



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electronique
Electronique des Systèmes embarqués

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Serraoui Issam

Le : dimanche 7 juillet 2019

Automatisation et surveillance d'une serre (Greenhouse) par Internet des objets (Internet of Things)

Jury :

M.	Bekhouche khaled	MCA	Université de Biskra	Président
M.	Hezabra Adel	MAA	Université de Biskra	Examineur
M.	Benelmir Okba	MCB	Université de Biskra	Rapporteur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option : Electronique des Systèmes embarqués

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Automatisation et surveillance d'une serre (Greenhouse)
par Internet des objets (Internet of Things)

Présenté par :

Serraoui Issam

Avis favorable de l'encadreur :

Mr. Benelmir Okba

Avis favorable du Président du Jury

Mr. Bekhouche khaled

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Option : Electronique des Systèmes embarqués

Thème :

Automatisation et surveillance d'une serre (Greenhouse)
par Internet des objets (Internet of Things)

Proposé par : Mr. Benelmir Okba

Dirigé par : Mr. Benelmir Okba

RESUMES

يعتبر هذا العمل دراسة، تصميم وتنفيذ منصة من أجل التحكم الذاتي والتحكم اليدوي عن بعد في البيوت الزراعية. ويتكون هذا المشروع من ثلاثة أجزاء : الجزء الأول هو تصميم وانشاء لوحات التحكم الخاصة بنا (متصلة لا سلكيا فيما بينها) :

وحدة الاحوال المناخية : جمع المعلومات الخاصة بالمناخ خارج البيت الزراعي وارسالها للوحدة الام.

الوحدة التحكم الاساسية : جمع المعلومات الخاصة بالمناخ وامتنة البيت الزراعي من خلال خوارزمية تحكم الضبابي، وكذلك تخزين البيانات في قاعدة بيانات عبر الانترنت .

وحدة الخزانة الكهربائية : مسؤولة عن تشغيل وتوقيف مضخات الماء .

في الجزء الثاني، قمنا بتطوير واجهة الإنسان والآلة التي تمكن عبر الإنترنت من : عرض معلومات المناخ على الواجهة الرئيسية، تخزينها في قاعدة بيانات، امكانية اعادة ضبط التعليمات الخاصة بالمتحكم، والتدخل اليدوي على المنفذات والمتحكمات بالبيت الزراعي.

وأخيرا قمنا بانشاء نموذج لبيت زراعي الذي سمح لنا باختبار الأداء وحسن سير المشروع الذي قمنا به .

الكلمات المفتاحية : البيوت الزراعية، التحكم في المعلومات المناخية، المتحكم لضبابي، تطبيق ويب، المتحكم كل اولاشيء، التحكم عن بعد ،بطاقة NodeMcu،إنترنت الأشياء.

Ce travail consiste à faire l'étude, la conception ainsi que la réalisation d'une plateforme pour l'automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles. Ce projet est constitué en trois parties : La première partie concerne la conception et la création de nos cartes de contrôle (Connecté sans fil) :

Station météo : collecte des informations sur le climat extérieur et les envoie à l'unité maître.

Unité maître: collecte des informations sur le climat de la serre agricole et automatise la serre agricole au moyen d'un algorithme de contrôle flou, ainsi que de stocker les données dans une base de données ...etc.

Station de pompage : responsable du l'activation et arrêt des pompes à eau.

Dans la deuxième partie, nous avons développé une interface homme-machine qui permet via internet de : visualiser les paramètres climatiques en temps réel et de les enregistrer dans une base de données, configurer les consignes du régulateur et intervenir manuellement sur les actionneurs de la serre.

Enfin nous avons réalisé une serre prototype qui nous a permis de tester les performances et le bon fonctionnement de notre système.

Mots clés : serres agricoles - contrôle des paramètres climatiques-régulateur flou - régulateur TOR - application web - contrôle à distance-NodeMcu-IoT.

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents

A mes frères et sœurs et toute la famille

A tous mes professeurs

A tous mes amis et mes collègues

Je n'oublie pas les gens qui m'ont aide

Remerciements

Je remercie le bon Dieu de m'avoir donné toute la patience, le courage, la volonté et la motivation qui m'ont permis de mener à bien ce travail jusqu'à sa fin.

Je remercie tous les membres de ma famille qui m'ont aidé et m'encouragé durant mes longues années d'étude.

Mes remerciements les plus vifs en priorité à mon encadreur

Mr. Benelmir Okba.

Et je n'oublie pas les membres de jury.

Merci à toutes les personnes qui m'ont aidé

Moralement et matériellement.

*En fin, je remercie toute l'équipe de laboratoire d'électronique,
et les membres de ma promotion.*

Liste des Tableaux :

Tableau II.1 : Etude comparative de quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché...	31
Tableau II.2 : Etude comparative entre NodeMcu et quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché.....	40
Tableau IV.1 : Estimation du prix de revient de notre projet.....	109

Liste des Figures :

Figure I.1 : différents types des serres.....	8
Figure I.2 : Une serre tunnel.....	8
Figure I.3 : Serres multi-chapelle.....	9
Figure I.4 : Serres en verre.....	10
Figure I.5 : Ventilation naturelle dans une serre agricole.....	14
Figure I.6 : Ventilation par extracteur d'air.....	14
Figure I.7 : Ventilation par fenêtres automatiques.....	14
Figure I.8 : Exemple d'appareil de chauffage utilisé dans les serres.....	16
Figure I.9 : Rideaux utilisés dans les serres pour réduire la lumière du soleil.....	16
Figure I.10 : Systèmes de refroidissement "Cooling Pad ".....	17
Figure I.11 : Brouillard basse pression.....	17
Figure I.12 : Eclairage LED dans une serre agricole.....	18
Figure I.13 : Eclairage SHP dans une serre agricole.....	19
Figure I.14 : Réservoirs de CO ₂ liquide.....	20
Figure I.15 : Irrigation par goutte-à-goutte.....	21
Figure I.16 : Irrigation par aspersion.....	21
Figure I.17 : Caméra de surveillance agricole.....	22
Figure II.1 : Plan de dispositif à réaliser.....	26
Figure II.2 : Schéma de dispositif à réaliser	27
Figure II.4 : Station météo-agricole.....	39
Figure II.5 : Schéma synoptique de la station météo-agricole à réaliser.....	30
Figure II.6 : Le Brochage de l'Arduino nano.....	31
Figure II.7 : Diagramme de câblage de LM35.....	32
Figure II.8 : Diagramme de câblage de DHT11.....	33
Figure II.9 : Diagramme de câblage de LDR.....	34
Figure II.10 : Diagramme de câblage les composant d'un anemometre.....	34
Figure II.11 : Anémomètre de notre projet.....	36
Figure II.12 : Schéma de câblage d'une girouette simple à basse des résistances.....	36
Figure II.13 : Schéma électrique de la Station météo.....	37

Figure II.14 : Circuit de la Station météo.....	37
Figure II.15 : L'état final de notre Station météo.	38
Figure II.16 : Schéma synoptique global de l'unité de commande centrale.....	39
Figure II.17 : Schéma de brochage de l'ESP8266 12E.....	41
Figure II.18 : Brochage de NodeMCU V3 ESP-12E.....	42
Figure II.19 : Exemple d'utilisation du circuit PCF8574 réalisé avec le logiciel de simulation Porteuse ISI.....	43
Figure II.20 : Exemple d'utilisation du circuit PCF8574 avec LCD 20x4.	43
Figure II.21 : Exemple d'utilisation du CAN extenseur.....	44
Figure II.22 : Utilisation un circuit pour effectuer la conversion des niveaux logique 3.3V et 5V sur bus I2C.....	44
Figure II.23 : Capteur de CO2 MG811.....	45
Figure II.24 : DS3231 module d'horloge en temps réel I2C.....	46
Figure II.25 : Capteur d'humidité du sol.....	46
Figure II.26 : Exemple de bus I2C de notre Projet.....	47
Figure II.27 : Exemple d'écriture sur un périphérique compatible avec le bus I2C.....	48
Figure II.28 : A- le module l293d, B- le module L298, C-Relai utilisé dans notre projet.....	49
Figure II.29 : Un moteur à courant continue.....	49
Figure II.30 : Un servomoteur.....	50
Figure II.31 : Pompe d'arrosage utilisée.....	50
Figure II.32 : Extracteur utilisée.....	50
Figure II.33 : Module nRF24L01 utilisée.....	51
Figure II.34 : Module MINI GSM SIM800L.....	52
Figure II.35 : Circuit de l'unité maitre.....	53
Figure II.36 : Schéma synoptique de carte de contrôle de l'armoire électrique.....	54
Figure II.37 : la carte de Station de pompage	55
Figure III.1 : Schéma synoptique du notre système automatisé.....	59
Figure III.2 : Système de contrôle de boucle ouverte.....	60
Figure III.3 : Système de contrôle de boucle fermée.....	60
Figure III.4 : Organigramme d'un exemple de régulation TOR.....	61
Figure. III.5 : Organisation d'un système flou.....	63

Figure III.6 : Les différentes fenêtres du Toolbox fuzzy logic de Matlab.....	66
Figure III.7 : Le régulateur flou avec ses 5 entrées et ses 3 sorties.....	66
Figure III.8 : Les entrées/sorties de notre système sur la fenêtre FIS Editor.....	67
Figure III.9 : La fonction d'appartenance de la température intérieure.....	68
Figure III.10 : Implémentation des règles d'inférence.....	70
Figure III.11 : Utilisation de Rule viewe pour Simuler les sorties du régulateur.....	70
Figure III.12 : Le régulateur TOR.....	71
Figure III.13 : Le modèle client/serveur.....	72
Figure III.14 : Utilisation d'une application web sur plusieurs types de terminaux sur internet.....	74
Figure III.15 : La première page de notre application web.....	75
Figure III.16 : Page d'accueil de notre application web.....	76
Figure III.17 : La page de Commande (Control) de la serre de notre application web.....	77
Figure III.18 : La page Weather de notre application web.....	78
Figure III.19 : La page 'Configuration' de notre application web.....	79
Figure III.20 : La page Camera de notre application web.....	80
Figure IV.1 : Vue extérieure du prototype réalisé.....	84
Figure IV.2 : La fenêtre de notre prototype réalisé.....	86
Figure IV.3 : Utilisez une lampe équivalente pour faire fonctionner le chauffage de notre prototype réalisé.....	86
Figure IV.4 : Notre camera avec une vue vidéo dans notre application Web.....	87
Figure IV.5 : Les éléments du système de refroidissement "Cooling Pad" de notre prototype.....	87
Figure IV.6 : L'éclairage artificiel avec ses consignes.....	88
Figure IV.7 : La pompe d'arrosage avec les consignes du système d'arrosage.....	88
Figure IV.8 : Les éléments de remplissage du réservoir.....	89
Figure IV.9 : Les actionneurs supplémentaires.....	90
Figure IV.10 : Rideaux d'ombrage de notre prototype.....	90
Figure IV.11 : Interface de l'environnement de développement Arduino avec la structure de notre programme de L'unité maître(NodeMcu).....	91
Figure IV.12 : Diagramme global du programme de la carte NodeMcu.....	92
Figure IV.13 : Diagramme du programme de l'esclave arduino nano.....	95

Figure IV.14 : Diagramme du programme de la Station météo.....	96
Figure IV.15 : Diagramme du programme de la carte situé dans l'armoire électrique.....	97
Figure IV.16 : Diagramme de fonctionnement de l'Application Web.....	89
Figure IV.17 : Circuit de l'unité maitre.....	100
Figure IV.18 : Circuit de la station météo.....	101
Figure IV.19 : Circuit de l'armoire électrique.....	102
Figure IV.20 : Effet des résultats du contrôleur Flou.....	103
Figure IV.21 : Résultats du contrôleur Flou dans Le Serial Moniteur	103
Figure IV.22 : Résultats du contrôleur Flou sur la fenêtre "Rule viewer".....	103
Figure IV.23 : Dialogue entre nous et notre système.....	104
Figure IV.24 : Actionneurs avant de contrôler par GSM.....	104
Figure IV.25 : Actionneurs après de Contrôler par GSM.....	104
Figure IV.26 : Résultats de la commande manuelle à l'aide de l'application Web.....	105
Figure IV.27 : Un exemple confirme que les données sont stockées dans la base de données.....	106
Figure IV.28 : L'afficheur LCD de notre station météo.....	106
Figure IV.29 : La page d'accueil de notre application web.....	107
Figure IV.30 : L'afficheur LCD de notre station météo.....	108
Figure IV.31 : Le moniteur série de port USB connecté à l'unité maitre.....	108
Figure IV.32 : Le moniteur série de port USB connecté à l'unité de l'armoire électrique.....	108

Liste des abréviations :

PIB	Produit Intérieur Brut
GSM	Global System for Mobile
RF	Radio fréquence
IoT	Internet of Things
Web	World Wide Web
TOR	Tout Ou Rien
CO2	Le dioxyde de carbone
PVC	Polyvinyl chloride
O2	Oxygene
C	Celsius
W	Watt
ppm	partie par million
LED	Light Emitting Diode
SHP	Sodium Haute Pression
lm/W	Lumens par Wat
GPRS	General Packet Radio Service
Wi-Fi	Wireless Fidelity
SD	Secure Digital
LCD	Liquid Crystal Display
RAM	Random Access Memory
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
ROM	Read-Only Memory
F	Fréquence
E/S	Entrée Sortie
Mhz	Mégahertz
µc	microcontrôleur
KB	KiloByte
USB	Universal Serial Bus
Vcc	Common Collector Voltage
SRAM	Static Random Access Memory

EEPROM	E lectrically- E rasable P rogrammable R ead- O nly M emory
PWM	P ulse W idth M odulation
ma	Milliampère
I2C	I nter- I ntegrated C ircuit
SPI	S erial P eripheral I nterface
UART	U niversal A synchronous R eceiver T ransmitter
mm	millimètre
µA	Microampère
V	Volt
LDR	L ight D ependent R esistor
CdS	sulfure de cadmium
CdSe	sélénium de cadmium
PbS	sulfure de plomb
SoC	S ystem o n a C hip
CPU	C entral P rocessing U nit
IEEE	I nstitute of E lectrical and E lectronics E ngineers
GPIO	G eneral P urpose I nput/ O utput
I2S	I ntegrated I nterchip S ound
ADC	A nalog to D igital C onverter
IDE	I ntegrated D evelopment E nvironment
RX	R eceiving x
TX	T ransmitting x
I/O	I nput/ O utput
SDA	S erial D ata L ine
SCL	S erial C lock L ine
A/N	A nalogique/ N umérique
CAN	C onvertisseur A nalogique- N umérique
RTC	R eal T ime C lock
TCXO	T emperature C ontrolled C rystal O scillator
GHz	G iga H ertz
Mbps	M égabits par seconde
m	mètre

cm	Centimètre
ACK	A cknowledgement
FIFO	F irst I n F irst O ut
PID	P roportional - I ntegral - D erived
IHM	Interface H omme- M achine
PC	P artie C ommande
PO	P artie O pérative
KP	L'action proportionnelle
KI	L'action intégrale
KD	L'action dérivée
GUI	G raphical U ser I nterface
km/h	kilomètre par heure
trimf	triangular membership function
HTTP	H ypertext T ransfer P rotocol
OS	O perating S ystem
FTP	F ile T ransfer P rotocol
HTML	H yper T ext M arkup L anguage
PHP	H ypertext P reprocessor
JS	J ava S cript
CSS	C ascading S tyle S heets
XML	E xtensible M arkup L anguage
MySQL	(M ichael W idenius) S tructured Q uery L anguage
SVG	S calable V ector G raphics

Sommaire :

Dédicace

Remerciements

Liste des Tableaux.....I

Liste des Figures..... II

Liste des abréviations.....VI

SommaireIX

Introduction générale.....2

Chapitre 1 : Les Serres agricoles avec des technologies modernes.....5

I.1. Introduction.....6

I.2. Les serres agricoles.....7

I.2.1. Intérêt de la serre.....7

I.2.2. Choix de la serre et de sa couverture.....7

I.2.3. Les différents types de serres.....7

I.2.3.1. Serres tunnel.....8

I.2.3.2. Serres multi-chapelle.....9

I.2.3.3. Serres en verre.....10

I.2.4. Les caractéristiques générales des serres agricoles.....10

I.2.4.1. La structure de la serre.....10

I.2.4.2. Le revêtement.....11

I.2.4.3. Forme extérieure et Taille.....11

I.3. Le micro climat de la serre11

I.3.1. La température ambiante.....12

I.3.2. Lumière et rayonnement solaire.....12

I.3.3. Influence de l'humidité.....12

I.3.4. Le gaz carbonique CO₂.....13

I.4.1a Technologie Dans Les Serres Agricoles.....13

I.4.1. Ventilation.....13

I.4.1.1. Ventilation traditionnelle et naturelle.....13

I.4.1.2. Ventilation développée.....14

I.4.2. Chauffage de Serre.....15

I.4.2.1. Le chauffage au gaz15

I.4.2.2. Le chauffage à pétrole15

I.4.2.3. Le Chauffage électrique.....	15
I.4.3. Systèmes de refroidissement	16
I.4.3.1. Rideaux d'ombrage.....	16
I.4.3.2. Panneaux humides de refroidissement (Cooling Pad).....	17
I.4.3.3. Brouillard Basse Pression (Fog System).....	17
I.4.4. Système d'éclairage artificielle.....	18
I.4.4.1. Éclairage par LED.....	18
I.4.4.2. Éclairage par lampe de sodium haute pression (SHP).....	19
I.4.4.3. Les tubes fluorescents.....	19
I.4.5. Système d'injection de CO2.....	20
I.4.6. Système Arrosage automatique	20
I.4.7. Caméra de Surveillance.....	22
I.5. Conclusion	23
Chapitre 2 : Description du système à réaliser.....	24
II.1. Introduction.....	25
II.2. Système à réaliser.....	26
II.2.1. Plan de dispositif à réaliser.....	26
II.2.2. Principe de fonctionnement	27
II.2.3. Station météo.....	28
II.2.3.1. Choix du microcontrôleur	29
II.2.3.2. La carte Arduino Nano.....	30
II.2.3.2. Capteurs utilisés.....	32
II.2.3.2.A. Capteur de température	32
II.2.3.2.B. Capteur d'humidité DHT11.....	32
II.2.3.2.C. La photorésistance LDR.....	33
II.2.3.2.E. Capteur de vitesse du vent.....	34
II.2.3.2.F. Capteur de direction du vent (La girouette).....	36
II.2.3.3. Circuit de la Station météo.....	37
II.2.4. Unité de commande centrale (unité maitre).....	38
II. 2.4.1 Choix du microcontrôleur.....	40
II. 2.4.2. Le microcontrôleur ESP8266 12E.....	40
II.2.4.3. Brochage de l'ESP8266 12E.....	41
II.2.4.3. NodeMCU ESP8266 ESP-12E.....	41
II. 2.4.4. Limites de NodeMCU V3 ESP-12E et solutions.....	42

II. 2.4.4.A. Nombre d'entrées/sorties.....	42
II. 2.4.4.B. Convertisseur A/N.....	44
II.2.4.5. Programmation du NodeMCU V3 ESP-12E.....	45
II.2.4.5. Les capteurs utilisés dans l'unité de contrôle centrale.....	45
II.2.4.5.A. Capteur de gaz CO2 MG811.....	45
II.2.4.5.B. DS3231 MODULE I2C RTC.....	46
II.2.4.5.C. Capteur d'humidité du sol.....	46
II.2.4.5.D. Capteur fin de course.....	47
II.2.4.6. Utilisation du bus I2C.....	47
II.2.4.7. Les circuit de puissance.....	48
II.2.4.8. Les Actionneurs utilisés.....	49
II.2.4.8.A. Le moteur à courant continu.....	49
II.2.4.8.B. Le servomoteur.....	49
II.2.4.8.C. L'extracteur.....	50
II.2.4.8.D. Les pompes à eau.....	50
II.2.4.9. Les module de communication.....	51
II.2.4.9.1. Communication par ondes radio (RF).....	51
II.2.4.9.1.A. Module nRF24L01.....	51
II.2.4.9.2. Communication par Réseau GSM.....	52
II.2.4.9.2.A. Module MINI GSM SIM800L.....	52
II.2.4.9.3. Communication par Internet.....	52
II.2.4.10. Circuit de l'unité maitre.....	53
II.2.5. Station de pompage.....	54
II.2.5.1. Equipement utilisée.....	54
II.2.5.2. La carte de Station de pompage.....	55
II.3. Conclusion.....	56
Chapitre 3 : Commande et régulation automatique.....	57
III.1. Introduction.....	58
III.1. Système automatisé.....	59
III.3. Système de contrôle.....	60
III.3.1. Choix de Types de Contrôle.....	60
III.3.1.1. Contrôle Tout ou.....	61
III.3.1.2. Le Contrôleur PID.....	62
III.3.1.3. Régulation par logique floue.....	62

III.3.1.3.A. Variables floues (variable linguistique).....	63
III.3.1.3.B. Inférence floue.....	63
III.3.1.3.C. La fuzzification.....	64
III.3.1.3.D. Defuzzification.....	64
III.3.1.4. Les avantages et inconvénients de la logique floue.....	64
III.4. Construire des systèmes avec Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB).....	65
III.5. Mise en œuvre de la commande floue.....	66
III.5.1. Variables d'entrée et de sortie.....	66
III.5.2. fuzzification des variables.....	67
III.5.3. Les paramètres les plus importants	69
III.5.3.1 Température extérieure	69
III.5.3.2 Température intérieure	69
III.5.3.3 Vitesse du vent	69
III.5.4. Règles d'inférences.....	69
III.5.5. Exploiter la fenêtre "Rule viewer".....	70
III.6. Implémentation de la logique floue.....	71
III.7. Mise en œuvre d'un régulateur TOR.....	71
III.8. Interface de contrôle IHM.....	72
III.8.1. Modèle client/serveur.....	72
III.8.2. Le Serveur http.....	73
III.8.3. Client http.....	73
III.8.4. Avantages des applications WEB.....	73
III.9. Présentation de l'interface Homme-Machine.....	74
III.9.1. La page Accueil (Home).....	76
III.9.2. La page Control.....	77
III.9.3. La page Weather.....	78
III.9.4. La page de configuration.....	79
III.9.5. La page "Camera".....	80
III.10. Conclusion.....	81
Chapitre 4 : Réalisations et tests.....	82
IV.1. Introduction.....	83
IV.2. Dispositif expérimental.....	84
IV.3. Le prototype.....	84
IV.3.1. Système de Ventilation.....	85

IV.3.2. Système de chauffage	86
IV.3.3. Caméra surveillance.....	86
IV.3.4. Système refroidissement "Cooling Pad"	87
IV.3.5.Système d'éclairage artificiel.....	88
IV.3.6. Système d'arrosage.....	88
IV.3.7. Système de remplissage de réservoir.....	89
IV.3.8. Actionneurs supplémentaires.....	90
IV.3.9. Rideaux d'ombrage.....	90
IV.4. Programmations de L'unité maître.....	91
IV.4.1. L'Organigramme de la carte NodeMcu.....	92
IV.4.2. L'Organigramme de l'esclave arduino nano.....	95
IV.5. L'Organigramme de programme de la Station météo.....	96
IV.6. L'Organigramme de la carte situé dans l'armoire électrique.....	97
IV.7. L'organigramme de l'Application Web.....	98
IV.8.Conception des Circuits	99
IV.8.1. Conception la Circuit de l'unité maitre.....	100
IV.8.2. Conception la Circuit de la station météo.....	101
IV.8.3. Conception la Circuit de l'armoire électrique.....	102
IV.9. Evaluation des performances du système	102
IV.9.1. Tester le contrôleur flou.....	102
IV.9.2. Tester le contrôleur par GSM.....	104
IV.9.3. Tester le contrôle manuel par Apps Web.....	105
IV.9.4. Tester la Sauvegarder des données.....	106
IV.9.6. Tester les performances de la station météo.....	106
IV.9.6. Tester l'affichage des données dans l'interface Homme-Machine.....	107
IV.9.7. Tester la communication entre les unités.....	107
IV.10. Etude socioéconomique.....	109
IV.11.Conclusion.....	110
Conclusion générale.....	112
Bibliographie.....	114
Annexes.....	118

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur agricole algérien occupe une place importante dans la structure économique, tant du point de vue économique que social. Malgré l'importance concrète de ce secteur, l'insuffisance de son rôle est clairement démontrée par sa modeste contribution au PIB(Produit intérieur brut).

La serre agricole est un bon endroit pour cultiver des légumes et des fruits où les conditions environnementales des plantes sont idéales, où peut être contrôlé le climat en serre, les cultures sont protégées du vent, du contrôle de la température, de l'humidité, de l'irrigation, de la quantité de nourriture, du dioxyde de carbone et de l'intensité lumineuse. Il est également possible de contrôler la pollinisation, les maladies et les insectes nuisibles.

La production agricole peut être effectuée dans les serres pendant 365 jours par ans. Pour ce faire, il est nécessaire de contrôler le climat dans la serre. Le climat de l'état de Biskra se compose de quatre saisons complètement différentes, ce qui représente un défi supplémentaire pour sa production sous le réchauffement climatique.

L'une des principales causes du retard de la production agricole en Algérie est le manque d'utilisation de la technologie dans ce domaine. Après un suivi dans les exploitations agricoles algériennes, nous avons constaté que l'agriculture était pratiquée de manière très traditionnelle et que l'absence de technologie la rendait complètement limitée et restreinte dans le domaine du climat naturel.

Ainsi, nous avons proposé une solution technique et technologique qui contribue à l'accroissement de la production agricole en Algérie et pourrait être la meilleure solution pour parvenir à l'autosuffisance alimentaire, ainsi que suivre le développement d'autres pays dans le domaine de l'agriculture et relancer l'économie algérienne sans dépendance au pétrole.

Dans le cadre de ce travail, nous souhaitons développer une plate-forme composée d'une application Web et des cartes de contrôle connectées les unes aux autres, qui nous permettra d'automatiser et de contrôler les serres et sont climat n'importe où. Il fournit également un environnement propice aux plantes et à leur libération du climat extérieur pour atteindre une production agricole tout au long de l'année.

Dans notre projet, nous avons utilisé deux méthodes de régulation pour contrôler le système : régulation par logique flou, régulation par contrôleur tout ou rien.

Les principaux objectifs de notre projet sont:

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

Pour développer notre projet autant que possible et suivre la technologie des pays développés, nous avons mis en place trois unités de contrôle (unité maître, station météo, et l'unité de l'armoire électrique), ces unités communiquent entre eux sans fil (par des ondes radio), c'est ce qui fait que notre système s'adapte aux grandes fermes.

Chaque unité est affectée à une fonction spécifique, comme indiqué brièvement ci-dessous:

- Unité maître : elle est le cœur du système, où il reçoit les données de la station météo et l'unité de l'armoire électrique, en outre la collecte les paramètres climatiques internes, il peut également communiquer avec le serveur via intranet pour enregistrer les données dans la base de données ... etc.
- Station météo : mesure les paramètres climatiques externes et les envoie à l'unité maître.
- Station de pompage : responsable de la mesure du niveau du réservoir, remplir le réservoir, activation et arrêt des pompes.

En outre, nous avons utilisé trois types de communication sont les suivants:

- communication par internet : nous avons utilisé ce type de communication entre l'unité maître et le serveur.
- communication par réseau GSM : entre l'utilisateur et le système pour contrôler le système par des messages téléphoniques en l'absence d'Internet.
- communication par les ondes radio (RF) : nous avons utilisé la communication radio entre les stations de notre system.

Notre système permettra de :

- Automatiser la serre et prendre des décisions dans la fourniture des besoins des plantes.
- Surveillance et régulation des paramètres climatiques de la serre à distance.

- Configuration à distance les consignes de régulation (selon le type de plantes cultivées).
- Envoyer des données via l'internet à l'utilisateur.
- Contrôler l'état des paramètres climatiques en temps réel.
- Enregistrement les paramètres climatiques sur une base de données et la visualisation de ces données sur des graphes.
- Possibilité de l'intervention manuelle sur les actionneurs (par application web ou par des sms téléphonique) ou choisir le type de commande automatique (par un contrôleur flou et contrôleur TOR).

La description du travail réalisé est sanctionnée par un mémoire structuré en quatre chapitres:

- Dans le premier chapitre, nous présenterons une vue globale sur les différents types de serres agricoles, ainsi que les paramètres climatiques qui contrôlent la croissance des plantes, et aussi les derniers systèmes automatique qui sont utilisés pour contrôler et réguler les paramètres climatiques.
- Le chapitre II donne un aperçu et des détails pour l'étude conceptuelle, pour réaliser notre dispositif, avec une explication des éléments du système globale et les composants électronique de chaque unité.
- Le troisième chapitre sera consacré à l'étude des commandes automatiques utilisées dans ce domaine, une comparaison théorique entre les différentes méthodes de commande et nous montrons comment intégrer le contrôleur flou et TOR sur notre système, avec une vue sur notre interface homme machine (application Web).
- Le quatrième chapitre présent : la réalisation pratique de notre prototype avec la réalisation des différentes cartes électroniques de notre system, la programmation de chaque carte, l'interprétation des résultats des tests effectués.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE 1

Les Serres agricoles avec
des technologies
modernes

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons une vue globale sur les différents types de serres agricoles, ainsi que les paramètres climatiques qui contrôlent la croissance des plantes, et aussi les derniers systèmes automatique qui sont utilisés pour contrôler et réguler les paramètres climatiques avec précision, pour répondre aux besoins des plantes et leur libération du climat extérieur et même des saisons.

La technologie est conçue dans la serre pour contrôler et de gérer les paramètres climatiques (l'humidité, la température, le rayonnement solaire et concentration de gaz CO₂) en les maintenant aux voisinages des consignes tout en s'affranchissant des paramètres climatiques externes.

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

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

I.2. Les serres agricoles :

Définition :

La serre est un espace réduit qui peut être entre 1 m² Jusqu'à 100 m², elle est en général fermée ou partiellement ouverte, et destinée en général à la production agricole, ou une enceinte destinée à la et la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire elle est devenue un local industriel de production de la matière végétale ou l'on tente d'adapter l'environnement immédiat de la plante, de façon à améliorer sa productivité et sa qualité, en l'affranchissant du climat extérieur, du sol local et même des saisons [1] [2].

I.2.1. 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 CO₂ et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en contre saison.

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existant naturellement par conséquent une meilleure qualité, du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres [3].

I.2.2. Choix de la serre et de sa couverture :

Les principaux critères de choix d'une serre et sa couverture d'après sont les suivants [3] :

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse.
- La solidité et la durabilité.
- La fonctionnalité et la facilité de maintenance.
- Les économies d'énergie et le prix.

I.2.3. Les différents types de serres :

Le type de serre change selon les conditions ci-dessus (conditions de Choix), Il existe trois principaux types de structures de serre :

La serre en verre, la serre multi chapelle ,et les serre tunnel (Figure I.1 A, B, C).

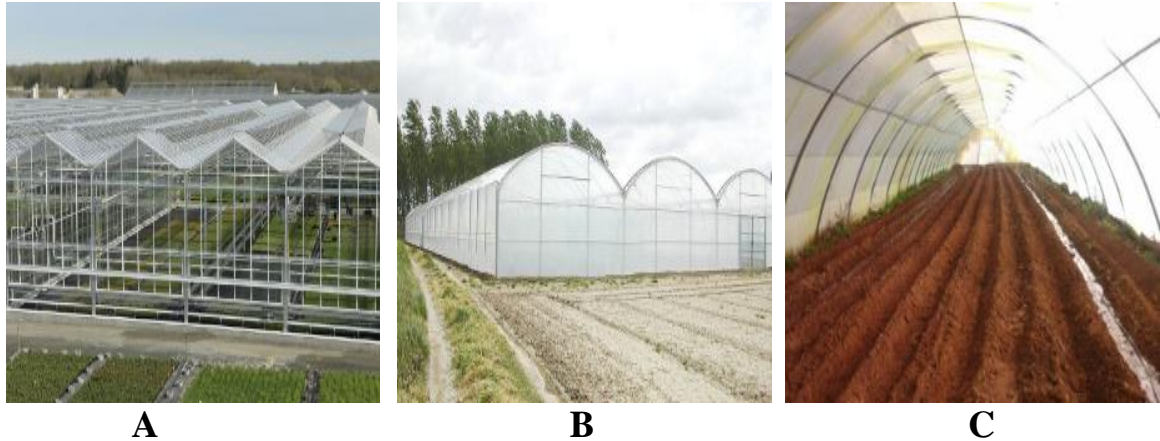


Figure I.1 : Différents types des serres [4][5].

I.2.3.1. Serres tunnel :

La serre tunnel (Figure I.2) est formée de beaucoup d'arches métalliques et Bien planté dans la terre, recouverts d'un film souple en plastique (généralement blanc transparent ou jaune transparent) et c'est ce qui lui donne la forme d'un tunnel, Ce type est célèbre en Algérie.



Figure I.2 : Une serre tunnel.

Caractéristique des serres tunnel :

- La hauteur varie généralement entre 2 et 2,50 mètres.
- la largeur se situe entre 3 et 5mètres.
- une surface au sol minimal de 6 m².
- généralement existe deux portes.

I.2.3.2. Serres multi-chapelle :

Les serres Multi-chapelle (Figure I.3) 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 [6].



Figure I.3 : Serres multi-chapelle [4].

Caractéristique des serres multi-chapelle :

1-Matériaux utilisés dans la couverture :

- film plastique.
- matériaux semi-rigides.
- plaque rigide.

2- Les éléments en aluminium ou fer :

- Poteaux d'installation.
- Arches en tôle d'aluminium.

3. Grande volume intérieur: Sa hauteur atteint 6 mètres et la superficie peut dépasser 100 m².

4- La nature de la structure permet la bonne exploitation du rayonnement solaire

5- elles procurent une aération uniforme de l'installation Les différents modèles sont conçus pour résister à des conditions climatiques déterminées.

6- aérations au faîtage ou latérales.

I.2.3.3. Serres en verre :

Les serres en verre (Figure I.4) comme les serres multi-chapelle dans la structure la seule différence est dans la couverture où les plaques de verre sont utilisées dans ce type à la place du film plastique.



Figure I.4 : Serres en verre [5].

I.2.4. Les caractéristiques générales des serres agricoles :

I.2.4.1. La structure de la serre:

Le choix du matériau de la structure est en fonction du type de serre choisi, ce qui revient à la question de la place disponible et du budget.

- **Structure en aluminium:** C'est un matériau très pratique et très utilisé, pour sa solidité et le peu d'entretien qu'il nécessite. Une structure en aluminium de qualité peut durer une centaine d'années.
- **Structure en bois :** C'est le matériau le plus séduisant car le plus « noble » et le plus esthétique, il faut le choisir imputrescible et s'il est bien entretenu, il pourra durer toute une vie.
- **Structure en acier :** L'acier présente l'avantage d'être souple et résistant. Une serre en acier pourra avoir la longévité d'une serre en aluminium à condition de prendre garde à la rouille.
- **Structure en PVC:** Le PVC est relativement bon marché et c'est un des meilleurs isolant, mais il est peu apprécié esthétiquement et sa longévité n'est pas exceptionnelle [7].

I.2.4.2. Le revêtement :

- Le film souple laisse parfaitement passer la lumière et retient bien la chaleur. C'est le revêtement le plus économique mais il devient jaune et cassant au bout de trois à quatre ans et doit donc être régulièrement remplacé.
- Le plastique est vendu sous forme de grandes feuilles légères et projette donc peu d'ombre.
- Il est aussi le plus hermétique des revêtements, donc le meilleur conservateur de chaleur. Il est cependant difficile à nettoyer.
- Le verre est parfaitement indiqué pour une serre pour ses qualités de transparence, sa durée de vie et sa facilité de nettoyage. Mais il est relativement lourd et fragile, donc potentiellement dangereux notamment pour les enfants, à moins d'être du verre trempé [7].

I.2.4.3. Forme extérieure et Taille:

Les serres sont différentes les une des autres sur leurs forme extérieure, la taille et l'espace réservé, cette différence est dépend au type d'utilisation, Ainsi que l'environnement, le climat extérieur et le terrain.

Les entreprises de fabrication étudient l'emplacement géographique et choisiront la forme qui mieux adaptée à cette zone.

I.3. Le micro climat de la serre :

Le déroulement de la croissance et du développement des différents organes d'une plante, d'une culture, obéit étroitement aux conditions climatiques. Pour cela, les serristes considèrent le climat comme un facteur de rendement qu'il faut essayer de chiffrer afin d'avoir des rendements optimums, en assurant des conditions climatiques dont elles ont besoin [3].

Les facteurs climatiques les plus importants dans la serre les plus importants dans la serre est :

- ✓ La lumière.
- ✓ L'humidité.
- ✓ La température.
- ✓ et les concentrations des gaz (CO₂, et O₂).

I.3.1. La température ambiante:

Chaque espèce requiert une température optimale de croissance qui peut atteindre 18 à 20°C (notamment en cultures maraîchères et pour certaines plantes en pot d'origine exotique).

La température de l'ambiance joue un rôle important pour les fonctions vitales de la plante: la photosynthèse, la transpiration, la circulation de la sève, la multiplication et la différenciation des cellules des organes aériens. (Par exemple, en production de tomate, la température influence fortement le calibre du fruit, la coloration et la forme. La température optimale pour la photosynthèse de la tomate varie entre 22 et 25 °C. En ornement, les différentes espèces ont des températures de croissance optimales très variables. En dessous ou au-dessus de ce seuil de température, la qualité des plantes est plus ou moins dépréciée [3].

