الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Projet de fin d'études

Présenté pour l'obtention du Diplôme De Master en Électronique

***Spécialité* :** Electronique Des Systèmes Embarqués

THEME

Conception et développement d'une base de données et d'une IHM pour la supervision d'un réseau de capteurs sans fils implanté dans une serre agricole

Proposé et dirigé par

Encadreur : Dr. R. KARA

Co-encadreur : Mr. H. BENYEZZA

Préparé et présenté par

MOULAI MOSTEFA Hanane

ALLAOUI Manel

AnnéeUniversitaire2019-2020

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

إهداء

الحمد لله حمدا كثيرا طيبا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه والصلاة والسلام على سيد الخلق والمرسلين، أما بعد أهدي عملي المتواضع هذا

إلى حبيبي وروحي والنبض الذي يسري في عروقي، إلى الذي وهبني كل ما يملك حتى أحقق له آماله، إلى من كان يدفعني نحو الأمام لنيل المبتغى، إلى مدرستي الأولى في الحياة : **أبي الغالي** أرجو من الله أن يمد في عمرك ويحفظك الله لنا

إلى من حملتني وهنا على وهن، إلى اليد الطاهرة التي أزالت من طريقي أشواك الفشل، إلى من سقتني الحب والحنان وأعطتني من دمها وروحها وعمرها، إلى عصا السحر صانعة السعادة : **أمي الغالية** أدامك الله لنا يا شمعتنا المضيئة

إلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد وإليهم أسند ظهري : **اخوتي**

إلى قدوتي ومشجعتي، إلى من رحلت عن دنيتي ولم ترحل من قلبي : **جدتي** نور عيني رحمها الله عدد ما نبض قلبي شوقا اليها

إلى صاحب السيرة العطرة والفكر المستنير، إلى نجم حياتي وسر وجودي : **جدي** الحنون جعلك الله بركة لنا

إلى مصدر فخري واعتزازي : **أخوالي، خالاتي، بنات خالاتي وأولاد خالاتي**

إلى حبيبتيّ قلبي إلى من بوجودهما أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها، صديقتيّ : **شيماء وحدة**

إلى من قاسمتني هذا العمل، إلى رفيقتي وأختي : **حنان**

إلى كل من وسعتهم ذاكرتي ولم تسعهم مذكرتي ومحلهم القلب

منال

إهداء

الحمد لله حمدا يليق بجلالته وحتى يبلغ الحمد منتهاه، أن بلغنا المنى وحققنا ما طال انتظاره، أن عشنا هذه اللحظات الجميلة بعد أيام مريرة كدنا نبرح فيها لولا أن ألهمنا القوة لنبلغ، وبعد:

إلى العظيم جدا، بطلي الأوحد وفخري الذي لا ينتهي : والدي الحبيب.

إلى العزيزة التي لاتمل من الدعاء ولاتخيب الرجاء، قدوتي في العالمين : أمي الغالية.

إلى صاحب العقل الكبير، شريكي الصغير : عدنان .

إلى أخواتي الرائعات : الحنون، الصديقة واللطيفة المشاغبة.

إلى فراشاتي : خديجة، ريهام، ألآء، إيناس.

إلى المحاربين الصغار : ريان وإبراهيم.

إلى جدتيّ وكل عائلتي.

إلى من تساوي معرفتها كنوز الدنيا : حفصة.

إلى صديقات العمر أمال، شيماء ، وفاء وحدّة.

إلى شريكة الدرب الجميلة منال.

إلى أساتذتي المخلصين، الذين مروا عليّ لكن أثرهم لم يمر.

إلى كل من أحبني ، ساعدني أو دعى لي بالسداد ، إلى زميلاتي وزملائي تخصص ألكترونيك الأنظمة المضمنة الدفعة المميزة دفعة - 2020.

أهدي هذا العمل.

حنان

المدية في : 2020/09/19

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et le courage de terminer ce travail malgré les circonstances que le monde traverse.

En second lieu, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude à Mr.KARA Reda et Mr.BENYEZZA Hamza pour leurs aide, leurs patience, leurs disponibilité et leurs bons conseils qui
ont grandement contribué à la réalisation de cette thèse.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

nos remerciements à nos amis et collègues pour leur soutien et leurs encouragements continus tout au long du parcours de la thèse.

Enfin, Merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

ملخص

يرتكز هذا العمل على دراسة وتصميم وبناء منصة من أجل تخزين ومراقبة والتحكم عن بعد في معلومات البيئة الزراعية كالدفيئات. يتكون هذا العمل من ثلاثة أقسام : القسم الأول يخص إعداد بطاقاتنا الالكترونية و اللاقطات ومختلف المشغلات من أجل : جمع المعلومات حول مناخ الدفيئة للتحكم به لاحقا. وتخزينها في قاعدة بيانات ماي-أسكويال. في القسم الثاني قمنا بتطوير واجهة الإنسان والآلة بالاعتماد على خادم نود-راد الذي يسمح عبر الانترنت بمراقبة عدة دفيئات عن بعد. تصور الاعدادات المناخية في الوقت الفعلي. الحصول على أرشيف القيم وإرساله للمستخدم عبر البريد الألكتروني مع امكانية تطبيق تحكم يدوي. أخيرًا ، تم اختبار النظام المقترح على نموذج أولي لبيت زجاجي زراعي في المختبر. تظهر نتائج الاختبار فعالية ونجاح النظام المقترح.

الكلمات المفتاحية : الدفيئات الذكية – واجهة الانسان والألة – نودراد – قاعدة بيانات ماي أسكويال -انترنت الأشياء.

Résumé

Ce travail consiste à faire l'étude, la conception ainsi que la réalisation d'une plateforme pour le stockage, la supervision et le contrôle à distance des paramètres d'un environnement agricole qui peut être une serre. Ce projet est constitué en trois parties : La première partie concerne la préparation de nos cartes et les différents capteurs et actionneurs pour : collecter des informations sur le climat de la serre agricole pour faire le processus de contrôle ultérieurement, ainsi que les stocker dans une base de données MySQL. Dans la deuxième partie, nous avons développé une Interface Homme-Machine (IHM) basée sur le serveur Node-RED qui permet via internet de : surveiller à distance un ensemble de serres, de visualiser les paramètres climatiques en temps réel, d'obtenir l'historique des données et les envoyer par e-mail à l'utilisateur avec la possibilité d'établir un contrôle manuel.

Enfin, le système proposé a été testé sur un prototype d'une serre agricole dans laboratoire. Les résultats de tests montrent l'efficacité et le succès du system proposé.

Mots clés : Serres intelligentes -IHM- Node-RED- Base de données MySQL – IdO.

Abstract

This work consists of the study, design and realization of a platform for storing, monitoring and remote control of agricultural greenhouse parameters. This project consists of three parts:

The first part concerns the preparation of our cards and the different sensors and actuators to: collect information on the climate of the agricultural greenhouse in order to make the control process later, and store them in a MySQL database. In the second part, we have developed a Human-Machine Interface (HMI) based on Node-RED server that allows via internet to: monitor a set of greenhouses, visualize the climatic parameters in real time, get the history of the data and send them by e-mail to the user with the possibility to establish an manual control.

Finally, in the third part, the proposed system was tested on a greenhouse prototype at the laboratory. The tests results show the effectiveness and the success of the proposed system.

Keywords: Smart greenhouses - HMI- Node-RED- MySQL database – IoT.

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale....1

Chapitre I. Généralite sur les serres....4

I.1.Introduction....4

I.2.Les serres agricoles....4

I.3.Les serres intelligentes....7

I.4.Conditions environnementales dans les serres....7

I.5.Systèmes de contrôle....9

I.6.Réduire la consommation d'énergie dans les serres intelligentes....15

I.7.Conclusion....16

Chapitre II. Généralité sur les bases de données....17

II.1.introduction....17

II.2.La base de données....17

II.3.Notion d'un Systeme de gestion de base de données....20

II.4.le language SQL....24

II.5.Logiciel XAMPP....25

II.6.Création et Manipulation de base de données....29

II.7.Les requêtes SQL....36

II.8.Conclusion....41

Chapitre III. Environnement et outils de travail....42

III.1.Introduction....42

III.2.Internet des objets....46

III.3.Description de l'Interface graphique....48

III.4.La carte Arduino....51

III.5.La carte Raspberry Pi....58

III.6.La communication entre Raspberry Pi et Arduino....69

III.7.Le réseau des capteurs sans fil....77

III.8.Communication radio fréquence....77

III.9.Conclusion....78

Chapitre IV. Réalisation et Implimentation....79

IV.1.Introduction....79

IV.2.Description du systeme....79

IV.3.Principe de fonctionnement de systeme proposé....80

IV.4.Solutions hardware et software.....83
IV.5.Algorithmes.....84
IV.6.Implémentation du système.....87
IV.7.Réalisation du système.....104
IV.8.Conclusion.....105
Conclusion générale.....106

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1:

Figure1. 1: Serre tunnel.....5
Figure1. 2: Serre multi-chapelle.....6
Figure1. 3: Les éléments principeaux dans une serre intelligence.....9
Figure1. 4: La ventilation dans la serre.....10
Figure1. 5: Chauffage dans une serre.....11
Figure1. 6: Systeme de refroidissement “Cooling Pad”.....12
Figure1. 7: Eclairage par LED.....12
Figure1. 8: Arrosage par aspersion.....14

CHAPITRE 2:

Figure2. 1: Une base de données client-serveur[9].....18
Figure2. 2: Bases de donnée centralisées[10].....19
Figure2. 3:Bases de données distribuées [10].....19
Figure2. 4: Les niveaux d’architecture de base de données.....22
Figure2. 5: Exemple de l’en-tete.....23
Figure2. 6: Exemple des données.....24
Figure2. 7: Téléchargement de xampp via terminal.....26
Figure2. 8: Fenetre d’instalation du XAMPP.....27
Figure2. 9: Lancement du serveur XAMPP.....28
Figure2. 10: La page bienvenu du xampp.....28
Figure2. 11: Accueil de phpMyAdmin.....29
Figure2. 12: Base créée et insertion de table.....30
Figure2. 13: Remplissage de champs.....30
Figure2. 14: Types de données MySQL.....32
Figure2. 15: Onglets de la page d’accueil.....33
Figure2. 16: L’onglet SQL.....33
Figure2. 17: Importation d’une table.....34
Figure2. 18: Exportation d'une table.....35
Figure2. 19: L’onglet Opérations pour la base de données.....36
Figure2. 20: Insertion d’un tuples dans une table.....37
Figure2. 21: Insertion d’un tuples sans indiqué le numéro d’ID.....37

Figure2. 22: L'ajoute d’une colonne.....39
Figure2. 23: Renommer une colonne.....39
Figure2. 24: Affichage du champs ‘nom’ de la table ‘test’.....40
CHAPITRE 3:
Figure3. 1: Domains applications de l’IDO.....45
Figure3. 2: Aperçu sur Node Red.....47
Figure3. 3: Installation d'un nouveau nœud à travers ‘Manage palette’.....48
Figure3. 4: Installation de nouveau nœud dans la palette.....49
Figure3. 5: Importation des flows.....50
Figure3. 6: Exportation des flows.....51
Figure3. 7: Les différents types de cartes Arduino.....51
Figure3. 8: Les composants d’une carte Arduino.....56
Figure3. 9: Fenêtre générale de l'application Arduino.....56
Figure3. 10: Présentation des boutons.....57
Figure3. 11: Les composants standards d’un Raspberry.....62
Figure3. 12: Connexion des périphériques.....65
Figure3. 13: raspi-config menu.....67
Figure3. 14: Activation de SSH.....67
Figure3. 15: VNC server "realVNC".....69
Figure3. 16: Communication série entre Raspberry Pi et arduino.....70
Figure3. 17: Un convertisseur de niveau de tension.....70
Figure3. 18: La Communication I2C.....73
Figure3. 19: Trame des données selon le protocole I²C.....73
Figure3. 20: Communication i2c entre Raspberry Pi et arduino.....75
Figure3. 21: réseaux de capteurs sans fils.....77
Figure3. 22: Pins de module nRF24L01+.....78
CHAPITRE 4:
Figure4. 1: Architecture du système proposé.....82
Figure4. 2: L’architecteur interne du système proposé.....82
Figure4. 3: Collection et stockage des données.....85
Figure4. 4: Principe de suppervision et de controle.....86
Figure4. 5: La table Serre1.....87

