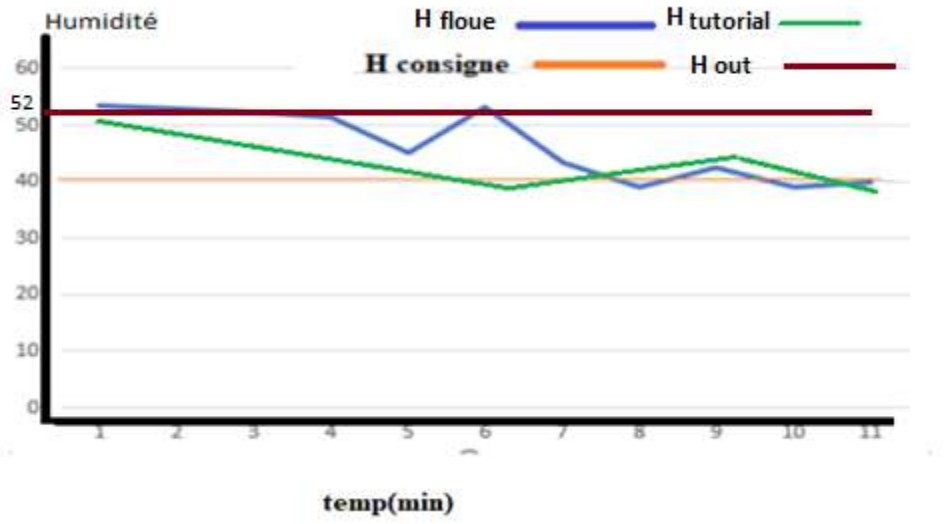


Figure III.37. Évolutions d'humidité

D’après ces résultats on peut conclure que :

- On n'a pas besoin de modélisation mathématique de notre système pour faire le contrôle
- Le contrôle est basé sur le raisonnement humain (logique floue)
- Contrôler plusieurs grandeurs à la fois par un seul contrôleur.

- Ce contrôle permet de faire des gains en économie d'énergie.

III.11. Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre pour la partie développement de l'application web ainsi que pour les étapes de la réalisation de la serre agricole automatisée, on a présenté le coté hardware du système de supervision et de contrôle réalisé tout en expliquant d'une manière claire les différentes parties hardware du système.

À travers ce résultat, nous avons pu avoir une idée précise sur les étapes de développement d'un système de contrôle et supervision basé sur l'Internet des objets. Le déploiement des réseaux de capteurs, module de communications, microcontrôleur ainsi que l'implication de Node-Red et la programmation Python s'avère une solution très intéressante pour arriver à note fin.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet réalisé, un prototype d'une serre agricole intelligente connectée est réalisée en profitant de la technologie d'internet des objets ce qui permet de contrôler la serre à distance et la superviser grâce à une interface homme-machine. Cette serre, en plus d'être connectée, elle est contrôlée par un algorithme intelligent à base de logique floue pour le contrôle des paramètres telles que la température, l'humidité et la lumière selon un algorithme développé avec le langage Python et implémenté dans la plateforme Node-Red utilisée.

Durant la préparation de notre projet de fin d'étude, nous avons essayé de mettre en pratique nos connaissances acquises en électronique, programmation et communication afin de mettre en place un modèle d'une serre agricole connectée en développant une application web qui permettras de faciliter le travail des agriculteurs, la gestion des informations et le contrôle par une application simple et facile à manipuler. Il s'agit d'automatiser les actions de chauffage, humidification, déshumidification et ventilation. Cela nécessite la maitrise de la programmation du microcontrôleur Arduino, développer des algorithmes intelligents à base de logique flou sous le langage python, maitriser la communication série (USB) et radiofréquence, programmer en JavaScript pour l'IHM et enfin relier les Arduino aux actionneurs.

Des tests ont été réalisés sur le prototype de la serre et les résultats obtenus sur le contrôle et la supervision ont montré l'efficacité du système développé.

Comme perspectives à note travail, on propose de faire des améliorations sur les actionneurs mis en place dans la serre ainsi que l'élargissement de contrôle et la supervision à d'autre paramètres tels que les carences des plantes en minéraux et la détection de maladies.

[1] E. Universalis, « SERRE », *Encyclopædia Universalis*. [En ligne]. Disponible sur: http://www.universalis.fr/encyclopedie/serre/. [Consulté le: 20-juin-2019].

[2] K. Harrar, H. Akroum, F. Nafa, et K. Hamdaoui, « Président Rapporteurs Examinateurs », p. 132.