Donc Le maintien d'une température d'ambiance d'une serre nécessite l'utilisation d'un système de refroidissement et de chauffage.

I.3.2.Lumière et rayonnement solaire :

Le rayonnement (solaire ou artificiel) active la photosynthèse des cultures et permet d'obtenir une bonne qualité des plantes et des fruits produits.

L'utilisation de la lumière artificielle (éclairage photosynthétique) pour une croissance optimale des plantes entraîne une consommation d'énergie électrique.

Pour que l'éclairage artificiel soit efficace, doit fournir entre 50 et 200W électriques par m², ce qui nécessite l'installation de lampes de forte puissance électrique (400 à 600W). L'inconvénient réside donc dans le coût en électricité engendré [3].

I.3.3. Influence de l'humidité :

En période nocturne, les serres étant généralement fermées l'humidité relative de l'air y est élevée. Des condensations se produisent fréquemment au niveau des parois et peuvent tomber sur la végétation créant ainsi des conditions particulièrement favorables au développement des maladies cryptogamiques. En période diurne, l'élévation de la température de l'air peut déterminer un abaissement exagéré de son humidité relative de l'air et provoque un véritable « stress hydrique » au niveau de la végétation, lorsqu'il s'agit d'abaisser le degré d'hygrométrie, l'aération où la ventilation s'impose [1].

I.3.4. Le gaz carbonique CO₂ :

Le gaz carbonique (CO₂) est indispensable au phénomène de la photosynthèse (également appelé assimilation chlorophyllienne), grâce auquel les plantes vertes utilisent l'énergie lumineuse pour transformer le CO₂ en eau et en sucre. Ces sucres servent ensuite à divers mécanismes de croissance contrôlés par le processus de la respiration. La différence entre la photosynthèse et la respiration détermine l'importance de l'accumulation de matière sèche (croissance) dans la plante. L'objectif de tous les serriculteurs est d'accroître la teneur en matière sèche des plantes et d'obtenir un rendement maximum au moindre coût. Le CO₂ accroît la productivité en améliorant la croissance et la vigueur des plants. L'apport de CO₂ peut améliorer la productivité en favorisant notamment la floraison hâtive, en augmentant le rendement en fruits, en réduisant la chute prématurée du bouton chez les roses ou en améliorant la vigueur de la tige et la taille de la fleur. Les serriculteurs devraient considérer le CO₂ comme un élément nutritif. Photosynthèse. À titre indicatif, dans la majorité des cultures en serre, le rendement photosynthétique augmente de 50 % lorsque la concentration de CO₂ passe de 340 ppm (concentration de l'air ambiant) à 1000 ppm [8].

I.4. la Technologie Dans Les Serres Agricoles :

Il existe de nombreuses techniques et annexions modernes, qui sont incluses dans les serres pour contrôler les conditions climatiques dans la serre et pour fournir une atmosphère adaptée aux plantes agricoles, dans le but d'obtenir une production agricole supérieure à la normale. Exemple : la ventilation, chauffage, les systèmes de refroidissement...etc.

I.4.1. Ventilation :

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

Il y a deux méthodes de ventilation d'une serre :

I.4.1.1. Ventilation traditionnelle et naturelle :

Les agriculteurs ont utilisé la ventilation traditionnelle (Figure I.5) comme solution simple et peu coûteuse, pour contrôler le climat de serre, et adapté la température et l'humidité, pression atmosphérique au maximum possible par des fenêtres s'ouvrir et se fermer manuellement, et permettre à l'air de bien circuler.



Figure I.5 : Ventilation naturelle dans une serre agricole [6].

I.4.1.2. Ventilation développée :

En raison de la nécessité d'utiliser la ventilation développée (Figure I.6, Figure I.7), il existe de nombreuses technologies et les appareils électriques utilisés. Dans la ventilation des serres sont souvent constitués des fenêtres, portes et ventilateurs, Ils sont souvent connectés à un unité de contrôle central qui ouvre et ferme les ports en fonction des valeurs du capteur, ces types de ventilation développée sont utilisés pour l'adaptation du climat interne de la serre.



Figure I.6 : Ventilation par extracteur d'air [6]. Figure I.7 : Ventilation par des fenêtres automatiques [6].

la recirculation de l'air permet d'éviter les condensations, les maladies des cultures et améliore leur transpiration.

Ce type assure une ventilation adéquate à des moments précis, cela permet aussi de contrôler l'ouverture des fenêtres dans des conditions difficiles (fermeture complète des fenêtres lors de chutes de neige et de vents violents).

I.4.2. Chauffage de Serre:

Pour maintenir la température nécessaire à la survie des plantes, il faut 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 ou tropicale dans la serre. Le système de chauffage doit être suffisamment puissant pour atteindre et maintenir efficacement la température choisie. Quant à l'énergie utilisée, tout dépend de région climatique, des frais d'installation et des coûts d'utilisation compte tenu du système de chauffage qui équipe la serre [9].

I.4.2.1. Le chauffage au gaz :

Le chauffage au gaz s'avère très efficace dans la serre. Le gaz de ville étant naturellement exclu car son installation serait chère et compliquée, même le butane est inefficace car il est trop sensible au gel, donc il est mieux d'utiliser du propane, qui lui ne gèle pas, toutes les bouteilles de gaz doivent être sorties de la serre pour éviter tout risque d'explosion par surchauffe.

Il faut aussi surveiller avec plus d'attention l'aération de la serre car la combustion du propane dégage de la vapeur d'eau. S'il est mal réglé, il peut également émettre des vapeurs toxiques pour les plants [9].

I.4.2.2. Le chauffage à pétrole :

Le chauffage à pétrole est efficace mais peu précis. Economique et totalement autonome, il permet de gagner quelques degrés, Il faut aussi surveiller tous les jours le niveau de pétrole dans les réservoirs [9].

I.4.2.3. Le Chauffage électrique :

Le chauffage électrique est non contaminé mais coûteux et inefficace dans les grandes serres, donc il n'est pas utilisé beaucoup dans les grandes serres.

Afin de contrôler le chauffage de la serre, il est mieux à choisir un schéma pour déterminer le nombre de chauffage nécessaire pour la taille de la serre, et installé dans des endroits très précis, pour assurer la meilleure diffusion de la chaleur, Comme nous le savons, la chaleur en haut sera plus élevée en bas. Il est donc recommandé de laisser passer de petits

ventilateurs en haut pour transférer l'air chaud et la distribution partout.



Figure I.8 : Exemple d'appareil de chauffage utilisé dans les serres [6].

I.4.3. Systèmes de refroidissement :

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

I.4.3.1. Rideaux d'ombrage :

Les rideaux thermiques (Figure I.9) peuvent être utilisés pour ombrager la serre et limiter l'augmentation de la température à l'intérieur de celle-ci. Les rideaux thermiques peuvent réduire la température jusqu'à 6°C lorsque comparés à une serre qui n'utilise pas de rideaux thermiques, la configuration optimale d'un rideau thermique dans une serre dépend au besoin du producteur [10].



Figure I.9 : Rideaux utilisés dans les serres pour réduire la lumière du soleil [10].

I.4.3.2. Panneaux humides de refroidissement (Cooling Pad) :

Cette méthode de refroidissement (Figure 10) consiste à faire circuler de l'eau froide dans un panneau de cellulose à base de plastique ou à base de cellulose ayant reçu un traitement spécifique, combinée à des ventilateurs d'extraction d'air mécanique. Les panneaux de refroidissement sont installés dans une section de murs, idéalement, celle qui est exposée aux vents dominants. La Figure I.10 représente une installation de panneaux de refroidissement du côté extérieur du mur de la serre [10].

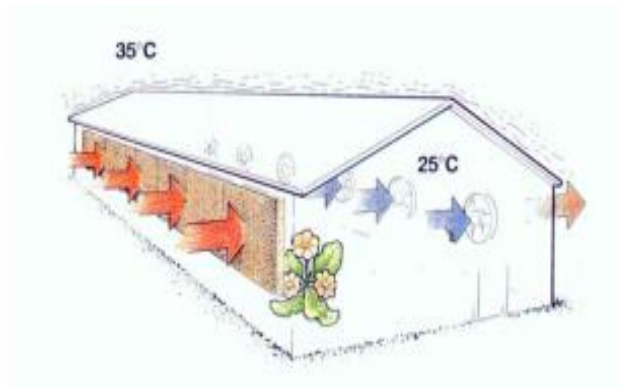


Figure I.10 : Systèmes de refroidissement "Cooling Pad "[10].

I.4.3.3. Brouillard Basse Pression (Fog System):

Le brouillard basse pression (FigurI.15 : Fog System) suit le même principe avec une taille de gouttelettes supérieures et moins nombreuses. La conséquence: une humification plus importante. Il est principalement utilisé pour des plantes robustes qui ne craignent pas d'être humidifiées sur leur feuillage ou leurs fruits [11].



Figure I.11 : Brouillard basse pression [11].

I.4.4. Système d'éclairage artificielle :

La lumière est un facteur essentiel pour la croissance des plantes. Les serres sont conçues pour créer un environnement optimal pour les plantes en croissance. Parce que la lumière du soleil est la source de lumière la moins chère, la translucidité des serres et l'ombrage à effet de serre sont des facteurs importants.

Malheureusement, la lumière naturelle n'est pas toujours disponible en quantité suffisante pour la culture commerciale. L'éclairage artificiel permet aux producteurs d'augmenter leur productivité et de prolonger la saison de croissance. Pour que les plantes poussent, elles utilisent une portion relativement faible de l'apport total (spectre).

Par conséquent, les systèmes d'éclairage de serre fournissent un spectre différent des sources lumineuses habituelles et innovent constamment pour optimiser leur efficacité énergétique [12].

I.4.4.1. Éclairage par LED :

La technologie LED a de plus en plus de succès comme source d'éclairage innovante dans le secteur mondial de l'horticulture sous serre. L'avenir des lampes LED est prometteur. L'éclairage par LED permet déjà actuellement une efficacité supérieure de 30 à 46%.

Ceci s'explique par le fait que les plantes utilisent l'énergie émise par la technologie LED de manière plus efficace que l'énergie émise par les lampes classiques. Les chiffres sont encore plus impressionnants en matière d'économie d'énergie : la différence avec les lampes classiques peut dans certains cas s'élever à 80%. Les lampes LED ont par ailleurs une durée de vie prolongée par rapport aux autres lampes [13].



Figure I.12 : Eclairage LED dans une serre agricole [13].

Avantages de l'éclairage LED :

- ✓ Très répandu.
- ✓ Peu onéreux.
- ✓ Chauffé très peu.
- ✓ Prend en général peu de place et peut couvrir de grandes longueurs.
- ✓ La concentration des ondes lumineuses bleues et rouges et violette : plus définie avec la technologie Led.
- ✓ On peut aussi trouver des lumières blanches dites plein spectre (spectre complet).

I.4.4.2. Éclairage par lampe de sodium haute pression (SHP) :

Cette lumière particulière stimule la croissance des plantes en diffusant la partie du spectre électromagnétique idéale pour l'ensemble du processus de photosynthèse. Elle imite les conditions extérieures, en particulier en ce qui concerne la couleur et la température. Les lampes SHP produisent moins d'émissions de carbone. Elles ont également tendance à durer plus longtemps. La plupart des systèmes d'éclairage au sodium haute pression durent normalement entre 12 000 et 24 000 heures [12].

I.4.4.3. Les tubes fluorescents :

Appréciés pour leur faible coût et la faible chaleur qu'ils dégagent, ils ont beaucoup été utilisés dans les serres. Leur rendement se situe entre 80 et 110 lm/W, mais le spectre se dégrade rapidement bien avant deux années d'utilisation. Le mercure contenu dans le tube est hautement toxique, ce qui le rend compliqué à recycler et très dangereux pour les plantes s'il se brise [14].



Figure I.13 : Eclairage SHP dans une serre agricole [15]

I.4.5. Système d'injection de CO₂ :

Le gaz carbonique (CO₂) est ajouté dans les serres à l'aide de diverses méthodes, dont les meilleures sont les réservoirs de gaz carbonique (CO₂) liquide, afin d'améliorer la croissance et l'activité des plantes et augmente la productivité. Le CO₂ favorise aussi la floraison hâtive par l'augmentation du rendement en fruits et par l'amélioration de la vigueur des tiges ou de la taille des fleurs [8]



Figure I.14 : Réservoirs de CO₂ liquide [16].

I.4.6. Système Arrosage automatique:

Il peut être bon de penser à un système d'irrigation, lorsqu'investir dans une serre, en effet, un système d'arrosage automatique comporte de nombreux avantages [17]:

- Adaptation de l'irrigation aux plantes, cela est permis grâce au système d'irrigation goutte à goutte à distance.
- Réglage temporaire: Permet d'arroser à certaines heures (par temps froid ou la nuit).
- Économisez de l'eau et arrosez plus précisément.
- L'irrigation peut être sélective, une ligne à la fois, par exemple.
- Permet d'économiser beaucoup de temps et un contrôle strict de l'approvisionnement en eau.
- Dans le cas de l'irrigation automatique, il faudra privilégier un système permettant d'apporter différentes quantités d'eau en fonction des plantes.

Il existe plusieurs méthodes principales utilisées en irrigation automatique [18]:

- Le goutte-à-goutte :

Le goutte-à-goutte est conçu pour fournir une quantité d'eau mesurée à chaque plante et sert aussi bien à arroser les parterres que les pots.



Figure I.15: Irrigation par goutte-à-goutte [19].

-Irrigation par aspersion :

C'est un système idéal pour arroser les jeunes plants, à utiliser de préférence en été, car l'hiver il laisse le feuillage humide et favorise ainsi les maladies.



Figure I.16 : Irrigation par aspersion [19].

I.4.7. Caméra de Surveillance :

Son objectif principal est de connecter les plantes avec les producteurs afin de créer une meilleure visualisation en ligne.

Le système de caméra se connecte depuis n'importe quelle source internet, ce qui permet une surveillance active de la serre 24/24h et 7/7j.



Figure I.17 : Caméra de surveillance agricole [20].

I.5. Conclusion :

Le choix du type et de la structure de la serre dépend du climat de la région et du type de plante à cultiver dans cette serre.

Dans ce chapitre nous avons vu les types de serres agricoles les plus populaires, ensuite nous avons déterminé les paramètres les plus agissants sur la croissance de la culture sous serre, enfin nous avons défini les différents systèmes automatique nécessaires à la gestion efficace des paramètres climatiques sous serre.

Pour fournir le meilleur climat possible aux plantes en s'appuyant sur une bonne connaissance de leurs caractéristiques et de leurs besoins à tous les stades de leur croissance et en choisir les meilleures technologies dans les serres.

CHAPITRE 2

Description du système
à réaliser

II.1. Introduction :

L'étape la plus importante avant la réalisation de tout projet électronique est l'étude conceptuelle, pour réaliser le dispositif correctement.

Pour bien concevoir un système de contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole, il est nécessaire de bien choisir la solution technologique adéquate. Cette solution est inspirée des solutions techniques existantes utilisées dans ce domaine et vise à répondre aux besoins et aux exigences du cahier des charges fonctionnel dont les fonctions de services à assurer, se résument en :

- Automatiser la serre et prendre des décisions dans la fourniture des besoins des plantes.
- Surveillance et régulation des paramètres climatiques de la serre à distance grâce à la technologie IoT.
- Configuration à distance sur site web des consignes de régulation (selon le type de plantes cultivées).
- Envoyer des données via l'internet à l'utilisateur.
- Archivage des données tout au long de l'année.

II.2. Système à réaliser :

Est un système de contrôle et de gestion des serres agricoles automatiquement. Il est permet aux agriculteurs de contrôler tous les paramètres climatiques dans la serre à distance depuis n'importe où, avec la technologie de Internet des objets (Internet of Things – IoT), et aussi toutes les données sont archivées sur une base de données pour permettre la visualisation à tout moment de l'année, en plus de ça permet aussi de configuration à distance des consignes de régulation (selon le type de plantes cultivées).

Le système utilise l'une des méthodes de contrôle automatique suivantes :

- Commande TOR (Tout ou rien).
- Commande par Logique Floue.

Ce système contient deux parties:

- partie logicielle
- partie matériel.

II.2.1. Plan de dispositif à réaliser :

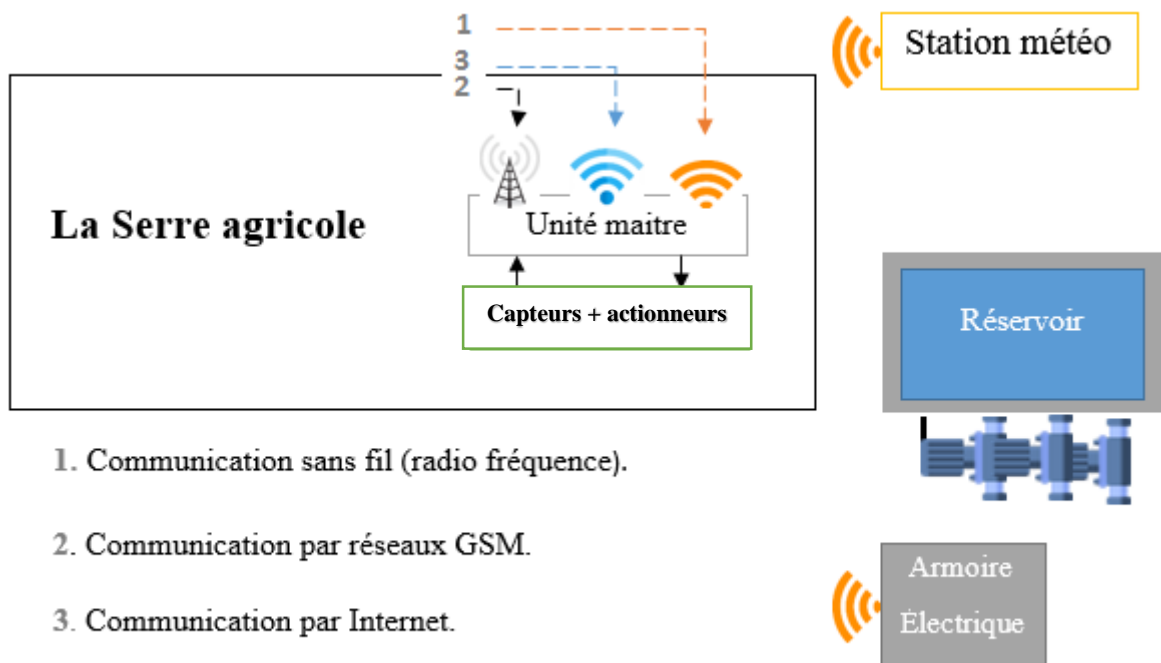


Figure II.1 : Plan de dispositif à réaliser.

II.2.2. Principe de fonctionnement :

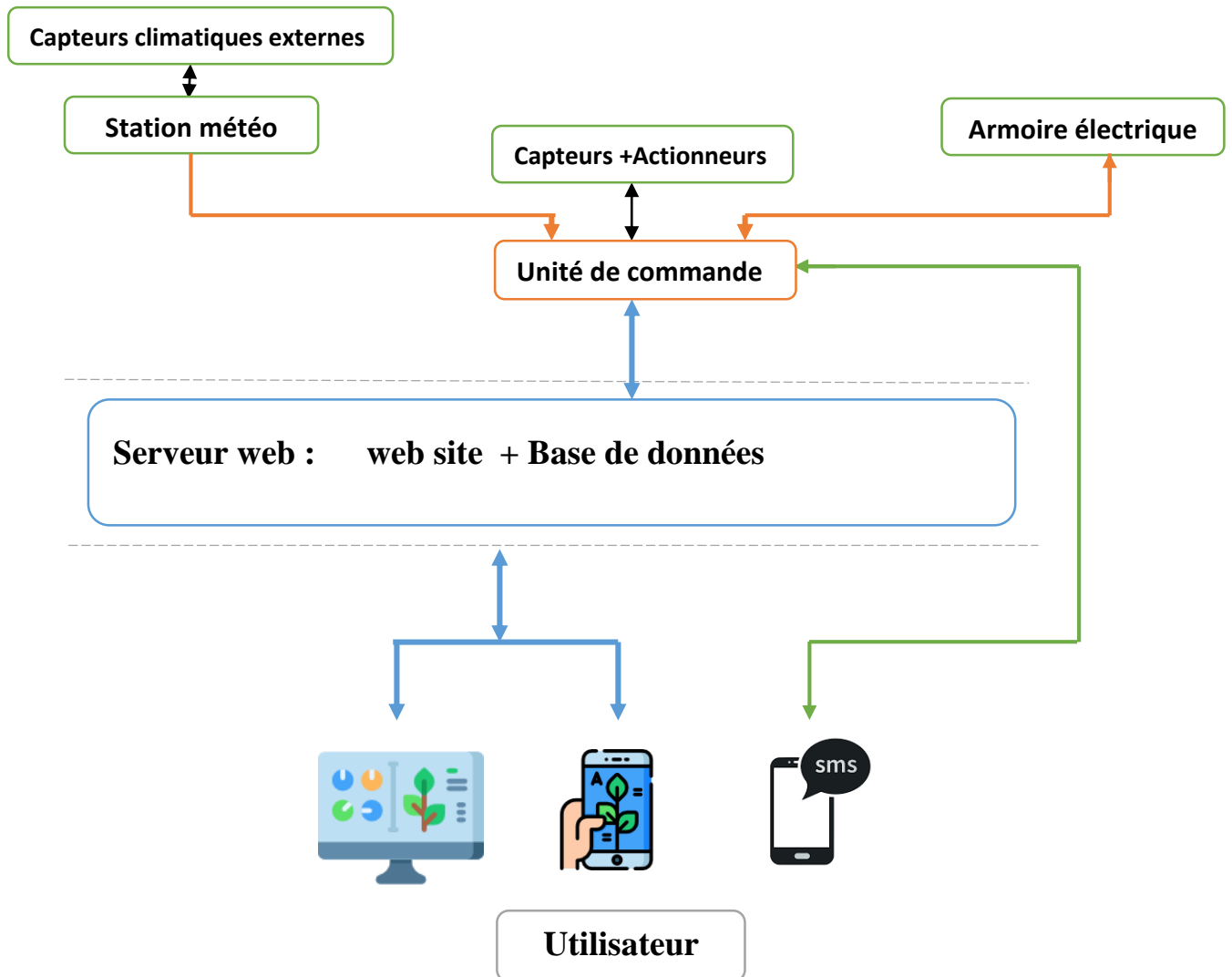


Figure II.3 : Schéma de dispositif à réaliser.

- — Fil de cuivre.
- — Communication par Internet.
- — Communication sans fil (radio fréquence).
- — Communication par réseaux GSM.

Le schéma synoptique est constitué de :

1. Un bloc d'alimentation.
2. Station météo avec des Capteurs climatiques externes :
 - Capteur d'humidité de l'air.
 - Capteur de rayonnement solaire.
 - Capteur de température.
 - Capteur de vitesse du vent.

- Interface pour le capteur de direction du vent.
3. Station de pompage contenant :
 - compteur électrique.
 - Circuit de contrôle pour :
 - marche / arrêt la pompe N⁰¹ pour remplir le réservoir.
 - marche / arrêt la pompe N⁰² pour l'arrosage.
 - marche / arrêt la pompe N⁰³ de système de refroidissement (Cooling Pad).
 - mesurer le niveau du réservoir.
 4. Unité de commande 1 (maitre) Qui contiennent des capteurs climatiques, des actionneurs et des Modèles de communication (GSM, RF, Internet).
 5. Un serveur web distant pour la réception et l'enregistrement des données climatiques, ainsi que l'hébergement de l'application web.
 6. Une application web pour l'affichage des données climatiques à distance, la configuration des consignes de régulation selon le type de plantes cultivées et la commande manuelle des actionneurs.
 7. L'unité programmable (maitre) assurant la synchronisation des différentes fonctions de service :
 - régulation des paramètres climatiques, acquisition des données, envoie des données vers le serveur distant, gestion de l'affichage, réception des commandes manuelles depuis l'application web.
- Ci-dessous, nous expliquerons comment réalisé chaque élément.

II.2.3. Station météo :

Une station météo-agricole (Figure II.4) permet de surveiller les paramètres climatiques particulier pour des domaines tel que l'agriculture, l'arboriculture, l'horticulture, la sylviculture.

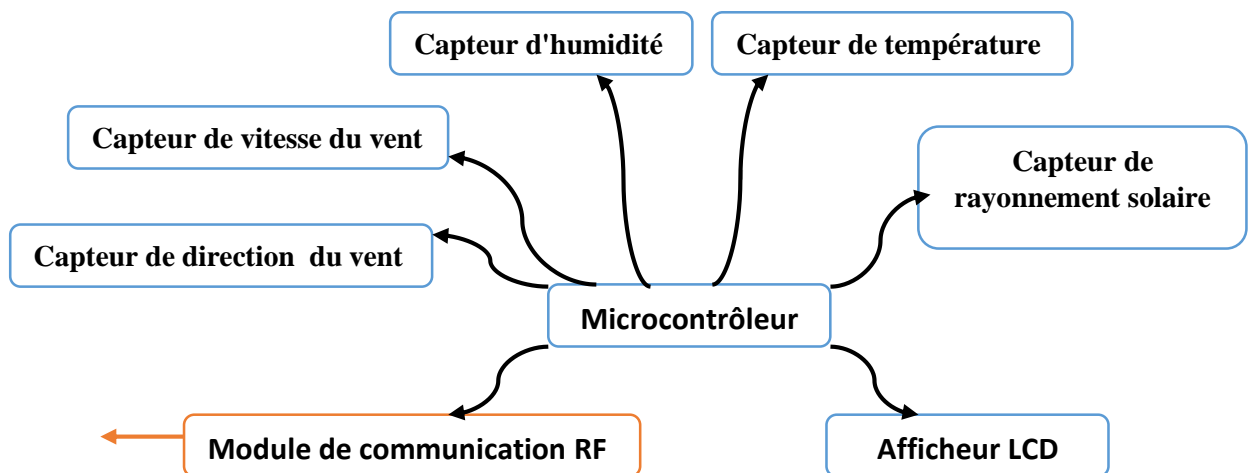
Les stations agricoles sont souvent composées de capteurs pour mesurer la température, l'humidité, l'ensoleillement, l'humectation et la pluviométrie et la vitesse et direction du vent.

Ces stations sont pour leur majorité autonomes en énergie grâce à un panneau solaire et elles transmettent les données météorologiques par GPRS, Wi-Fi ou carte SD [21].



Figure II.4 : Station météo-agricole [21].

Ce Schéma montre les composants de la station météo à réaliser :



Envoyer à l'unité centrale

Figure II.5 : Schéma synoptique de la station météo-agricole à réaliser.

II.2.3.1. Choix du microcontrôleur :

L'une des étapes les plus importantes à la réalisation de notre projet est le choix du microcontrôleur, il est nécessaire de choisir le plus adapté à nos objectifs, Il existe beaucoup de critères de sélection dont nous devons tenir compte comme :

- Le nombre d'entrées/sorties analogiques.
- Le nombre d'entrées/sorties numériques.
- Puissance de calcul suffisamment élevée pour gérer des algorithmes en temps réel.

- Taille de la mémoire programmée (pour contenir l'ensemble du programme).
- La taille de la mémoire RAM (pour les calculs que le microcontrôleur doit effectuer).
- La mémoire EPROM (si on a besoin que certaines données soient sauvegardées si l'alimentation se coupe).
- Le prix et la disponibilité du microcontrôleur sur le marché.

Le tableau suivant représente une étude comparative de quelques microcontrôleurs disponible sur le marché.

Tableau II.1. Etude comparative de quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché [22] [23] [24] [25].

Type du microcontrôleur	Flash ROM (en octet)	RAM (en octet)	EEPROM (en octet)	F max (en Mhz)	Bus de données	E/S
PIC16F877A	8 k	368	256	20	8 bits	33
PIC18F4550	32 k	2 k	256	48	8 bits	35
ATMEGA328	32 k	2 k	1 k	20	8 bits	23
ATMEGA 2560	256 k	8 k	4 k	20	8 bits	86

Le microcontrôleur ATMEGA 328 peut répondre à tous les besoins nécessaires pour faire une station météo-agricole, ce µc'est le moins cher d'entre eux, nous allons utiliser la carte arduino nano pour faciliter la programmation et l'utilisation de l'ATMEGA 328.

II.2.3.2. La carte Arduino Nano :

La carte Arduino Nano est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 Mhz. Sa mémoire de 32 KB et son grand nombre d'E/S font de ce circuit un élément idéal pour les systèmes embarqués ou pour des applications robotiques nécessitant du multitâches.

L'Arduino nano v3.0 peut se programmer avec le logiciel Arduino. Le contrôleur ATmega328 contient un bootloader qui permet de modifier le programme sans passer par un programmeur [26].

Caractéristiques principales [26] :

- Alimentation via port USB ou 5 Vcc régulée sur broche 27 ou 6 à 20 V non régulée sur broche 30.
- microprocesseur: ATmega328.

- mémoire flash: 32 KB.
- mémoire SRAM: 2 KB.
- mémoire EEPROM: 1 KB.
- 14 broches d'E/S dont 6 PWM.
- 8 entrées analogiques 10 bits.
- intensité par E/S: 40 mA.
- cadencement: 16 MHz.
- bus série, I2C et SPI, UART.
- gestion des interruptions.
- fiche USB: mini-USB B.
- dimensions: 45 x 18 x 18 mm

Le prix de cette carte 1200 DA (en Algérie) et le prix de μ c ATmega328 1000 DA donc de mieux de choisir cette carte prête, au lieu d'utiliser μ c ATmega328 seul.

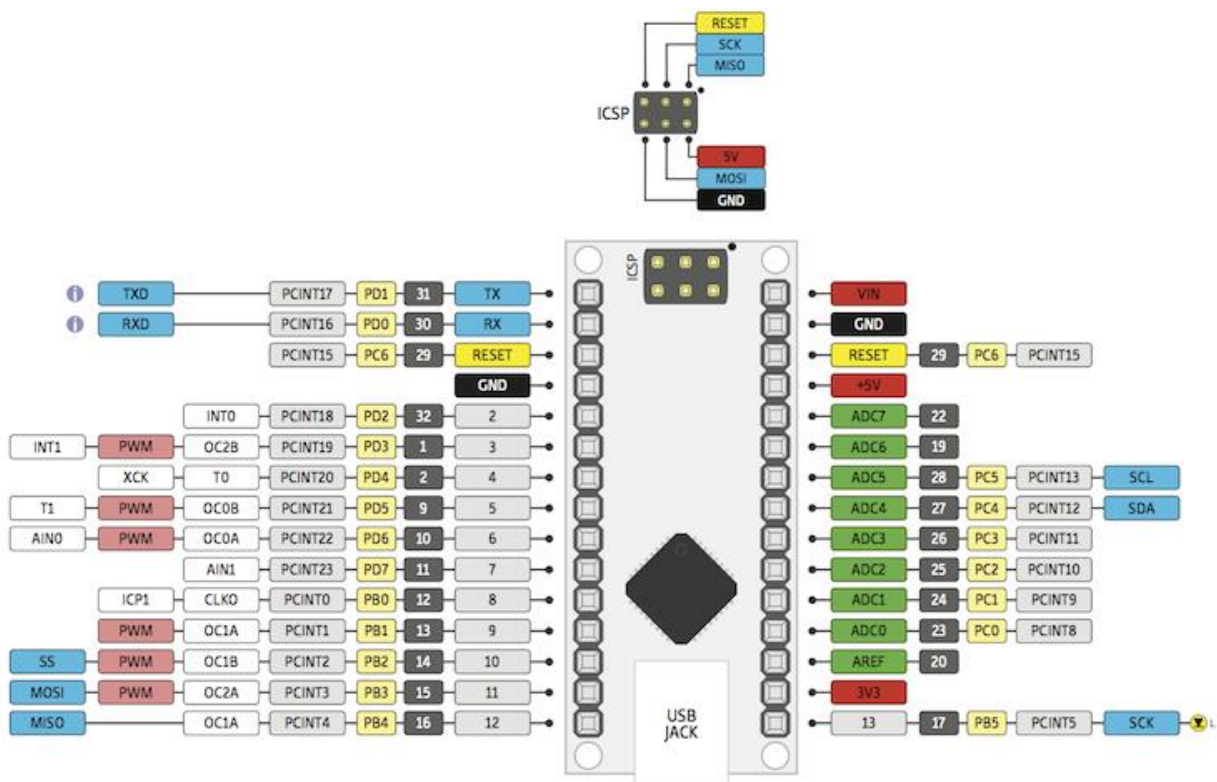


Figure II.6 : Le Brochage de l'Arduino nano [27].

II.2.3.2. Capteurs utilisés :

II.2.3.2.A. Capteur de température :

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température. Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu coûteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve.

Ce capteur est fabriqué par TEXAS INSTRUMENTS est capable de mesurer des températures allant de -55°C à $+150^{\circ}\text{C}$ dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température [28].

Caractéristiques du capteur LM35 [28]:

- Tension d'alimentation : 4 à 30 volts.
- Précision : $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Courant au repos : $60\text{-}\mu\text{A}$.

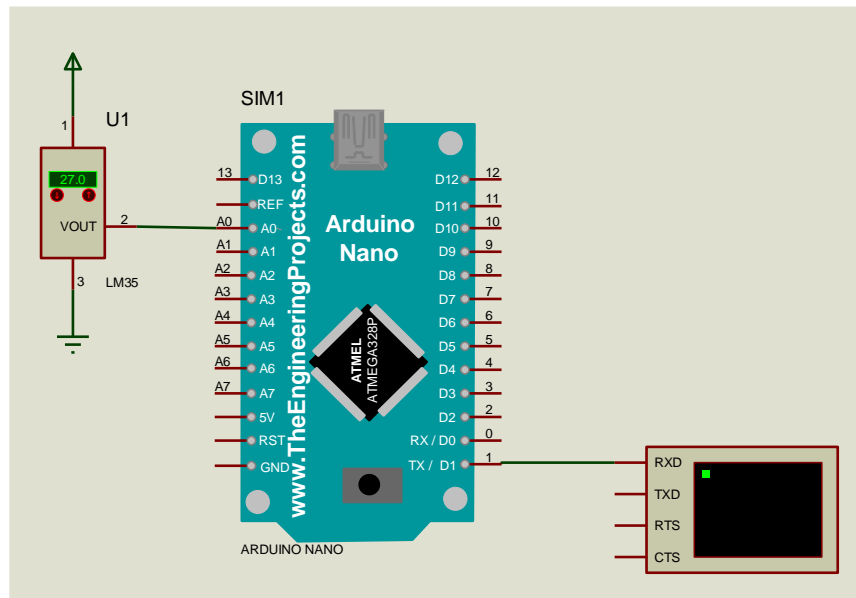


Figure II.7: Diagramme de câblage de LM35.

II.2.3.2.B. Capteur d'humidité DHT11 :

Le DHT11 est un capteur numérique de température et d'humidité avec une sortie de signal numérique calibrée du capteur combiné de température et d'humidité. Il utilise une technologie de capture de modules numériques dédiée et la technologie de capteur de température et d'humidité pour garantir des produits d'une grande fiabilité et d'une excellente stabilité à long terme. Le capteur comprend un élément résistif et une idée des dispositifs de mesure de la température NTC humide, ainsi qu'un microcontrôleur 8 bits hautes performances connecté [29].

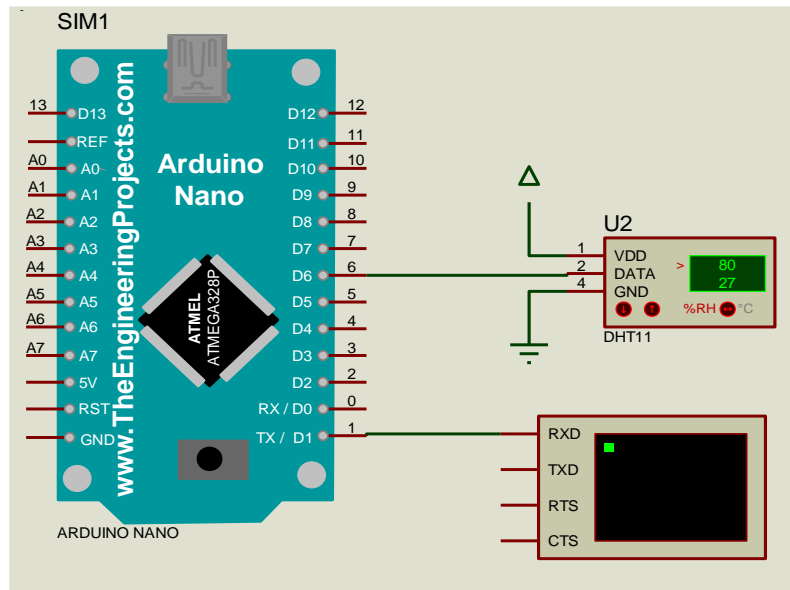


Figure II.8 : Diagramme de câblage de DHT11.