Figure4. 6: Lire la derniere valeur de la température.....88
Figure4. 7: Affichage de température en temps réel.....89
Figure4. 8: Noeuds d'obtenir des données.....89
Figure4. 9: Le noeud db.....90
Figure4. 10: La fonction " get the last value ".....90
Figure4. 11: Les nœuds pour l'affichage.....91
Figure4. 12: Le noeud I2C.....91
Figure4. 13: Configuration du nœud I2C out.....92
Figure4. 14: Interface de connexion (Welcome page).....93
Figure4. 15: La page d'accueil en français.....94
Figure4. 16: La page d'accueil en arabe.....94
Figure4. 17: Les noeuds de remarques et des conseils.....95
Figure4. 18: Les noeuds de météo.....95
Figure4. 19: Configuration de openweathermap.....96
Figure4. 20: Les informations météorologiques.....96
Figure4. 21: Les noeuds de l'interface d'informations des capteurs.....97
Figure4. 22: Présentation des informations sous forme des jauges.....97
Figure4. 23: Présentation des informations sous forme des graphes.....98
Figure4. 24: boutons d'actualisation.....98
Figure4. 25: Les noeuds de controle.....98
Figure4. 26: Le choix du type du Controle.....99
Figure4. 27: Vue de Contore manuel.....100
Figure4. 28: Les noeuds de controle manuel.....100
Figure4. 29: La configuration de noeud switch.....101
Figure4. 30: Vue de notifications de contrôle automatique.....101
Figure4. 31: Vue d'historique des données.....102
Figure4. 32: Vue d'historique des données d'un temps fixe.....102
Figure4. 33: Les nœuds d'historique d'un jour.....103
Figure4. 34: Vue d'historique d'une période du temps.....103
Figure4. 35: Vue d'image en direct.....104
Figure4. 36: Les nœuds d'affichage de l'image.....104
Figure4. 37: Prototype réalisé.....105

LISTE DES TABLEAUX

Table III.1 : Caractéristiques de la carte arduino uno.....58
Table III.2 : Comparaison entre les modeles du RPI.....59
Table III.3 : La laison serie entre RPI et arduino.....71
Table III.4 : La laison I²C entre RPI et arduino.....74

LISTE DES ABREVIATIONS

AREF : La référence analogique

BD : Base de **D**onnées

C : Celsius

$C_6H_{12}O_6$: Glucose

CE : Chip **E**nable

CO_2 : Le dioxyde de carbone

CSN : Chip **S**elect **N**ot

DBMS : Database **M**anagement **S**ystem

E/S :Entrée/**S**ortie

EEPROM : Electrically-**E**rasable **P**rogrammable **R**ead-**O**nly **M**emory

FPGA :Field-**P**rogrammable **G**ate **A**rray

FTDI : Future **T**echnology **D**evices **I**nternational

GND :Ground (la masse)

GPIO : General **P**urpose **I**nput/**O**utput

H_2O : Monoxyde de dihydrogène

HDMI : High **D**efinition **M**ultimedia **I**nterface

HTML : Hyper **T**ext **M**arkup **L**anguage

HTTP : Protocole de transfert hypertexte

I^2C : Inter-Integrated Circuit

IC :Integrated **C**ircuit

ICSP : In-**C**ircuit **S**erial **P**rogramming ou (Programmation Série Dans le circuit)

IDE : Integrated **D**evelopment **E**nvironment

IdO : Internet **d**es **o**bjets

IEEE :Institute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers

IHM : Interface **H**omme **M**achine

INT : Nombre entier

IoT : Internet **o**f **T**hings

IP : Internet **P**rotocol

JS : Java **S**cript

JSON :JavaScript **O**bject **N**otation

KB : Kilo-**B**it

KO :Kilo-**O**ctet

KWh :kilowatt-heure

LCD : Langage de **C**ontrôle de **D**onnées

LCD :Liquid **C**rystal **D**isplay

LCT : Langage de **C**ontrôle de **T**ransaction

LDD : Langage de **D**éfinition de **D**onnées

LED : Light **E**mitting **D**iode

LMD : Langage de **M**anipulation de **D**onnées

Lx : Réception **D**ata

m : Mètre

mA : Milliampère

MDI : Medium **D**ependent **I**nterface

MHz : MegaHertz

MISO : Multi-**I**nput **S**ingle-**O**utput

MOSI : Multi-**O**utput **S**ingle-**I**nput

MySQL : (Michael Widenius) Structured Query Language

O_2 : Oxygene

PH : Le potentiel hydrogène

PHP : Hypertext Preprocessor

POO : Programmation **O**rientée **O**bjets

PWM : Pulse **w**idth **M**odulation (Modulation de la largeur des pics)

RAM :Random **A**ccess **M**emory (mémoire vive)

RCA : Radio **C**orporation of **A**merica

RF : **R**adio **F**réquence

RFID : Identification radiofréquence

RPI : Raspberry **P**i

Rx : Réception **D**ata

SCK : **S**erial **C**lock

SCL : Serial **C**lock **L**ine

SDA : Serial **D**ata **L**ine

SGBD : Système de **G**estion de **B**ases de **D**onnées

SGBDOO : Système de **G**estion de **B**ases de **D**onnées **O**rientée **O**bjets

SGBDR : Système de **G**estion de **B**ase de **D**onnées **R**elationnel

SLC: Serial **C**lock **L**ine

Smtp : Le sigle de **S**imple **M**ail **T**ransfer **P**rotocol

SPI : Interface **S**érie **P**ériphérique

SQL : Structured **Q**uery **L**anguage

SRAM : Static **R**andom **A**ccess **M**emory (mémoire vive statique)

SSH : Secure **Sh**ell

TIC : Technologies de l'**i**nformation et de la **c**ommunication

TTL : Transistor-**T**ransistor **L**ogic

TWI : Two **W**ire **I**nterface ou Interface 2 fils

Tx : émission data

UART: Universal **A**synchronous **R**eceiver **T**ransmitter ou (émetteur-récepteur asynchrone universel)

USB : Universal **S**erial **B**us

V : Volt

VARCHAR : Chaines de caractères

VIN : La tension d'entrée positive

VNC: Virtual **N**etwork **C**omputing

W : Watt

Web : World **W**ide **W**eb

WIFI : Wireless **F**idelity

XML : Extensible **M**arkup **L**anguage

Introduction générale

La culture sous serre agricole connait depuis plusieurs années, un développement important dans tous les pays concernés par la volonté d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles, destinés à la consommation alimentaire des populations et à leurs cadres de vie.[1]

La serre agricole est un endroit propice pour cultiver des légumes et des fruits dans des conditions environnementales qui se rapprochent de l'idéales, du fait que l'on peut contrôler le climat en serre (la température, l'humidité, l'irrigation, le taux de dioxyde de carbone et l'intensité lumineuse) et les protégées des intempéries.

La technologie de l'Internet des Objets (IdO) permet aux agriculteurs de surveiller et prendre le contrôle de leurs champs agricoles à distance. Elle permet également de réguler automatiquement les données climatiques en agissant sur un certain nombre d'actionneurs.

L'objectif principal de notre travail est de créer un système de serre connectée et intelligente. Ce système collecte en temps réel des données relevées par différents capteurs préalablement placés dans la serre. Ces données sont envoyées via la communication radio à un système central pour être stocker dans une base de données. Les données sont affichées à l'aide d'une interface home machine. Cette IHM permet également de contrôler certains paramètres de la serre.

Pour atteindre cet objectif, nous avons développé une plateforme matérielle composée d'une carte Raspberry Pi dont le rôle est de gérer la base de données et de contrôler les paramètres climatiques de la serre et d'une carte Arduino dont la tache principale est la commande des actionneurs et la collecte des données fournies par les différents capteurs.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

- **Le 1er chapitre** présente quelques généralités sur les serres agricoles et les serres intelligentes ainsi les paramètres climatiques qui contrôlent la croissance des plantes.
- **Le 2ème chapitre** contient le concept de bases de données et les sytèmes de la gestion des bases de données, ainsi que les étapes de création une base de données et des tables.
- **Le 3ème chapitre** contient le concept de l'Internet des Objets ainsi que les outils hardware et software utilisés.

- **Le 4ème chapitre** présente l'environnement de travail ainsi que les resultat d'implimentation de notre système dans une serre, ainsi que la presentation de quelque fenêtre de notre application et les organigrammes de fonctionnements.

Et enfin, nous terminerons ce mémoire avec une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :

Généralité sur les serres

Chapitre I. Généralite sur les serres

I.1. Introduction

La culture sous serre a évolué, passant de simples rangées couvertes de cultures en plein champ nécessitant des soins humains pour contrôler l'état optimal de la serre à des installations très sophistiquées d'agriculture en environnement contrôlé.

Nous donnerons dans ce chapitre une vue globale sur les serres agricoles et présenterons leurs différents types, ainsi que les paramètres climatiques qui agissent sur la croissance des plantes.

Ensuite, nous décrirons le concept de serres intelligentes qui représente une nouvelle génération de serre basée sur Internet des objets (IdO). Cette évolution a permis la surveillance et le contrôle intelligent du climat interne ce qui confère une certaine autonomie et réduit l'intervention humaine.

I.2. Les serres agricoles

La serre agricole est un bon endroit pour cultiver des légumes et des fruits où les conditions environnementales des plantes sont idéales.

I.2.1. Définition des serres agricoles

Une serre est une structure qui est en général fermé ou partiellement ouvert destinée, en général, à la production agricole, ou une enceinte destinée à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire. L'objectif étant d'adapter l'environnement immédiat de la plante en créant un micro-climat pour une meilleure gestion des besoins des plantes, pour accélérer la croissance des plants et pour allongé la saison de production .[2]

I.2.2. Les différents types des serres et ses caractéristiques

La classification des serres est très complexe est plus difficile, elle est souvent faite selon les formes données par les cadres porteurs qui constituent l'assemblage, on distingue deux principaux types appartenant à deux grandes familles de serres: Les serres tunnels et les serres chapelles.

I.2.2.1. Les serres tunnels

La serre tunnel est formée de beaucoup d'arches métalliques et Bien planté dans la terre (Figure 1.1), 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 très utilisé en Algérie.[3]



Figure1. 1: Serre tunnel

Les Caractéristiques 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 m^2 .
- Généralement existe deux portes.

I.2.2.2. Les Serres chapelles

La chapelle est l'unité de construction de la serre formée par deux parois latérales verticales et un toit à deux pentes (Figure 1.2), généralement symétriques, les serre chapelles 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 [3].



Figure1. 2: Serre multi-chapelle

Caractéristique des serres chapelles:

- Grande volume intérieur : Sa hauteur atteint 6 mètres et la superficie peut dépasser 100m^2.
- Les éléments en aluminium ou fer : ce sont les poteaux d'installation et les arches en tôle d'aluminium.
- Matériaux utilisés dans la couverture : soit la film plastique, les matériaux semi-rigides ou bien les plaques rigides.
- La nature de la structure permet la bonne exploitation du rayonnement solaire.
- Elles procurent une aération uniforme de l'installation.
- Aérations au faîtage ou latérales.

I.2.3. Les avantages des serres agricole

La serre de culture offre les avantages suivants [4]:

- Augmenter le rendement de la production agricole.
- Améliorer la qualité des produits agricoles.
- recréer un environnement donné (microclimat)
- Une protection contre les maladies.
- Permet de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid)

- Production de légumes et de fruits en hors saison.
- Cette conception fournit des solutions rentables et optimales pour les agriculteurs avec une intervention manuelle minimale.

Donc, Pour aboutir à ces résultats et pour répondre aux besoins des plantes et leur libération du climat extérieur, il faut déterminer les paramètres climatiques qui contrôlent la croissance des plantes, et mis en place des systèmes automatique pour le contrôle et la régulation ces paramètres avec précision.