[3] « SIMULATION NUMERIQUE DE LA CONVECTION NATURELLE DANS UNE SERRE AGRICOLE SEMI CYLINDRIQUE FERMEE CHAUFFEE PAR LE BAS ». .

[4] « CONTRÔLE ET SURVEILLANCE DES SERRES À L'AIDE D'UN API.pdf ». .

[5] « Serres-multichapelle-ULMA-Agricola.pdf ». .

[6] « chauffage serre ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.acd-serres.be/fr-8461-4716-5596-sitemap-chauffage-serre.html. [Consulté le: 26-mars-2019].

[7] « La ventilation de la serre ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.aujardin.info/fiches/serre-ventilation.php. [Consulté le: 09-juin-2019].

[8] « Système Automatique d'Aération pour Serres Lacewing: Amazon.fr: Bricolage ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.amazon.fr/Syst%C3%A8me-Automatique-dA%C3%A9ration-Serres-Lacewing/dp/B00BBTJLC2. [Consulté le: 22-juin-2019].

[9] « L'électrovanne d'arrosage : définition et utilisation ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.m-habitat.fr/entretien-de-jardin/arrosage/l-electrovanne-d-arrosage-3495_A. [Consulté le: 26-mars-2019].

[10] « Eclairage de la serre avec des lampes à LED: caractéristiques et avantages, types et modes d'installation par ses propres moyens | Agriculteur Fou ». [En ligne]. Disponible sur: https://fr.madlovefarms.com/1045-illumination-of-greenhouse-with-led-lamps-features-and-advantages-types-and-methods-of-installation-with-their-own-hands. [Consulté le: 05-mars-2019].

[11] M. Tedjini et D. Dihia, « Réalisation d'une serre agricole intelligente et contrôlable à distance par Internet », p. 74.

[12] S. Imad, « Internet des Objets (IdO) : Concepts, Enjeux, Défis et Perspectives », *Internet Obj.*, vol. 2, févr. 2018.

[13] « Introduction à la logique floue », *OpenClassrooms*. [En ligne]. Disponible sur: https://openclassrooms.com/fr/courses/1288291-introduction-a-la-logique-floue. [Consulté le: 31-mai-2019].

[14] « La logique floue : intérêts et limites » Sciences et Techniques ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/08/la-logique-floue-interets-et-limites/. [Consulté le: 12-juin-2019].

[15] « Tutoriel Node-Red « Marc Silanus ». [En ligne]. Disponible sur: http://silanus.fr/sin/?p=984. [Consulté le: 02-juin-2019].

[16] N. Heidloff, « What is Node-RED? How can it be used for the Internet of Things? », *Niklas Heidloff*, 02-févr-2015. .

[17] « Node-Red : l'IoT à portée de tous », *Ippon | Cabinet de conseil et expertise en technologies | Discovery to Delivery*, 28-mars-2017. [En ligne]. Disponible sur: http://blog.ippon.fr/2017/03/28/node-red-liot-a-portee-de-tous/. [Consulté le: 02-juin-2019].

[18] A. Aqeel, « Introduction to Arduino IDE », *The Engineering Projects*, 03-oct-2018. .

[19] G. TRONIC, « Carte Raspberry Pi3 B+ », *GO TRONIC*. [En ligne]. Disponible sur: https://www.gotronic.fr/art-carte-raspberry-pi3-b-27826.htm. [Consulté le: 21-juin-2019].

[20] Prestashop 1.5, « DHT22- Capteur de temperature et humidite digital - Boutique Semageek ». [En ligne]. Disponible sur: https://boutique.semageek.com/fr/416-dht22-capteur-de-temperature-et-humidite-digital.html. [Consulté le: 18-juin-2019].

[21] « Chauffage serre ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.acd-serres.fr/fr-8825-4813-6707-sitemap-chauffage-serre.html. [Consulté le: 22-juin-2019].

[22] « Comment fonctione un humidificateur d'air et pourquoi est-il utile ? », *Purificateur d'air*. [En ligne]. Disponible sur: https://purificateurdair.pro/fonctionnement-humidificateur-dair/. [Consulté le: 16-juin-2019].

[23] « Extracteur pour serre. Aération optimale de l'air intérieur. », *ULMA Agrícola*. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ulmaagricola.com/fr/serres/equipements/extracteur/. [Consulté le: 21-juin-2019].

[24] « Relais électrique 12V 1 CANAL 220V 10A DOMOTIQUE », *Moussasoft Maroc*. .

[25] « How FRED (Cloud Node-RED) works | Sense Tecnic ». .