Caractéristiques du capteur DHT11 [29] [30]:

- Tension de fonctionnement: 3.5V à 5.5V.
- Courant de fonctionnement: 0.3mA (mesure) 60uA (standby).
- Sortie: données série.
- Plage de température: 0 ° C à 50 ° C.
- Gamme d'humidité: 20% à 90%.
- Résolution: la température et l'humidité sont toutes deux en 16 bits.
- Précision: ± 1 ° C et $\pm 1\%$.

II.2.3.2.C. La photorésistance LDR:

La photorésistance (également appelée résistance photo-dépendante ou cellule photoconductrice) est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente: plus elle est éclairée, plus sa résistivité baisse [31].

Principe de fonctionnement de la photorésistance :

La photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haute résistivité. Si la lumière incidente est de fréquence suffisamment élevée (donc d'une longueur d'onde inférieure à la longueur d'onde seuil), elle transporte une énergie importante. Au-delà d'un certain niveau propre au matériau, les photons absorbés par le semi-conducteur donneront aux électrons liés assez d'énergie pour passer de la bande de valence à la bande de conduction. La

compréhension de ce phénomène entre dans le cadre de la théorie des bandes. Les électrons libres et les trous ainsi produits abaissent la résistance du matériau. Lorsque le photon incident est suffisamment énergétique, la production des paires électron-trou est d'autant plus importante que le flux lumineux est intense.

Les matériaux utilisés dans les photorésistances sont le plus souvent des composés des colonnes II-VI de la classification périodique des éléments. Pour une utilisation dans le domaine visible et à faible coût, on utilise le plus souvent le sulfure de cadmium (CdS) ou le sélénure de cadmium (CdSe). Pour des utilisations dans l'infrarouge on utilise le sulfure de plomb (PbS) [31].

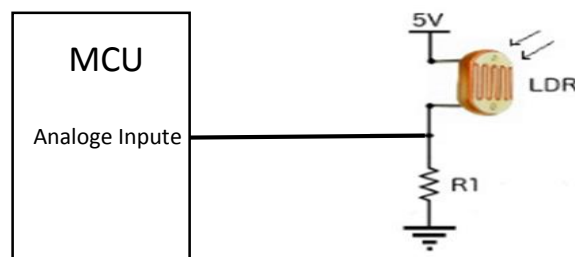


Figure II.9: Diagramme de câblage de LDR.

II.2.3.2.E. Capteur de vitesse du vent :

Fabrication d'un anémomètre :

Un anémomètre est un appareil qui permet de mesurer la vitesse du vent. C'est très facile de construire un anémomètre à coupelle, et de mesurer sa vitesse de rotation (vitesse du vent moyen) utilisant un microcontrôleur et un capteur approprié.

Nous avons construit un anémomètre, composé de 3 petits conteneurs en plastique

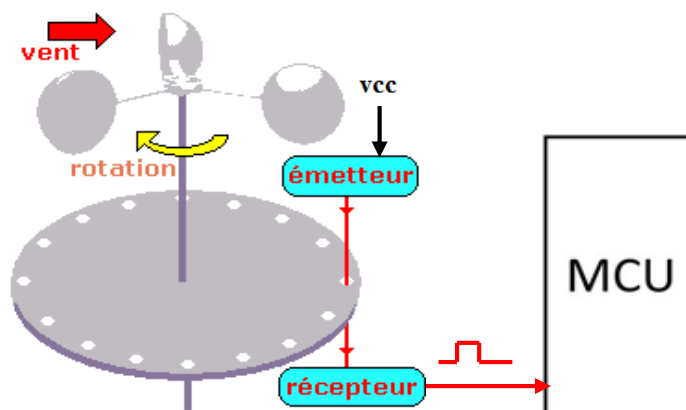


Figure II.10 : Diagramme de câblage les composants d'un anémomètre.

reliés au bout de 3 barres en bois clair. L'extrémité opposée des barres de bois est reliée à un axe rotatif contenant un disque dentelé à côté duquel se trouve un capteur d'infrarouge.

principe de fonctionnement anemometre :

- Lorsque les ailettes bougent, le disque dentelé tourne à côté du capteur de vitesse
- Lorsqu'il y a une barrière, le récepteur ne reçoit aucune lumière du récepteur et n'envoie aucune impulsion à μc .
- Lorsqu'une barrière n'est pas reçue, le récepteur reçoit une lumière émise par un émetteur et envoie une impulsion à μc .

Calcul de la vitesse :

La mesure de la vitesse du vent est très facile car le cure-dent tourne et permet à la lumière de passer à travers les trous, donc il est reçu via le capteur infrarouge ce dernier envoie des impulsions au microcontrôleur.

Le temps écoulé entre 20 passages successifs de l'aimant représente la période de rotation complet pour les billes en plastique, on peut ensuite calculer la vitesse de vent à travers cette équation :

$$\text{vitesse des vents} = (2 * \pi * \text{rayon}) / \text{période}$$



Figure II.11 : anémomètre de notre projet.

II.2.3.2.F. Capteur de direction du vent (La girouette) :

C'est un capteur de direction du vent qui indique la direction du vent en modifiant sa résistance interne (Figure II.12).

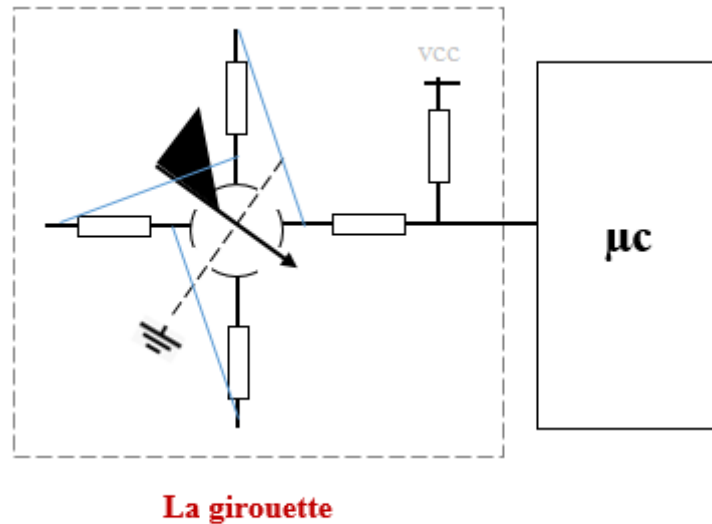


Figure II.12: Schéma de câblage d'une girouette simple à basse des résistances.

Pour des directions plus précises, le nombre de résistances peut être augmenté.

La valeur d'une résistance=1 k Ω .

La direction du vent est calculée comme suit :

$$V_{in} = (R/R+1000) * VCC.$$

$$VCC=5 \text{ V.}$$

R= valeur de résistance de la girouette.

$$\text{Si : } V_{in}=2.5 \text{ V} \longrightarrow \text{direction} = 0 \text{ degré.}$$

$$\text{Si : } V_{in}=3.33 \text{ V} \longrightarrow \text{direction} = 90 \text{ degré.}$$

$$\text{Si : } V_{in}=3.75 \text{ V} \longrightarrow \text{direction} = 180 \text{ degré.}$$

$$\text{Si : } V_{in}=4 \text{ V} \longrightarrow \text{direction} = 270 \text{ degré.}$$

II.2.3.3. Circuit de la Station météo :

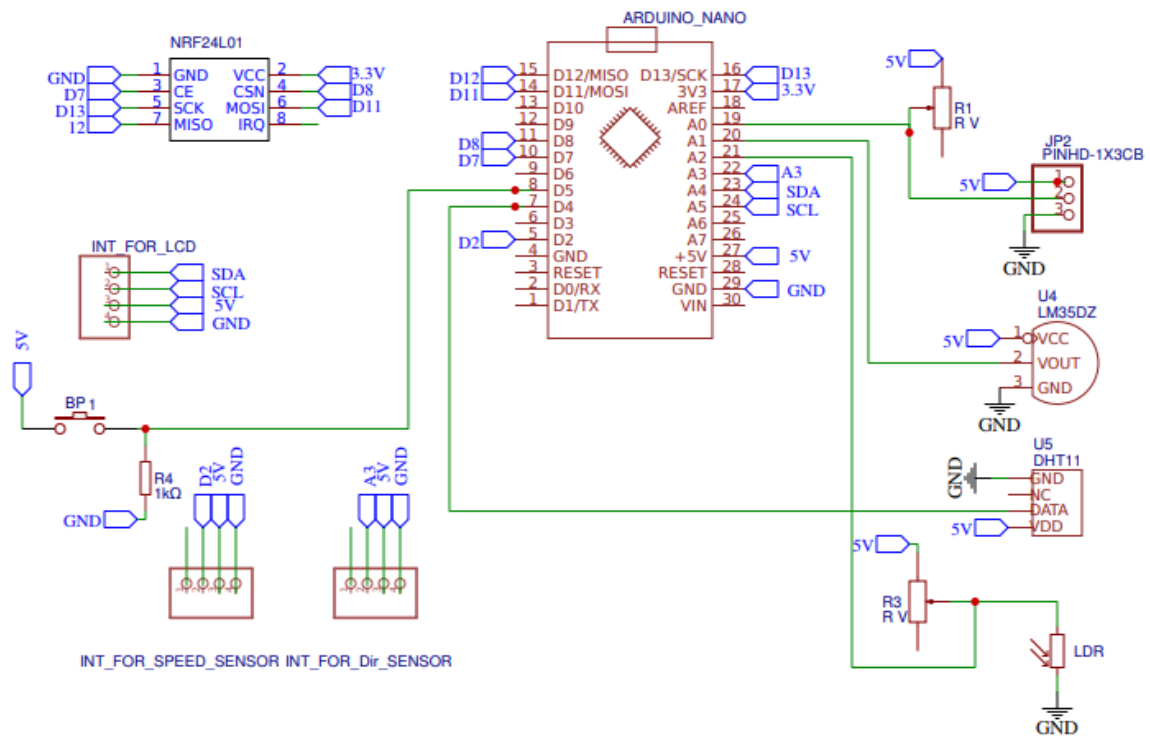


Figure II.13 : Schéma électrique de la Station météo.

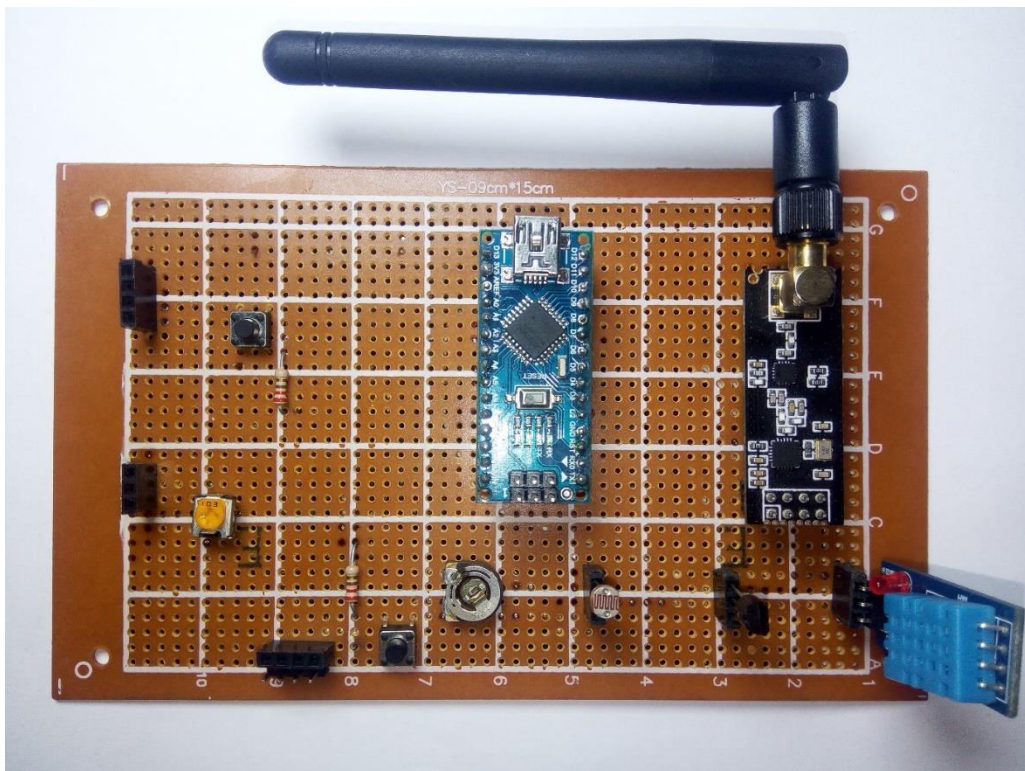


Figure II.14 : Circuit de la Station météo.



Figure II.15 : L'état final de notre Station météo.

II.2.4. Unité de commande centrale (unité maitre) :

Cette unité est la plus importante parmi toutes les unités, où elle joue le rôle principal dans le contrôle et l'automatisation de la serre.

Son rôle est le suivant :

- Collection les valeurs de capteurs externes à travers la Station météo.
- Collection de valeurs des capteurs internes liés à eux
- Envoyer des commandes et recevoir des informations de l'armoire électrique
- Connectez-vous à Internet et communiquez avec le serveur pour stocker et extraire des informations via la base de données.
- Contrôle par messages téléphoniques.
- Synchroniser toutes les opérations de contrôle.

Maintenant, nous pouvons résumer le travail de cette unité comme le cœur du système, la figure II.16 présente le schéma synoptique englobant les différents modules de base de l'Unité de commande centrale.

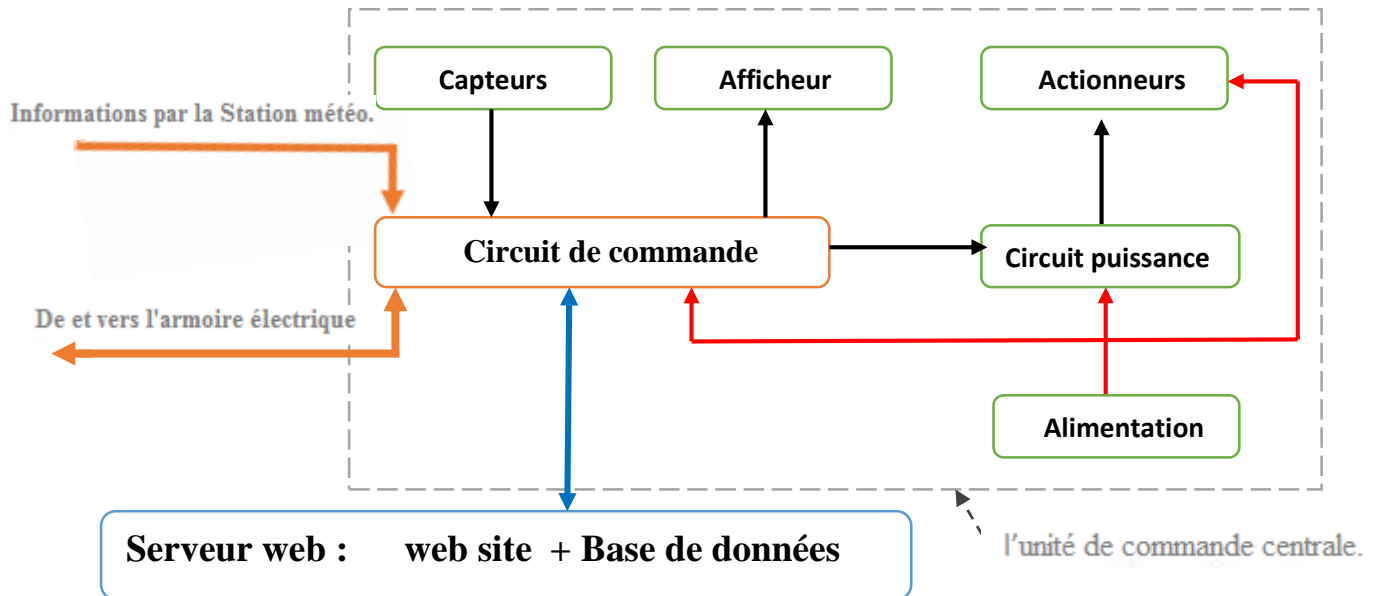


Figure II.16 : Schéma synoptique global de l'unité de commande centrale.

Le schéma synoptique est constitué de :

1. Un bloc d'alimentation.
2. Des actionneurs (chauffage, humidificateur, etc.) agissent sur les paramètres climatiques de la serre.
4. des modules de puissance assurant la connexion entre l'unité de commande et les actionneurs
6. Un afficheur pour la présentation des paramètres climatiques.
7. Des capteurs (humidité, température, photorésistance, etc.) pour la mesure des paramètres climatiques.
8. Circuit de commande programmable assurant la synchronisation des différentes fonctions de service : régulation des paramètres climatiques, acquisition des données, envoi des données vers le serveur distant, gestion de l'affichage, réception des commandes manuelles depuis l'application web.

II. 2.4.1 Choix du microcontrôleur :

Nous avons déjà parlé de la façon de choisir le bon microcontrôleur pour les appareils que nous allons réaliser, et aussi expliqué les critères à prendre en compte lors de la Choix du microcontrôleur voir page 31 Chapitre II.

Tableau II.2. Etude comparative de quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché [22] [23] [24] [25] [32].

Type du microcontrôleur	Flash ROM (en octet)	RAM (en octet)	EEPROM (en octet)	F max (en Mhz)	Bus de données	E/S
PIC16F877A	8 k	368	256	20	8 bits	33
PIC18F4550	32 k	2 k	256	48	8 bits	35
ATMEGA328	32 k	2 k	1 k	20	8 bits	23
ATMEGA 2560	256 k	8 k	4 k	20	8 bits	86
ESP8266 12E	4 M	64k	1024	160	32 bits	16

Nous avons choisi Le microcontrôleur ESP8266 12E parce qu'il a une grande capacité de calcul avec un bus 32 bit de données, une fréquence pouvant atteindre jusqu'à 80 Mhz (Il peut également atteindre une valeur maximale de 160 Mhz), et une grande capacité de mémoire (ROM, RAM...) pour stocker et exécuté des programmes ou des algorithmes complexes, son prix ne dépasse pas 1200 DA.

Il est aussi capable de se connecter à l'internet via le réseau Wifi pour envoyer et recevoir des données à distance, ce qui le rend un microcontrôleur idéal pour la réalisation de notre dispositif.

II. 2.4.2. Le microcontrôleur ESP8266 12E:

L'ESP-12E est un module Wi-Fi miniature présent sur le marché qui permet d'établir une connexion réseau sans fil pour un microcontrôleur ou un processeur. Le noyau de l'ESP-12E est l'ESP8266EX, un SoC sans fil à haute intégration (système sur puce). Il offre la possibilité d'intégrer des fonctionnalités Wi-Fi à des systèmes ou de fonctionner en tant qu'application autonome. C'est une solution peu coûteuse pour développer des applications IoT [33].

Voici ces caractéristiques techniques :

- CPU : 80 Mhz – 32 bits.
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi.
- 16 GPIO.
- UART, SPI, I2C, I2S, 1xADC 10 bits.

II.2.4.3. Brochage de l'ESP8266 12E :

La figure II.15 représente le schéma de brochage de l'ESP8266 variante 12E qui se présente sous la forme d'un boîtier à 22 broches avec une antenne Wifi intégrée (antenne PCB).

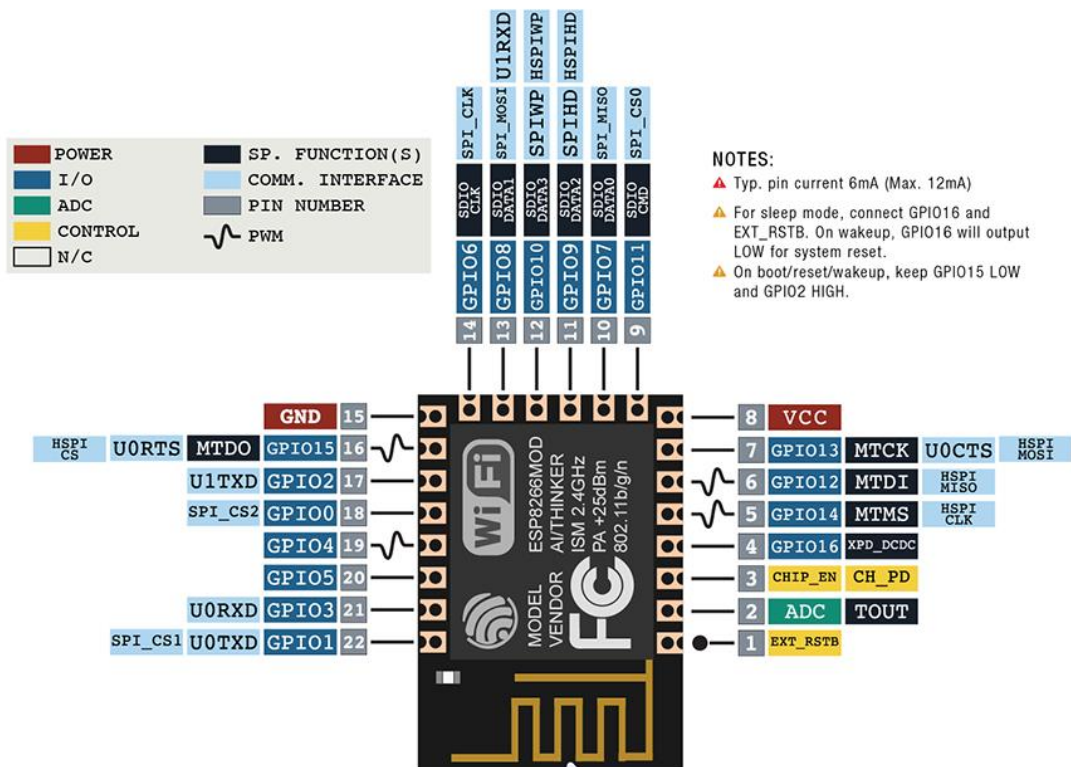


Figure II.17 : Schéma de brochage de l'ESP8266 12E [34].

II.2.4.3. NodeMCU ESP8266 ESP-12E :

NodeMCU V3 ESP-12E est une carte de développement Wifi qui vous permet de prototyper produit IoT avec quelques lignes de script Lua ou via Arduino IDE. La carte est basée sur la puce ESP8266 ESP-12E.

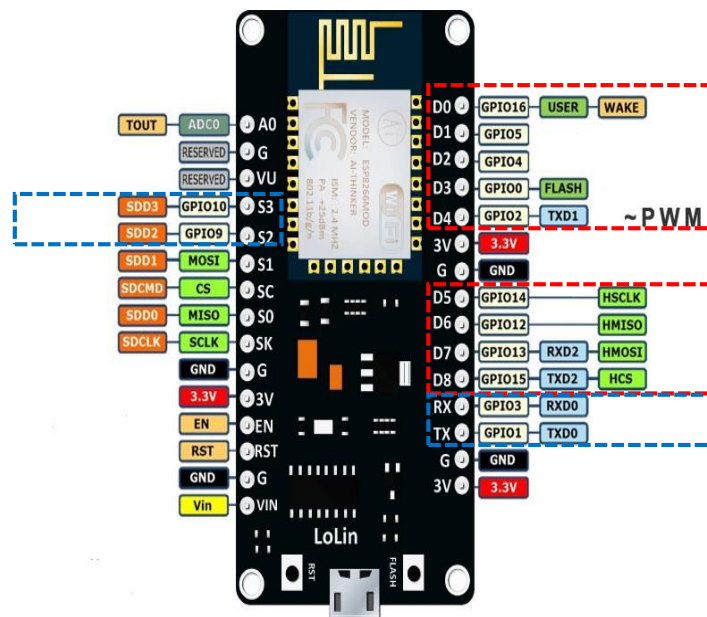


Figure II.18 : Brochage de NodeMCU V3 ESP-12E [35].

II. 2.4.4. Limites de NodeMCU V3 ESP-12E et solutions :

II. 2.4.4.A. Nombre d'entrées/sorties :

Le NodeMCU V3 ESP-12E contient environ 11 lignes GPIO, pour une utilisation externe avec d'autres composants électroniques.

Maintenant encore 2 pins sur 11 sont généralement réservés à RX et TX (communication série UART), par conséquent.

Comme indiqué dans la Figure II.16 du kit de développement NodeMCU. Nous pouvons voir que les broches RX, TX, S2 et S3 ne sont pas principalement utilisées en tant que GPIO, car elles sont utilisées pour d'autres processus internes. Mais nous pouvons essayer avec la broche S3 (D12) qui aime surtout répondre aux fonctions GPIO / PWM / interrupt, la broche D0 (GPIO16) utilisée qu'en lecture / écriture, il ne supporte aucune fonction spéciale.

Il ne reste que 9 broches d'E / S à usage général, à savoir D0 à D8 mais cela reste assez limité pour connecter les capteurs, les actionneurs et l'affichage ce qui est très insuffisant pour notre projet, voici quelques solutions pour augmenter le nombre d'entrées /sorties (I/O):

Solution : les extenseurs de port (Port Expander en EN) comme le circuit PCF8574 qui est un extenseur de port E/S 8bit (Figure II.17, Figure II.17).

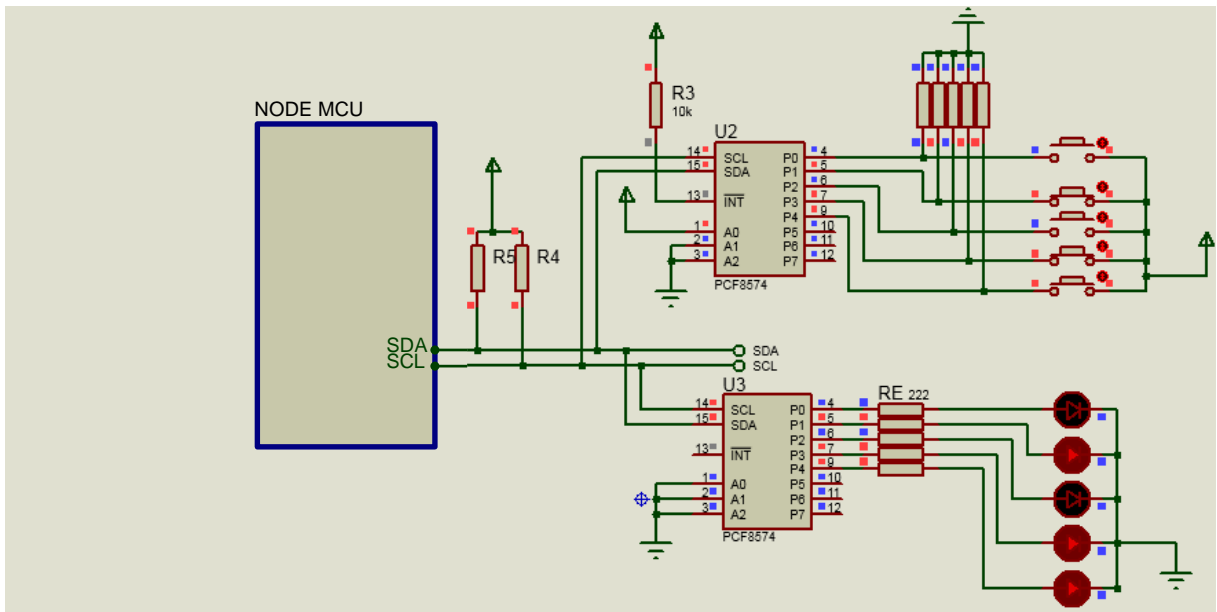


Figure II.19 : Exemple d'utilisation du circuit PCF8574 réalisé avec le logiciel de simulation Porteuse ISIS.

Avec le protocole I2C, 8 circuits PCF8574 peuvent être connectés au même bus, ce qui permet de ajouter 64 ports d'E / S au microcontrôleur ESP8266.

Les figures (Figure II.19, Figure II.20) présentés un exemple d'utilisation du PCF8574 qui permet grâce à seulement 2 lignes (SDA et SCL) de gérer un afficheur LCD 20x4 ainsi que 8 boutons poussoirs avec 8 LED.

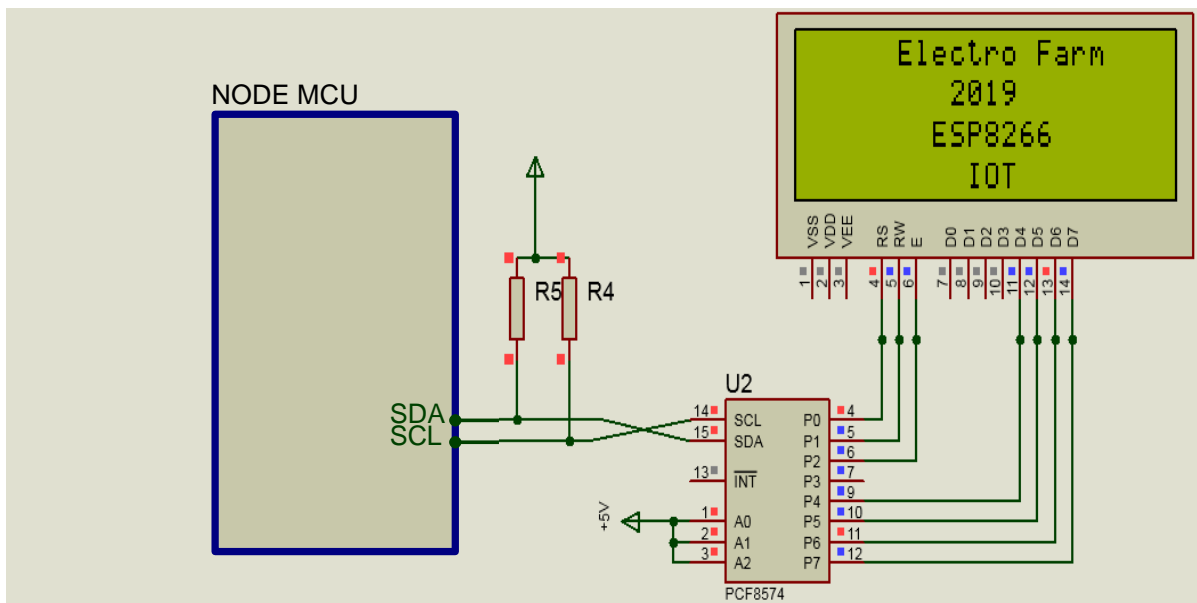


Figure II.20 : Exemple d'utilisation du circuit PCF8574 avec LCD 20x4.

II. 2.4.4.B. Convertisseur A/N :

L'ESP8266 contient un seul convertisseur analogique / numérique 10 bits intégré, avec une tension d'entrée maximale de 1V.

Une seule entrée analogique est ne suffit pas pour la plupart des projets électroniques, il existe plusieurs méthodes pour résoudre ce dilemme, ce qui sont expliqués ci-dessous :

Solution : CAN Extenseur :

C'est une méthode très courante, le CAN est développé en utilisant une puce externe qui fournit des broches ADC et des interfaces avec ESP8266 via I2C, SPI ou série etc.

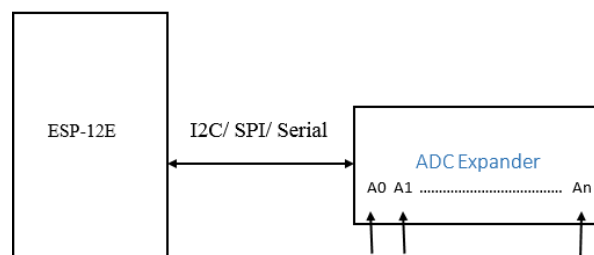


Figure II.21 : Exemple d'utilisation du CAN extenseur.

Il est préférable d'utiliser des capteurs compatibles avec le protocole I2C, chaque capteur étant indépendant de l'autre.

Il existe une autre solution très économique dans laquelle un autre microcontrôleur est utilisé comme un esclave (l'ATMEGA 328), la communication avec cet esclave se fasse via l'I2C, le microcontrôleur esclave permet d'obtenir plusieurs entrées numériques et analogiques (14 ports numériques, 6 ports analogiques) dans un seul circuit intégré, il faut utiliser un circuit pour effectuer la conversion des niveaux logique 3.3V et 5V sur bus I2C.

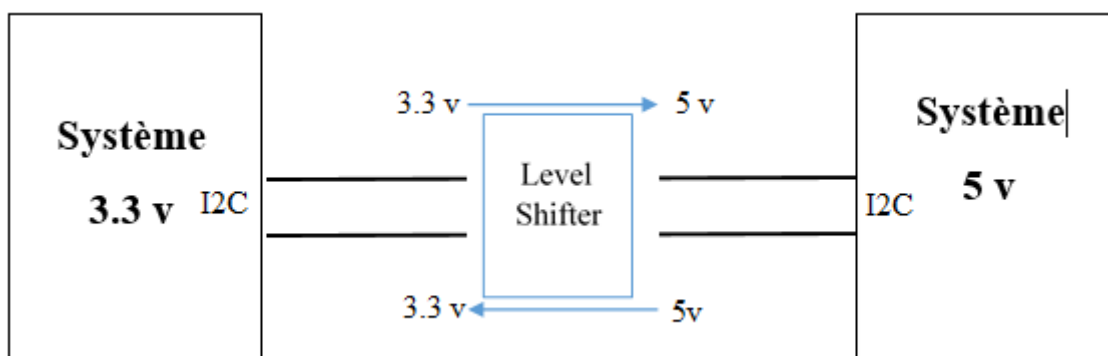


Figure II.22 : Utilisation un circuit pour effectuer la conversion des niveaux logique 3.3V et 5V sur le bus I2C.

II.2.4.5. Programmation du NodeMCU V3 ESP-12E:

NodeMCU V3 ESP-12E peut se programmer de plusieurs façons [36] [37]:

- Avec des scripts Lua, avec le firmware NodeMCU.
- En C++, avec l'IDE Arduino.
- En JavaScript, avec le firmware Espruino .
- En MicroPython, avec le firmware MicroPython .
- En C, avec le SDK d'Expressifs ou avec le SDK esp-open-sdk3 .

Nous allons utiliser l'environnement de développement d'Arduino pour la programmation du microcontrôleur, car cet IDE présente beaucoup d'avantages :

- beaucoup d'exemples de programmes et de cours.
- Utilisation du langage de programmation C/C++.
- grande quantité de bibliothèques qui permettent de faciliter la programmation.
- Facilité d'installation et programmation.
- Gratuit et open-source.
- beaucoup des forums, cours et tutoriaux sur internet.

II.2.4.5. Les capteurs utilisés dans l'unité de contrôle centrale :

II.2.4.5.A. Capteur de gaz CO2 MG811 :

Capteur de dioxyde de carbone CO2 MG811 (Figure II.23) Permet de mesurer : la qualité de l'air, la concentration de CO2 dans une pièce.

-Alimentation : 5V

-Interface : analogique



Figure II.23 : Capteur de CO2 MG811 [38].

En raison du coût élevé de ce capteur et de sa disponibilité sur le marché algérien, nous l'avons remplacé par un potentiomètre pour simuler son comportement dans notre projet

II.2.4.5.B. DS3231 MODULE I2C RTC:

La DS3231 est une horloge temps réel (RTC) (Figure II.24) I2C extrêmement économique et extrêmement précise avec un oscillateur à cristal compensé en température (TCXO) et un cristal intégrés. L'appareil intègre une entrée de batterie et assure un chronométrage précis lorsque l'alimentation principale de l'appareil est interrompue. L'intégration du résonateur à cristal améliore la précision à long terme du dispositif et réduit le nombre de pièces dans une ligne de fabrication. Le DS3231 est disponible dans les plages de température commerciales et industrielles [39].

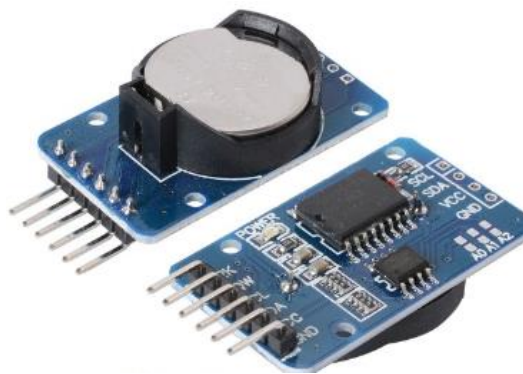


Figure II.24 : DS3231 module d'horloge en temps réel I2C.

II.2.4.5.C. Capteur d'humidité du sol :

Ce capteur d'humidité peut être utilisé pour détecter l'humidité du sol ou pour déterminer s'il y a de l'eau autour de le capteur.

- Ils peuvent être très faciles à utiliser.
- il suffit d'entrer dans le sol et de lire à travers un microcontrôleur.

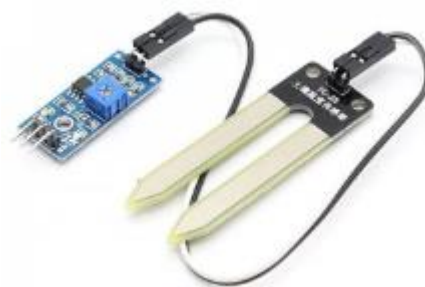


Figure II.25 : Capteur d'humidité du sol.

II.2.4.5.D. Capteur fin de course :

Les capteurs fin de course sont des capteurs de proximité à contact composés d'un actionneur relié mécaniquement à un jeu de contacts de sortie. Lorsqu'un objet entre en contact avec l'actionneur, le dispositif active les contacts.

Remarque :

De plus, nous allons utiliser des capteurs (humidité, température, et de rayonnement solaire), ce que nous avons expliqué dans la partie 'station météo'.