I.3. Les serres intelligentes

Les serres contrôlent les paramètres environnementaux par une intervention manuelle qui prendre beaucoup de temps et entraîne une perte d'énergie et des coûts de main-d'œuvre, ces méthodes sont moins efficaces. De ce fait, le concept de la serre intelligente est conçue à l'aide de l'IoT; pour surveille et contrôle intelligemment le climat, éliminant ainsi la nécessité d'une intervention manuelle.

I.4. Conditions environnementales dans les serres

La température, l'humidité, la teneur en CO_2 et la lumière restent jusqu'à maintenant parmi les paramètres les plus influents dans la production des plantes.

Pour améliorer leurs rentabilités, il est indispensable de faire d'optimiser le climat environnant aux cultures.

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

I.4.1. La température ambiante

La croissance des plantes dépend en grande partie de la température. Pour chaque type de culture, il y a un intervalle de températures optimales nécessaire qu'on appelle plage de températures de consigne pour la croissance et le développement des plantes.

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. [4]

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

I.4.2. Lumière et rayonnement solaire

La plupart des légumes nécessitent au moins 8 heures de lumière par jour pour produire de manière satisfaisante. Dans des zones très nuageuses ou durant les courtes journées d'hiver, un éclairage supplémentaire devant être nécessaire.

I.4.3. Influence de l'humidité

L'humidité de l'air et celle du sol sont deux facteurs importants pour la croissance des plantes. En période nocturne, les serres étant généralement fermées, l'humidité relative de l'air y est élevée. Des considérations se produisent fréquemment au niveau des parois et peuvent tomber sur la végétation créant ainsi des conditions particulièrement favorables au développement des maladies cryptogamiques. [2]

I.4.4. Le gaz carbonique CO_2

Le gaz carbonique (CO_2) est indispensable au phénomène de la photosynthèse (également appelé assimilation chlorophyllienne), grâce auquel les plantes vertes utilisent l'énergie lumineuse pour transformer le CO_2 en eau et en sucre.

Ces sucres servent ensuite à divers mécanismes de croissance contrôlés par le processus de la respiration.

$$6\,CO_2 + 6H_2O + \text{Energie lumineuse} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

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 CO_2 accroît la productivité en améliorant la croissance et la vigueur des plants. L'apport de CO_2 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 CO_2 comme un élément nutritif. [3]

I.5. Systèmes de contrôle

La figure 1.3 illustre les éléments principaux qui composent un système de serre intelligente.

Il existe de nombreuses techniques utilisées pour contrôler l'environnement des serres. Dans ce qui suit, on présente certaines des techniques plus utilisées pour contrôler les facteurs environnementaux.

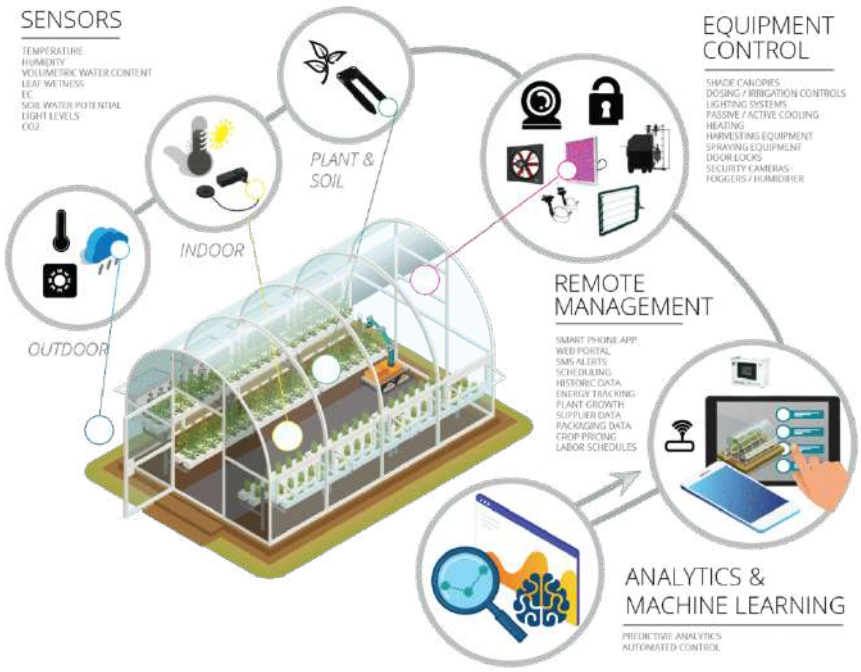


Figure1. 3: Les éléments principeaux dans une serre intelligence

I.5.1. Système de ventilation

Le traitement de l'air a une fonction importante lorsque la culture est dans un espace fermé. Un ventilateur (La figure1.4) permet de renouveler l'air et d'apporter du CO_2 nécessaire à la photosynthèse tout en garantissant une régulation de la température et de l'hygrométrie. Le mouvement horizontal de l'air offre plusieurs avantages. Plus particulièrement, il réduit sensiblement les gradients de la température dans la serre et diminue le taux d'humidité. Il favorise ainsi une grande homogénéité du climat sous serre. [3]

Les ventilateurs sont placés en fonction des besoins des plantes et de la forme de la serre pour adapter la température, l'humidité et la pression atmosphérique au maximum possible.

Une mauvaise aération peut engendrer des difficultés de nouaison, le développement des maladies et une qualité du fruit médiocre (mauvaise coloration, faible tenue, fruit creux...).



Figure1. 4: La ventilation dans la serre

En période hivernale, allant de Décembre à Février, les abris doivent être manipulés de la façon suivante :

- Fermer totalement les tunnels pendant la nuit et assurer une bonne étanchéité des abris-serre.
- Ouvrir tôt le matin afin d'éliminer l'excès d'humidité.
- Fermer un peu plus tôt l'après-midi pour emmagasiner la chaleur et ce afin de garder une température proche de l'optimum pendant la nuit.

De Septembre à Novembre et de Mars à Mai on laisse ouverts, pendant la nuit, les côtés opposés aux vents dominants et on ouvre au maximum l'abri durant la journée afin d'éliminer l'excès de chaleur et d'humidité. Toutefois, on peut utiliser du filet insect-proof afin d'éviter l'envahissement des serres par les insectes ravageurs et vecteurs de maladies virales.

I.5.2. Système de Chauffage des Serres

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. Figure1.5 illustre un chauffage installé à l'intérieur d'une serre agricole.



Figure1. 5: Chauffage dans une serre

I.5.3. Système de refroidissement

Le Systèmes de refroidissement utilisés pour ombrager la serre et limiter l'augmentation de la température à l'intérieur de celle-ci. Il y a plusieur méthodes de refroidissement d'une serre :

- Rideaux d'ombrage.
- Panneaux humides de refroidissement.
- Brouillard Basse Pression.
- Cooling Pad (Figure1.6)

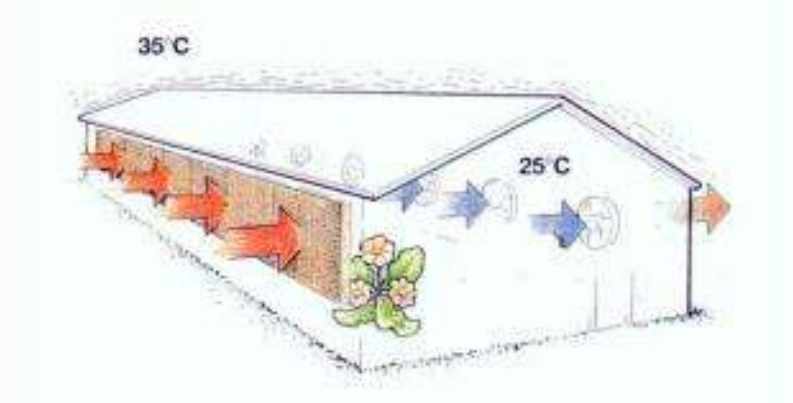


Figure1. 6: Systeme de refroidissement "Cooling Pad"

I.5.4. Système d'éclairage artificielle

La lumière est aussi 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).[5]

Il y a plusieurs méthodes pour éclairer une serre :

- Éclairage par LED (Figure1.7).
- Éclairage par lampe de sodium haute pression.
- Les tubes fluorescents.



Figure1. 7: Eclairage par LED

I.5.5. Système d'irrigation

Il peut être bon de penser à un système d'irrigation. En effet, un système d'arrosage automatique comporte de nombreux avantages :

- 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 :

- 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.
- Irrigation par aspersion (Figure1.8)**:** 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.



Figure1. 8: Arrosage par aspersion

I.5.6. Système d'ouverture des serres

Le système d'ouverture des serres permet d'aérer la serre afin d'ajuster la température, de l'humidité, de CO_2, etc . Un système de contrôle de température peut être réalisé en utilisant un capteur de température, qui se fait lire par un circuit électronique, qui lui décide à partir de quelle et jusqu'à quelle température il faut maintenir ouvert (Grâce à un petit moteur et un mécanisme de transformation du mouvement). [6]

I.5.7. Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement et de climat intérieur et extérieur des serres est une opération importante dans le cas des serres intelligentes automatisées. Elle est basée sur l'utilisation des divers capteurs à déployés à l'intérieur et à l'extérieur de la serre. Ces capteurs doivent être reliés à un système (filaire ou sans fil) de capture qui collecte en temps réel et d'une manière permanent les données fournies par ces capteurs.

I.6. Réduire la consommation d'énergie dans les serres intelligentes

La serre a besoin d'énergie pour son fonctionnement, L'éclairage et le chauffage sont généralement les plus grands facteurs d'augmentation de la dépense énergétique. Pour optimiser et réduire la consommation énergétique des serres en hiver on doit [7] :

- Évaluer la consommation énergétique **:** L'idéal est d'évaluer sa consommation d'énergie hivernale avant de commencer sa production, Ce calcul permet de connaître la consommation en KWh par équipement durant cette période et de déterminer si cette avenue est rentable.
- Le bon choix de la culture : On doit également choisir une culture résistante au froid et populaire. Une culture qui résiste bien au froid, mais qui n'est pas populaire en hiver sera moins rentable.
- Optimiser l'espace : Une serre plus grande a une meilleure capacité de production, mais est plus coûteuse à chauffer. Des tables peuvent être utilisées pour gagner de l'espace et limiter les frais de chauffage.
- Utiliser des écrans thermiques : Il y a une grande perte de chaleur durant la nuit. Les écrans thermiques empêchent la chaleur de sortir massivement la nuit. Ils permettent une économie d'environ 40 % sur les frais de chauffage.
- Mis un plan d'agrandissement : le plan d'agrandissement par phase, est une bonne façon de répartir les dépenses associées à la culture en serre sur quelques années. On peut commencer par une serre avec moins de chapelles pour réduire les coûts d'automatisation de la serre, d'achat d'équipement et de consommation énergétique, pour voir l'intérêt du marché et d'apprendre à gérer les coûts de production.

Plus tard on peut agrandir la culture, Une culture de grand volume permet de faire un profit et de compenser la dépense énergétique supplémentaire.

- L'isolation de la serre : augmentation du nombre de parois, matériaux isolants, écran thermique en toiture et en paroi).
- La récupération d'une partie des eaux de pluies : contribuant à économiser la ressource en eau.

I.7. Conclusion

Ce chapitre a été pour nous l'occasion de présenter les caractéristiques et les types des serres les plus populaires. De plus, nous avons aborder les développements de ces techniques agricoles et en particulier l'application de l'internet des objets pour les transformer en serres intelligentes. Enfin, nous avons exposé d'une part, les conditions environnementales qui influent le plus sur la croissance des cultures sous serre et d'autre part, les différents systèmes automatiques nécessaires à la gestion efficace de ces serres.

En effet, pour obtenir les meilleures performances en termes de rendement agricole, nous avons besoin de connaitre à chaque instant les données relatives aux conditions climatiques dans la serre. Le moyen le plus efficace est de regrouper ces données dans une base de données. Avec cette dernière, nous pourront obtenir un tableau de bord exhaustif de la situation climatique à l'intérieur de la serre. Cette technique nous permettra de mettre en œuvre une stratégie de contrôle efficace.