II.2.4.6. Utilisation du bus I2C :

Le bus I2C est un bus très populaire et puissant utilisé pour la communication entre un maître (ou plusieurs maîtres) et un ou plusieurs appareils esclaves. La Figure II.24 illustre combien de périphériques différents peuvent partager un bus qui est connecté à un processeur via seulement 2 fils, ce qui est l'un des plus grands avantages que le bus I2C peut donner par rapport aux autres interfaces.

La Figure II.26 montre un bus I2C typique pour notre système, dans lequel plusieurs périphériques esclaves sont utilisés. Le microcontrôleur NodeMcu représente le maître I2C et contrôle les extenseurs I/O, capteurs, microcontrôleur...etc, et bien plus encore. Qui sont tous contrôlés avec seulement 2 broches du maître.

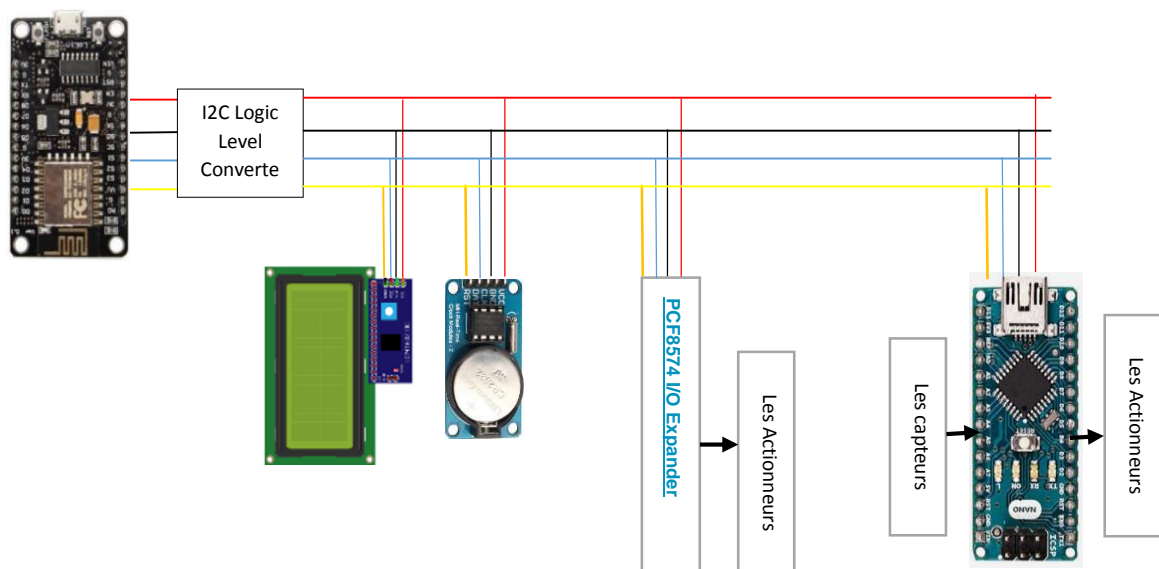


Figure II.26. Exemple de bus I2C de notre Projet.

Le bus I2C est une interface bidirectionnelle standard, un esclave ne peut transmettre des données que si elles ont été adressées par le maître. Chaque périphérique sur le bus I2C a une adresse de périphérique spécifique pour différencier les autres périphériques qui sont sur le même bus I2C [40].

De nombreux périphériques esclaves nécessiteront une configuration au démarrage pour définir la comportement de l'appareil, cela se fait généralement lorsque le maître accède aux mappes de registre internes de l'esclave, qui ont des adresses de registre uniques, un appareil peut avoir un ou plusieurs registres où les données sont stockées, écrit ou lu [40].

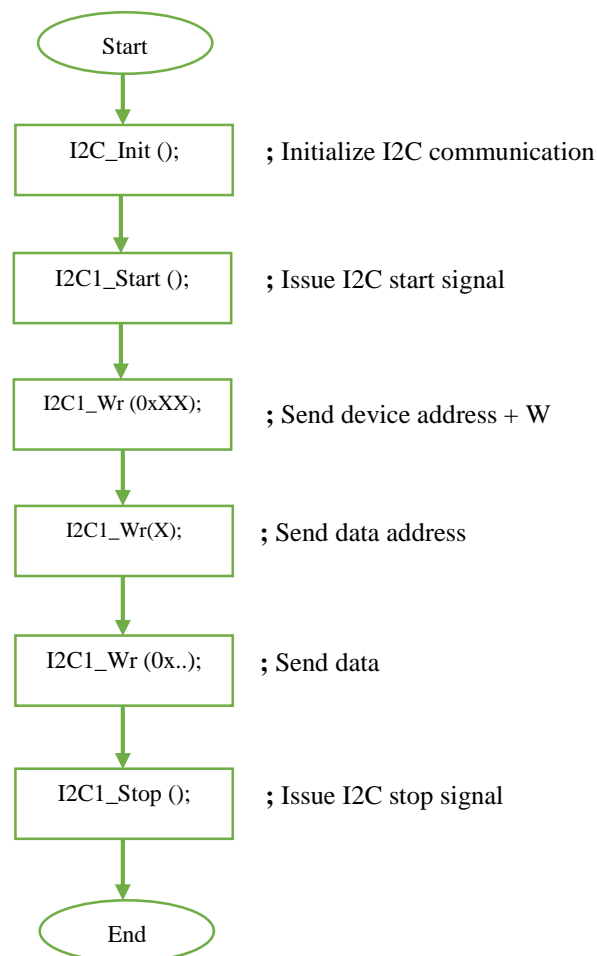


Figure II.27 : Exemple d'écriture sur un périphérique compatible avec le bus I2C.

II.2.4.7. Les circuit de puissance:

Ce sont des circuits qui relient la partie commande (basse tension) à la opérative (haute tension), tels que les relais, les contacts auxiliaires, les contacteurs, driver moteur ...etc.

Dans ce projet, nous utiliserons les relais, le module l293d, le module L298 pour relier les actionneurs avec notre circuit de commande.

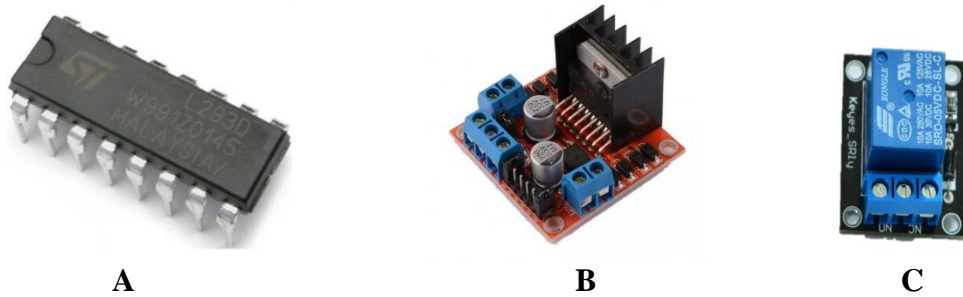


Figure II.28 : A- le module l293d, B- le module L298, C-Relai utilisé dans notre projet.

II.2.4.8. Les Actionneurs utilisés :

II.2.4.8.A. Le moteur à courant continu:

Les moteurs à courant continu (figure II.29) sont l'un des éléments les plus importants des projets électroniques et sont responsables de la conversion de l'électricité en énergie mécanique, L'avantage principal des moteurs à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.



Figure II.29 : Un moteur à courant continue.

II.2.4.8.B. Le servomoteur :

Le servomoteur (figure II.30) est un moteur à courant continu avec une boîte de vitesses et un arbre qui donne au mouvement un couple plus élevé et une plus grande précision. Ce moteur peut tourner à 180 degrés et, dans certains types, à 360 degrés, le servo-moteur est constitué en interne d'un circuit de commande "principalement à

microcontrôleur". Lorsque le moteur émet des impulsions à une certaine constante de temps, le moteur tourne à l'angle correspondant à cette constante de temps.



Figure II.30 : Un servomoteur.

II.2.4.8.C. L'extracteur :

En plus du renouvellement d'air, la ventilation est un paramètre essentiel au bon fonctionnement d'un espace de culture. Les extracteurs (figure II.31) permettent de faciliter le mouvement de l'air, et garde les paramètres climatiques (température, humidité dans l'air) au voisinage des consignes choisies.



Figure II.31 : Extracteur utilisée.

II.2.4.8.D. Les pompes à eau:

Pour notre système, nous avons besoin de 3 pompes à eau, la première pour remplir le réservoir, la seconde pour l'irrigation et la troisième pour le système de refroidissement.

Nous avons utilisé une petite pompe (Figure II.32), suffisante pour notre prototype.



Figure II.32 : Pompe d'arrosage utilisée

Remarque :

Le reste des actionneurs que nous ne pouvons pas obtenir sera représenté par des lampes à LED pour afficher ses états en cas de communication avec l'interface de contrôle (site web).

II.2.4.9. Les module de communication:

Nous avons utilisés trois types de communication dans notre projet pour développer le projet autant que possible :

II.2.4.9.1. Communication par les ondes radio (RF) :

Nous avons utilisé la communication par les ondes radio (RF) entre les stations de la ferme et la disponibilité de module bon marché permettant cette connexion entre les appareils.

La connexion entre les appareils est toujours possible, contrairement à l'internet ou au réseau GSM, qui peut être interrompu à tout moment.

Les modules disponibles qui utilisent ce type de communication peuvent couvrir une zone de 1 km², ce qui est très approprié pour les grandes exploitations et peu coûteux.

II.2.4.9.1.A. Module nRF24L01:

- Le NRF24L01 (figure II.33) est un émetteur-récepteur half-duplex, c'est à dire que la puce peut soit émettre soit recevoir, qui opère dans la bande des 2.4GHz.



Figure II.33 : Module nRF24L01

- La communication entre la puce et un microcontrôleur est assurée par un bus SPI.
- La vitesse de transmission des données est configurable et peut atteindre 2Mbps.
- La portée maximale est d'environ 1000m pour un débit de 250Kb. Cette puce utilise un protocole propriétaire appelé «Enhanced ShockBurst ».
- La puce peut travailler sur 126 canaux de communication. En mode récepteur elle peut écouter sur 6 canaux simultanément. Dans ce cas, chaque canal est associé à une adresse.

- En cas de réception d'un paquet pour cette adresse, la puce gère le protocole en envoyant un ACK en retour puis en désassemblant le paquet pour ne garder que son contenu utile (les données transmises) dans une file d'attente (FIFO) spécifique pour chaque canal d'écoute.
- La taille des données transmises ne peut pas dépasser les 32 octets par paquet [41].

II.2.4.9.2. Communication par Réseau GSM:

Nous avons choisi ce type pour envoyer des messages téléphoniques en cas d'urgence et en cas d'interruptions d'internet, ce qui permet également à l'utilisateur de contrôler par de simples messages en l'absence d'Internet.

II.2.4.9.2. A Module MINI GSM SIM800L:

La carte mini GSM / GPRS (Figure II.34) est basée sur le module SIM800L, est un module cellulaire miniature qui permet la transmission GPRS, l'envoi et la réception de SMS et les appels vocaux. Son faible coût, faible encombrement et sa fréquence quadri bande font de ce module la solution idéale pour tout projet nécessitant une connectivité à longue distance.

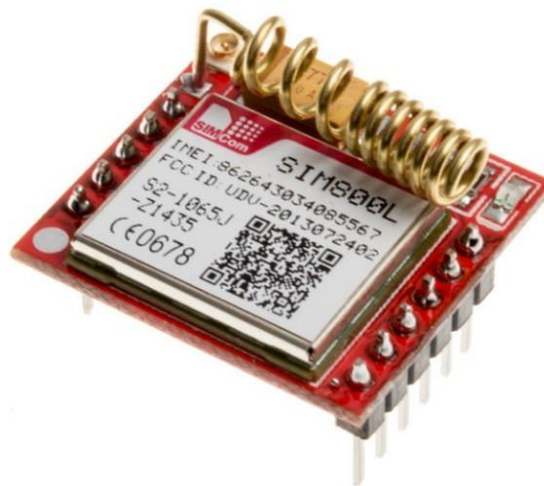


Figure II.34 : Module MINI GSM SIM800L utilisée.

II.2.4.9.3. Communication par Internet :

L'internet est l'un des réseaux les plus puissants au monde, où il a été intégré dans tous les domaines de la médecine, de l'agriculture, des transports ...etc.

Grâce à la technologie Internet des objets IoT, le monde entier sera entièrement connecté dans les années suivantes, nous avons donc proposé d'introduire cette technologie dans le domaine de l'agriculture en Algérie pour la développer et améliorer le rendement agricole,

Nous avons utilisé NodeMCU ESP-12E, qui est très bon marché et nous fournit un accès à l'internet sans avoir à utiliser des appareils coûteux tels que Raspberry ou arduino YUN.

II.2.4.10. Circuit de l'unité maitre:

La Figure II.35 présenté la Circuit imprimé de notre unité maitre (Voir l'annexe II pour le schéma électrique).

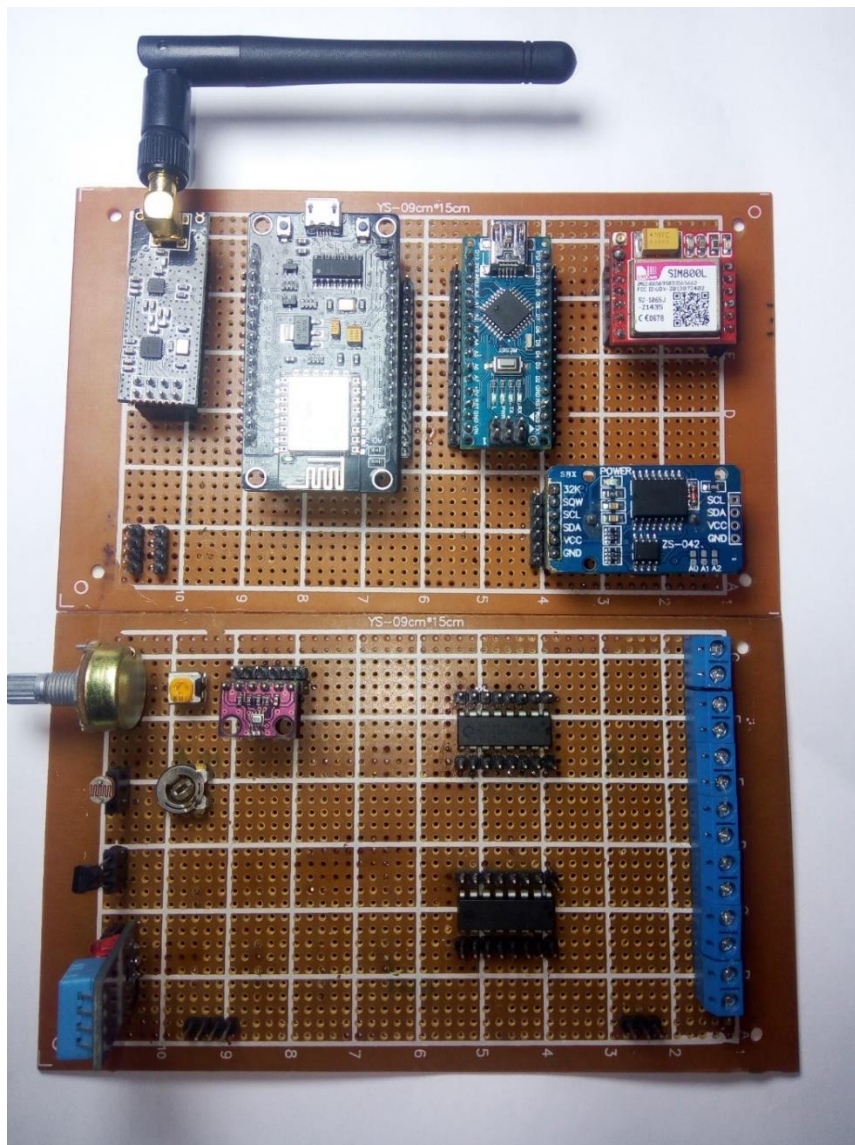


Figure II.35 : Circuit de l'unité maitre.

II.2.5. Station de pompage:

Toutes les fermes algériennes contiennent une armoire électrique à côté de la pompe à eau et du réservoir, dont la plupart sont au bord de la ferme cela les rend très loin des serres,

La distance entre la pompe à eau et le réservoir peut atteindre plus de 500 mètres, Nous allons donc placer une carte de contrôle à l'intérieur de l'armoire électrique connectée sans fil avec l'unité maître, qui reçoit l'ordre de marcher et d'arrêter la pompe à eau via l'unité centrale et d'envoyer la valeur du niveau du réservoir à l'unité centrale.

La figure II.36 présente le schéma synoptique de la carte de contrôle à l'intérieur de l'armoire électrique.

Le microcontrôleur collecte des informations via de capteur niveau d'eau, et l'envoi à l'unité centrale via des ondes radio (RF), lorsque le réservoir est déchargé, la pompe fonctionne automatiquement grâce à cette carte de contrôle.

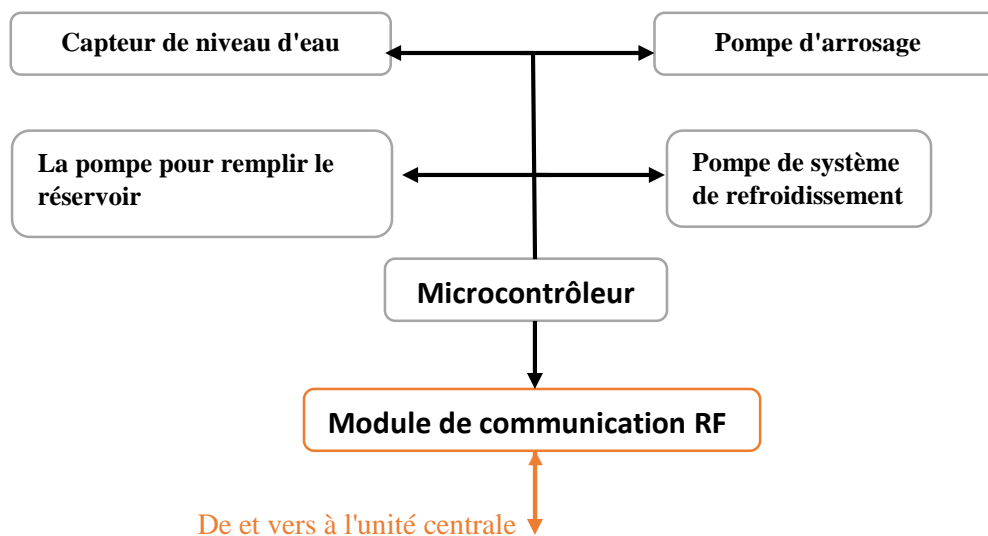


Figure II.36 : Schéma synoptique de carte Station de pompage.

II.2.5.1. Equipement utilisée:

- Microcontrôleur ATMEGA328 (Arduino nano).
- Capteur de niveau d'eau.
- Module nRF24L01.
- 3 x Relai.
- 3 x Pompe d'arrosage.

II.2.5.2. la carte de Station de pompage:

La Figure II.35 présenté le circuit de la carte de Station de pompage (Voir l'annexe III pour le schéma électrique).

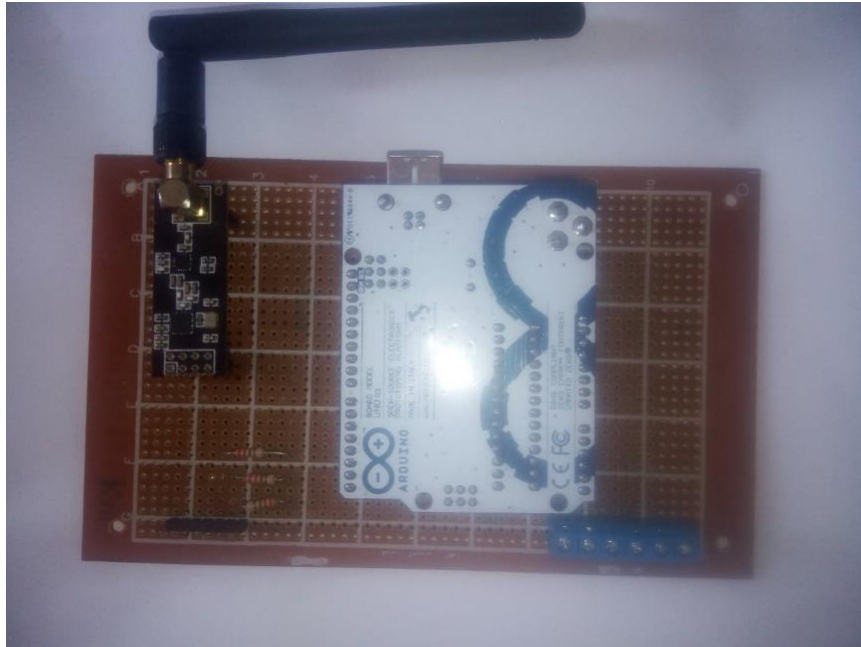


Figure II.37 : la carte de Station de pompage.

II.6. Conclusion :

Lors de la réalisation d'un projet électronique, il faut respecter le cahier des charges autant que possible et choisir les meilleurs composants électroniques qui répondent aux besoins du projet et peu coûteux.

L'automatisation des serres n'est pas facile, nous devons donc développer autant que possible un environnement développé et adapté aux exploitations agricoles algériennes.

Dans ce chapitre nous avons vu les différentes unités qui composent le système global, ensuite nous avons expliqué les composants de chaque unité en détail, enfin nous avons imprimé le circuit de chaque unité.

Nous étudierons les méthodes de contrôle et de régulation pour contrôler le système, et programmer chaque unité ainsi que créer de l'interface de contrôle à distance (site web), dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 3

Commande et
régulation
automatique

III.1. Introduction :

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

Dans ce chapitre nous allons entamer en premier lieu l'étude de quelques notions sur le système automatisé et des commandes automatiques utilisées dans ce domaine, aussi nous allons effectuer une comparaison théorique entre les différentes méthodes de commande (TOR, PID et floue).

Ensuite, nous expliquons les différents contrôleurs (contrôleur TOR, contrôleur flou) que nous avons implémentés dans notre système.

Enfin, nous allons présenter notre interface finale homme-machine(IHM) avec une description des différentes parties.

III.2. Système automatisé :

Définition :

Un système automatisé est un ensemble d'éléments qui effectue des actions sans intervention de l'utilisateur (l'opérateur). Celui-ci se contente de donner des ordres de départ et si besoin d'arrêt [42].

Un système automatisé est composé de plusieurs parties [42]:

- La partie commande (PC): elle donne les ordres et reçoit les informations de l'extérieur ou de la partie opérative. Elle peut se présenter sous 3 manières différentes : un boîtier de commande, un microprocesseur (cerveau électronique), ou un ordinateur.
- La partie opérative (PO): c'est la partie d'un système automatisé qui effectue le travail. Autrement dit, c'est la machine. C'est la partie qui reçoit les ordres de la partie.

La figure III.1 présente un schéma synoptique des différents modules de base de notre Système automatisé.

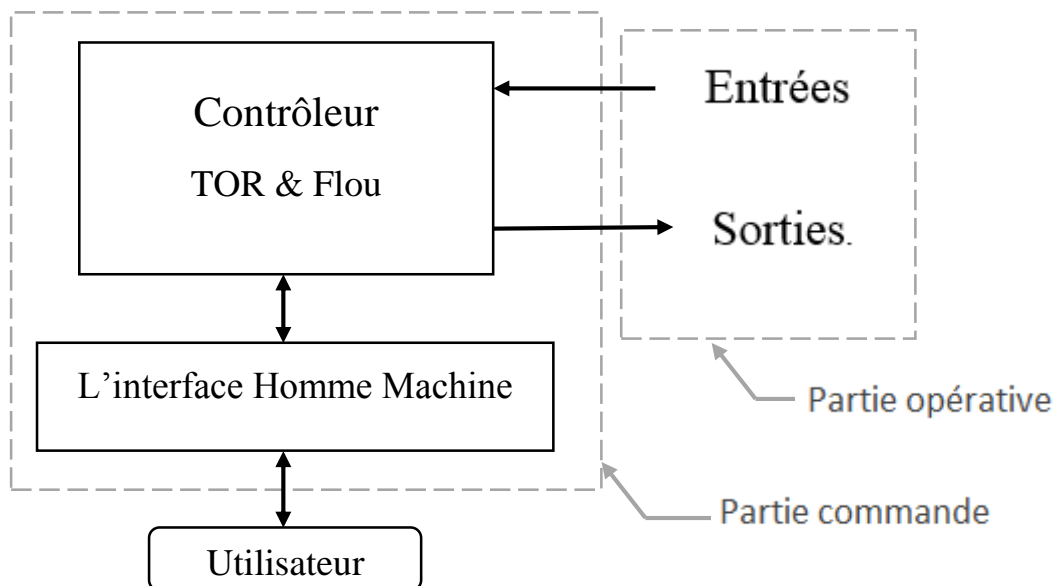


Figure III.1 : Schéma synoptique du notre système automatisé.

Les éléments importants ici sont :

- L'interface Homme Machine, le Contrôleur.

III.3. Système de contrôle :

Définition :

Un système de contrôle est l'interconnexion de plusieurs éléments qui composent un système pour assurer des fonctions précises. L'analyse d'un système s'appuie sur la théorie de systèmes linéaires qui considère une relation entre la cause et la conséquence pour toutes les parties du système. Par conséquent, une partie de système ou un processus que nous souhaitons contrôler doit être représenté par un bloc-diagramme.

Un système de contrôle de type ouvert (boucle ouverte) emploie un contrôleur ou un actionneur dans le but d'obtenir le résultat souhaitable, comme il est représenté dans la figure suivante [43].

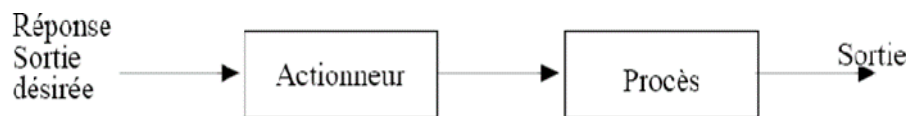


Figure III.2 : Système de contrôle de boucle ouverte [43].

Au contraire d'un système de boucle ouverte, un système de type fermé (boucle fermée) compte et compare sa sortie avec une valeur désirée qu'il met en valeur pour régler sa fonction. Ce signe s'appelle signe de rétroaction. Un système de contrôle de type simple avec rétroaction est représenté sur la figure suivante [43].

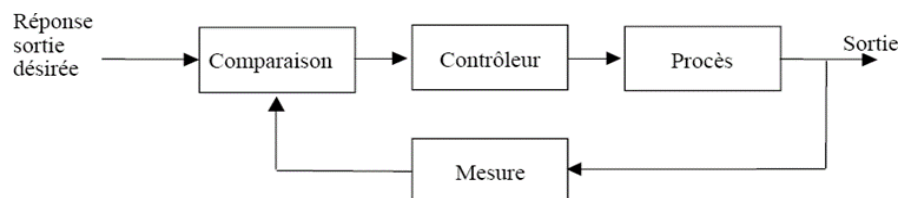


Figure III.3 : Système de contrôle de boucle fermée [43].

III.3.1. Choix de Types de Contrôle :

Le choix des systèmes de contrôle a été fait selon l'expérience précédente, la disponibilité des outils ainsi que la pratique internationale pour le type d'application.

Dans notre projet, nous appliquerons la commande floue aux volets, extracteurs, chauffage pour l'adaptation de : la température, le taux d'humidité, et du CO₂ à l'intérieur de la serre ainsi que, l'éclairage, les rideaux et l'arrosage des plantes..., se fera par régulateur Tout ou Rien.

III.3.1.1. Contrôle Tout ou Rien :

La plus simple des techniques de contrôle est la régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand la dynamique du procédé est très lente (grande constante de temps). Cette technique de régulation est considérée comme une régulation discontinue car la commande envoyée aux actionneurs varie instantanément. Sa réalisation impose de se fixer une limite inférieure et une limite supérieure de la grandeur réglée. Lorsque la mesure atteint la limite inférieure, l'actionneur, commandé par le régulateur TOR ou tout simplement un relais, prend une position particulière (arrêt ou marche pour un chauffage, ventilateur,...) [44].

La figure III.4 illustre l'organigramme de l'algorithme TOR.

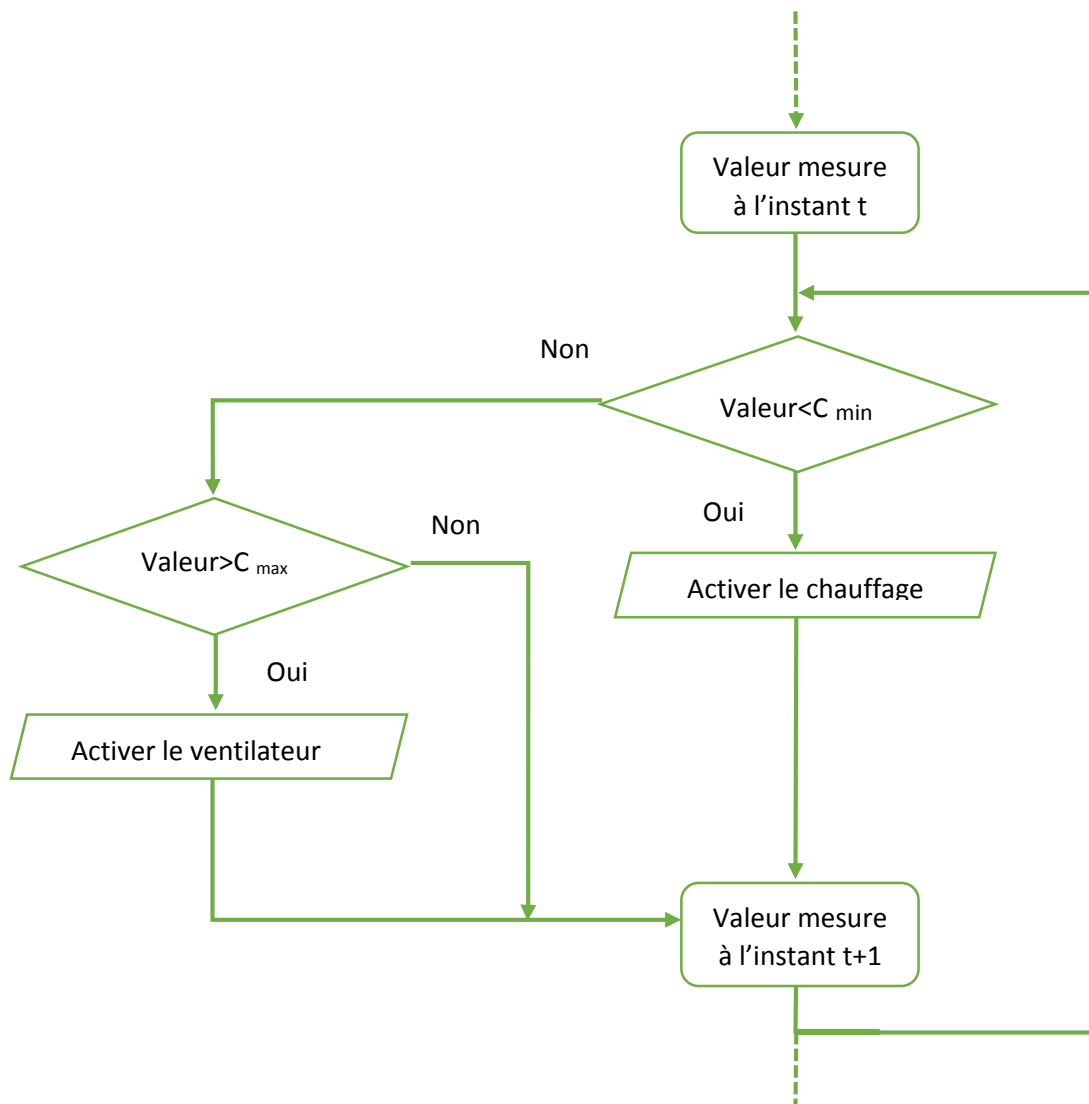


Figure III.4 : Organigramme d'un exemple de régulation TOR.

III.3.1.2. Le Contrôleur PID :

Une forme de contrôle largement répandue dans la commande de processus industriel s'appelle contrôle en trois termes ou contrôleur PID. Ce contrôleur a une fonction de transfert [3] :

$$G_C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

Le contrôleur fournit un terme proportionnel, un terme intégral et un terme dérivatif.

L'équation pour la sortie dans le domaine temporel est [3] :

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

L'action proportionnelle (K_P) :

Dans ce mode, il existe une relation linéaire entre l'erreur par rapport à la consigne et la position de l'actionneur. Le terme proportionnel permet un retour rapide à la consigne mais risque d'induire des oscillations.

L'action intégrale (K_I):

Elle annule automatiquement l'écart dû à l'action proportionnelle et permet un ajustement plus précis mais plus lent.

L'action dérivée (K_D)

Cette action permet de prendre en compte la vitesse de variation de la grandeur contrôlée.

Elle permet ainsi de rattraper et d'anticiper les variations autour de la consigne.

III.3.1.3. Régulation par logique floue:

L'utilisation de la commande floue est particulièrement intéressante, lorsqu'on ne dispose pas de modèle mathématique précis du processus à commander ou lorsque ce dernier présente de trop fortes non linéarités ou imprécisions[45].

Les modèles flous ont la propriété d'approximer n'importe quelle fonction non linéaire. L'avantage principal de la commande par logique floue est qu'il est possible de "se passer" d'un modèle explicite du procédé. Cette approche est basée sur deux concepts : celui de la décomposition d'un univers de discours d'une ou de plusieurs variables mesurées sous forme de symboles linguistiques : «petit», «moyen», «grand»... et des règles provenant de

l'expertise de l'opérateur humain, qui expriment, là aussi, sous forme d'un langage, comment doivent évoluer les commandes du système en fonction de la ou des variables observées[46].

Le système flou, tel qu'il apparaît dans la boucle de régulation de notre processus, se présentera tel que le montre la figure III.5 :

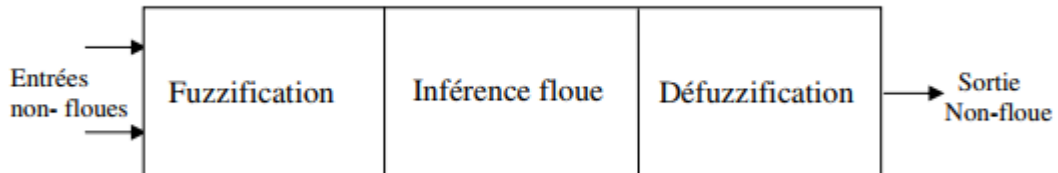


Figure. III.5 : Organisation d'un système flou [46].

Un contrôleur flou se compose des quatre parties suivantes :

1. Les variables floues
2. Inférence floue.
3. Fuzzification.
4. Defuzzification.

III.3.1.3.A. Variables floues (variable linguistique):

Le concept de variable linguistique est toute la nouveauté qu'apporte la logique floue. Donc on utilise des mots ou des phrases au lieu de nombres. 'Température' est une variable linguistique dont les valeurs peuvent être : très chaud, chaud, tiède, froid, très froid. Cet ensemble des valeurs que peut prendre la variable linguistique est appelé ensemble des termes. Chaque terme (chaud...) est défini par une fonction d'appartenance $\mu_{\text{chaud}}(x)$ qui associe à chaque valeur x de 'température' un degré de vérité d'être tel ou tel terme (chaud) avec bien sûr la condition $\mu_{\text{chaud}}(x)$ [46].

III.3.1.3.B. Inférence floue :

Elle repose sur l'utilisation d'un opérateur d'implication permettant d'évaluer le degré de vérité d'une règle R de la forme « Si X est A et X 2 Alors Y est B ».

En d'autres termes, cet opérateur quantifie la force de la liaison entre la prémisse et la conclusion de la règle.

Les opérateurs les plus courants en commande sont de type conjonctif [46]:

- L'implication de Mamdani : $\mu_R(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$
- L'implication de Larsen : $\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$

III.3.1.3.C. La fuzzification :

C'est l'opération de projection des variables physiques réelles sur des ensembles flous caractérisant les valeurs linguistiques prises par ces variables.

Le choix de la forme des fonctions d'appartenance (triangulaires, trapézoïdales, exponentielles, gaussiennes,...) est arbitraire. Les formes triangulaires facilitent la programmation ce qui explique qu'elles soient le plus fréquemment utilisées [46].

III.3.1.3.D. Defuzzification :

Cette phase permet de transformer une conséquence floue en une valeur numérique qui peut être utilisé pour réaliser l'objectif de commande. Plusieurs méthodes de défuzzification sont utilisées [46]:

- La méthode de la hauteur.
- Le premier des maximas.
- Le dernier des maximas.
- La moyenne des maximas.
- Le centre de gravité. le centre des aires.
- Le centre de la plus grande surface.
- Le centre des maximas.

Les méthodes de défuzzification les plus utilisées en commande floue sont le centre de gravité, le centre des aires et le centre des maximas.

III.3.1.4. Les avantages et inconvénients de la logique floue :

Certainement, la commande par logique floue comporte un certain nombre d'avantages et d'inconvénients. Les avantages essentiels sont [47] :

- La non-nécessité d'une modélisation du processus à commander, ainsi que d'une analyse mathématique profonde.
- La possibilité de bénéficier et d'implémenter des connaissances et des expertises humaines sur le système à commander.
- La maîtrise de systèmes à régler avec un comportement complexe (fortement non linéaire et difficile à modéliser), aussi, cette approche offre la possibilité d'utiliser des processeurs spécialisé (dit processeurs flous), afin d'augmenter la précision ainsi la vitesse de calcul.

Par contre, les inconvénients sont :

- Le manque de méthodes systématiques précises pour la conception et la synthèse d'une commande par logique floue (par exemple dans le choix des grandeurs à mesurer, dans la détermination des facteurs de normalisation, dans le choix de la stratégie, soit de la fuzzification, les inférences soit de la défuzzification,...).
- L'impossibilité de la démonstration de la stabilité du circuit de commande en toute généralité.
- La cohérence des inférences non garantie a priori (apparition de règles d'inférence contradictoires possible).
- La possibilité d'apparition de cycles limites à cause du fonctionnement non linéaire.

III.4. Construire des systèmes avec Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB):

La Fuzzy Logic Toolbox fournissait des outils d'interface utilisateur graphique (GUI), ce qui rend la construction d'un système graphiquement très facile. Il existe cinq principaux outils d'interface graphique pour la construction, l'édition et l'observation de systèmes d'inférence floue dans la boîte à outils Fuzzy Logic: le système d'inférence Fuzzy ou l'éditeur FIS, l'éditeur de fonction d'appartenance, l'éditeur de règle, l'afficheur de règles et l'afficheur de surface [48].

Ces interfaces graphiques (Figure III.6) sont liées de manière dynamique, en ce sens que les modifications apportées au fichier fis à l'aide de l'une d'entre elles peuvent avoir une incidence sur l'une des autres interfaces graphiques ouvertes. Il peut s'ouvrir pour n'importe quel système donné [48].

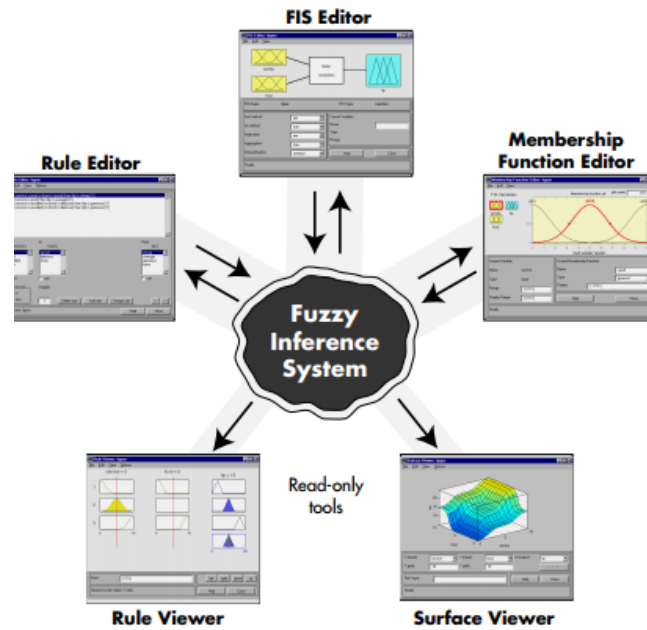


Figure III.6 : Les différentes fenêtres du Toolbox fuzzy logic de Matlab [48].

III.5. Mise en œuvre de la commande floue :

Nous avons utilisé la boîte à outils de logique floue (Toolbox fuzzy logic) sur matlab au lieu d'utiliser les lignes de commande pour faciliter la construction d'un système de commande par logique floue.

III.5.1. Variables d'entrée et de sortie:

La figure III.7 représente le contrôleur de notre projet, qui contient trois sorties et cinq entrées.

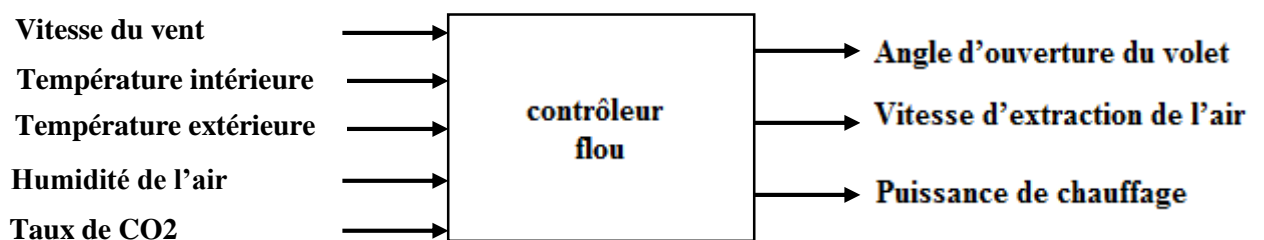


Figure III.7 : Le régulateur flou avec ses 5 entrées et ses 3 sorties.

Les variables d'entrées :

Taux de CO₂, température intérieure, température extérieure, humidité de l'air, vitesse du vent.

Les variables sorties :

La vitesse d'extraction de l'air, l'angle d'ouverture du volet, puissance de chauffage.

Gammes de variation pour chaque élément :**Pour les entrées :**

- Température intérieure varie de -5 à +55 °C.
- Température extérieure varie de - 5 +55 °C.
- Humidité varie de 0 à +100%.
- Taux de CO2 de 0 à +1500 ppm.
- Vitesse du vent de 0 à 55 km/h.

Pour les sorties :

- Vitesse d'extraction de l'air de 0 à +100% (100% correspond à la vitesse max du moteur).
- Angle d'ouverture du volet de 0° à 90°.
- Puissance de chauffage 0 à +100%.

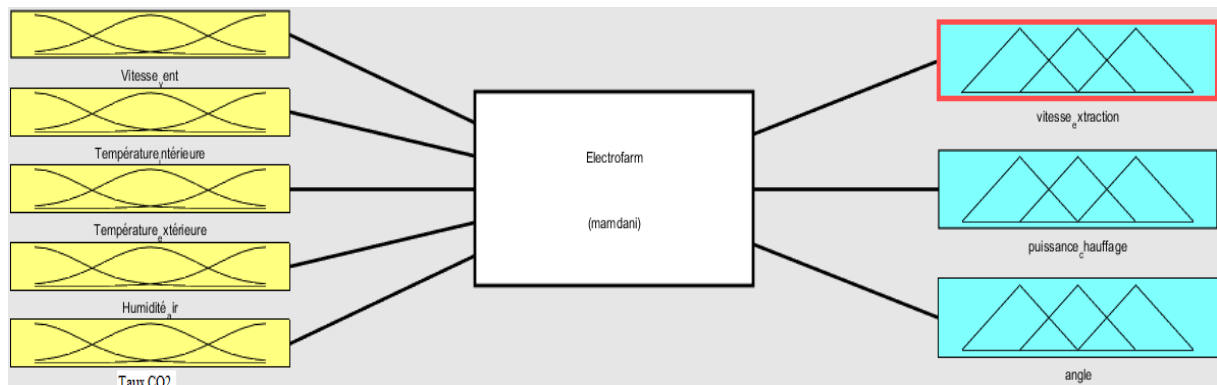


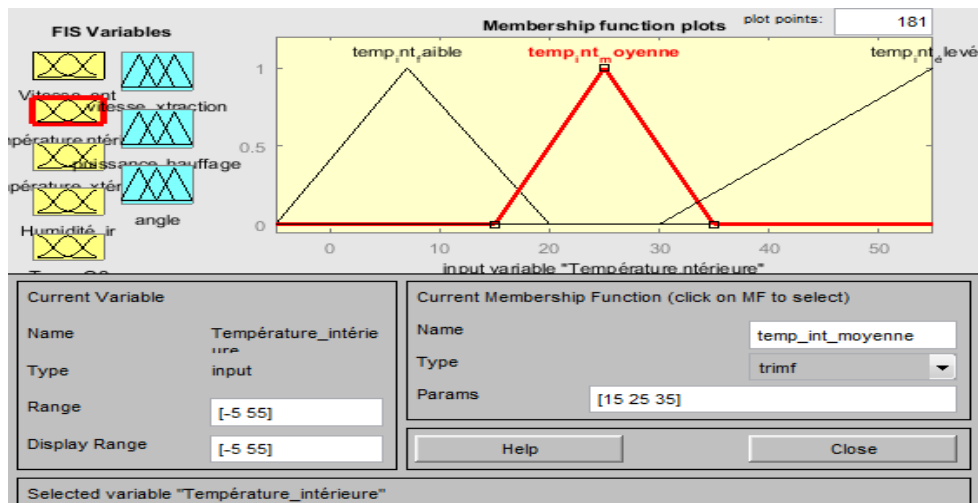
Figure III.8 : Les entrées/sorties de notre système sur la fenêtre FIS Editor.

III.5.2. fuzzification des variables :

Le champ de changement de chaque élément d'entrée / sortie est divisé en groupes (ensembles flous), et chaque groupe contient un élément central.

Nous définirons les plages de variations (les ensembles flous) et les fonctions d'appartenance pour les entrées et les sorties, et nous appellerons chaque partie de la fonction d'appartenance par un nom significatif.

La figure 9 montre un exemple de la fonction d'appartenance de température intérieure Figure



III.9 : La fonction d'appartenance de la température intérieure.

Nous avons choisi 5 ensembles flous de forme trimf pour les entrées et 3 ensembles flous de forme trimf pour les sorties.

Les entrées :

-Température intérieure -5 à +55°C, trois ensembles flous : temp_int_faible, temp_int_moyenne, temp_int_élevée.

-Température extérieure varie de -5 à +55°C, trois ensembles flous : temp_ex_faible, temp_ex_moyenne, temp_ex_élevée.

-Humidité varie de 0 à +100%, trois ensembles flous : Hum_faible, Hum_normal, Hum_élevé.

-Taux de CO2 de 0 à +1500ppm, trois ensembles flous trapézoïdaux : CO2_faible, CO2_normal, CO2_élevé.

-Vitesse de vent de 0 à 55Km/h, trois ensembles flous : v_faible , v_élevé.

Les sorties:

- La vitesse d'extraction de l'air : v_ex_faible, v_ex_moyenne, v_ex_élevée.

- L'angle d'ouverture du volet : ang_petit, ang_moyenne, ang_grand, ang_tre_grand.

- Puissance chauffage : chauffage_faible, chauffage_moyen, chauffage_élevé.

III.5.3. Les paramètres les plus importants :

III.5.3.1 Température extérieure :

Le régulateur compare la température intérieure avec la température extérieure. Si la température extérieure est supérieure, le régulateur évite d'utiliser la ventilation dans la fenêtre et utilise des ventilateurs pour le system Cooling Pad pour réguler la température, mais quand la température extérieure est modérée, les fenêtres sont utilisées pour éviter les pertes d'énergie.

III.5.3.2 Température intérieure : Si la température à l'intérieur est très basse en dessous de 10 degrés, le chauffage est activé et toutes les sorties sont fermées pour éviter les pertes de chaleur. Dans ce cas le gaz CO₂ est fourni par injection à partir d'un réservoir de CO₂.

III.5.3.3 Vitesse du vent :

Si la vitesse du vent est élevée, le régulateur actionne uniquement le chauffage, tandis que les autres actionneurs sont arrêtés pour éviter des dommages jusqu'à ce que la vitesse du vent diminue.

III.5.4. Règles d'inférences :

La première étape que nous avons faite a été de définir les fonctions d'appartenance, puis nous avons implémenté 162 règles d'inférences, de telle façon à réaliser notre cahier des charges, ceci est un exemple d'une de ces règles :

-Si (Vitesse_vent est v_faible) et (Température_intérieure est temp_int_faible) et (Température_extérieure est temp_ex_faible) et (Humidité_air est Hum_faible) et (Taux_CO2 est CO2_normal) alors (vitesse_extraction est off) (puissance_chauffage est Chauffage_eleve) (angle est off) (1).

-Si (Vitesse_vent est v_faible) et (Température_intérieure est temp_int_faible) et (Température_extérieure est temp_ex_faible) et (Humidité_air est Hum_normal) et (Taux_CO2 est CO2_faible) et (vitesse_extraction est off) (puissance_chauffage est Chauffage_eleve) (angle est angl_petit) (1).

L'importance des règles peut également être déterminée de 0 à 1 car les règles peuvent avoir priorité sur d'autres règles et cela doit être pris en compte.

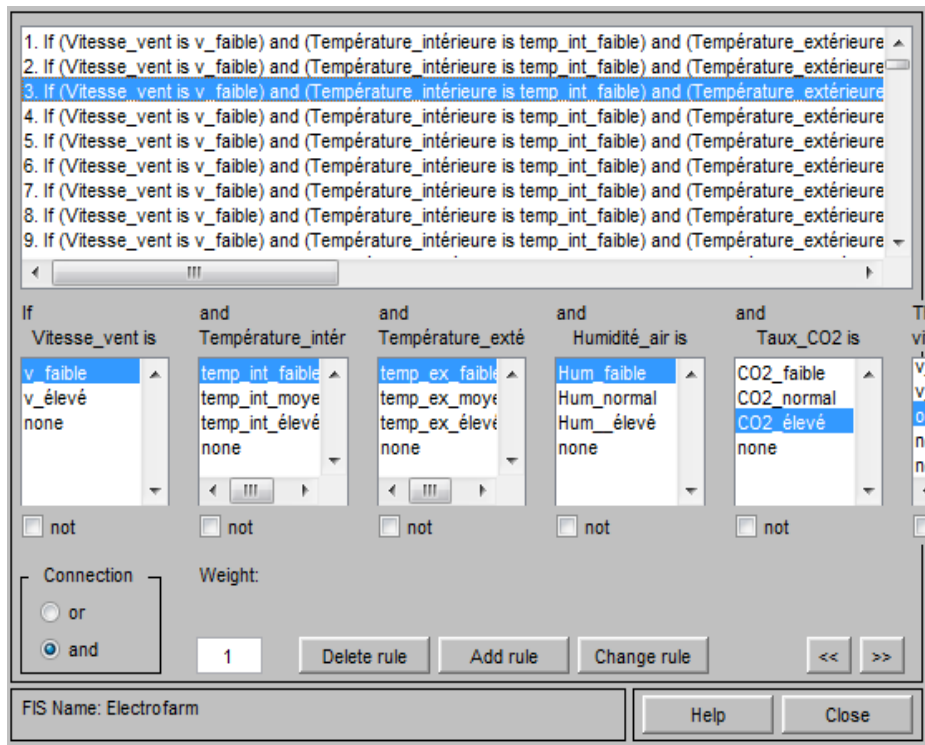


Figure III.10 : Implémentation des règles d'inférence.

III.5.5. Exploiter la fenêtre "Rule viewer" :

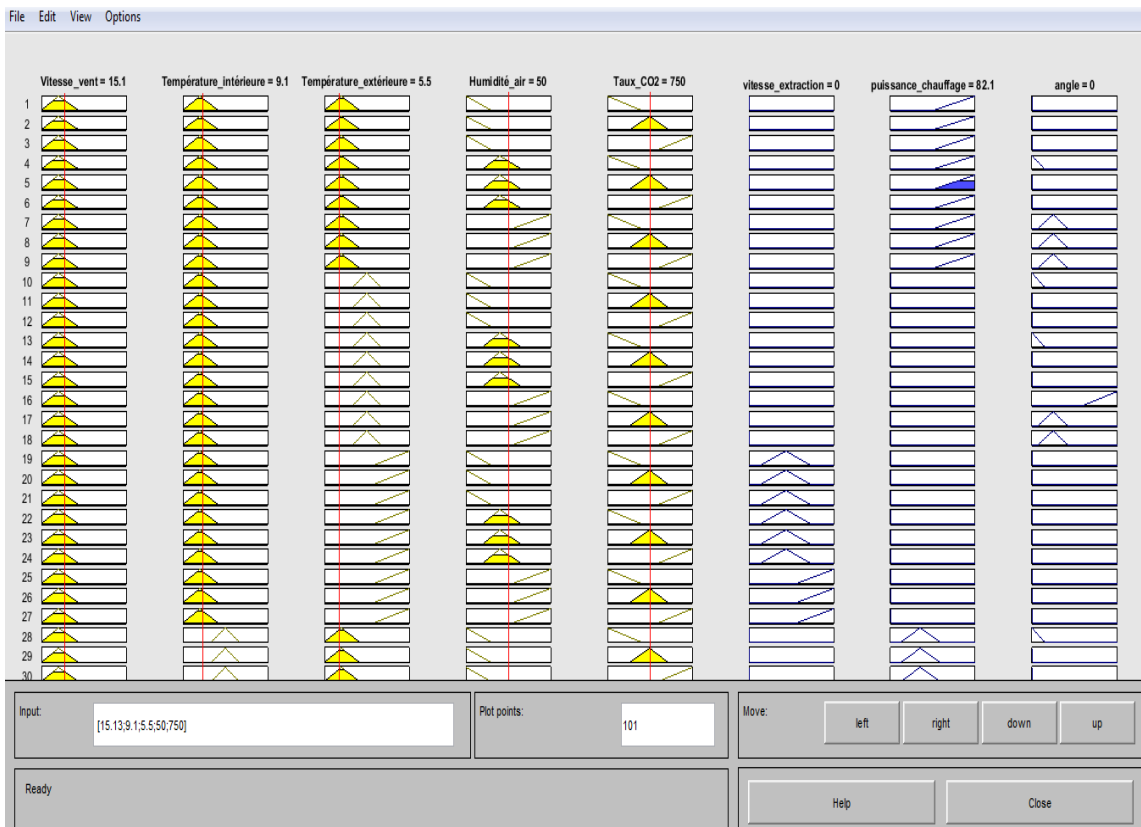


Figure III.11 : Utilisation de Rule viewer pour Simuler les sorties du régulateur.

La fenêtre Rule viewer permet de simuler les sortie du système en fonction du les entrées. Elle est basée sur les règles d'inférence appliquées dans l'éditeur de règles.

Pour modifier la valeur des entrées, faites glisser la ligne rouge à l'aide de la souris, Pour modifier la valeur des entrées, faites glisser la ligne rouge à l'aide de la souris, puis on remarque les résultats des sorties défuzzifiées.

III.6. Implémentation de la logique floue :

Afin d'implémenter l'algorithme de régulation floue dans le programme de la carte de commande, nous allons exporter le fichier du contrôleur floue en extension 'fis ', ensuite nous avons utilisé un site Web qui convertit les fichiers fis en fichiers écrite en langage C/C++. Elle est conçue pour faciliter l'implémentation de la logique floue dans les systèmes embarqués.

Le lien de site utilisé ici est :

http://www.makeproto.com/projects/fuzzy/matlab_arduino_FIST/index.php

III.7. Mise en œuvre d'un régulateur TOR :

Notre régulateur TOR permet de contrôler les actionneurs suivants :



Figure III.12 : Le régulateur TOR.

Tous ces actionneurs ont des valeurs de démarrage et d'arrêt selon la configuration choisie.

Remarque :

- Les consignes de contrôle de ces actionneurs peuvent être modifiées à tout moment et n'importe où grâce à l'interface de contrôle à distance.
- Les rideaux sont activés lorsque le rayonnement solaire dans la serre augmente pour, l'économie d'énergie.
- L'arrosage active seulement quand le taux d'ensoleillement est en dessous d'une certaine valeur. Ceci est dans le but d'arroser les plantes pendant la nuit afin d'éviter

l'évaporation de l'eau.

- Le CO₂ est injecté lorsque le chauffage est en marche pour éviter les pertes de chaleur pendant le chauffage.

III.8. Interface de contrôle IHM :

Une interface homme-machine (IHM) est une interface utilisateur ou un tableau de bord qui connecte une personne à un système ou un périphérique. Bien que le terme puisse techniquement s'appliquer à tout écran permettant à un utilisateur d'interagir avec un périphérique. Les IHM peuvent être utilisés pour:

- Afficher visuellement les données
- Suivre le temps de production, les tendances.
- Surveiller les entrées et les sorties de la machine.

Dans notre projet, nous avons créé une interface de contrôle à distance (site Web) via l'internet, pour créer une interface de commande sous forme de site Web, il est nécessaire de connaître certains termes des Réseaux informatiques qui sont :

- Modèle client/serveur : Serveur http, Client http.

III.8.1. Modèle client/serveur :

Le modèle client-serveur s'articule autour d'un réseau auquel sont connectés deux types d'ordinateurs le serveur et le client. Le client et le serveur communiquent via des protocoles. Les applications et les données sont réparties entre le client et le serveur de manière à réduire les coûts. Le client-serveur représente un dialogue entre deux processus informatiques par l'intermédiaire d'un échange de messages. Le processus client sous-traite au processus serveur des services à réaliser. Les processus sont généralement exécutés sur des machines, des OS et des réseaux hétérogènes [49].

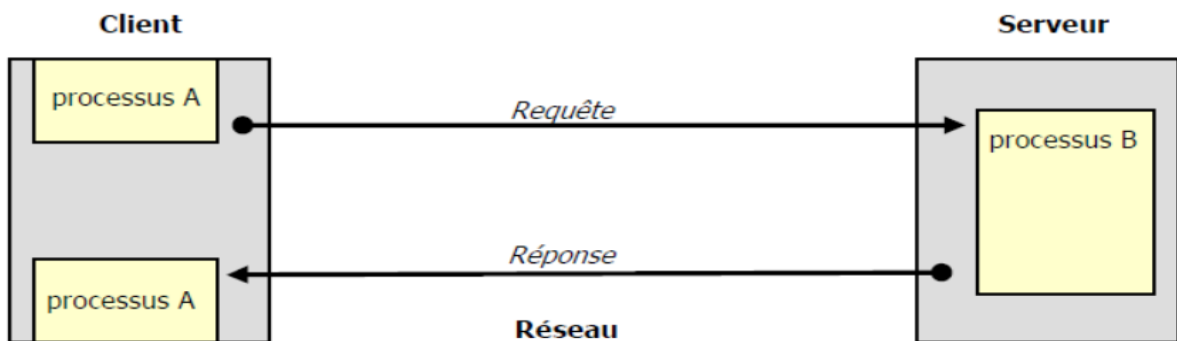


Figure III.13 : Le modèle client/serveur [49]

III.8.2. Le Serveur http :

Le serveur HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) a été développé par le World Wide Web. Sa création est due à un défaut du FTP qui ne supportait pas un format de donnée très précis, le HTTP fût en clair une révolution, puisqu'il permit de coder les données en nombre binaire. Les ordinateurs utilisant le serveur HTTP sont appelés " serveur web". Un certain nombre de ces ordinateurs ont choisi de servir d'hébergeur pour site web.

Les clients du serveur HTTP sont principalement les navigateurs internet. Ainsi lorsqu'un internaute va taper un nom de domaine quelconque, un serveur HTTP va lui répondre et le navigateur va donc lui afficher une page dont les données sont codées avec le format HTML [50].

III.8.3. Client http :

Processus demandant l'exécution d'une opération à un autre processus (serveur) par envoi de message contenant le descriptif de l'opération à exécuter et attendant la réponse de cette opération par un message en retour.

III.8.4. Avantages des applications WEB :

L'application Web est une application développée pour fonctionner dans les navigateurs. Elle est accessible via Internet et l'intermédiaire, ou le navigateur. Ces applications sont écrites dans plusieurs langages de programmation html, PHP, JS...etc. Il en découle les avantages suivants :

- ✓ Accès à l'application depuis n'importe quel appareil disponible sur la ligne Internet.
- ✓ Il n'est pas nécessaire d'installer le logiciel sur chaque ordinateur.
- ✓ Lorsque l'application Web est mise à jour sur le serveur, la modification apparaît sur tous les utilisateurs sans télécharger la mise à jour.
- ✓ L'application Web est souvent protégée par la protection du serveur.
- ✓ Les applications Web peuvent être travaillées via n'importe quel navigateur Web sur différents types de terminaux (ordinateurs, laptops, tablettes, smartphones) (Figure III.2).

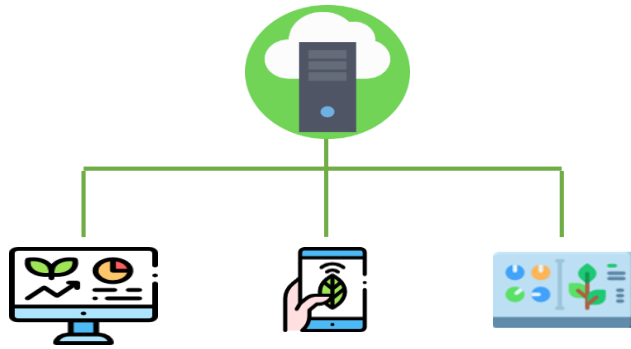


Figure III.14 : Utilisation d'une application web sur plusieurs types de terminaux sur internet.

III.9. Présentation de l'interface Homme-Machine :

Pour interagir avec notre système et gérer sa situation de manière optimale, il est nécessaire de développer une interface Homme-Machine qui se présentera sous forme d'une application Web.

Voici la liste des outils utilisés pour la programmation de notre application :

Langage HTML :

HTML est un langage utilisé pour créer et concevoir des pages Web et des sites Web. Il constitue la structure principale de toute page ou site Web.

Langage CSS :

CSS est un langage de format utilisé pour décrire la représentation visuelle d'un document écrit en langage structurel, à savoir des feuilles de style en cascade (Cascading Style Sheets), et peut être utilisé avec HTML et tout document XML.

CSS utilise la majorité des sites Web pour créer des pages Web attrayantes et des interfaces conviviales pour les applications Web, couramment utilisées avec HTML et JavaScript.

Langage PHP :

PHP est un acronyme récursif, qui signifie "PHP: Hypertext Preprocessor" : c'est un langage de script HTML, exécuté côté serveur. Sa syntaxe est empruntée aux langages C, Java et Perl, et est facile à apprendre. Le but de ce langage est de permettre aux développeurs web d'écrire des pages dynamiques rapidement [51].

Langage JavaScript :

JavaScript est un langage de programmation de scripts principalement employé dans les pages web interactives mais aussi pour les serveurs² avec l'utilisation (par exemple) de Node.js³. C'est un langage orienté objet à prototype, c'est-à-dire que les bases du langage et ses principales interfaces sont fournies par des objets qui ne sont pas des instances de classes, mais qui sont chacun équipés de constructeurs permettant de créer leurs propriétés, et notamment une propriété de prototypage qui permet d'en créer des objets héritiers personnalisés. En outre, les fonctions sont des objets de première classe. Le langage supporte le paradigme objet, impératif et fonctionnel [52].

MySQL :

MySQL est un serveur de base de données relationnelles SQL qui fonctionne sur de nombreux systèmes d'exploitation (dont Linux, Mac OS X, Windows, Solaris, FreeBSD...) et qui est accessible en écriture par de nombreux langages de programmation, incluant notamment PHP, Java, Ruby, C, C++, .NET, Python ...[53].

La Figure III.15 représente notre interface homme-machine :

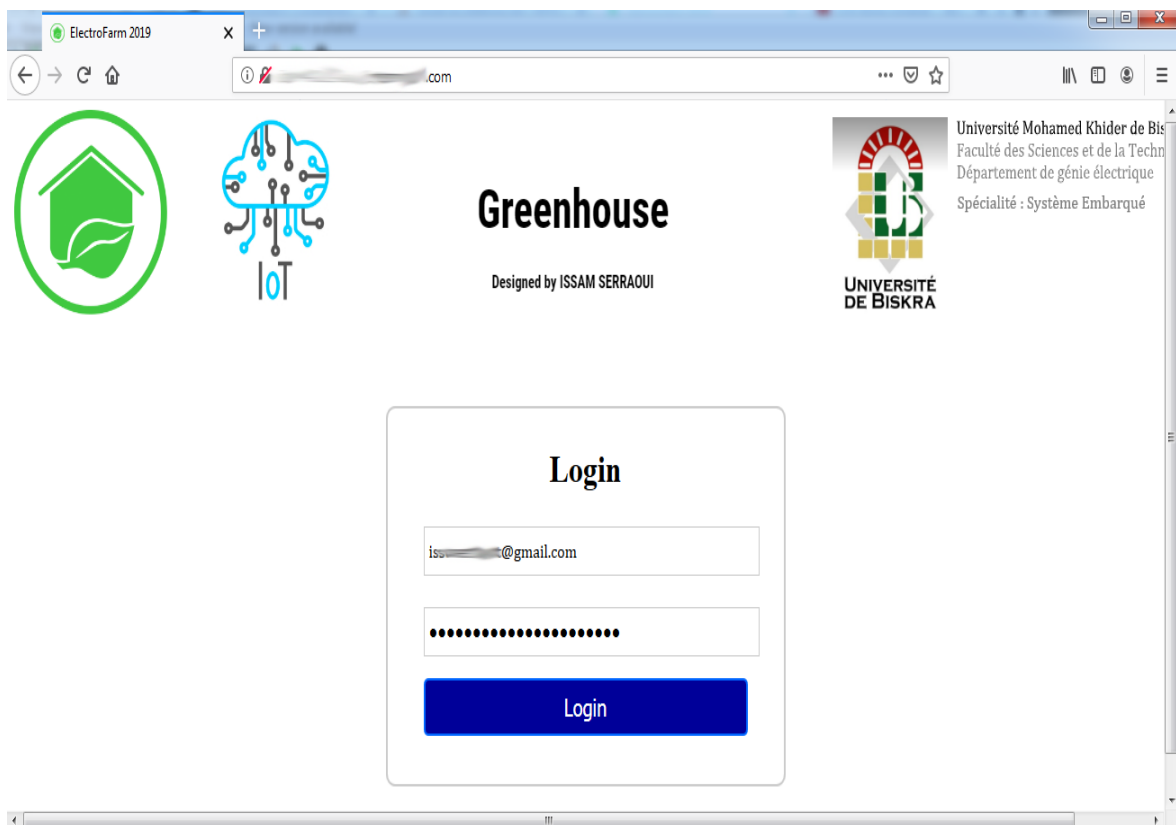


Figure III.15 : La première page de notre application web.

Après la vérification de notre e-mail et mot de passe, nous arrivons sur la page principale de notre interface Homme-machine, notre application est constituée en 6 pages : Home, Control, Weather, Camera, Configuration et Contact Us& News. Elles sont accessibles qu'en cliquant dessus (Figure III.16).

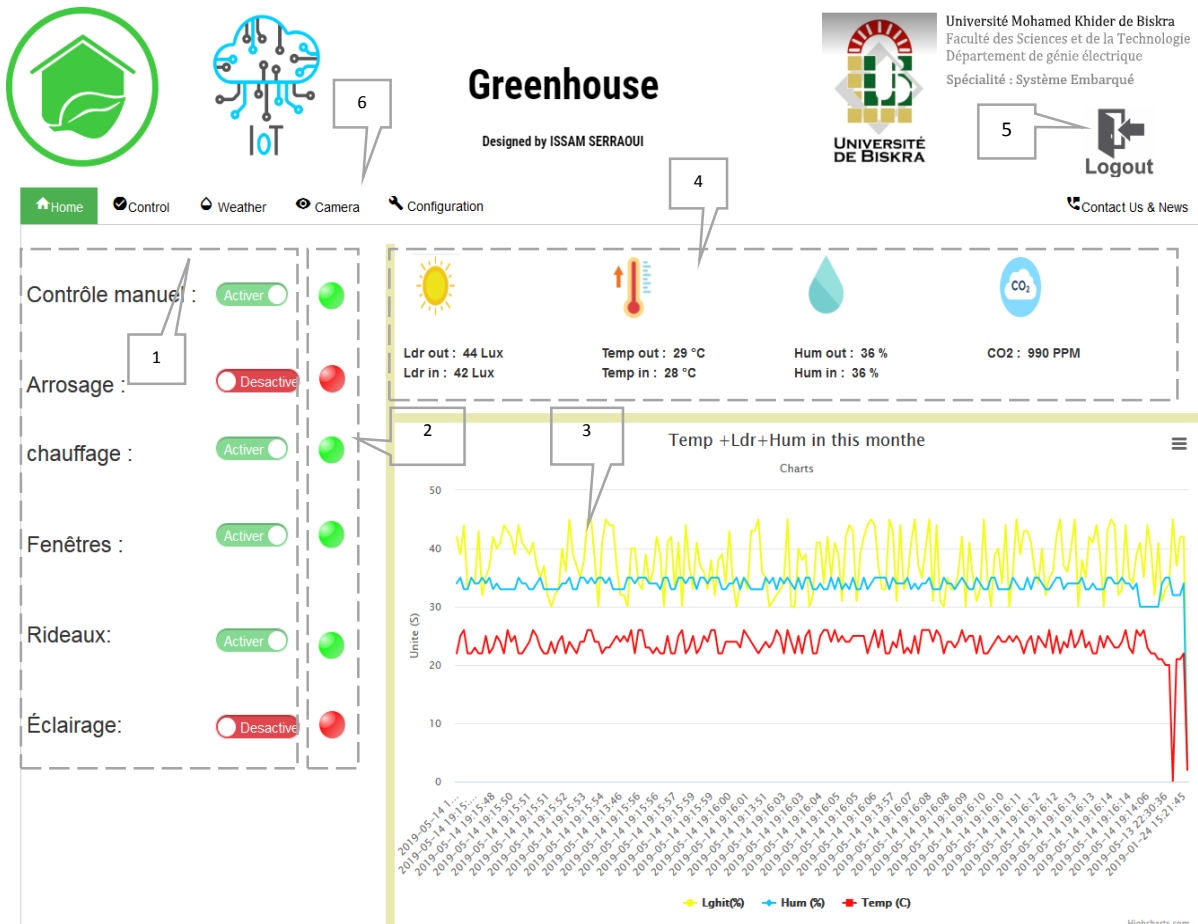


Figure III.16 : Page d'accueil de notre application web.

III.9.1. La page Accueil (Home) :

Cette page (Figure III.16) nous donne une vue globale sur les éléments les plus importants de notre projet, Il contient six éléments :

- 1-Les boutons de commande les déclencheurs les plus importants avec le bouton de commande manuelle.
- 2-État des actionneurs.
- 3- Courbes graphiques de température, le rayonnement solaire et l'humidité pour le mois en cours.

4- Une section spéciale pour afficher les valeurs des capteurs les plus importants.

5- Bouton déconnexion (Logout).

6- Barre de navigation contient les noms des pages existantes.

III.9.2. La page Control:

Cette page est pour les commandes manuelles ou automatiques, qui se compose de :

Figure III.17 : La page de Commande (Control) de la serre de notre application web.

1-Tous Les commandes de contrôle.2-Les commandes de contrôle Automatique.3-Les commandes de contrôle Manuel.4-Boutons de commande.5-Statut des actionneurs (réponse du système).

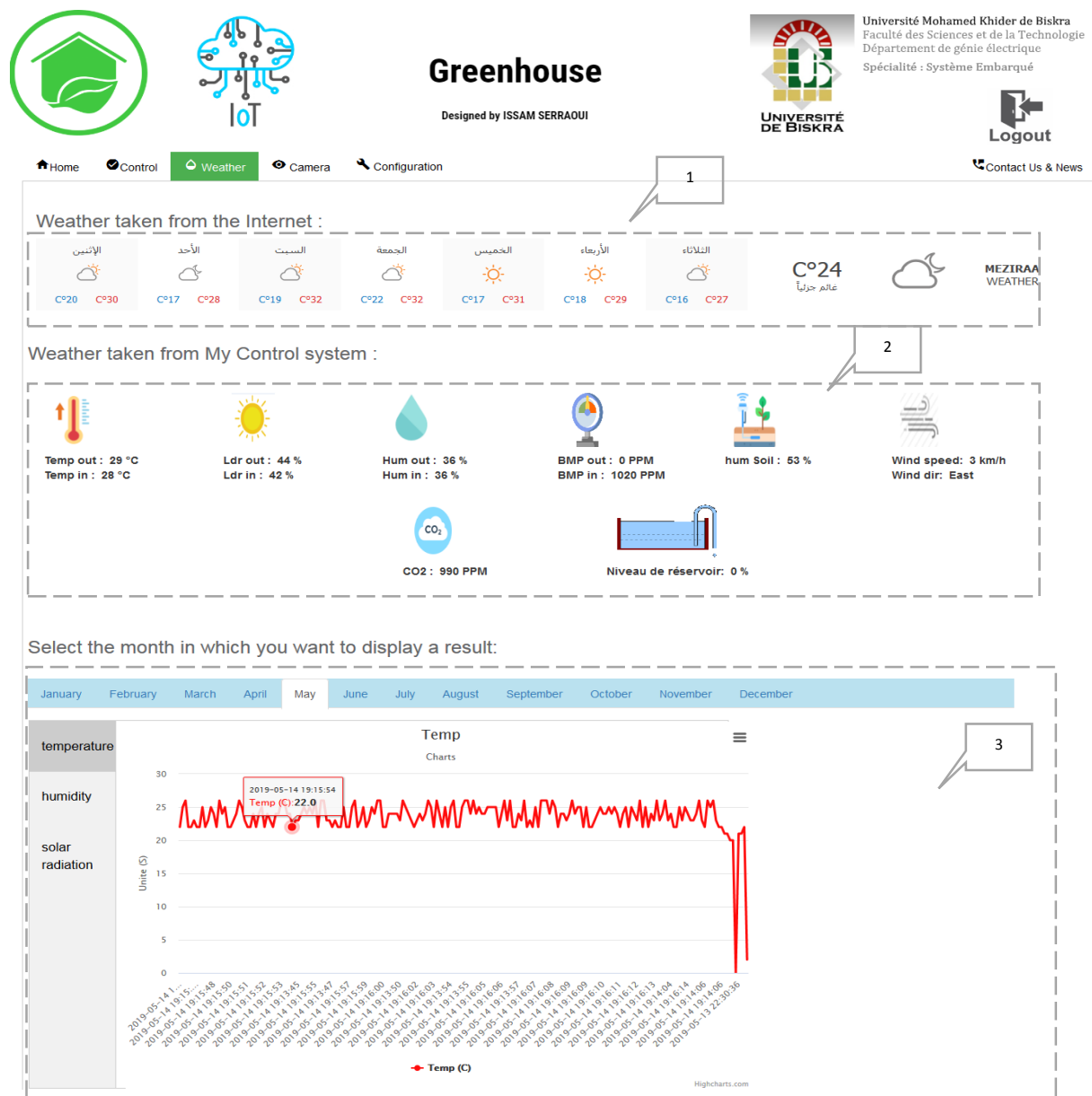
III.9.3. La page Weather:

Cette page sert à visualiser les conditions météorologiques et les valeurs de tous les capteurs utilisés.