Dans le chapitre suivant, nous introduirons les techniques relatives aux bases de données et nous vous présenterons celles que l'on utilisera pour gérer les données climatiques d'une serre.

Chapitre II:

Généralité sur les bases de données

Chapitre II. Généralité sur les bases de données

II.1. introduction

Une base de données est un outil informatique robuste et capable de supporter de forts volumes de données. De plus, elle permet de gérer finement les droits d'accès. Enfin, elle permet de réaliser des calculs complexes. Ces quatre arguments massue expliquent à eux seul l'intérêt de ce genre d'outils.

Comme nous avons vu précédemment, la gestion d'une serre agricole nécessite l'exploitation et le stockage d'un grand nombre de données. C'est pour cette raison que nous avons eu recours aux bases de données.

Dans ce chapitre, nous aborderons les notions importantes sur les bases de données ainsi que leurs différents types. Ensuite, nous citerons quelques informations sur les systèmes de gestion des bases de données et leurs niveau et modèles de description.

Enfin, nous décrirons en détail les étapes pour créer une base de données, des tables nécessaires à la gestion des données et les requêtes SQL nécessaires à la manipulation des données (la modification, la suppression, etc.).

II.2. La base de données

Les Bases de données occupent aujourd'hui une place de plus en plus importante dans les systèmes informatiques.

II.2.1. Définition d'une base de données

Il est difficile de donner une définition exacte de la notion de base de données. Si bien que l'on distingue les quelques définitions suivantes :

Une base de données (son abréviation est BD, en anglais DB : DataBase) est une entité dans laquelle il est possible de stocker des données de façon structurée et avec le moins de redondance possible. Ces données doivent pouvoir être utilisées par des utilisateurs différents.

En d'autres termes, une base de données est un ensemble de données organisé en vue de son utilisation par des programmes correspondant à des applications distinctes et de manière à faciliter l'évolution indépendante des données et des programmes. [8]

Figure2.1 illustre le principe d'une base de données client-serveur.

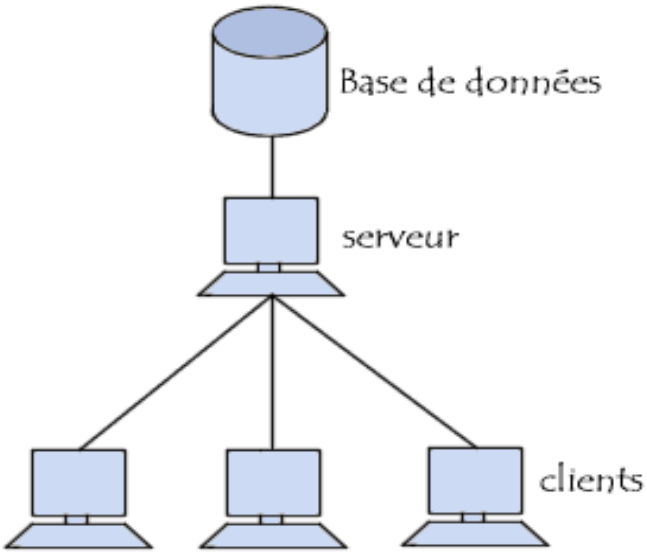


Figure2. 1: Une base de données client-serveur[9]

II.2.2.Les utilité d'une base de données

Une base de données permet de mettre des données à la disposition d'utilisateurs pour une consultation, une saisie ou bien une mise à jour, tout en s'assurant des droits accordés à ces derniers. Cela est d'autant plus utile que les données informatiques sont de plus en plus nombreuses.

L'avantage majeur de l'utilisation de bases de données sont la possibilité de pouvoir être accédées par plusieurs utilisateurs simultanément, D'assurer l'indépendance entre les données et les traitements et D'offrir des langages de haut niveau pour la définition et la manipulation des données.

II.2.3.Les types de base de données

On distingue deux types de base de données :

A. Bases de données centralisées : Une base de données centralisée (Figure2.2) est gérée par un seul système de gestion de base de données (SGBD).

Ses divers traitements sont confiés à une seule et même unité de traitement.

B. Bases de données distribuées : Le deuxième type (Figure2.3) peut avoir différents matériels informatiques (hardware), systèmes d'exploitation, SGBD, et différents schémas de base de données (la structure décrite dans un langage formel qui soutient le modèle géré par le SGBD).

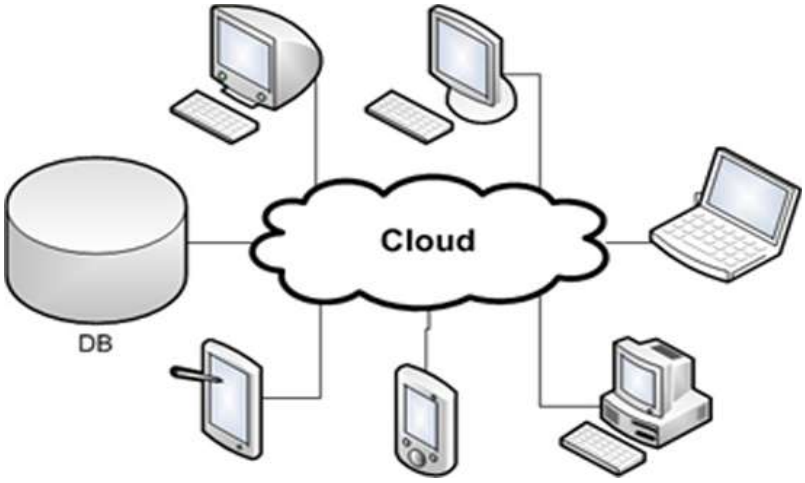


Figure2. 2: Bases de donnée centralisées[10]

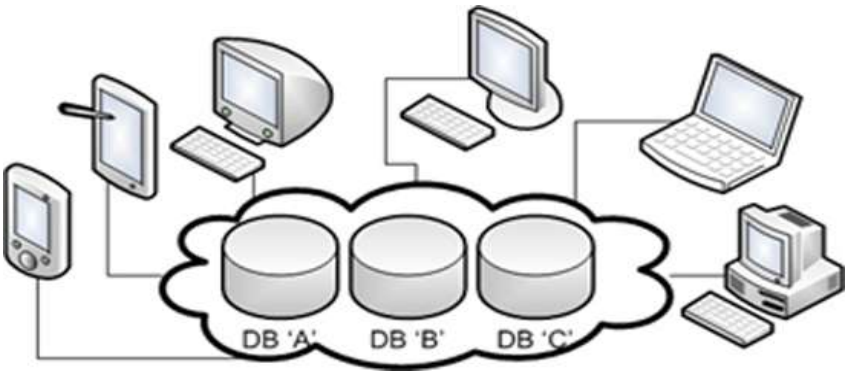


Figure2. 3:Bases de données distribuées [10]

II.2.4.L'Objectifs d'une base de données

La base de données a beaucoup d'objectifs parmi lesquels nous pouvons citer[11] :

1. Centraliser l'information : Ensemble unique de stockage et non redondance de l'information.
2. Centraliser les contrôles : Contraintes d'intégrité au sein de la BD et modifications aisées des règles de gestion.
3. Rendre indépendant les données et les programmes : Modification de la structure des données sans toucher aux traitements.
4. Faciliter l'accès aux données : Langage standard d'accès aux données (SQL).

II.3. Notion d'un Systeme de gestion de base de données

Afin de pouvoir contrôler les données ainsi que les utilisateurs, le besoin d'un système de gestion s'est vite fait ressentir. La gestion de la base de données se fait grâce à un système appelé SGBD (système de gestion de bases de données) ou en anglais DBMS (Database management system).

Un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) est un logiciel qui permet de stocker des informations dans une base de données. Un tel système permet de lire, écrire, modifier, trier, transformer ou même imprimer les données qui sont contenus dans la base de données. [12]

Parmi les logiciels les plus connus il est possible de citer : MySQL, PostgreSQL, SQLite, Oracle Database, Microsoft SQL Server, etc.

II.3.1.Les Objectifs d'un SGBD

Les bases de données et les systèmes de gestion de base de données ont été créés pour répondre à un certain nombre de besoins et pour résoudre un certain nombre de problèmes. Ces objectifs sont les suivants [13]:

- Indépendance physique :la façon de définir les données doit être indépendante des structures utilisées pour leur stockage.

- Indépendance logique : un utilisateur doit pouvoir percevoir seulement la partie des données qui l'intéresse (c'est ce que l'on appelle une vue) et modifier la structure de celle-ci sans remettre en cause la majorité des applications.

- Administration facilitée des données : par des non informaticiens, ce qui suppose des langages naturels.

- Efficacité de l'accès aux données et obtention de résultats aux interrogations en un temps acceptable.

- Cohérence des données : Les contraintes d'intégrité sont les règles que les données doivent respecter pendant les mises à jour. Le SGBD doit connaitre ces règles et les imposer au programme pendant les mises à jour des données, pour assurer la cohérence de la base de données.

- Partage des données : pour un accès multi-utilisateur simultané aux mêmes données. Il faut entre autres assurer un résultat d'interrogation cohérent pour un utilisateur consultant une base pendant qu'un autre la modifie

- Sécurité : robustesse vis-à-vis des pannes ,il faut pouvoir retrouver une base saine en cas de plantage au cours de modifications, et protection par des droits contre les accès non autorisés.

II.3.2.Le paradigme client – serveur

La plupart des SGBD sont basés sur un modèle Client - Serveur. C'est-à-dire que la base de données se trouve sur un serveur qui ne sert qu'à ça. Et pour interagir avec cette base de données, il faut utiliser un logiciel client qui va interroger le serveur et transmettre la réponse que le serveur lui aura donnée. Le serveur peut être installé sur une machine différente du client.

Par conséquent, lorsque on installe un SGBD basé sur ce modèle, on installe en réalité deux choses : le serveur et le client.

Chaque requête (insertion, modification ou lecture de données) est faite par l'intermédiaire du client. Jamais nous ne discuterons directement avec le serveur, nous avons donc besoin d'un langage pour discuter avec le client, pour lui donner les requêtes que nous souhaitons effectuer. [14]

II.3.3.Niveaux de description

Dans une architecture de BDD (base de données), on distingue généralement trois niveaux de description (ou d'abstraction) qui sont [13]:

- Niveau interne (ou physique) : concerne le stockage des données au niveau des unités de stockage, des fichiers ; c'est ce que l'on appelle le schéma interne.
- Niveau conceptuel (ou logique) : décrit la structure des données dans la base, leurs propriétés et leurs relations, indépendamment de toute préoccupation technologique d'implémentation ou d'accès par les utilisateurs ; c'est ce que l'on appelle le schéma conceptuel.
- Niveau externe : décrit comment chaque utilisateur perçoit les données; c'est ce que l'on appelle le schéma externe ou vue.

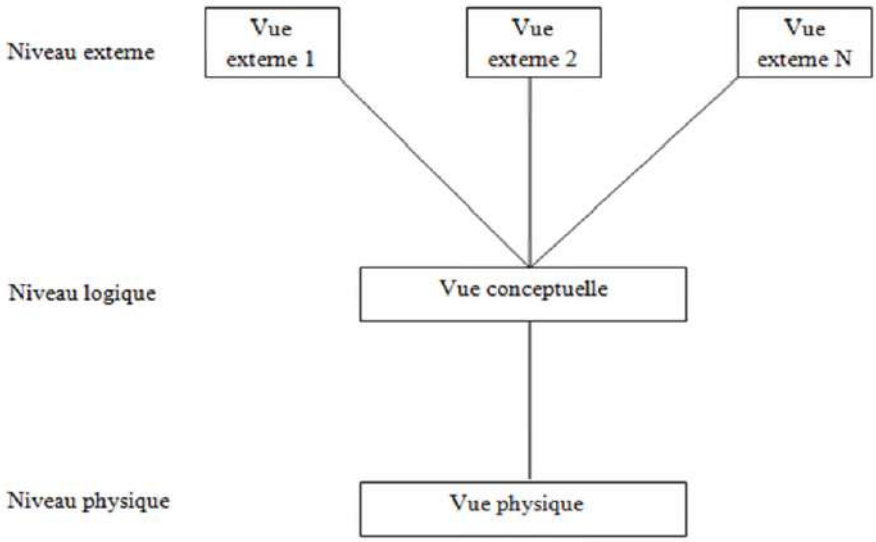


Figure2. 4: Les niveaux d'architecture de base de données

II.3.4.Modeles de description

Au fil de l'évolution de la technologie et des besoins pour des bases de données, différents modèles de données ont vu le jour. Les modèles présentés sont quelques-uns des principaux modèles, mais d'autres existent [13]:

- Modèles réseau et hiérarchique : une base de données est vue comme un ensemble de fichiers reliés par des pointeurs (ces modèles privilégiant l'optimisation

des entrées-sorties, ils sont nommés modèles d'accès) et les données y sont organisées en réseau et en arbre (respectivement). Un nœud quelconque peut avoir plusieurs pères dans le modèle réseau, un seul dans le modèle hiérarchique.