1-Les facteurs climatiques pour notre région sont tirés d'Internet

2-Affiche les valeurs pour tous les capteurs.

3-Affiche les valeurs des capteurs pendant les mois de l'année et la possibilité de les stocker les courbes sous la forme d'une image ou d'un fichier avec une extension SVG ou PDF.



III.18 : La page Weather de notre application web.

III.9.4. La page de configuration:

La Figure III.19 représente notre page de configuration, où nous pouvons changer les consignes de contrôle à tout moment, sans reprogrammer à nouveau le système.

Greenhouse
Designed by ISSAM SERRAOUI

Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique
Spécialité : Système Embarqué

Logout

Contact Us & News

Home Control Weather Camera **Configuration**

Consignes de Systeme

Type of plantations :

The current type is : Tomato

1-temperature :	Min:	Max	2-humidite :	Min:	Max
temp_int_faible :	-4 °C	7 °C	20 °C	Hum_faible :	0 % 0 % 30 %
temp_int_moyenne :	15 °C	25 °C	35 °C	Hum_normal :	20 % 40 % 65 %
temp_int_elevée :	30 °C	55 °C	55 °C	Hum_elevé :	55 % 100 % 100 %

Configuration for TOR & PID Control:

Consignes :

Consigne Temperature interieure : min: 18 °C max: 26 °C

Consigne Hymidite de l'air interieure : min: 44 % max: 61 %

Consigne L'éclairage artificielle : Start time: 20 /24h until: 6 /24h Intensity : 80 %

Consigne of rate CO2 : 300 PPM

Frequency Data storage : 5 min

Periode de Regulation : 1 S

Consigne de Arossage : Every: 48 h Start time: 22 /24h delay : 45 min

Figure III.19 : La page 'Configuration' de notre application web.

Cette page (Figure III.19) nous permet de configurer tous les paramètres de notre serre agricole :

1- Liste des plantes lorsque vous sélectionnez un type de cette liste, les valeurs de contrôle changent selon ce type.

2- Consignes de contrôle flou.

3- consignes de contrôle TOR : les consignes de régulation, la période de régulation ...etc.

III.9.5. La page "Camera":

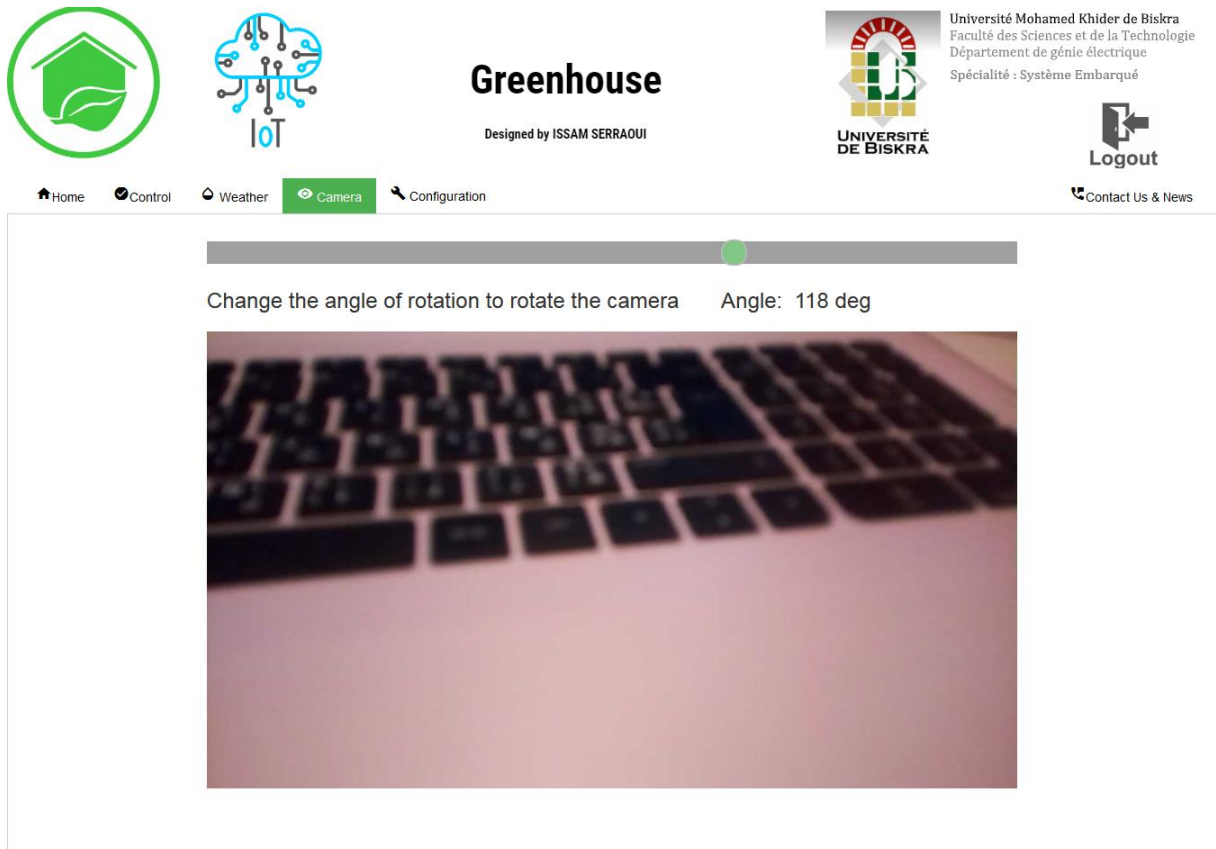


Figure III.20 : La page Camera de notre application web.

Nous avons créé cette page pour surveiller la vidéo de la caméra dans la serre, nous pouvons déplacer la caméra de 0 à 180 degrés uniquement en déplaçant le curseur en haut de la vidéo

III.10. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps quelques notions sur le système automatisé et la régulation automatique. Ensuite nous avons donné une brève description sur le fonctionnement des commandes (Contrôleurs) TOR, PID et floue.

En second lieu, nous avons procédé à l'implémentation de la commande floue dans notre système à l'aide de la Toolbox fuzzy logic de Matlab, après la conversion du fichier MATLAB (fichier .fis) en langage C/C++.

Puis nous avons étudié les avantages de l'utilisation des applications Web dans la conception d'une interface homme-machine et les outils qui nous ont permis de la développer.

Enfin nous avons présenté et expliqué notre interface finale avec une description des différentes parties qu'elle comprend.

Dans le chapitre suivant, nous présentons les étapes de la réalisation de notre prototype, et la implémentation de programme de chaque carte électronique (la carte de station météo, la carte du l'unité maître et la carte de l'armoire électrique). Ensuite, nous testons la performance de notre système.

CHAPITRE 4

Réalisations et tests

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu, notre system avec les différentes éléments du prototype jusqu'au placement des capteurs et actionneurs ainsi que les cartes de commande (l'unité maitre, station météo, l'unité de l'armoire électrique).

En second lieu, nous avons réalisé le circuit électronique de chaque unité (l'unité maitre, station météo, l'unité de l'armoire électrique), à l'aide des plaques perforées. Ensuite, nous allons tester les performances des différents éléments du système.

En dernier lieu en présentant l'organigramme fonctionnel de chaque unité et de notre application web. Nous terminerons par une étude socioéconomique afin de déterminer le cout de revient de notre projet.

IV.2. Dispositif expérimental :

Le but de ce chapitre est de présenter l'ensemble du dispositif expérimental mis en œuvre dans notre system (station maitre, station météo, circuit de l'armoire électrique et l'application web) de contrôle climatique du prototype ainsi que des éléments et outils qui y sont associés.



Figure IV.1 : Vue extérieure du prototype réalisé.

IV.3. Le prototype :

C'est un prototype en feuilles de plastique qui occupe une surface de 3200 cm^2 (80 cm de longueur sur 40 cm de largeur) comme la Figure IV. 1.

Le prototype expérimental contient de nombreux éléments et se présente comme suit :

- 1- Une unité maître d'acquisition et de contrôle des paramètres microclimatiques.
- 2- Station météo pour collecter les paramètres climatiques externes.
- 3- Circuit de l'armoire électrique afin de contrôler les pompes à eau.
- 4- Réservoir d'eau.
- 5- Trois pompes à eau :
 5. a- Première pompe pour remplir le réservoir.
 5. b- La deuxième pompe pour l'arrosage des plantes.
 5. c- La troisième pompe est pour le système de refroidissement.
- 6- Le système de refroidissement, qui se compose de trois éléments:
 6. a- Les fans.
 6. b- Panneaux humides de refroidissement.
 6. c- Pompe à eau pour pomper de l'eau à l'intérieur des panneaux de refroidissement.
- 7- Une fenêtre de ventilation naturelle se déplace à un angle de 0 à 90 degrés.
- 8- Lampe d'éclairage artificiel.
- 9- Chauffage a été remplacé par une lampe rouge pour simuler son fonctionnement.
- 10- Des actionneurs sous forme LED :
 - Fog System.
 - Pesticides.
 - injecteur CO₂.
- 11- Caméra surveillance.

IV.3.1. Système de Ventilation :

Le principe est de ventiler le prototype en ouvrant la fenêtre à un certain angle en fonction de la valeur des capteurs, cette ventilation permet d'ajuster la température et de réduire l'humidité de l'air en l'absence de vents forts.



Figure IV.2: La fenêtre de notre prototype réalisé.

IV.3.2. Système de chauffage :

Dans ce cas, nous utilisons une lampe pour simuler le travail de l'appareil de chauffage, où nous contrôlons l'intensité de la lumière en fonction de la température ambiante.

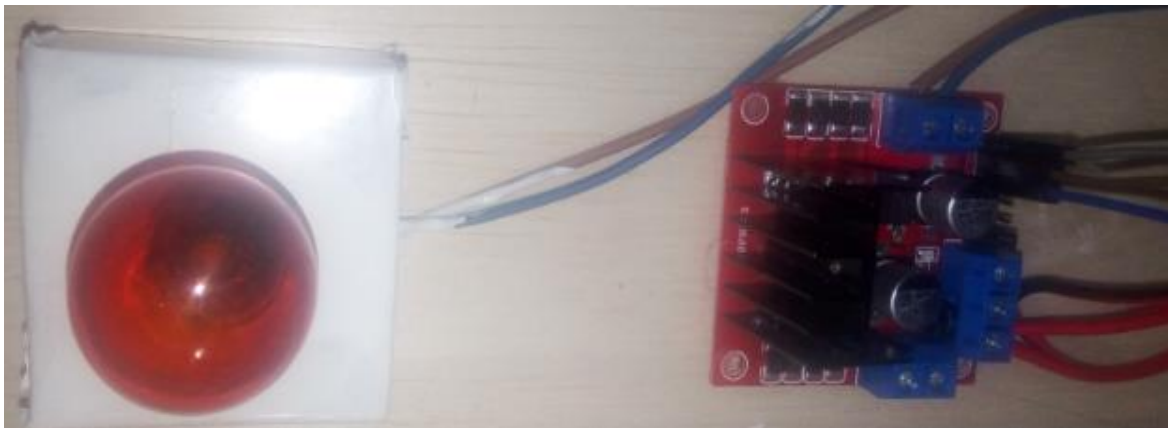


Figure IV.3 : Utilisez une lampe équivalente pour faire fonctionner le chauffage de notre prototype réalisé.

IV.3.3. Caméra surveillance:

En raison de notre manque de capacités personnelles, nous avons utilisé la caméra du téléphone pour surveiller notre serre, nous avons placé le téléphone au-dessus de servo moteur, pour déplacer le téléphone de 0 ° à 180 ° pour permettre la surveillance de la serre de toutes les directions. La vidéo de la caméra est affichée dans notre application Web et nous déplaçons la caméra à distance via notre application Web.

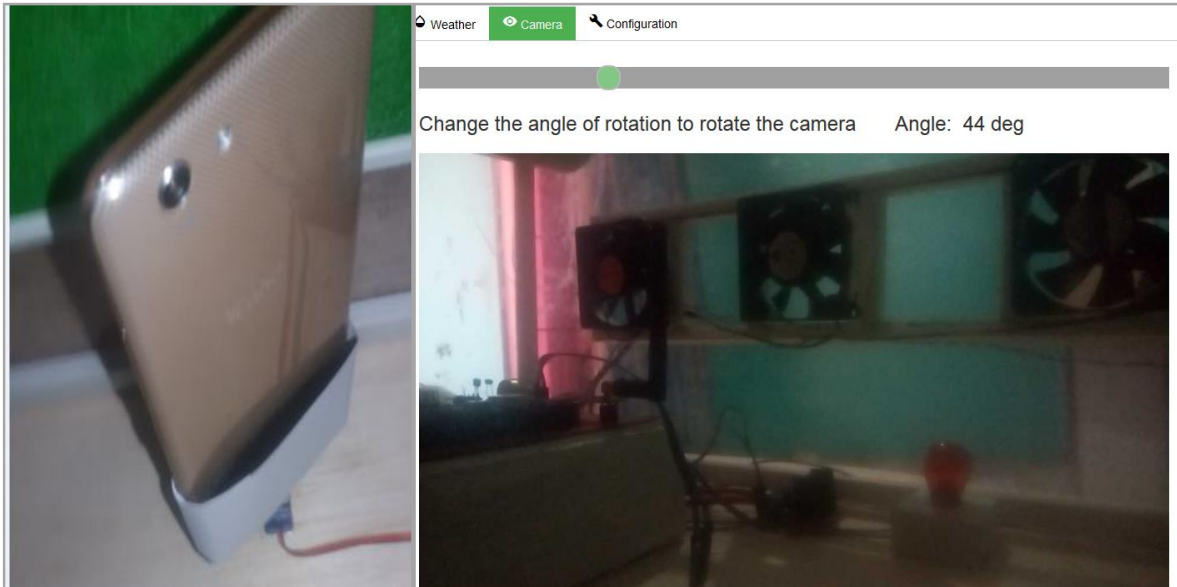


Figure IV.4 : Notre camera avec une vue vidéo dans notre application Web.

IV.3.4. Système refroidissement "Cooling Pad" :

Nous avons mis en place un système de refroidissement (Figure IV.5) basé sur la technologie de refroidissement 'Cooling Pad', il contient trois éléments qui interfèrent avec le fonctionnement du système : les fans, panneaux humides de refroidissement, et la pompe à eau pour pomper de l'eau à l'intérieur des panneaux de refroidissement.

Ce system fonctionne lorsque la température extérieure est trop élevée car la ventilation naturelle ne suffit pas pour refroidir la serre.

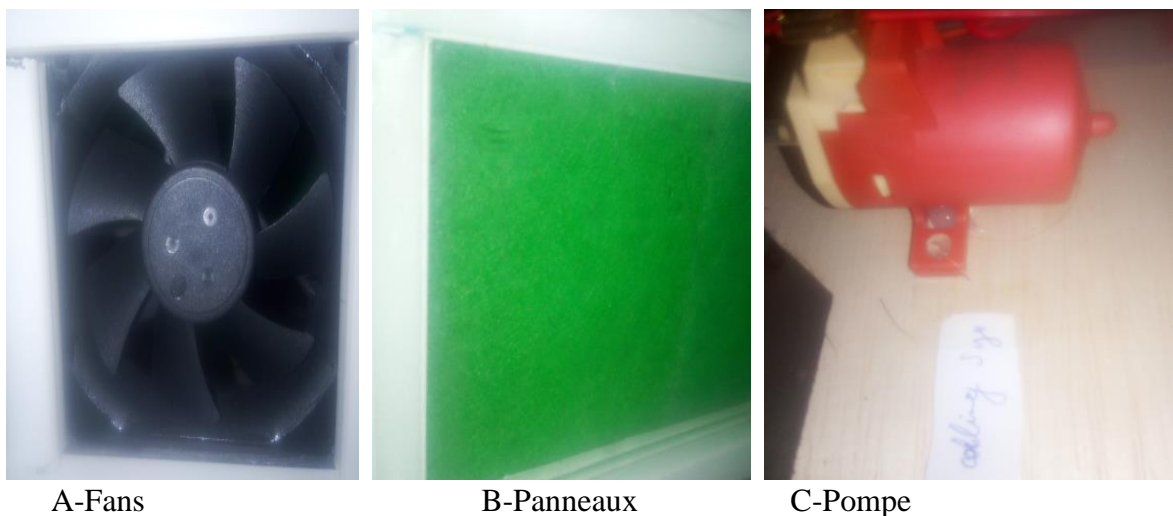
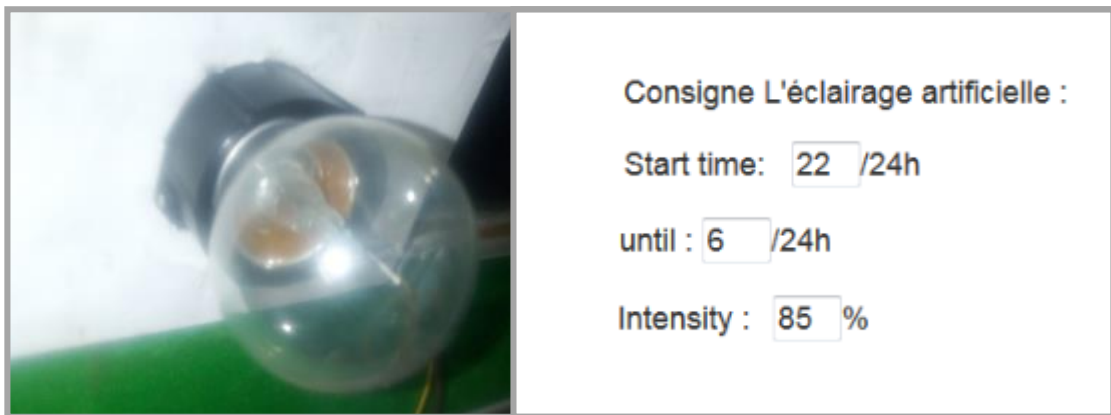


Figure IV.5 : Les éléments du système de refroidissement "Cooling Pad" de notre prototype.

IV.3.5. Système d'éclairage artificiel :

Nous avons utilisé une lampe (Figure IV. 6 -A-) pour faire de la lumière artificielle pour notre projet, cet éclairage fonctionne selon les consignes (Figure IV.6 -B-) reçues de l'application Web.



-A-

-B-

Figure IV.6 : L'éclairage artificiel avec ses consignes.

IV.3.6. Système d'arrosage:

La Figure IV.7 représente une pompe d'arrosage (Figure IV.7 -A-) avec les consignes du système d'arrosage (Figure IV.7 -B-).



-A-

-B-

Figure IV.7 : La pompe d'arrosage avec les consignes du système d'arrosage.

Le principe de notre système d'irrigation est le suivant :

- 1- L'unité maître reçoit des consignes pour le système d'irrigation via notre application Web.
- 2- Cette unité maître attend jusqu'à la tombée de la nuit
- 3- L'unité maître envoie ensuite l'ordre d'arrosage à l'unité de commande dans l'armoire électrique.
- 4- L'unité dans l'armoire électrique reçoit l'ordre d'arrosage et active la pompe d'arrosage.
- 5- la pompe est gardée en marche jusqu'à ce que l'unité dans l'armoire électrique reçoive l'ordre Arrêt.

IV.3.7. Système de remplissage de réservoir :

Le réservoir se remplit automatiquement lorsque le niveau d'eau est inférieur à 10 %.
Le réservoir contient un capteur d'eau qui mesure trois niveaux du réservoir :

- Niveau bas 10%.
- Niveau moyen 50%.
- Niveau haut (réservoir plein) 100%.

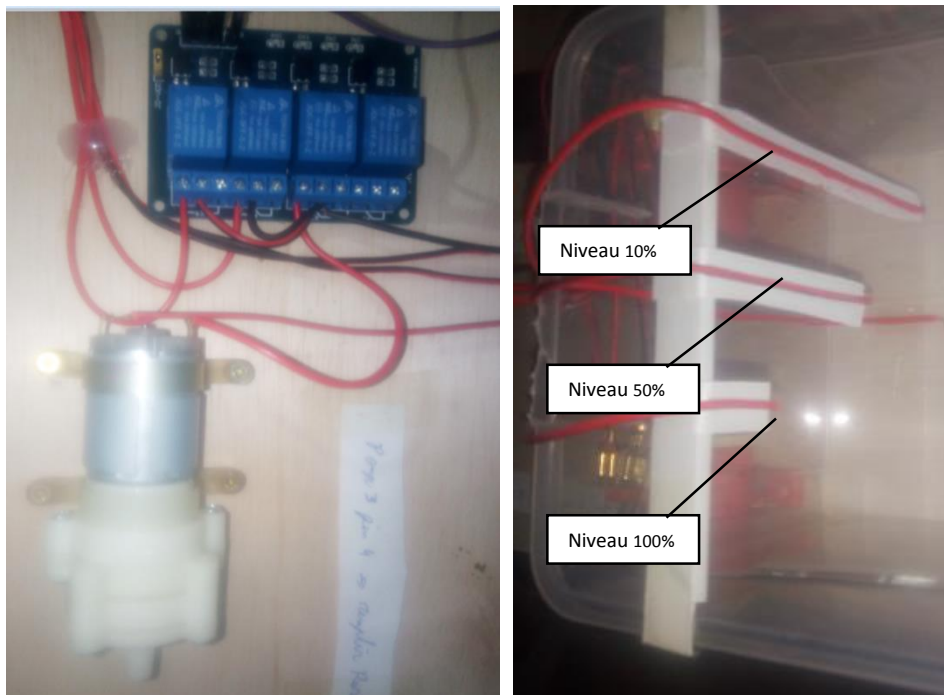


Figure IV.8 : Les éléments de remplissage du réservoir.

IV.3.8. Actionneurs supplémentaires :

Comme il existe des actionneurs difficiles à réaliser dans notre prototype, nous les avons remplacés par des LED (Figure IV.8) : Fog System, Pesticides, Injecteur CO2.

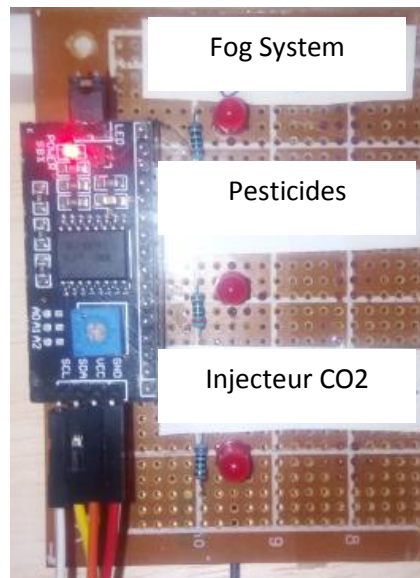


Figure IV.9 : Les actionneurs supplémentaires.

IV.3.9. Rideaux d'ombrage :

Nous avons fabriqué des rideaux dans notre prototype (Figure IV.10) pour ombrager la serre et limiter l'augmentation de la température à l'intérieur dans le cas de fort ensoleillement.

Nous avons ajouté la carte de la figure IV.10 pour montrer que les rideaux fonctionnent bien parce qu'il y a un problème mécanique dans le rideau.

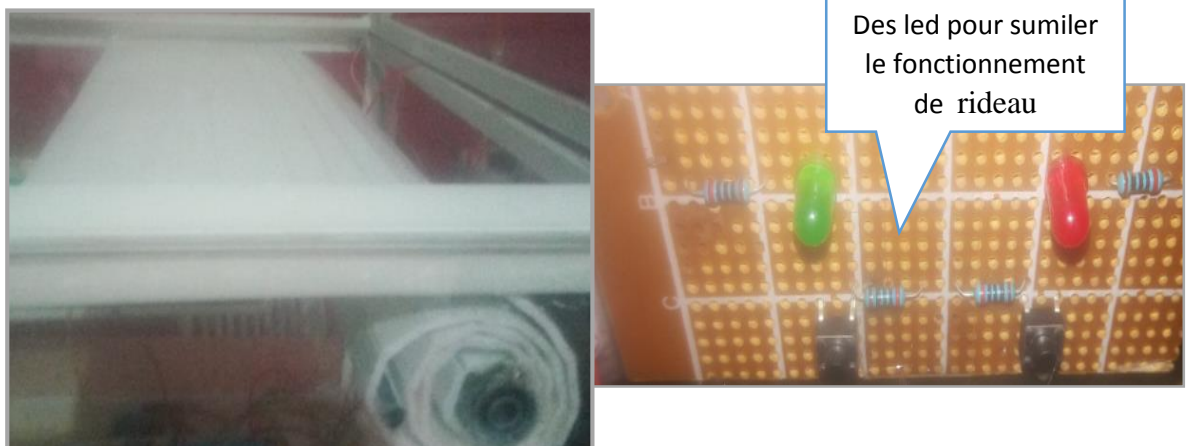


Figure IV.10 : Rideaux d'ombrage de notre prototype.

IV.4. Programmations de L'unité maître:

Pour la programmation du microcontrôleur de L'unité maître(NodeMcu), nous allons utiliser l'environnement de développement d'Arduino car cet IDE avec langage c/c++.

La figure IV.11 présente l'interface de l'IDE Arduino avec le programme de notre unité maître. Il est séparé en 18 fichiers afin de bien l'organiser.

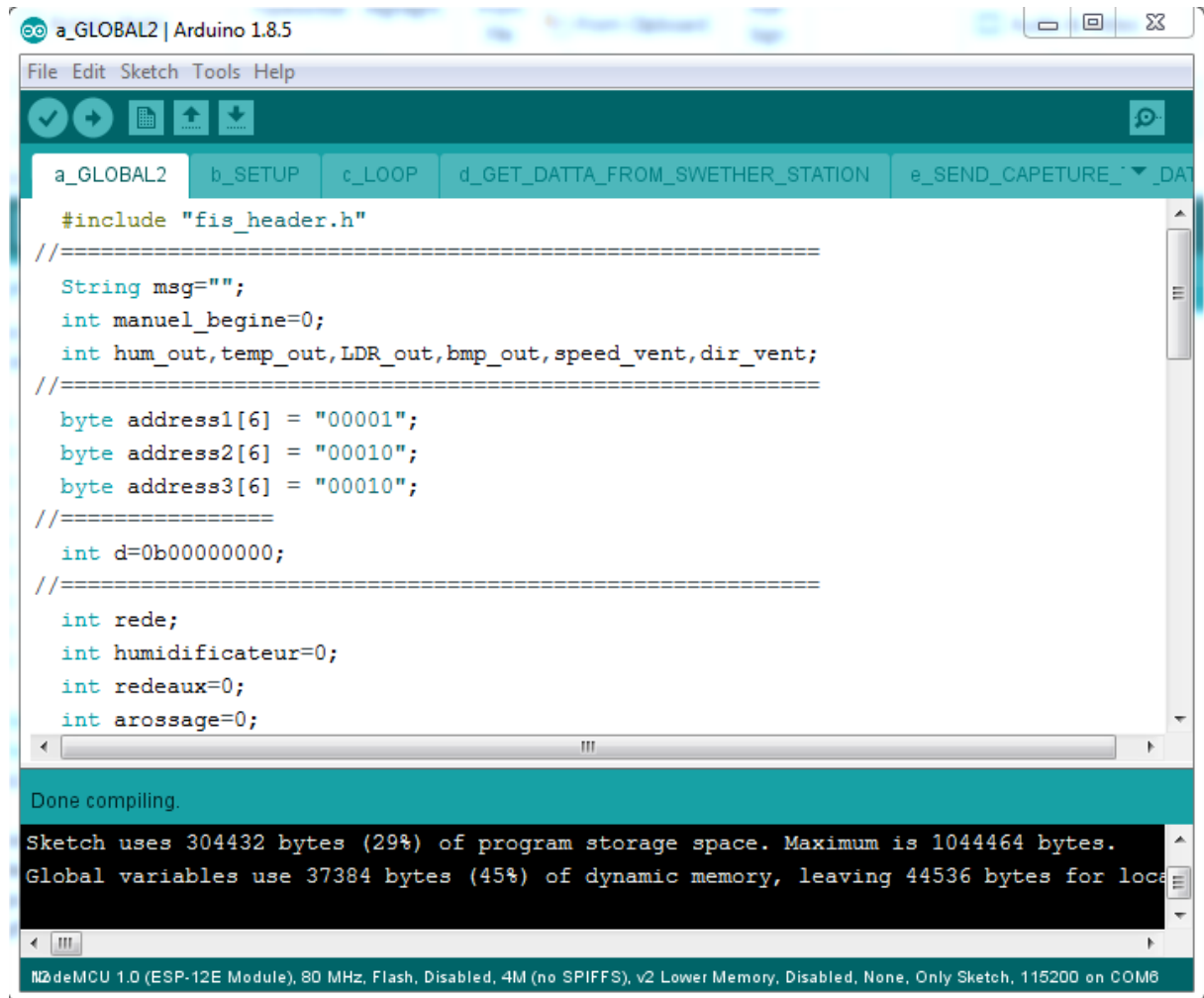


Figure IV.11. Interface de l'environnement de développement Arduino avec la structure de notre programme de L'unité maître(NodeMcu).

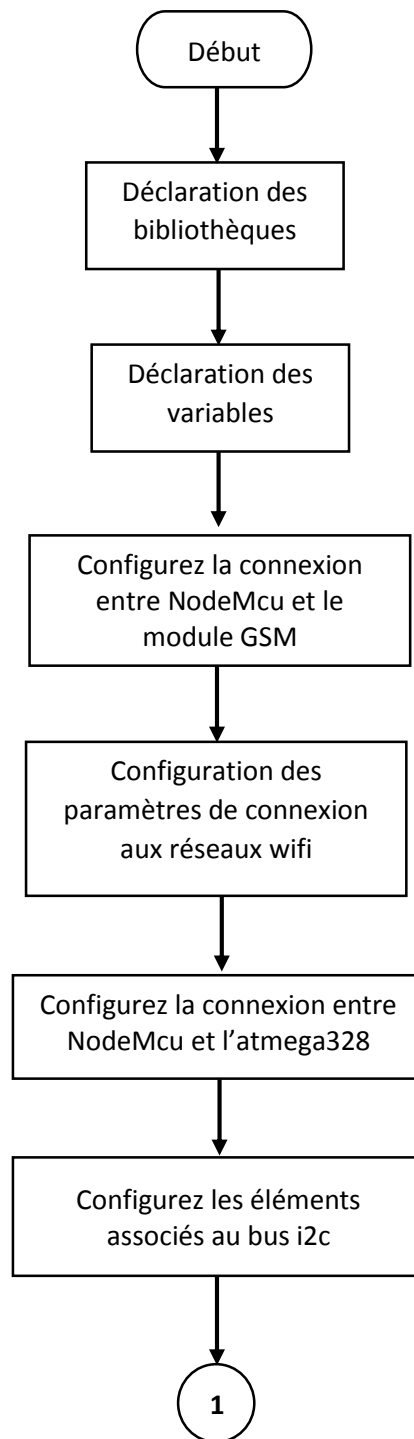
L'unité maître contient deux microcontrôleurs liés par bus I2C:

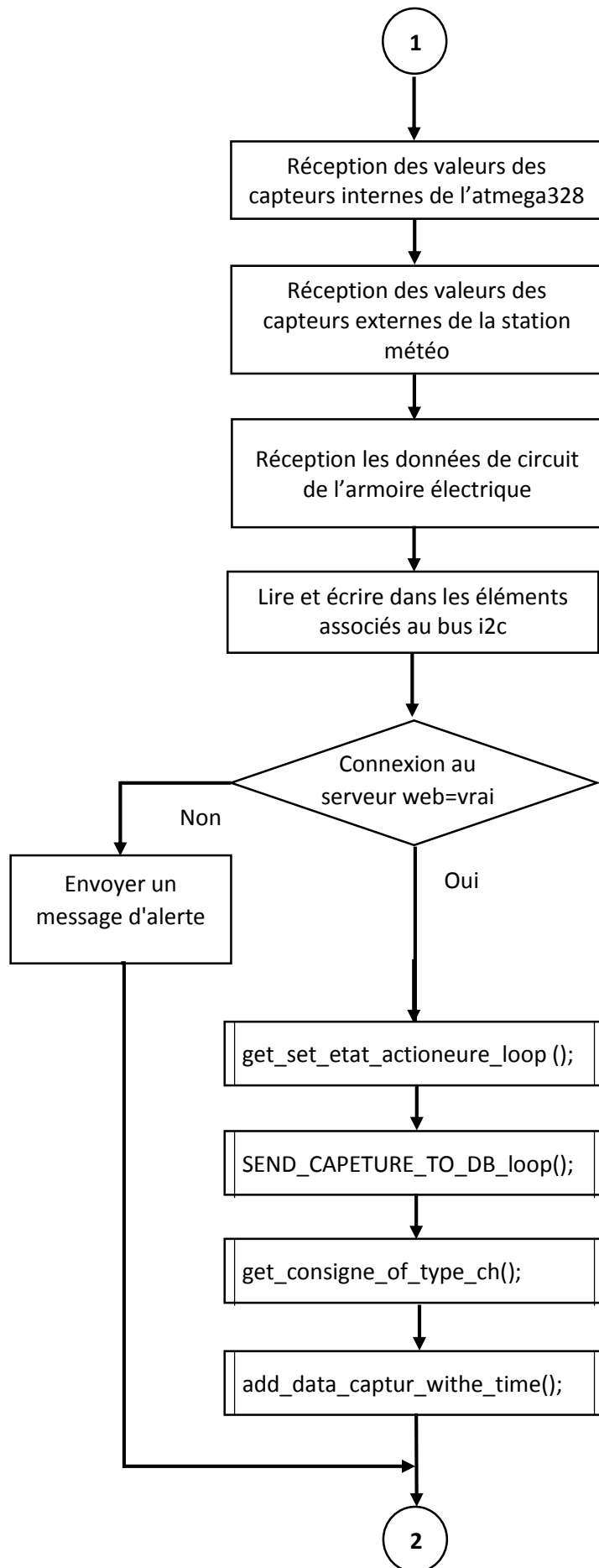
- Microcontrôleur maître NodeMcu.
- Microcontrôleur esclave ATmega328 (arduino nano).

Nous présenterons l'organigramme de chacun d'eux dans la suite.

IV.4.1. L'Organigramme de la carte NodeMcu:

Figure IV.12 présente l'organigramme du programme principal de la carte NodeMcu point de vu système. Où il est composé de nombreuses fonctions qui représentent le travail du système.





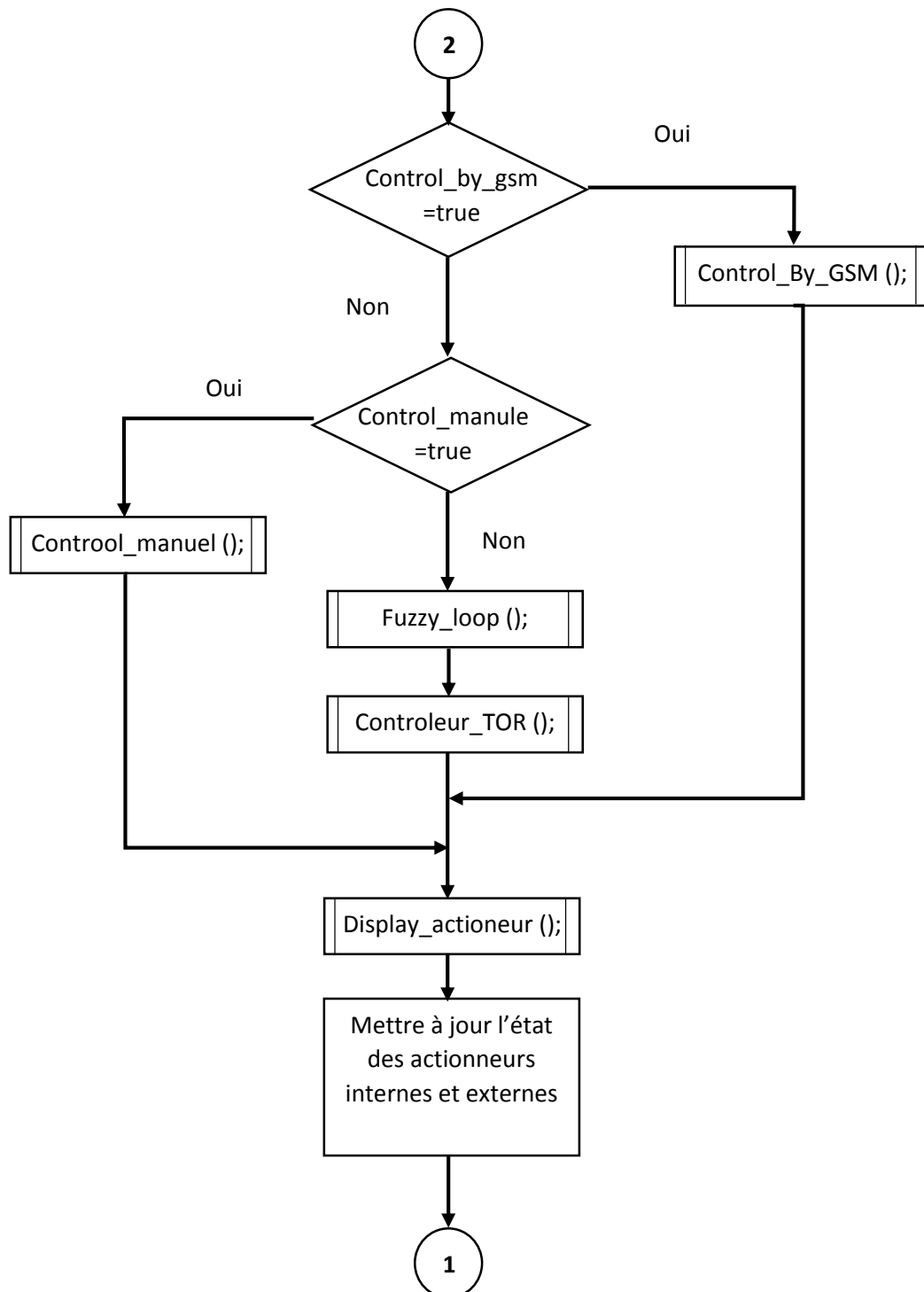


Figure IV.12 : Diagramme global du programme de la carte NodeMcu.