- Modèle relationnel : les données et les relations qui les unissent sont organisés sous forme de lignes regroupées au sein de tables. Chaque table est composée d'une ou plusieurs colonnes, dont certaines servent à caractériser chaque ligne de manière unique. C'est lui que nous considérons dans la suite.
- Modèle objet : nés dans le prolongement de la programmation orientée objets (POO), les SGBDOO permettent de représenter et de manipuler des objets complexes. Leur avantage est la réduction des coûts de développement et de maintenance, ainsi qu'une performance accrue, puisque la base connaît la structure objet du programme (relations d'héritage, pointeurs entre objets, etc.).

II.3.5.Système de Gestion de Base de Données relationnel

Un Système de Gestion de Base de Données relationnel (SGBDR) est un Système qui implémente la théorie relationnelle.

Dans un SGBDR, les données sont contenues dans ce qu'on appelle des relations, qui sont représentées sous forme de tables. Une relation est composée de deux parties, l'en-tête et le corps. L'en-tête est lui-même composé de plusieurs attributs. Par exemple, pour la relation Client, on peut avoir l'en-tête illustré par la figure2.5.

Quant au corps, il s'agit d'un ensemble de lignes (Figure2.6) composées d'autant d'éléments qu'il y a d'attributs dans le corps.



Figure2. 5: Exemple de l'en-tete

id	name	photo
1	hanane	[BLOB - 4,2 kio]
2	manel	[BLOB - 4,2 kio]
3	asma	[BLOB - 4,2 kio]
4	ahmed	[BLOB - 4,2 kio]
5	deniz	[BLOB - 4,2 kio]

Figure2. 6: Exemple des données

II.4. le language SQL

Le SQL (langage de requêtes structuré ou en anglais « *Structured Query Language* » peut être considéré comme le langage de communiquer avec la base de données et langage d'accès normalisé aux bases de données. Il est aujourd'hui supporté par la plupart des produits commerciaux que ce soit par les systèmes de gestion de bases de données.

SQL notamment très utilisé par les développeurs web pour communiquer avec les données d'un site web.

Les instructions SQL sont regroupées en catégories en fonction de leur utilité et des entités manipulées. Nous pouvons distinguer quatre catégories [15]:

1- Le Langage de Définition de Données (LDD, ou en anglais DDL, Data Definition Language) pour créer et supprimer des objets dans la base de données (tables, contraintes d'intégrité, vues, etc.).

Exemple de commandes : *CREATE DROP ALTER*

2- Le Langage de Contrôle de Données (LCD, ou en anglais DCL, Data Control Language) pour gérer les droits sur les objets de la base (création des utilisateurs et affectation de leurs droits).

Exemple de commandes : *GRANT REVOKE*

3- Le Langage de Manipulation de Données (LMD, ou en anglais DML, Data Manipulation Language) pour la recherche, l'insertion, la mise à jour et la suppression de données. Le LMD est basé sur les opérateurs relationnels, auxquels sont ajoutés

des fonctions de calcul d'agrégats et des instructions pour réaliser les opérations d'insertion, mise à jour et suppression.

Exemple de commandes : *INSERT UPDATE DELETE SELECT*

4- Le Langage de Contrôle de Transaction (LCT, ou en anglais TCL, Transaction Control Language) pour la gestion des transactions (validation ou annulation de modifications de données dans la BD).

Exemple de commandes : *COMMIT ROLLBACK*

Il existe plusieurs façons d'accéder à sa base de données et d'y faire des modifications. On peut utiliser une ligne de commande (console) pour exécuter les requêtes en PHP ou faire appel à un programme qui nous permet d'avoir rapidement une vue d'ensemble. Pour cela on utilisera phpMyAdmin, l'un des outils les plus connus qui permettant de manipuler une base de données MySQL.

PhpMyAdmin est livré avec XAMPP pour les différents systeme d'exploitation.

II.5. Logiciel XAMPP

II.5.1. Présentation du logiciel XAMPP

XAMPP est un ensemble de logiciels permettant de facilement créer une interface web interagissant avec une base de données SQL. XAMPP est également multi-plateformes, ce qui signifie qu'il fonctionne aussi bien sur Linux, Mac et Windows.

XAMPP a quatre composants principaux. Ceux-ci sont :

- Apache : est l'application de serveur Web qui traite et livre le contenu Web à un ordinateur. Apache est le serveur web le plus populaire en ligne, alimentant près de 54% des sites web.

- MySQL : Chaque application web, simple ou compliquée, nécessite une base de données pour stocker les données collectées. MySQL est donc un Système de Gestion de Base de Données Relationnelles (SGBDR), qui utilise le langage SQL. C'est un des SGBDR les plus utilisés. Sa popularité est due en grande partie au fait qu'il s'agit d'un logiciel Open Source, ce qui signifie que son code source est

librement disponible et que quiconque peut modifier MySQL pour l'améliorer ou l'adapter à ses besoins.[12]

MySQL peut donc s'utiliser seul, mais est la plupart du temps combiné à un autre langage de programmation : PHP par exemple pour de nombreux sites web, mais aussi Java, Python, C++, et beaucoup, beaucoup d'autres.

-PHP : PHP signifie Hypertext Preprocessor. C'est un langage de script côté serveur qui alimente certains des sites Web les plus populaires au monde, y compris WordPress et Facebook. Il est open source, relativement facile à apprendre, et fonctionne parfaitement avec MySQL, ce qui en fait un choix populaire pour les développeurs web.

- Perl : Perl est un langage de programmation dynamique de haut niveau largement utilisé dans la programmation réseau, l'administration système, etc. Bien que moins populaire à des fins de développement web, Perl a beaucoup d'applications de niche.[16]

II.5.2.L'installation de xampp

XAMPP fonctionne comme un serveur web en direct, ce qui nous permet de tester nos sites et nos applications web. XAMPP est très facile à configurer, et la plupart de l'installation est automatisée.

1. Télécharger le programme d'installation de XAMPP: on peut le récupérer depuis *apachefriends.org/download.html*, dans notre machine Linux nous avons utilisé la version `7.3.14 64-bits`.
2. Modifier les autorisations : Entrer la commande suivante et appuyer sur la touche Entrée, en indiquant le mot de passe si nécessaire.

sudo chmod +x xampp-linux-x64-7.3.14-0-installer.run

Faire glisser le fichier téléchargé dans la fenêtre du Terminal pour rentrer automatiquement le nom du fichier et son emplacement.

```
hanane@ubuntu-16:~$ cd Downloads
hanane@ubuntu-16:~/Downloads$ sudo chmod +x xampp-linux-x64-7.3.14-0-installer.run
```

Figure2. 7: Téléchargement de xampp via terminal

3. Exécuter le programme d'installation : après avoir modifié les autorisations, vous pouvez exécuter le programme d'installation pour commencer l'installation de XAMPP. Tapez la commande suivante et appuyez sur la touche Entrée.

sudo ./xampp-linux-x64-7.3.14-0-installer.run

Taper le mot de passe d'ordinateur, puis appuyer sur Entrée, La fenêtre d'installation apparaîtra.

4. Suivez les instructions pour installer XAMPP (Figure2.8) :
    1. Cliquez trois fois sur Next.
    2. Décocher la case «Learn more about Bitnami for XAMPP» si cela ne vous intéresse pas.
    3. Cliquez sur Next, puis Cliquez de nouveau sur Next pour commencer l'installation de XAMPP.



Figure2. 8: Fenetre d'instalation du XAMPP

Maintenant démarrer XAMPP à l'aide du Terminal en entrant la commande suivante: *sudo /opt/lampp/lampp start* comme illustre sur la figure2.9.

5. Ouvrer le navigateur web et taper *localhost* dans la barre d'adresse. la page de Bienvenue sera affiché si le service XAMPP est en cours d'exécution. Cela va vous permettre de tester que XAMPP fonctionne correctement.

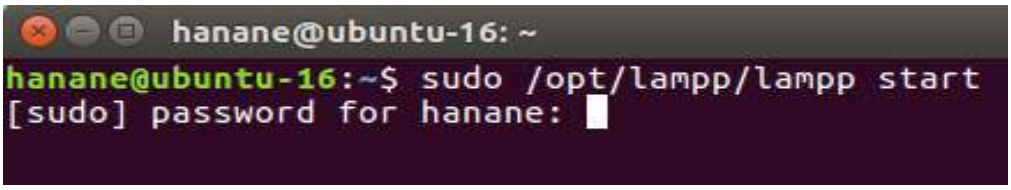


Figure2. 9: Lancement du serveur XAMPP



Figure2. 10: La page bienvenu du xampp

II.5.3.L'interfaçe phpmyadmin

L'interface phpMyAdmin est accessible via un navigateur internet. Elle fonctionnera avec la plupart des navigateurs internet. Pour accéder à un interface phpMyAdmin, il faut accéder à l'adresse internet désignée dans un navigateur internet **http://127.0.0/phpmyadmin/** ou bien **http://localhost/phpmyadmin/** .

PhpMyAdmin n'est pas un programme mais un ensemble de pages PHP toutes prêtes dont on se sert pour gagner du temps

Donc dans cette partie de chapitre, nous ne coderons pas, nous allons simplement manipuler.

L'accueil de phpMyAdmin ressemble à la figure2.11.

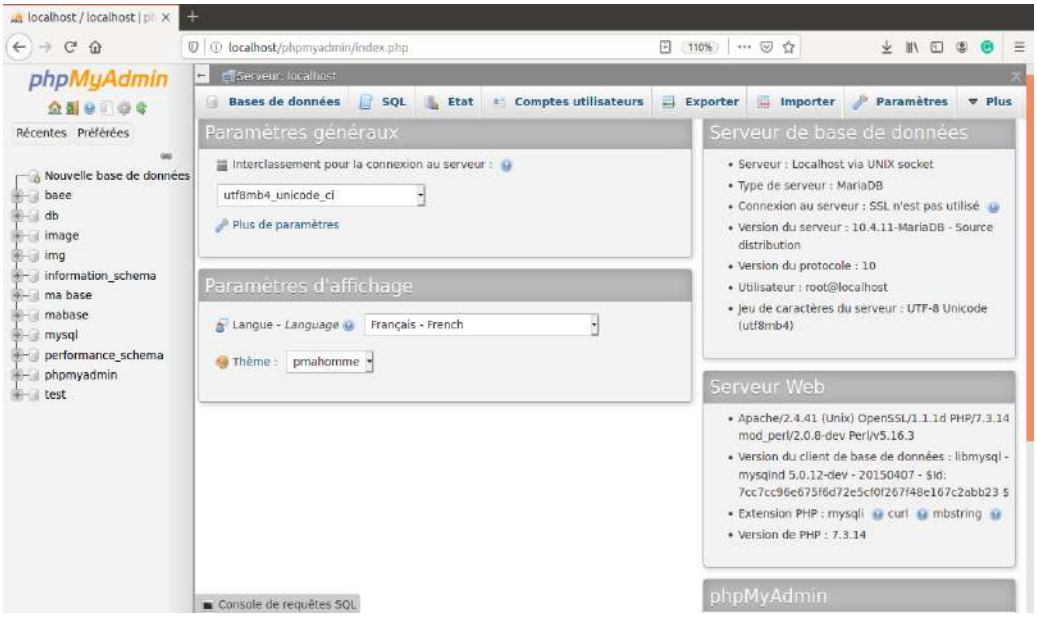


Figure2. 11: Accueil de phpMyAdmin

II.6. Création et Manipulation de base de données

II.6.1. Création d'une base de données

Pour crées une base de données, cliquez sur Nouvelle base de données en haut dans la section à gauche (La figure 2.11). Il suffit d'entrer le nom désirer pour la base de données et de cliquer sur créer.

On peut aussi choisir une option appelée Les interclassements, ce sont des conventions pour la reconnaissance et l'affichage des caractères. En effet, il existe de nombreuses variantes selon les langues utilisées. Si on prévoie d'utiliser des accents dans un champ particulier, il est conseillé d'utiliser l'interclassement **utf8_general_ci.** Sinon, conserve l'interclassement fourni par défaut.

II.6.2. Création d'une table

Une table est une partie d'une base de données. Si l'on compare à Excel, une table est une feuille contenant des lignes et des colonnes, et la base est le classeur qui regroupe une ou plusieurs feuilles.

Après la création d'une base de données, elle peut être observé dans la barre de gauche. Comme il n'y a pas de table dans la base, on nous demande immédiatement de créer une table (figure 2.12).



Figure2. 12: Base créée et insertion de table

Nous avons entré les champs **ma table** et **2** dans les cases **nom** et **nombre de collonnes**. En appuyant sur le bouton **Exécuter**, on arrive à une page où l'on doit préciser quels seront les champs constituant la nouvelle table.

La page de description des nouveaux champs est montrée à la figure2.13.



Figure2. 13: Remplissage de champs

II.6.3.Remplissage de champs

PhpMyAdmin nous demande beaucoup d'informations a remplire mais il n'est pas nécessaire de tout remplir. Les sections les plus intéressantes seront :

- Champ : permet de définir le nom du champ.

- Type : le type de données que va stocker le champ (nombre entier, texte, date…).

- Taille/Valeurs : permet d'indiquer la taille maximale du champ, utile pour le type *VARCHAR* notamment, afin de limiter le nombre de caractères autorisés.

- Index : active l'indexation du champ. Ce mot barbare signifie dans les grandes lignes que votre champ sera adapté aux recherches. Le plus souvent, on utilise l'index *PRIMARY* sur les champs de type *id* **.**

- AUTO_INCREMENT : permet au champ de s'incrémenter tout seul à chaque nouvelle entrée. On l'utilise fréquemment sur les champs de type *id*.

On remplit donc les deux champs de la nouvelle table **ma table** de la base **ma base** comme le montre la figure 2,13. On choisit l'un des champs un nombre entier **(INT)** et l'autre chaines de caractères **(VARCHAR)** de 30 caractères, respectivement. Les champs sont :

id: C'est le numéro d'identification, Grâce à lui, toutes nos entrées seront numérotées.

Nom: ce champ contiendra les nom des personnes par exemple.

Une fois que c'est fait, cliquez sur le bouton Enregistrer en bas de la page. Et Notre table est créée !

II.6.4.les types de champs

Nous avons vu dans l'illustre de la figure2.14, qu'il y des différents types de données existant dans MySQL: Type numériques, chaine de caractères, date et temps…

En fait, phphMyAdmin propose au tout début de cette liste les quatre types de données les plus courants :

INT: nombre entier.

VARCHAR: texte court (entre 1 et 255 caractères).

TEXT: long texte.

DATE: date (jour, mois, année).



Figure2. 14: Types de données MySQL

II.6.5.Opérations

Nous pouvons effectuer différentes opérations sur notre base de données et notre table grâce aux différents onglets affichés sur la page d'accueil de phpMyAdmin.

Le role de chaque onglet est :

- L'onglet Parcourir (Figure2.15) : affiche le contenu de la table.
- L'onglet SQL (Figure2.16) : Exécuter une ou des requêtes SQL sur la base de données. C'est ici que vous pouvez exécuter ce que l'on appelle des requêtes SQL pour demander à MySQL de faire quelque chose, par exemple la requête

"SELECT * FROM 'test' WHERE 1" signifie: "Afficher tout le contenu de la table 'test' ".

- L'onglet Structure: présente la structure de la table (liste des champs), permet de faire modification sur les tables comme l'ajout des colonnes, la modification et la suppression de champs…
- L'onglet Importer: Dans la page qui s'affiche, on peut envoyer un fichier de requêtes SQL (généralement un fichier `.sql`) à MySQL pour qu'il les exécute (Figure 2.17).



Figure2. 15: Onglets de la page d'accueil

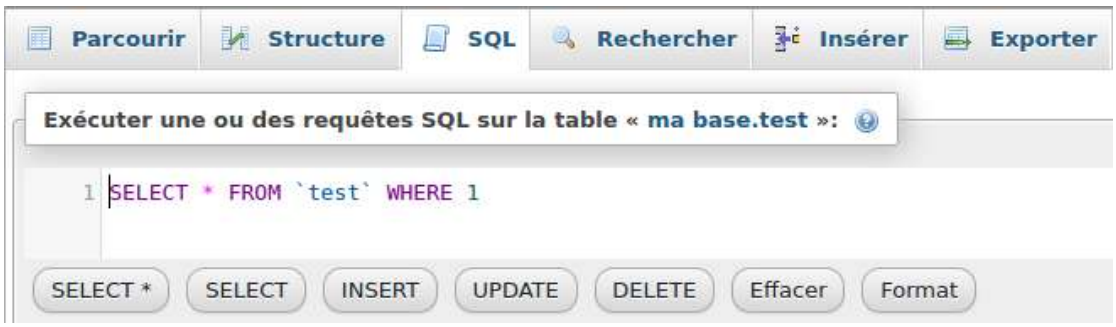


Figure2. 16: L'onglet SQL

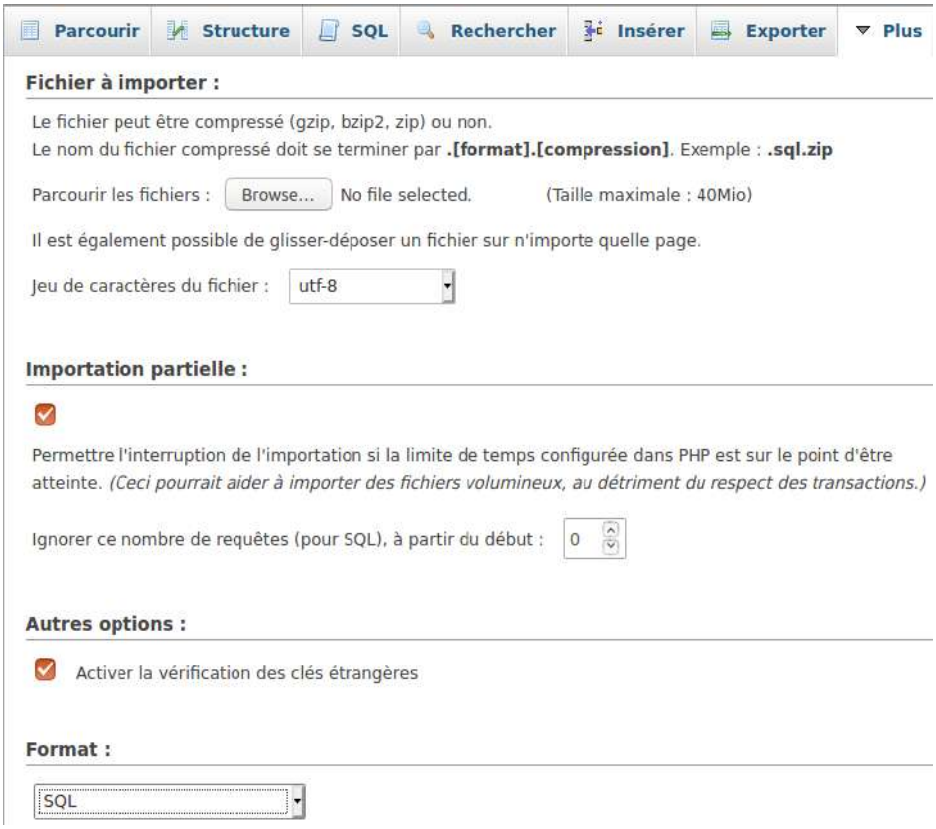


Figure2. 17: Importation d'une table

- L'onglet export (Figure2.18): permet de récupérer un fichier texte `.sql` qui contiendra des tonnes de requêtes SQL.

Il peut être utilisé pour deux choses :

◆ Transmettre de la base de données sur Internet : lorsque nous voudrons héberger notre site sur Internet, il faudra utiliser la base de données en ligne de votre hébergeur ! Le fichier `.sql` que nous allons générer nous permettra d'effectuer facilement des opérations sur notre base en ligne.

◆ Faire une copie de sauvegarde de la base de données : nous permettra, en cas de détruire toutes les informations sur notre site, d'avoir une copie de secours sur le disque dur.

- L'onglet Operations: permet certaines opérations globales sur la base de données ou la table active.

Pour une base de données sélectionnée, L'onglet Operations permet de:

◆ Ajouter une nouvelle table.

- Renommer la base de données.
- Supprimer la base données.
- Réaliser une copie de la base de données.



Figure2. 18: Exportation d'une table

II.6.6.Opérations sur les bases de données

PhpMyAdmin nous permet de visualiser rapidement l'état de notre base de données ainsi que de la modifier, sans avoir à écrire de requêtes SQL, tout simplement par l'onglet opérations, la figure 2.19 explique comment elle fonctionne.

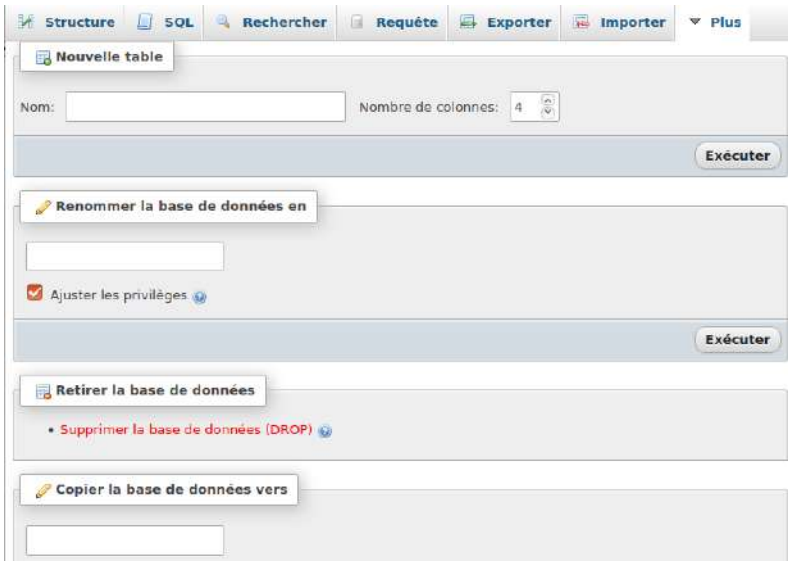


Figure2. 19: L'onglet Opérations pour la base de données

II.6.7.Opérations sur les tables

La modification d'une table sélectionnée se produit aussi sous l'onglet Opérations, on le trouve par cliquer sous l'onglet Plus de la page centrale.

L'onglet Opérations, pour une table sélectionnée permet de :

- Déplacer la table vers une autre base de données.
- Renommer la table.
- Copier la table dans une autre table.
- Vider la table.
- Supprimer la table.

II.7. Les requêtes SQL

SQL est un langage. C'est lui qui nous permet de communiquer avec MySQL, parmi les requêtes SQL fondamentales il y a: INSERT,UPDATE et DELETE...

II.7.1.Insertion de données

II.7.1.1. Insertion simple explicite

PhpMyAdmin permet d'ajouter de nouvelles entrées sont connaître les requêtes SQL, si on veut ajouter un nom dans la table TEST, on clique seulement par l'onglet insert. Cette page produit un formulaire pour insérer des valeurs dans chaque champ d'un nouveau tuple (appelés rangée ou row avec MySQL), pour la table présentement sélectionnée. Figure2.20 illustre le principe d'insertion d'un tuple dans une table.