IV.4.2. L'Organigramme de l'esclave arduino nano:

La Figure IV.13 présente l'organigramme du programme de l'esclave arduino nano point de vue système.

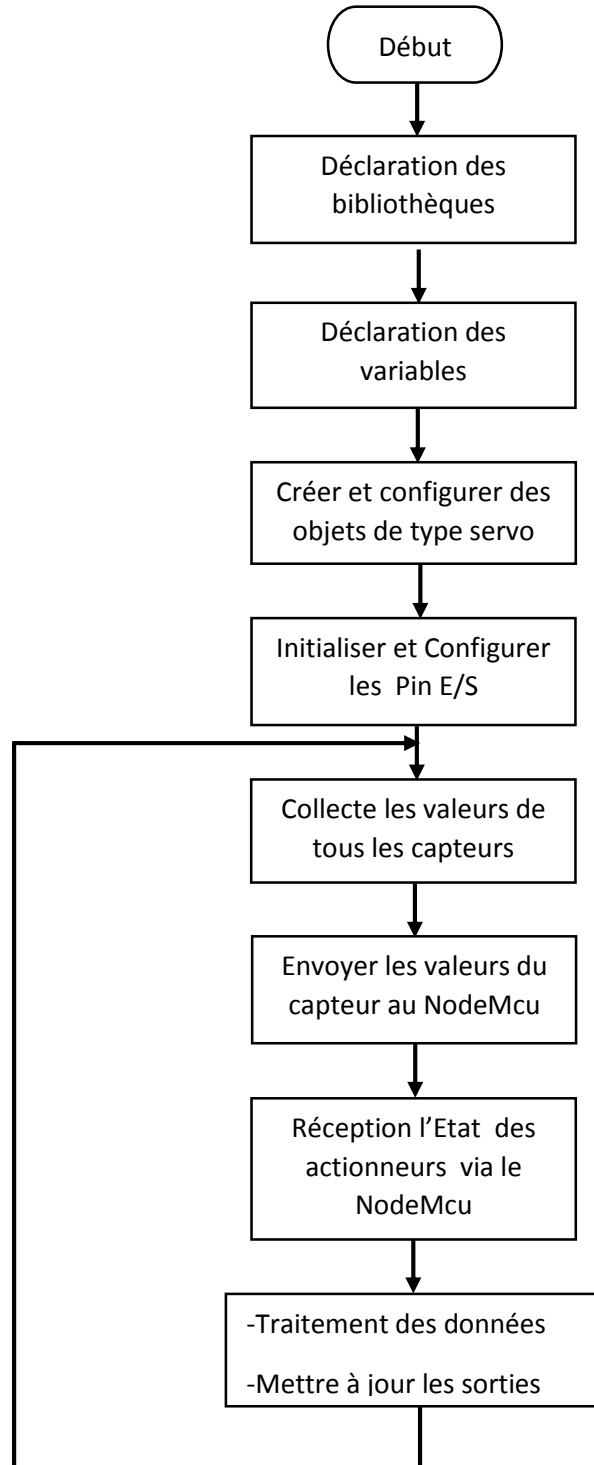


Figure IV.13 : Diagramme du programme de l'esclave arduino nano.

IV.5. L'Organigramme de programme de la Station météo:

La Figure IV.14 présente l'organigramme du programme de la Station météo point de vue système.

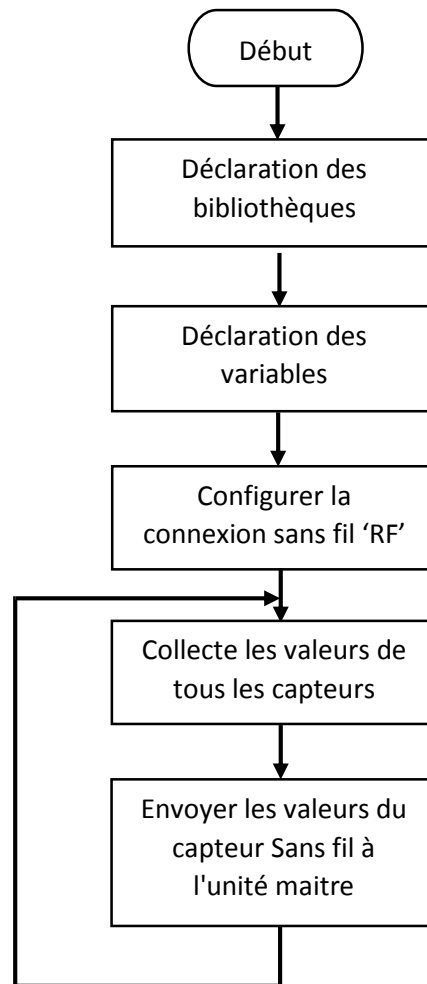


Figure IV.14 : Diagramme du programme de la Station météo.

IV.6. L'Organigramme de la carte situé dans l'armoire électrique:

La Figure IV.15 présente l'organigramme du programme de la carte situé dans l'armoire électrique point de vue système.

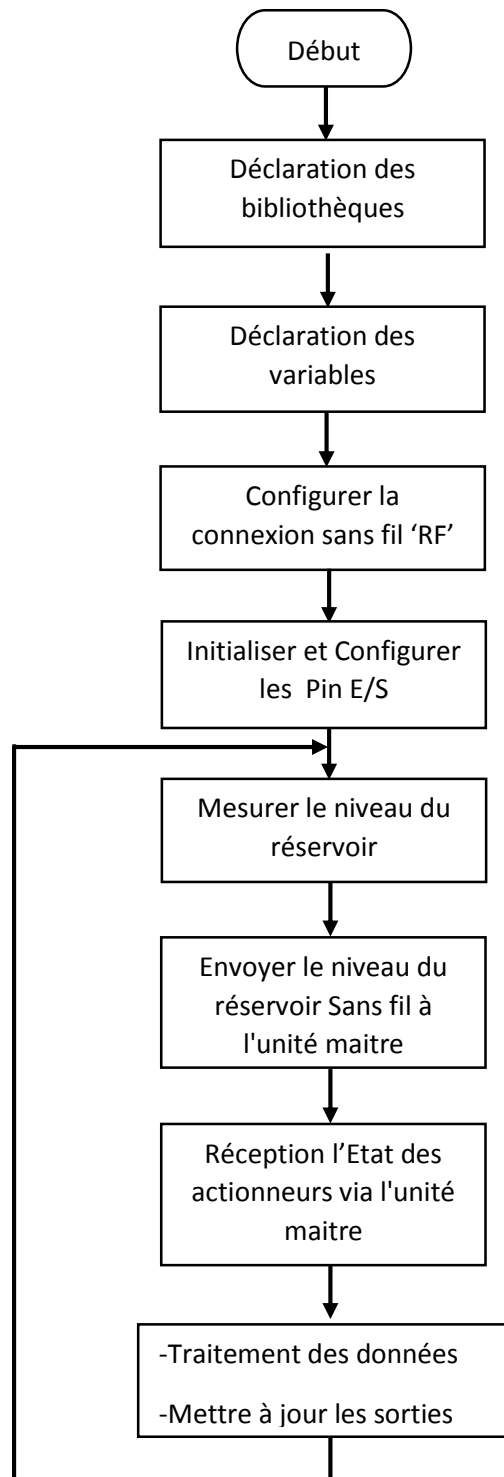
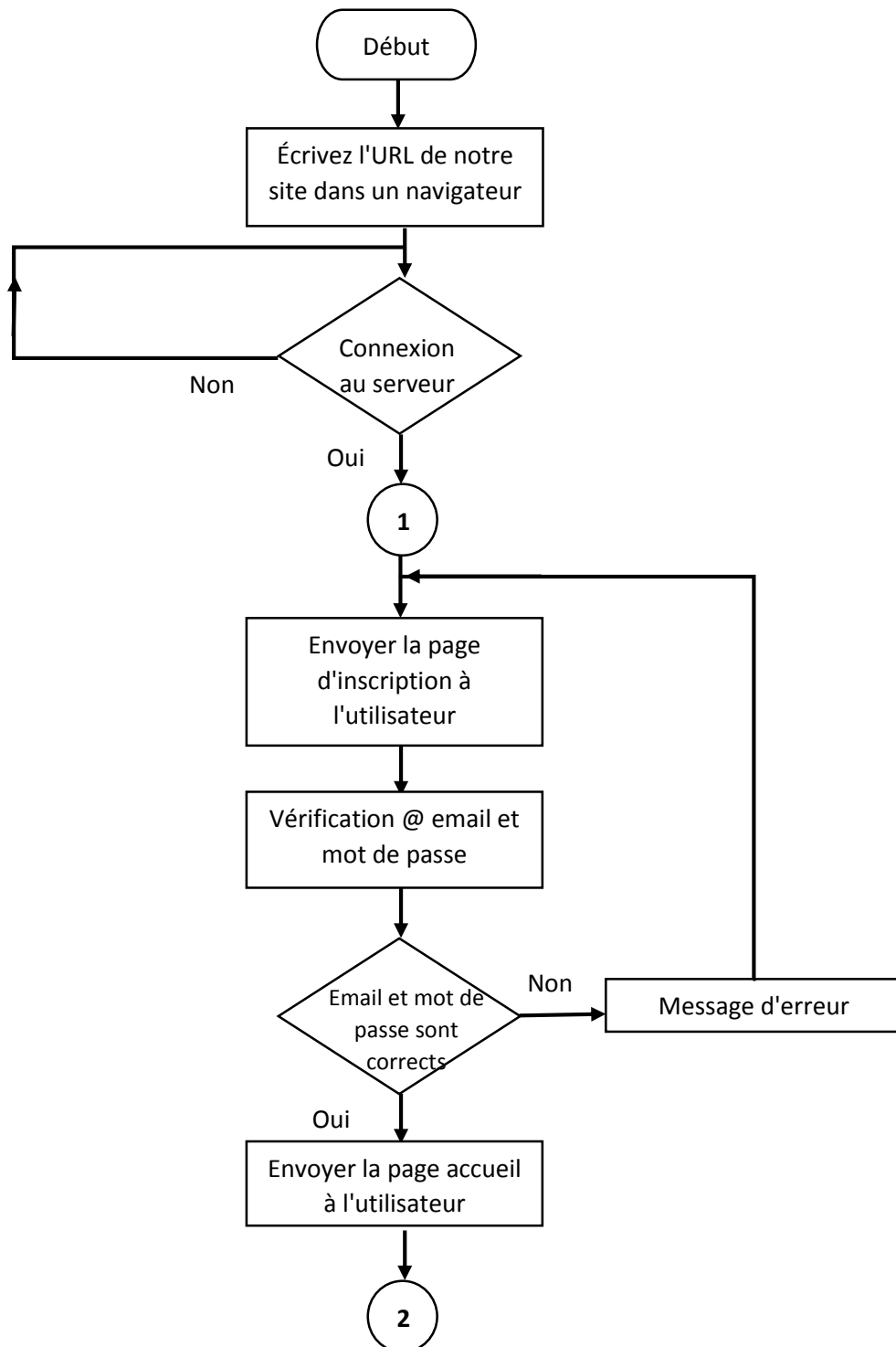


Figure IV.15 : Diagramme du programme de la carte situé dans l'armoire électrique.

IV.7. L'organigramme de l'Application Web :

La Figure IV.16 présente l'organigramme de fonctionnement de l'Application Web, il permet de faire le lien entre la carte de commande et l'Utilisateur Il permet aussi de gérer la base de données (enregistrement et visualisation des données).



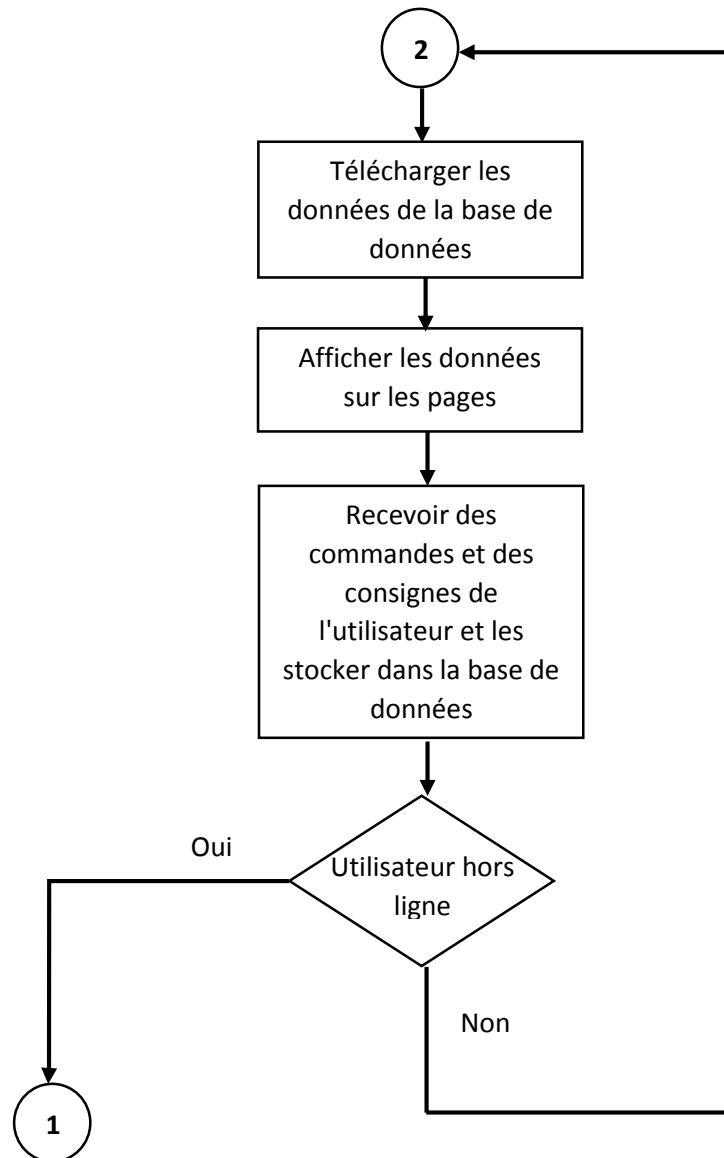


Figure IV.16 : Diagramme de fonctionnement de l'Application Web.

IV.8. Conception des Circuits :

Nous avons utilisé des plaques perforées pour l'impression et le soudage nos circuits, pour faciliter l'impression de circuit.

Dans ce projet, nous avons établi trois circuits:

1-Circuit pour l'unité maitre.

2-Circuit pour la station météo.

3- Circuit pour la carte de l'armoire électrique

IV.8.1. Conception la Circuit du l'unité maitre :

La Figure IV.16 présente la Circuit imprimé de l'unité maitre (Voir l'annexe II pour le schéma électrique), qui contient :

NodeMcu (maitre),Arduino nano (esclave),Module MINI GSM SIM 80,Module NRF24I01,Module RTC,Interface I2C LCD,Interface I2C I/O Expender,DHT 11,LM35,LDR,Capteur d'humidité du sol,Des résistances variables,Des résistances,Pin Headers : Male, Female,TERMINALS À VIS Pour les Actionneur,L293D.

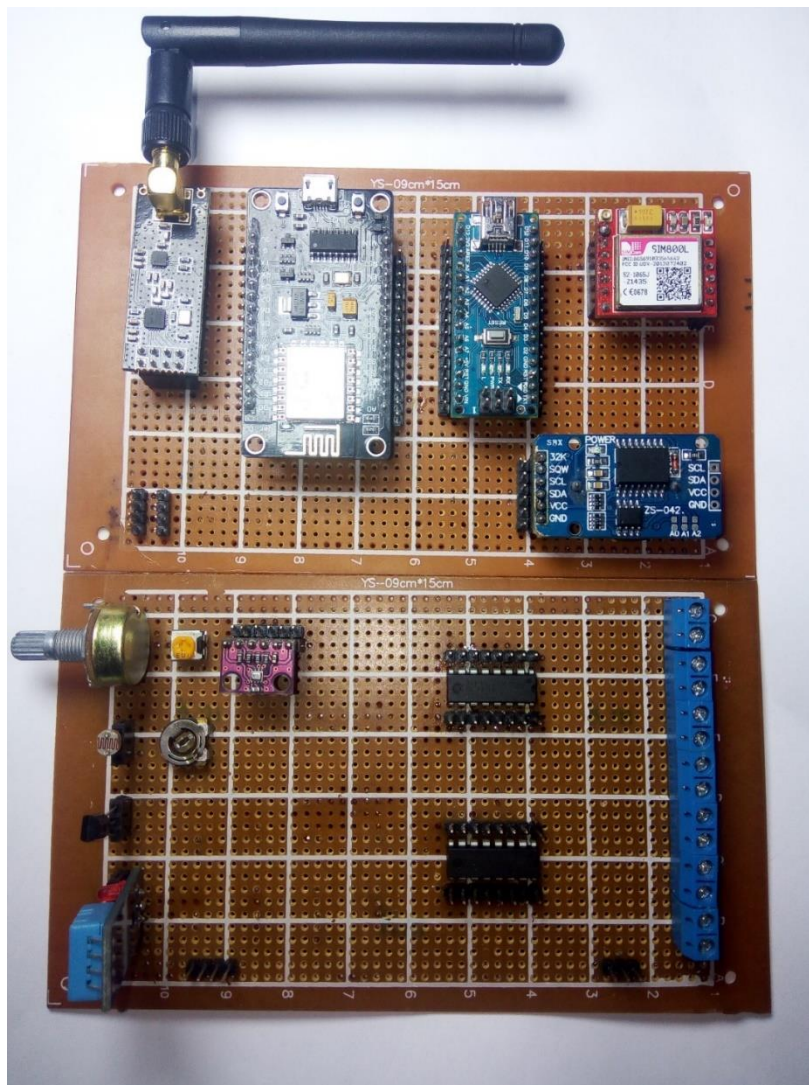


Figure IV.17 : Circuit de l'unité maitre.

IV.8.2. Conception la Circuit de la station météo:

La Figure IV.18 présente la Circuit imprimé de la station météo (Voir l'annexe I pour le schéma électrique de la station météo) qui contient :

- Arduino nano.
- Module NRF24I01.
- Interface I2C LCD.
- DHT 11.
- LM35.
- LDR.
- Interface pour le capteur de vites de vent.
- Interface pour le capteur de direction de vent.
- Buttons poussoir.

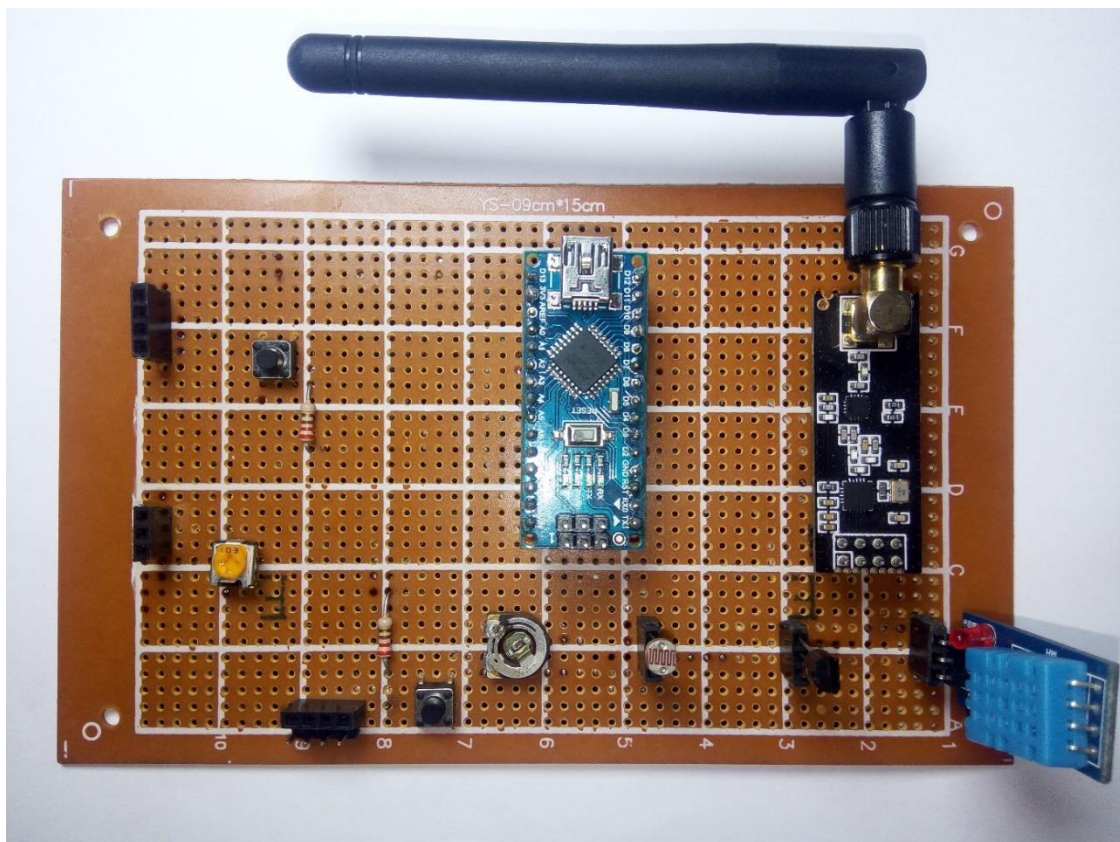


Figure IV.18 : Circuit de la station météo.

IV.8.3. Conception la Circuit du l'armoire électrique:

La Figure IV.19 présente la Circuit imprimé de carte de l'armoire électrique (Voir l'annexe III pour le schéma électrique) qui contient :

- Arduino Uno (nous avons utilisé Arduino Uno pour le manque d'Arduino Nano).
- Module NRF24I01.
- Capteur de niveau d'eau.
- TERMINALS À VIS Pour les Actionneur.

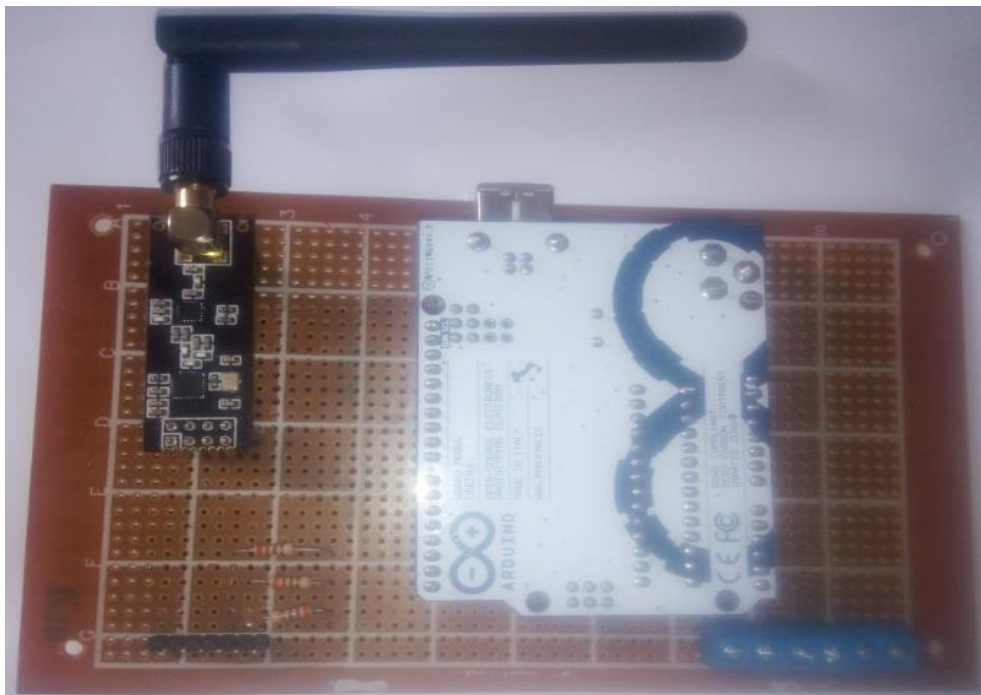


Figure IV.19 : Circuit de l'armoire électrique.

IV.9. Evaluation des performances du système :

Dans cette partie, nous allons étudier la performance de notre système, où nous allons tester chaque partie et noter les résultats, on commencer avec le contrôleur flou.

IV.9.1. Teste le contrôleur flou :

Le contrôleur flou nous donne de bons résultats similaires aux résultats de la fenêtre "Rule viewer" dans Matlab, pour les mêmes valeurs des capteurs.

Les Figures : Figure IV.20, Figure IV.21, Figure IV.22 représentent les résultats du contrôleur flou.

```

=====input=====
Vitesse_vent :14.00
Temp_int:27.00
Temp_ext:36.00
Hum-air :76.00
Taux_CO2:1027.00
=====output=====
vitesse_extraction :43
puissance_chauffage :0
angle_ouverture_volet :0
    
```

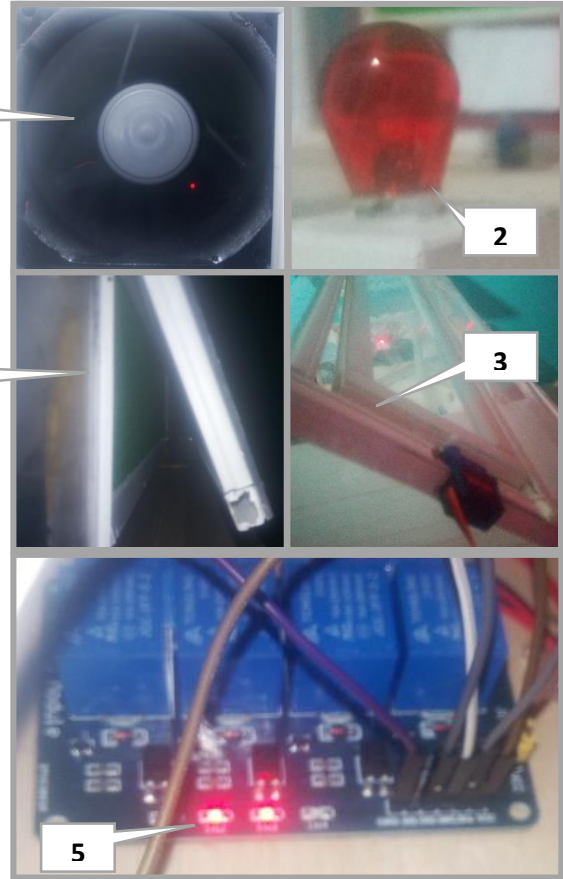


Figure IV.21 : Résultats du contrôleur Flou dans Le Serial Moniteur

- 1-Le ventilateur tourne à une vitesse 43%.
- 2-Chauffage désactivé.
- 3-fenêtre de Ventilation ferme.
- 4- fenêtre de system de refroidissement ouvert.
- 5-pompe de system de refroidissement active.

Figure IV.20 : Effet des résultats du contrôleur Flou

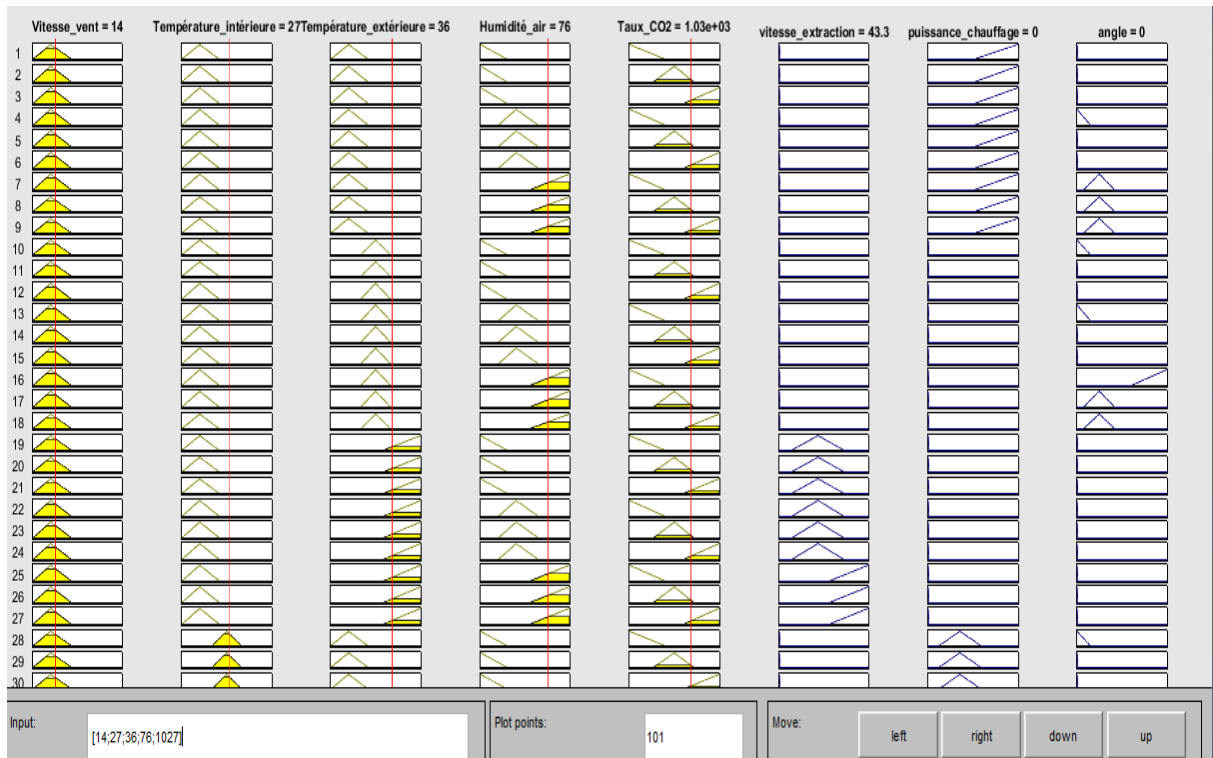


Figure IV.22 : Résultats du contrôleur Flou sur la fenêtre "Rule viewer".

IV.9.2. Teste le contrôle par GSM:

La Figure IV.23 représente un dialogue entre l'utilisateur et le système par des messages texte pour contrôler le système à distance.

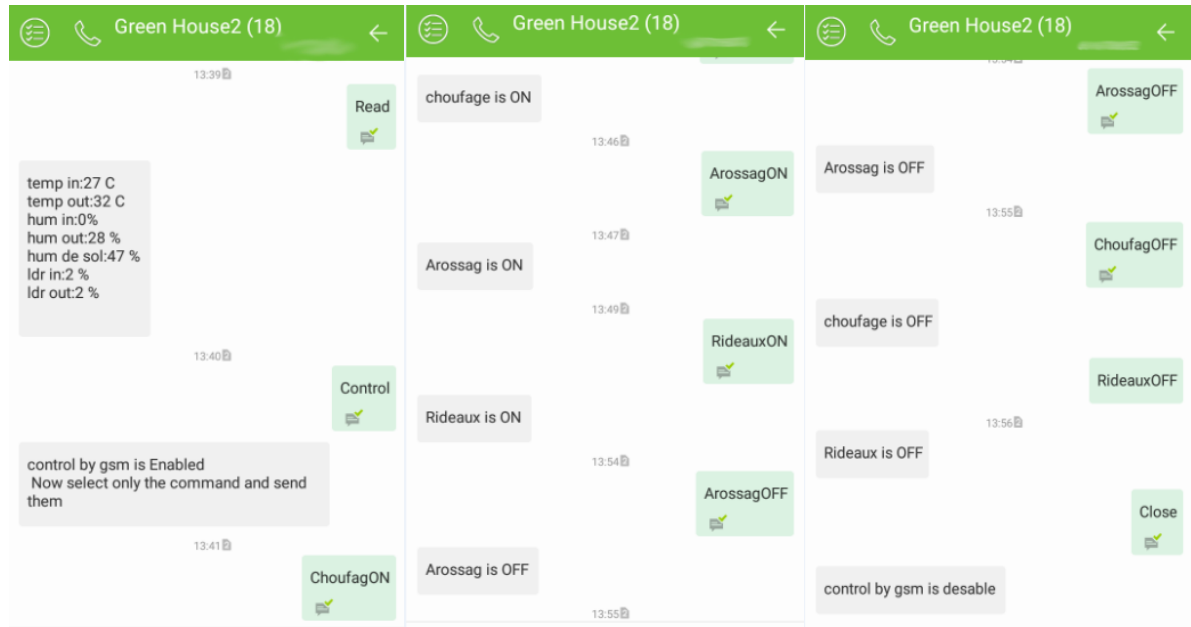


Figure IV.23 : Dialogue homme-machine.

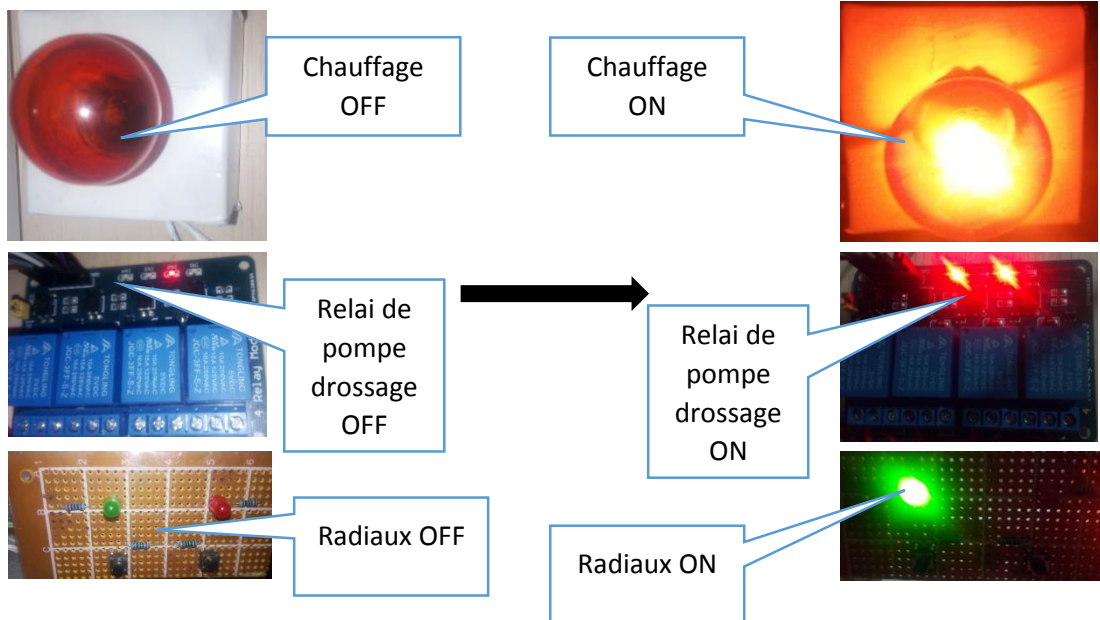


Figure IV.24 : Actionneurs avant le Contrôler par GSM.

Figure IV.25 : Actionneurs après le Contrôler par GSM.

Remarque : le contrôle par GSM donne de bons résultats.

IV.9.3. Teste le contrôle manuel par Apps Web:

Avant d'appuyer sur les boutons de commande doit d'abord activer le bouton de commande manuelle, pour passer le système du mode automatique au mode manuel. Ensuite, nous pouvons appuyer sur n'importe quel bouton pour activer ou désactiver les actionneurs.

La Figure IV.26 représente les résultats de la commande manuelle à l'aide de l'application Web.

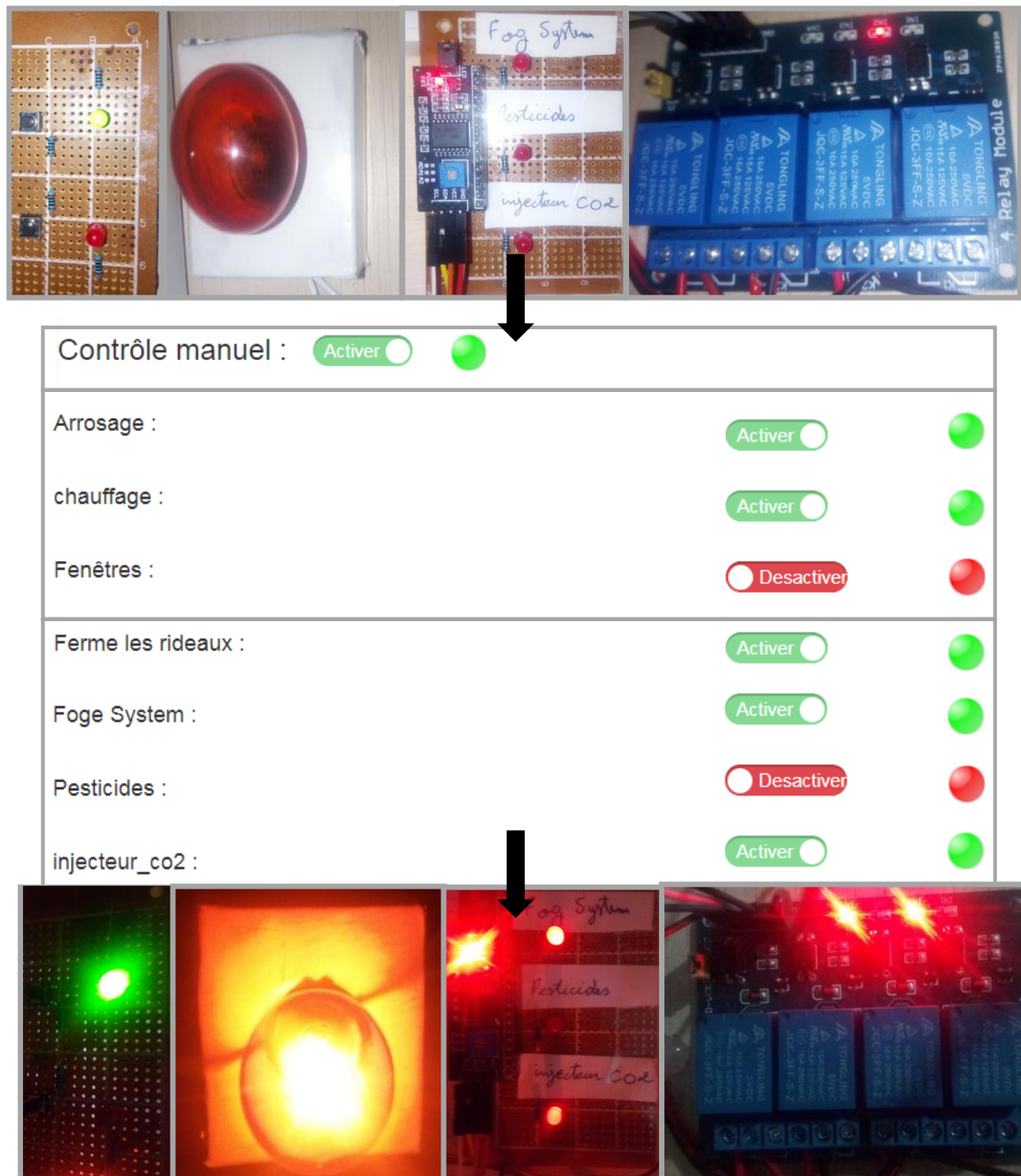


Figure IV.26 : Résultats de la commande manuelle à l'aide de l'application Web.

Remarque : la commande manuelle à l'aide de l'application Web donnent de bons résultats.

IV.9.4. Teste la Sauvegarder des données:

Dans ce projet, nous avons créé une base de données contenant de nombreuses tables que nous avons créées et chaque table contenant des informations spécifiques. Nous avons ensuite chargé notre base de données sur le serveur d'hébergement, afin que le système puisse y accéder de n'importe où et télécharger ou stocker les données.

La Figure IV.27 représente un exemple confirme que les données sont stockées dans la base de données.

	id	temp_in	temp_out	temp_cons	hum_in	hum_out	hum_cons	ldr_in	ldr_out	ldr_cons	recorded
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	1	22	0	0	34	0	0	42	0	0	2019-05-14 19:15:46
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	2	25	0	0	35	0	0	39	0	0	2019-05-14 19:15:46
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	3	26	0	0	33	0	0	44	0	0	2019-05-14 19:15:46
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	4	22	0	0	33	0	0	33	0	0	2019-05-14 19:15:46
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	5	22	0	0	35	0	0	35	0	0	2019-05-14 19:15:47
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	6	23	0	0	34	0	0	34	0	0	2019-05-14 19:15:47
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	7	22	0	0	34	0	0	43	0	0	2019-05-14 19:15:47
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	8	22	0	0	35	0	0	32	0	0	2019-05-14 19:13:38
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	9	25	0	0	34	0	0	35	0	0	2019-05-14 19:13:38

Figure IV.27 : Un exemple confirme que les données sont stockées dans la base de données.

Remarque : Le stockage et le chargement des données dans la base de données fonctionnent bien.

IV.9.6. Teste les performances de la station météo:

La station météorologique fonctionne bien, et la figure IV.28 montre que les valeurs des capteurs sont affichées sur l'écran LCD et que les résultats sont acceptables.



Figure IV.28 : L'afficheur LCD de notre station météo

Voir aussi la figure IV.31, qui montre les données reçues par l'unité maître, ce qui indique que les données ont été correctement envoyées.

IV.9.6. Teste l'affichage des données dans l'interface Homme-Machine:

Après être entré dans la page d'accueil, nous remarquons que l'affichage des données s'effectue correctement.

La Figure IV.28 représente la page d'accueil de notre application web, où les données sont bien affichées.

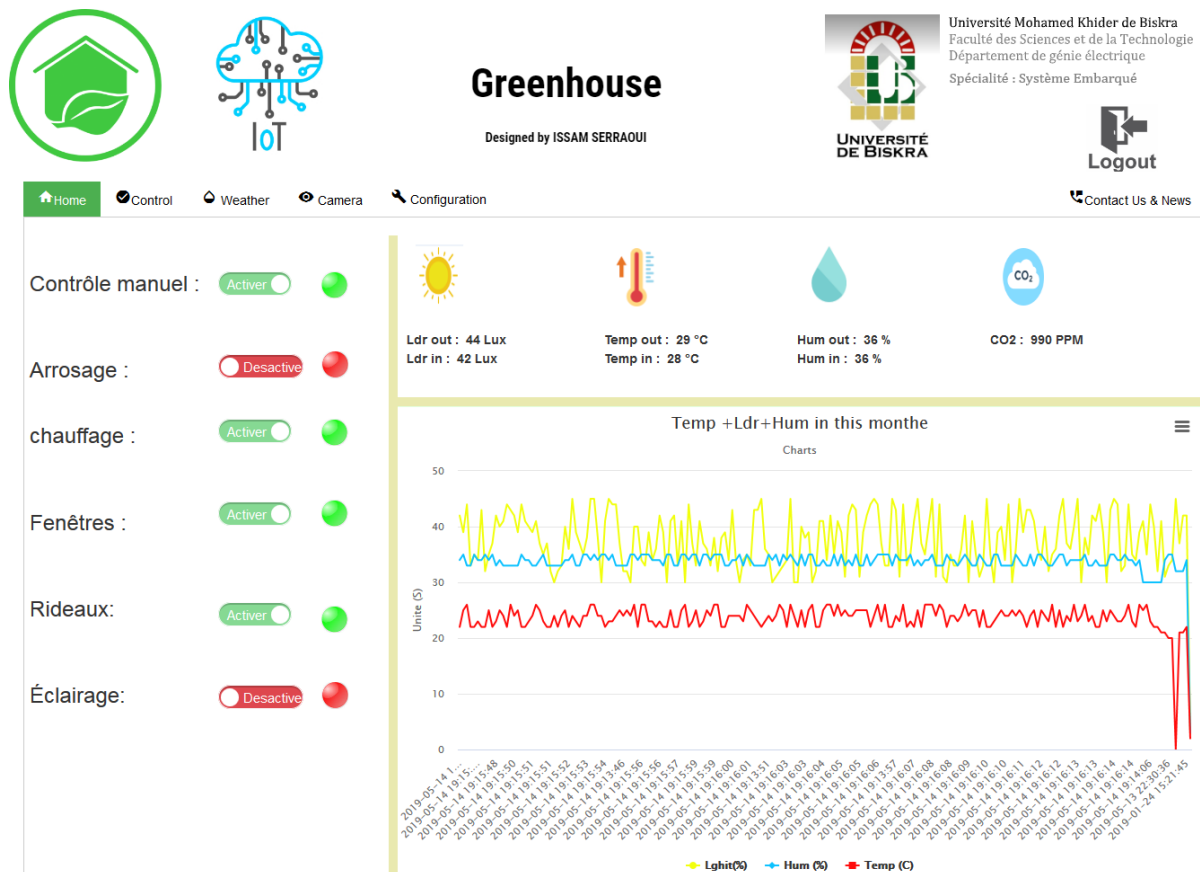


Figure IV.29 : l'affichage des données dans la page d'accueil.

IV.9.7. Teste la communication entre les unités :

Nous avons présenté les résultats de la communication entre les unités dans le moniteur série de chaque port USB connecté à chaque unité.

-La Figure IV.30 représente l'afficheur LCD de notre station météo.

-La Figure IV.31 représente le moniteur série de port USB connecté à l'unité maître.

-La Figure IV.32 représente le moniteur série de port USB connecté à l'unité de l'armoire électrique.

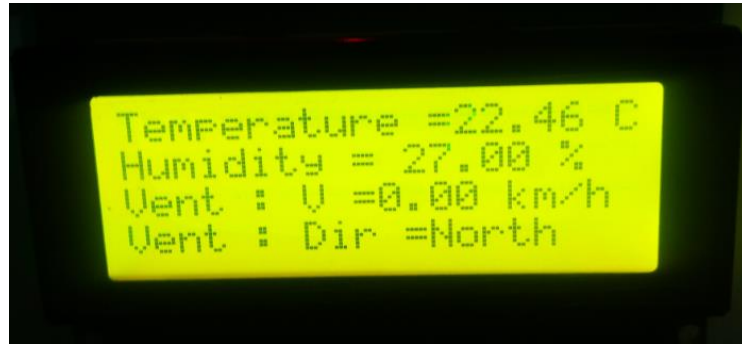


Figure IV.30 : L'afficheur LCD de notre station météo.

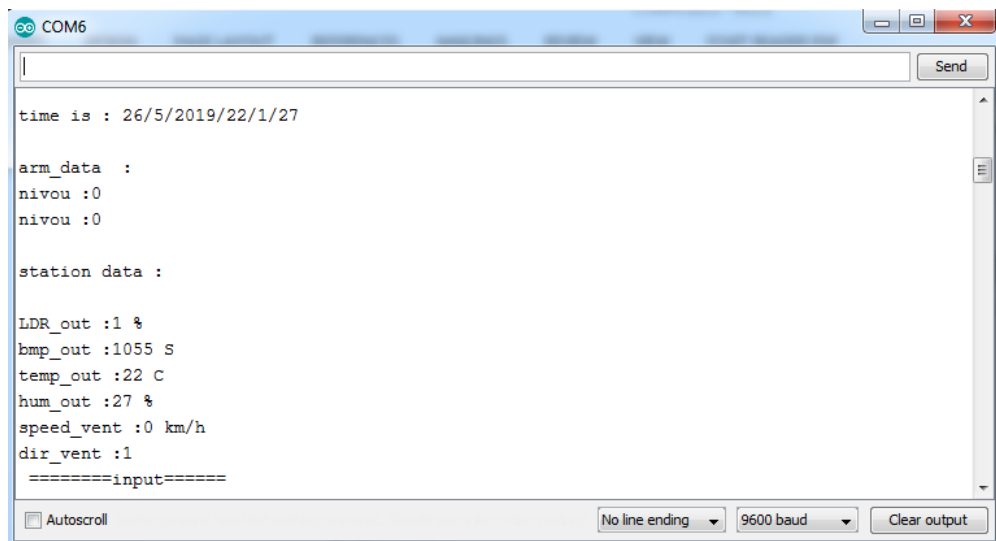


Figure IV.31 : Le moniteur série de port USB connecté à l'unité maître.

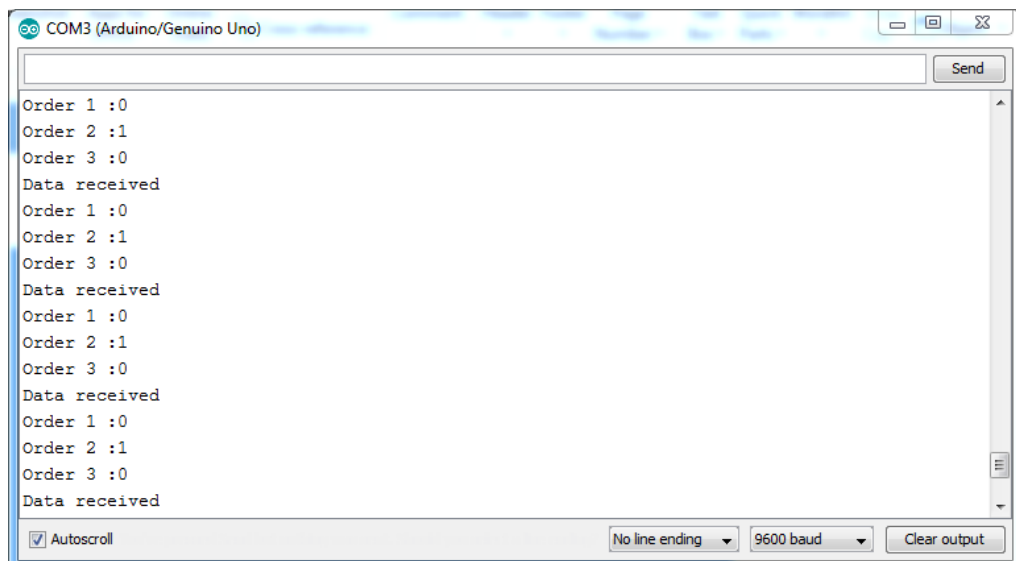


Figure IV.32 : le moniteur série de port USB connecté à l'unité de l'armoire électrique.

Nous remarquons que les données ont été envoyées de la station météo à l'unité maitre, en outre des informations ont été échangées entre l'unité maitre et l'unité de l'armoire électrique.

IV.10. Etude socioéconomique :

Pour estimer le coût de fabrication de notre system de contrôle, nous avons mené une étude économique pour estimer le prix de fabrication:

Composant	Prix unitaire (DA)	Quantité	Total (DA)
NodeMcu	1800	1	1800
Arduino nano	1200	3	3600
LCD 20x4	1200	2	2400
Mini GSM SIM800L	2200	1	2200
nrf24l01	1300	3	3900
RTC	600	1	600
PCF8574	500	3	1500
L293D	450	2	900
LDR	50	2	100
Capteur LM35	200	2	400
Capteur DHT11	600	2	1200
Capteur d'humidité du sol	450	1	450
Relai	15	4	600
Bouton poussoir	20	2	40
Potentiomètre	40	4	160
Module capteur vitesse	500	1	500
		Total	20350

Tableau IV.1. Estimation du prix de revient de notre projet.

D'après le tableau, le prix de revient est de 20 350.00 DA, ce montant n'inclut pas le prix du capteur de CO2, qui sont assez couteux (prix de capteur CO2 12,000.00DA).

IV.11.Conclusion :

Après la phase d'assemblage de la structure et l'installation d'équipement à l'intérieur et à l'extérieur de la serre, nous avons programmé chaque unité (l'unité maitre, station météo, l'unité de l'armoire électrique).

Ensuite, nous avons testé les performances du système et les résultats des tests étaient acceptables et satisfaisants.

Enfin, nous avons terminé ce chapitre par une étude socioéconomique afin de déterminer le cout du system à réalise, ce cout parait acceptable compte tenu des résultats qui nous seront présentés.

CONCLUSION GENERALE

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

Dans les travaux en cours, nous avons essayé de concevoir un système électronique permettant de suivre les différences de paramètres ayant un impact direct sur la production agricole et de les adapter aux besoins des plantes agricoles, afin d'accroître la qualité et la quantité des produits agricoles résultant de la culture en serre, et pour faire face à un marché très concurrentiel.

Comme début, nous avons identifié les critères les plus importants pour la croissance en serre. Pour mener à bien nos travaux et améliorer nos connaissances agricoles, nous avons mis au point les technologies les plus récentes dans les types de serres les plus courants et les divers composants nécessaires à la gestion efficace des paramètres climatiques. Cette connaissance nous a ensuite aidés à mettre au point une régulation du climat conforme aux spécifications du cahier des charges.

Nous avons ensuite choisi une solution technologique pour la partie contrôle, dans laquelle nous avons choisi un microcontrôleur ESP8266 12E pour contrôler notre système. Après cela, nous avons choisi les capteurs et les actionneurs que nous avons utilisés dans notre système, en prenant en compte l'aspect matériel pour être un prix acceptable de notre plate-forme.

Le climat à l'intérieur d'une serre agricole est un système dynamique très complexe, la température et l'humidité à l'intérieur sont non linéaires et fortement couplées par les lois de la thermodynamique, par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de contrôle précises et fortes, pour cela, nous avons utilisé deux types de contrôle, le contrôle par logique floue et le contrôle TOR, qui ont donné des résultats très acceptables et en temps réel.

La plupart des exploitations agricoles algériennes occupant de grandes superficies, où il est nécessaire d'utiliser au moins trois unités de commande, le nombre peut augmenter selon les besoins, mais nous sommes satisfaits avec trois unités dans notre prototype. L'utilisation de l'application Web dans notre projet était une bonne chose pour contrôler à distance la serre agricole et de n'importe où dans le monde.

Ce travail nous a permis de tester et d'améliorer nos connaissances théoriques et pratiques en électronique, en électrotechnique, en mécanique et en informatique. En outre, il a été la source de découvertes de nombreux domaines d'étude tels que: l'agriculture (gestion du climat, types et équipements de serres), la biotechnologie, l'électronique embarquée et l'utilisation de plusieurs outils comme : Matlab/ Toolbox Fuzzy Logic, EasyEDA, Apache, langages de programmation : C/C++, JavaScript, PHP, SQL...etc.

En perspective, nous proposons d'améliorer notre projet à l'avenir en:

- Adapter notre system pour la gestion des serres à grand volume (Serres multi-chapelle).
- L'utilisation d'énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire
- Possibilité de contrôler plusieurs serres en réseau.
- Intégration des systèmes de ferme intelligents utilisés dans les pays développés : système d'irrigation fertilisante, injecteur CO₂, le chauffage d'eau ...etc.
- Utiliser des actionneurs et des capteurs industriels, pour obtenir de meilleurs résultats industriels.
- Contrôler plus de paramètres comme : la température du sol, le PH et la conductivité électrique.
- Utiliser d'autres types de commandes avancées comme les réseaux de neurones.

BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1 : Les Serres agricoles avec des technologies modernes

- [1] K. Mesmoudi, "Etude Expérimentale et Numérique de la Température et de l'Humidité de l'Air d'un Abri Serre Installé dans les Haut Plateaux d'Algérie, Région des Aurès," Thèse de Doctorat Physique Energétique, option énergétique Université de Batna, 2010.
- [2] fr.wikipedia.org/wiki/Serre
- [3] Y. Bouteraa, "Automatisation d'une serre agricole," Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure D'agronomie-El Harrach, 2012
- [4] <https://www.solotecagri.re/fr/serres-multi-chapelles/14-serre-multi-chapelle-largeur-650m.html>
- [5] <https://www.cmf-groupe.com/cmf-cultures/serres-verre/>
- [6] Catalogue de la Société ULMA-Agricola, "Serres-multi chapelle," 2008. [En ligne]. Disponible:https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/1381/Serresmultichapelle-ULMA-Agricola.pdf
- [7] I. Telli, "Gestion Automatique d'une Serre Agricole", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme MASTER, Université de Biskra 2015.
- [8] Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>
- [9] <http://www.acd-serres.fr/fr-8825-4813-6707-sitemap-chauffage-serre.html>
- [10] Vallées, Marise. Comparaison de méthodes de refroidissement et de déshumidification pour une production en serre de tomates biologiques. 2018.
- [11] <https://richel-group.fr/produits/refroidissement/>
- [12] <https://www.hortere.fr/eclairage/>
- [13] <https://www.certhon.com/fr/greenhouse-solutions/innovations/eclairage-de-croissance-led>
- [14] <https://serre.ooreka.fr/fiche/voir/728061/installer-un-eclairage-horticole-dans-une-serre>
- [15] <https://fr.madlovesfarms.com/1041-sodium-lamps-for-greenhouses-characteristics-principle-of-operation-types-and-features-advantages-and-disadvantages>
- [16] <https://www.inverca.es/en/sistemas/co2/>
- [17] <https://blog.jardincouvert.com/utiliser-et-entretenir-une-serre-tunnel/systeme-irrigation-serre/>
- [18] <https://serre.ooreka.fr/comprendre/serre-arrosage>
- [19] <http://www.arrosage-techno.com/arrosage-automatique-pour-serre/>
- [20] <https://www.wkbw.com/longform/360-video-the-ultimate-greenhouse>

Chapitre 2 : Description du système à réaliser

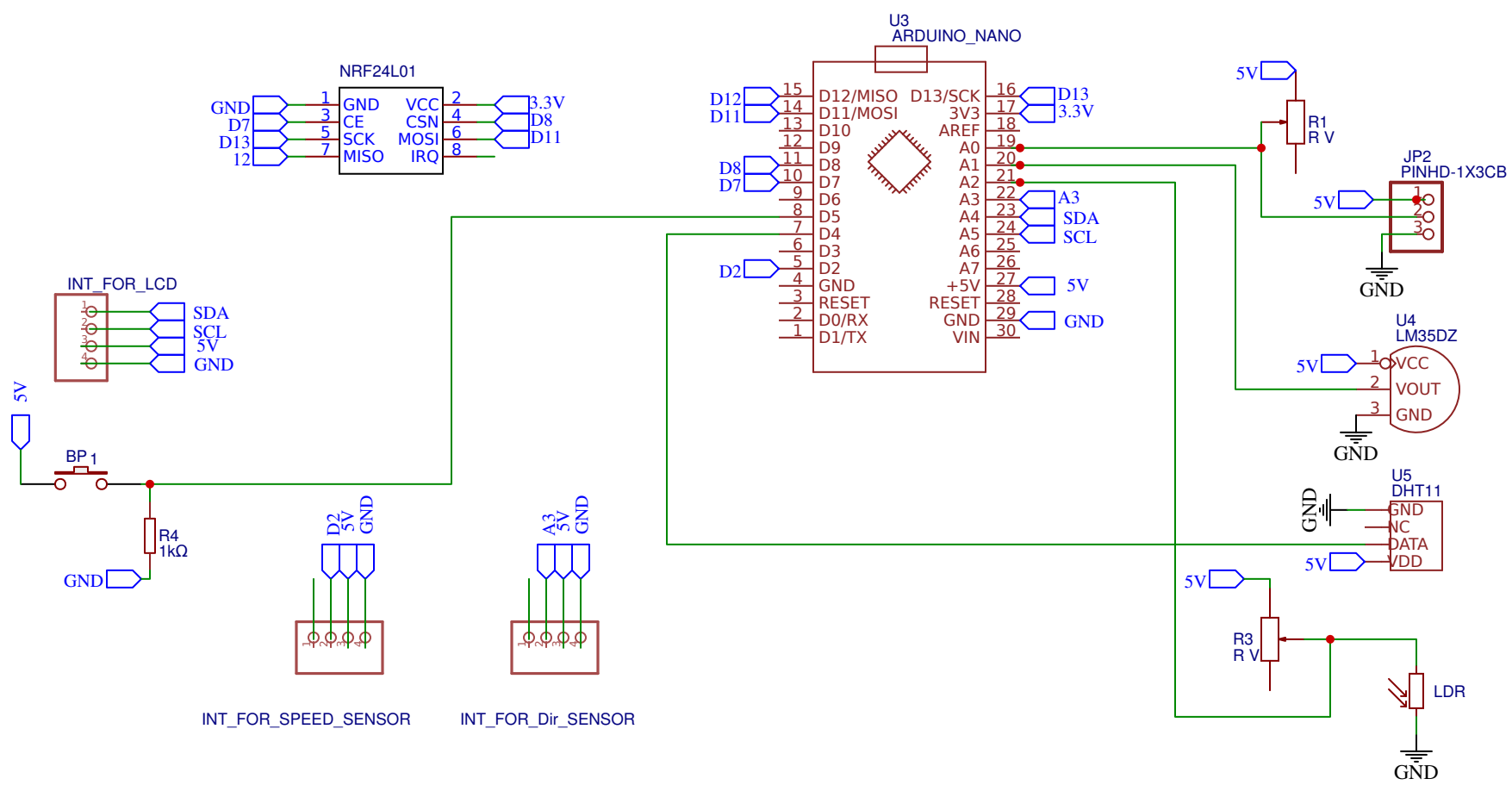
- [21] https://fr.wikipedia.org/wiki/Station_m%C3%A9t%C3%A9orologique
- [22] Datasheet de PIC16F877A-I/P. [En ligne]. Disponible :
http://www.farnell.com/datasheets/1693496.pdf?_ga=2.81822288.736215843.1557575731-698422036.1557575731
- [23] Datasheet de PIC18F4550 -I/P. [En ligne]. Disponible :
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- [24] Datasheet de l'ATMEGA328. [En ligne]. Disponible :
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>
- [25] Datasheet de l'ATMEGA2560 [En ligne]. Disponible :
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf
- [26] <https://www.gotronic.fr/art-module-arduino-nano-12422.htm>
- [27] <https://pighixxx.tumblr.com/post/42591353009/arduino-nano-pinout>
- [28] Datasheet du capteur de température lm35. [En ligne]. Disponible :
http://www.datasheetcatalog.net/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml
- [29] Datasheet du capteur DHT11 [En ligne]. Disponible :
<https://components101.com/dht11-temperature-sensor>
- [30] <https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumidite-dht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino/>
- [31] I. Rguig berra, Y.Allam, " Etude et réalisation d'une station météo connectée par wifi", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme MASTER, Université de M'SILA 2017.
- [32] Datasheet de ESP8266 12E. [En ligne]. Disponible :
<https://www.elecrow.com/download/ESP-12F.pdf>
- [33] <https://components101.com/wireless/esp12e-pinout-datasheet>
- [34] <https://github.com/jdunmire/kicad-ESP8266/issues/44>
- [35] <https://www.teachmemicro.com/nodemcu-pinout/>
- [36] Neil Kolban, "Kolban's book on ESP8266 ", leanpub, 2016.
- [37] <http://tvaira.free.fr/esp8266/nodemcu-lolin-esp8266.html>
- [38] https://www.banggood.com/MG811-Carbon-Dioxide-Gas-CO2-Sensor-Module-Detector-With-Analog-Signal-Temperature-Compensated-Output-p-1383759.html?cur_warehouse=CN

- [39] Datasheet de DS3231 RTC. [En ligne]. Disponible
https://cdn.solarbotics.com/products/datasheets/52110-ds3231_chronodot.pdf
- [40] Documentation du protocole I2C (Wire). [En ligne]. Disponible :
<http://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf>
- [41] Datasheet de nRF24L01+ PA. [En ligne]. Disponible :
<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/datasheet-wir020.pdf>

Chapitre 3 : Commande et régulation automatique

- [42] https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_automatis%C3%A9
- [43] K. Mesmoudi, "Etude Expérimentale et Numérique de la Température et de l'Humidité de l'Air d'un Abri Serre Installé dans les Haut Plateaux d'Algérie, Région des Aurès," Thèse de Doctorat Physique Energétique, option énergétique Université de Batna, 2010.
- [44] Y,El afou. Contribution au contrôle des paramètres climatiques sous serre. Thèse de doctorat. Lille . 2014.
- [45] M.S. Aït Cheikh1, B. Hadj Aïssa1, A. Malek2 et M. Becherif3, Mise au point d'une régulation floue pour serre agricole à énergie solaire. 2010.
- [46] T. Amieur, Commande des Systèmes Non Linéaires par Mode Glissant Flou. Masters thesis, Université Mohamed Khider – Biskra. 2009.
- [47] N.Kermad. Etude et Implémentation sur Microcontrôleur de Contrôleur Flou. 2015. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- [48] Documentation du Fuzzy logic Toolbox. [En ligne]. Disponible :
<https://fr.mathworks.com/help/fuzzy/>
- [49] S.Belkhouche, Etude et Administration des Systèmes de Supervision dans un Réseau Local. Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen 2011.
- [50] A. Henaoui, S. Haffaf Installation et configuration d'un serveur web sous Windows. Thèse de doctorat Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2011.
- [51] <https://www.php.net/manual/fr/preface.php>
- [52] <https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaScript>
- [53] <https://sql.sh/sqldb/mysql>

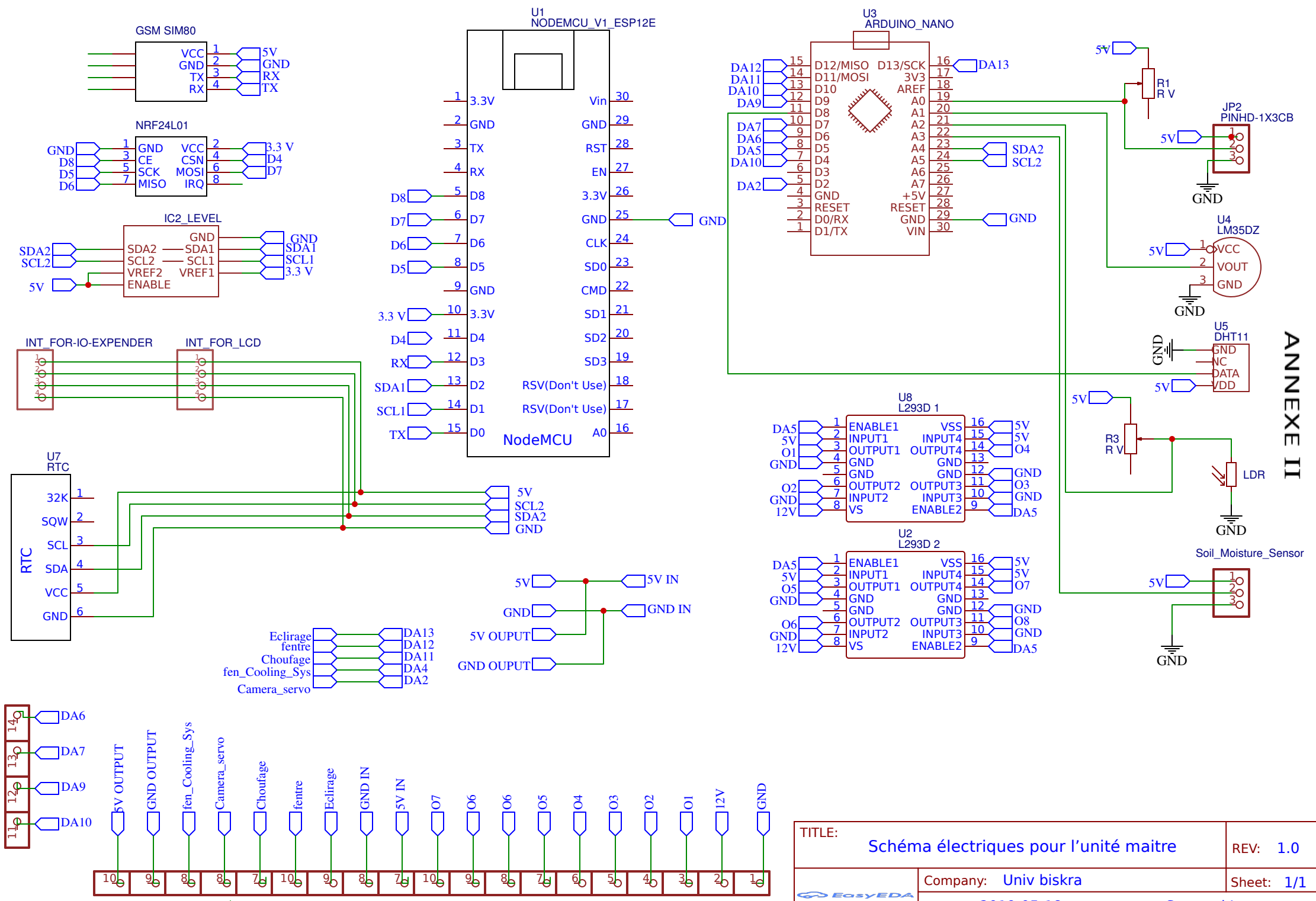
ANNEXES



ANNEXE I

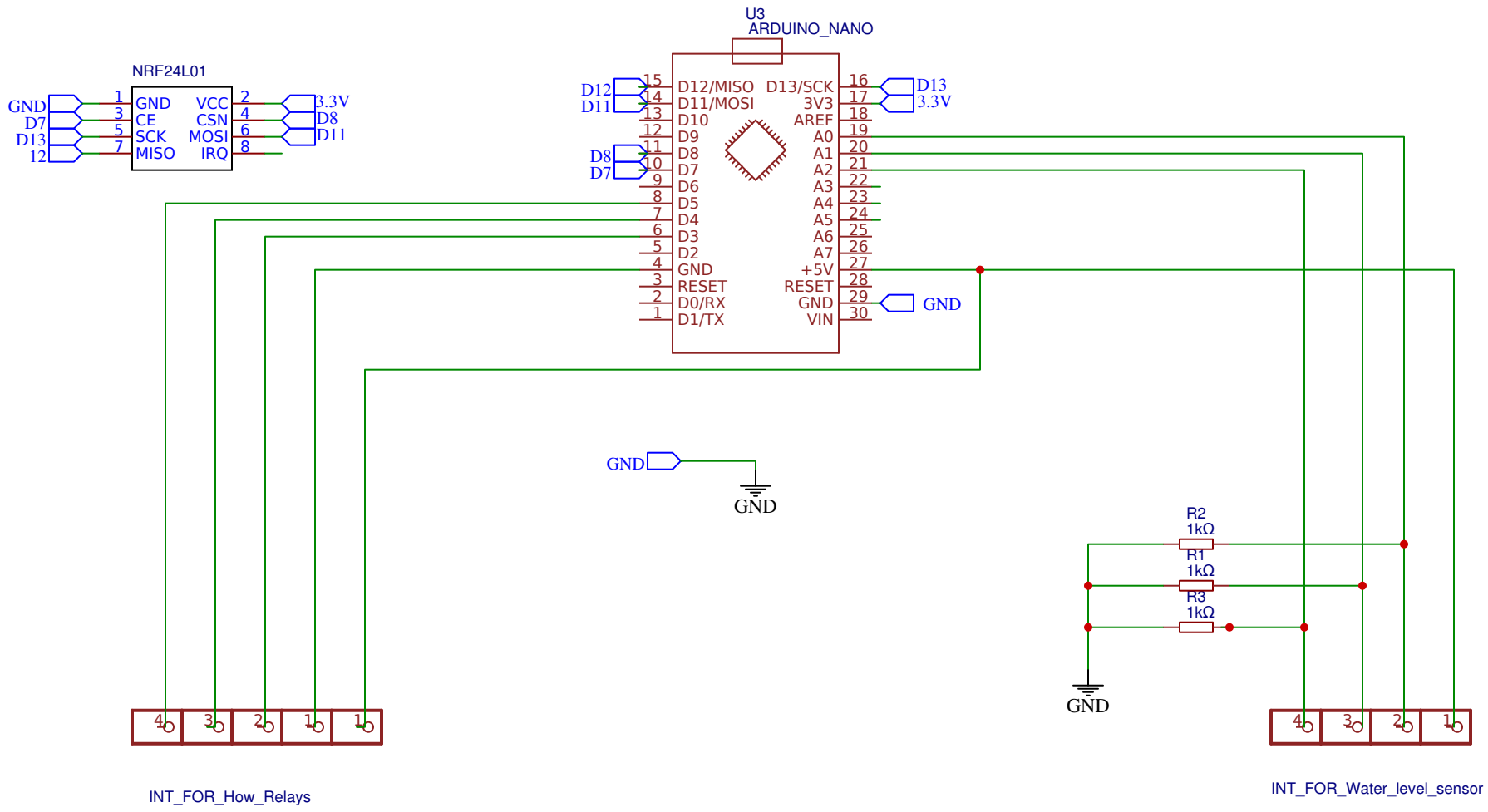
TITLE: Schéma électriques pour la station météo		REV: 1.0
Company: Univ Biskra		Sheet: 1/1
Date: 2019-05-18	Drawn By: Issam-Serraoui	





ANNEXE II

TITLE: Schéma électriques pour l'unité maitre		REV: 1.0
Company: Univ biskra		Sheet: 1/1
Date: 2019-05-18	Drawn By: Serroui Issam	



ANNEXE III

TITLE:		REV: 1.0
Schéma électriques pour la carte du l'armoire électrique		Sheet: 1/1
Company: Univ_Biskra		Date: 2019-05-20
Date: 2019-05-20		Drawn By: Issam-Serraoui