Figure2. 20: Insertion d'un tuples dans une table

En utilisant les requêtes SQL, La requête `INSERT INTO` permet d'ajouter une entrée.

Pour le premier champ id, on peut laissé MySQL mettra le numéro d'ID lui-même. Car ce champ a la propriété `auto_increment`, On pourrait donc se passer ce champ par la requête mentionné dans la figure 2.21:



Figure2. 21: Insertion d'un tuples sans indiqué le numéro d'ID

II.7.1.2. Insertion multiple des données

La requete suivante propose d'insérer dans la table test trois lignes de valeurs dans les colonnes id et nom :

INSERT INTO ‘test’ (nom) VALUES ('lili'),('jojo'),('mimi')

II.7.2.modifier des données

La commande UPDATE permet d’effectuer des modifications sur des lignes existantes. Très souvent cette commande est utilisée avec WHERE pour spécifier sur quelles lignes doivent porter la ou les modifications.

La syntaxe de base de l'ordre SQL de modification de données dans une table est la suivante : UPDATE `test` SET `id`='valeur1',`nom`='nom1'

Pour modifier le nom correspondant à un ID précis, il est possible d’utiliser la requête SQL suivante : UPDATE `test` SET `nom`='nom1' WHERE id='valeur1'

II.7.3.Supprimer des données

La suppression des données est rapide et simple à utiliser, mais après suppression, il n'y a aucun moyen de récupérer les données, alors faites bien attention a l’utilisation de la requête : DELETE .

La suppression de toutes les lignes d'une table à la fois c’est la forme la plus simple de l'ordre DELETE, il suffit d’exécuter la requête : DELETE FROM `test` WHERE 1.

Pour supprimer toutes les lignes d’une table, il est aussi possible d’utiliser la commande TRUNCATE, de la façon suivante : TRUNCATE TABLE test.

Cette requête est similaire. La différence majeure étant que la commande TRUNCATE va réinitialiser l’auto-incrémente s’il y en a un. Tandis que la commande DELETE ne réinitialise pas l’auto-incrément.

Il est possible aussi de supprimer une ligne en effectuant la requête SQL suivante : FROM `test` WHERE id='9'.

II.7.4. Modifier une table existante

D’une manière générale, la modification d’une table existante en SQL se fait par la commande ALTER TABLE.

Cette commande est idéal pour ajouter, supprimer ou modifier une colonne existante.

- L'ajoute d'une colonne : on peut s'effectuer à l'aide d'une requête ressemblant à ceci :

ALTER TABLE nom_table ADD nom_colonne type_donnees

Pour ajouter une colonne qui correspond à la date sur la table test, il est possible d'utiliser la requête illustre par la figure2.22 :



Figure2. 22: L'ajoute d'une colonne

- La modification d'une colonne : pour changer le type de la colonne par exemple, il y a différentes syntaxes selon le SGBD. Pour le SGBD de MySQL, la syntaxe est :

ALTER TABLE nom_table MODIFY nom_colonne type_donnees

- Pour renommer une colonne : il convient d'indiquer l'ancien nom de la colonne et le nouveau nom de celle-ci:

ALTER TABLE nom_table CHANGE ancien_nom nouveau_nom type

Pour renommer la colonne nom par l'email par exemple dans la table test, on utiliser la requête mentionné dans la figure 2.23 :



Figure2. 23: Renommer une colonne

- Supprimer une colonne : la syntaxe qui nous permet de supprimer une colonne est: ALTER TABLE nom_table DROP time

II.7.5.Affichage du contenu d'une table

Pour demande à MySQL d'afficher ce que contient une table, on utilise la requête SQL: SELECT FROM.

Si on veut prendre tous les champs de la table, on ajoute un étoile aprées le mot clé SELECT, ce qui peut se traduire par : afficher tout !

SELECT * FROM `test`

Si on n'est intéressé que par l'affichage du contenu de quelques champs, par exemple si on veut juste lister les noms, on ajoute le nom du champs aprés SELECT, comme ça : SELECT `nom` FROM `test` (Figure2.24)



Figure2. 24: Affichage du champs 'nom' de la table 'test'

II.7.6.Les critères de sélection

Il est possible de filtrer et trier très facilement nos données on utilisant les criteres de selection. Nous allons nous intéresser ici aux mots-clés suivants du langage SQL :

WHERE: Grâce au mot-clé WHERE, vous allez pouvoir trier nos données, par exemple on veut sélectionner tous les champs de la table test lorsque le champ nom est égal à 'fatih', La requête au début sera la même qu'avant, mais on rajoute à la fin : WHERE nom= 'fatih': SELECT * FROM `test` WHERE nom='fatih'

ORDER BY : nous permet d'ordonner nos résultats. Si on veut par exemple de Sélectionner tous les champs de test, et ordonner les résultats par id décroissants on utilise la requête : SELECT * FROM `test` ORDER BY ID DESC

LIMIT : nous permet de limiter le nombre de résultats, la requête suivante nous permet de ne selectionner que les données de 4 à 6 seulement:

SELECT * FROM `test` LIMIT 3,5

II.8. Conclusion

La présentation faites dans ce chapitre nous a permis de définir les concepts de base pour concevoir les bases de données et leurs importances dans l'organisation des informations collectées. Ces techniques nous ont permis de créer notre base de données destinée à gérer des serres agricoles. En effet, le nombre important de paramètres liés au contrôle du climat dans ces serres nous ont imposé la conception d'une base de données robustes. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel XAMPP. Ce logiciel est non seulement puissant mais également procure une souplesse et une facilité dans leur conception. Cette facilité nous a permis de mettre l'accent sur l'aspect matériel de notre projet. En effet, pour recueillir les données climatiques des serres agricoles, nous avons développé une architecture matérielle conçue autour de cartes électroniques embarquées capable d'accueillir un grand nombre de capteurs.

Dans le prochain chapitre nous vous présenterons donc, ces cartes électroniques que nous avons choisie d'utiliser pour gérer et commander la serre agricole ainsi que l'ensemble des outils software utilisés.

Chapitre III:

Environnement et outils de travail

Chapitre III. Environnement et outils de travail

III.1. Introduction

La réalisation d'un système de supervision d'une serre agricole nécessite plusieurs outils software et hardware, parmi ces outils l'internet des objets, les cartes électroniques embarqués Arduino et Raspberry Pi 2, ainsi que les modules de communication sans fil (transmission radio fréquence) utilisés et quelques capteurs.

La supervision se fait par la réception des données et l'émission des commandes à travers une interface homme machine IHM sur la plateforme Node-Red d'IBM.

Dans ce chapitre, on va aborder en détails le monde de l'Internet des objets, son architecture avec les différentes applications associées puis on va présenter l'interface Homme machine que nous avons utilisé pour la supervision et le contrôle de la serre agricole.

Finalement, nous allons introduire et présenter les deux cartes électroniques embarquées que nous utiliserons dans l'élaboration de notre système d'acquisition des données climatiques : la carte Arduino et la carte Raspberry Pi. Le Raspberry Pi hébergera le serveur de notre système tandis que l'Arduino aura pour rôle la gestion de l'ensemble Capteurs / Actionneurs du serre. Par ailleurs, nous mettrons aussi en évidence la communication entre les deux cartes. Nous avons implémenté et comparé la communication série et la communication I^2C.

III.2. Internet des objets

III.2.1. Définition de l'Internet des Objets

Le concept Internet des Objets (en anglais : Internet of Things ou IoT), Selon l'union international des télécommunications, l'internet objets (IdO) est une « infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux

technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ».

D'un point de vue technique, l'IdO consiste en l'identification numérique directe et normalisée (adresse IP, protocoles smtp, http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil qui peut être une puce RFID, Bluetooth ou Wifi. [17]

III.2.2. Les caractéristiques de l'IdO

Les caractéristiques fondamentales de l'IoT sont les suivantes[18]:

- Interconnectivité: dans l'IoT, tout objet peut être connecté à l'infrastructure mondiale de l'information et de la communication.
- Services liés aux objets: l'IoT est à même de fournir des services liés aux objets tenant compte des exigences inhérentes à ceux-ci (par exemple protection de la sphère privée et cohérence sémantique entre les objets physiques et les objets virtuels qui leurs sont associés). Pour que de tels services puissent être fournis dans le respect de ces exigences, les technologies utilisées seront amenées à changer, aussi bien dans le monde physique que dans le monde de l'information.
- Hétérogénéité: les dispositifs utilisés dans l'IdO sont hétérogènes puisqu'ils ne font pas appel aux mêmes plates-formes matérielles ni aux mêmes réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres dispositifs ou plates-formes de service par l'intermédiaire de réseaux différents.
- Changements dynamiques: l'état des dispositifs (par exemple veille/réveil, connecté/déconnecté) change de façon dynamique, de même que le contexte dans lequel ces dispositifs fonctionnent (emplacement, vitesse, etc.). Par ailleurs, le nombre de dispositifs peut lui aussi évoluer de façon dynamique.
- Très grande échelle: les dispositifs qui devront être gérés et qui communiqueront entre eux seront au moins dix fois plus nombreux que ceux connectés à l'Internet à l'heure actuelle. Le rapport entre les communications établies par des dispositifs et celles établies par des personnes deviendra nettement plus favorable aux premières. La gestion des données générées et leur interprétation pour

les besoins des applications seront d'autant plus critiques. Cette question est en lien avec la sémantique et le traitement efficace des données.

III.2.3. Domaines d'application de l'IdO

Les applications potentielles de l'IdO sont nombreuses et variées, pénétrant dans pratiquement tous les domaines de la vie quotidienne des individus, des entreprises et de la société dans son ensemble[19].

- Ville intelligente : Une ville intelligente désigne une ville utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité des services urbains ou encore réduire ses coûts. Ce concept désigne un type de développement urbain apte à répondre à l'évolution ou l'émergence des besoins des institutions, des entreprises et des citoyens, tant sur le plan économique, social, qu'environnemental.
- La Médecine Intelligente : Le domaine médical peut aussi intégrer des applications pertinentes, comme par exemple, l'aide à la médication et le suivi des patients à distance (rythme cardiaque, pression du sang, etc.), l'identification des allergies et des médicaments administrés aux patients, la localisation des docteurs et des patients dans l'hôpital, etc.
- Industrie Intelligente : Le concept d'industrie de quatrième génération correspond à une nouvelle façon d'organiser les moyens de production : l'objectif est la mise en place d'usines dites « intelligentes » « smart factories » capables d'une plus grande adaptabilité dans la production et d'une allocation plus efficace des ressources, ouvrant ainsi la voie à une nouvelle révolution industrielle. Ses bases technologiques sont l'Internet des Objets et les systèmes cyber-physiques.
- La domotique : La domotique est l'ensemble des techniques de l'électronique, de physique du bâtiment, d'automatisme, de l'informatique et des télécommunications utilisées dans les bâtiments, plus ou moins interopérables et permettant de centraliser le contrôle des différents systèmes et sous-systèmes de la maison et de l'entreprise (chauffage, volets roulants, porte de garage, portail d'entrée, prises électriques, etc.). La domotique vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort (gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage), de sécurité

(alarme) et de communication (commandes à distance, signaux visuels ou sonores, etc.) que l'on peut retrouver dans les maisons, les hôtels, les lieux publics, etc.

- Agriculture Intelligente : L'agriculture intelligente est un système à forte intensité de capital et de haute technologie pour cultiver des aliments proprement et durablement pour les masses. C'est l'application des TIC (technologies de l'information et de la communication) modernes à l'agriculture.

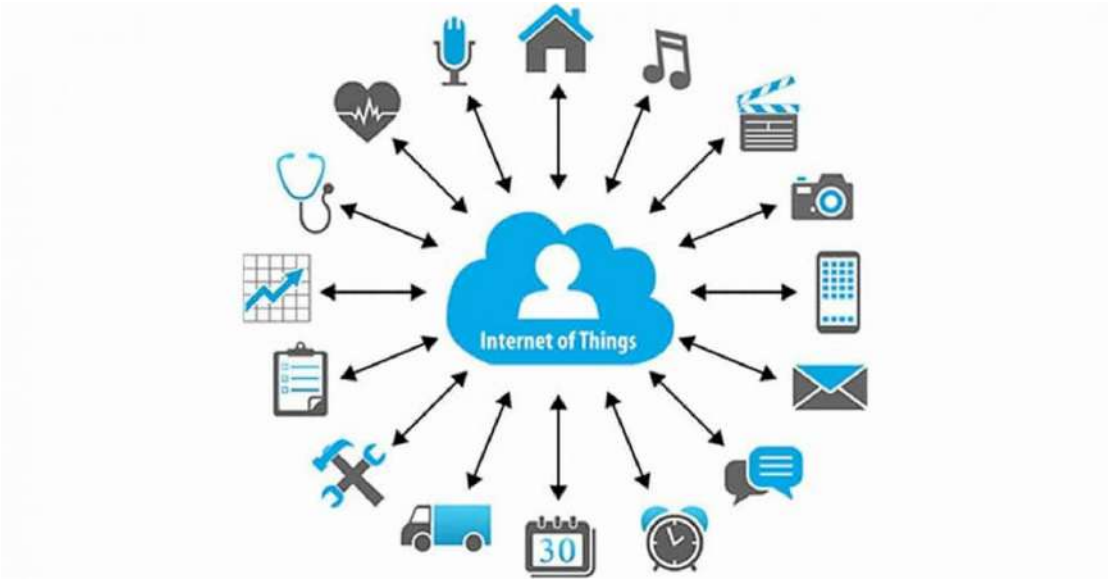


Figure3. 1: Domains applications de l'IDO

III.2.4. Applications de l'IdO en agriculture

Dans l'agriculture intelligente basée sur l'IoT, un système est construit pour surveiller le champ de culture à l'aide de capteurs (lumière, humidité, température, humidité du sol, etc.) et automatiser le système d'irrigation. Les agriculteurs peuvent surveiller les conditions des champs de n'importe où. L'agriculture intelligente basée sur l'IoT est très efficace par rapport à l'approche conventionnelle.[20]

- L'agriculture de précision : L'agriculture de précision peut être considérée comme tout ce qui rend les pratiques agricoles plus contrôlées et plus précises lorsqu'il s'agit d'élever du bétail et de faire pousser des cultures. Dans cette approche de la gestion de la ferme, un élément clé est l'utilisation de l'informatique et de divers éléments tels que les capteurs, les systèmes de contrôle, la robotique, les véhicules autonomes, le matériel automatisé, la technologie à taux variable, etc.

- Drones agricoles : La technologie a changé au fil du temps et les drones agricoles en sont un très bon exemple. Aujourd'hui, l'agriculture est l'une des principales industries à intégrer des drones. Les drones sont utilisés dans l'agriculture afin d'améliorer diverses pratiques agricoles. Les façons dont les drones terrestres et aériens sont utilisés dans l'agriculture sont l'évaluation de la santé des cultures, l'irrigation, la surveillance des cultures, la pulvérisation des cultures, la plantation et l'analyse des sols et des champs.
- Surveillance du bétail : Les grands propriétaires de fermes peuvent utiliser des applications IoT sans fil pour collecter des données concernant l'emplacement, le bien-être et la santé de leur bétail. Ces informations les aident à identifier les animaux malades afin de les séparer du troupeau, empêchant ainsi la propagation de la maladie. Cela réduit également les coûts de main-d'œuvre, car les éleveurs peuvent localiser leur bétail à l'aide de capteurs basés sur l'IoT.
- Serres intelligentes : L'agriculture en serre est une méthodologie qui aide à améliorer le rendement des légumes, des fruits et des cultures.

III.3. Description de l'Interface graphique

La partie la plus compliquée dans ce projet et de développer une application qui pourra gérer le système réalisé à distance par Internet.

III.3.1. Presentation de Node Red

Node-RED a été crée par IBM en 2013 afin de facilité la création d'objets connectés. C'est un langage graphique (sous jacent en javascript) utilise une approche de programmation visuelle qui permet de créer des liens entre les flux de données entrant et sortant. Il est gratuit et nécessite: NodeJS (javascript du coté serveur)[21].

L'accès à l'interface de programmation se fait à partir d'un navigateur internet. Il est préférable d'utiliser le navigateur d'un ordinateur connecté sur le même réseau que la Raspberry.

Figure3.2 illustre la fenêtre de l'éditeur Node Red.Voici un petit aperçu de l'environnement de développement proposé :

➢ Sur la gauche de l'écran se trouvent toutes les fonctions disponibles.

- Au centre se trouve la zone de programmation.
- Le panneau de droite regroupe un onglet info regroupant des informations contextuelles (exemple correspondant à la fonction sélectionnée) et un onglet 'debug' qui renvoie les messages d'erreurs ainsi que les messages de la fonction 'debug' qui se trouve dans les outils output.
- A chaque fois que vous voulez déployer votre programme, appuyez sur le bouton 'Deploy' rouge qui se trouve dans le coin supérieur droit.
- Le menu situé à côté du bouton 'Deploy' contient quelques outils supplémentaires :
  - View : Permet d'afficher/masquer la grille qui peut aussi être magnétique (snap to grid)
  - Import : Permet d'importer des nœuds. C'est avec cette option que vous pouvez ajouter à votre flow des nœuds récupérés sur internet par exemple.
  - Export : Vous pouvez exporter vers le presse papier (une chaine de texte au format JSON) ou dans un fichier dont vous devrez donner un nom.
  - Flows : Vous pourrez ajouter un nouveau flow (Add), renommer (Rename), supprimer (Delete) le flow en cours.

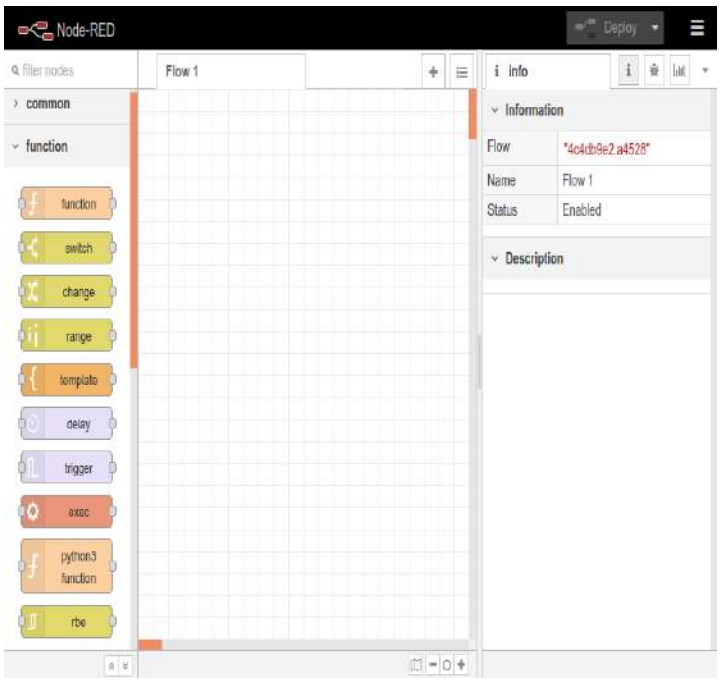


Figure3. 2: Aperçu sur Node Red

III.3.2. Installation de NODE RED

Sur un Raspberry Pi qui tourne sur Raspbian, Node Red est déja installé. Pour le lancé, il suffit de cliquer sur le menu **Programmation** puis **Node Red.**

Node Red peut également être lancé ou stoper à partir d'un terminal :

- Pour le démarrage du Node Red, on utilise: $ node-red-start
- Pour arretter Node Red: $ node-red-stop

III.3.2.1. Installation de nouveaux NODE

La simplification de la programmation en Node-RED se fait grâce à des blocs de code prédéfinis, appelés «nodes» pour effectuer des tâches.

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

Pour installer de nouveaux **node** dans la palette, utiliser le menu de droit et choisir: **manage palette** (Figure3.3). Puis aller dans l'onglet **install** et lancer une recherche (Figure3.4) : exemple : **Dashboard,** Les nœuds apparaissent alors dans la palette.

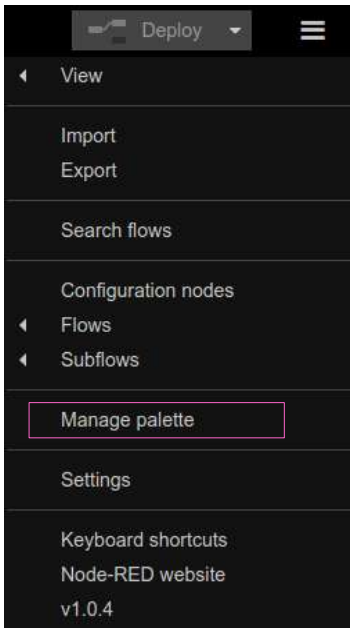


Figure3. 3: Installation d'un nouveau nœud à travers 'Manage palette'

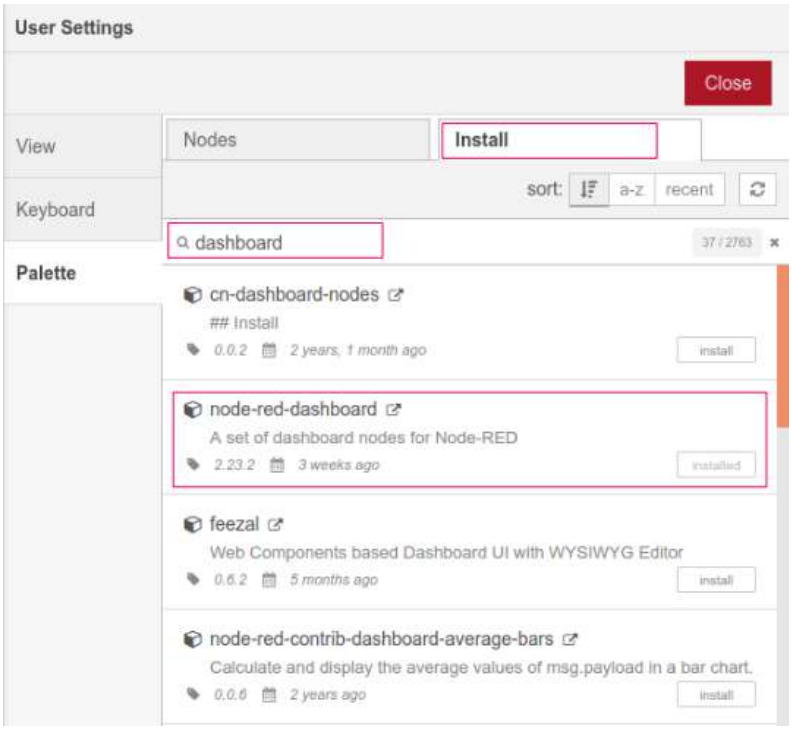


Figure3. 4: Installation de nouveau nœud dans la palette

III.3.2.2. Création d'un dashboard (Tableau de bord IHM)

La palette de Noeuds d'origine est déjà bien fournie mais il en manque au moins une essentielle qui va permettre de réaliser l'interface web. Elle se nomme **Dashboard**.

Cliquez sur **Manage Palette** (Figure3.3) puis recherchez la palette de nœuds Dashboard.

On accède au site web généré par l'URL de sélection du groupe, cliquez sur **+group**, puis créer un groupe (ici : "first flow") et faite de même pour le Tab (ici : "home"). Cliquez ensuite sur le bouton **Done**, puis déployer le **Flow**.

III.3.2.3. Exportation et importation des flows

Node Red facilite la sauvegarde, le partage et le déplacement des flow entre les ordinateurs grâce à la fonction d'exportation et d'importation.

III.3.2.3.1. Importation des flows

Vous devrez ouvrir le flow dans un éditeur de texte, puis copier son contenu , ensuite allez dans **Menu** , cliquez sur **import** et collez le fichiers dans la fenêtre (Figure3.5).

Vous pouvez importer le flow dans un flow existant ou dans un nouveau flow, Cliquez sur le bouton **Import** pour terminer l'importation.

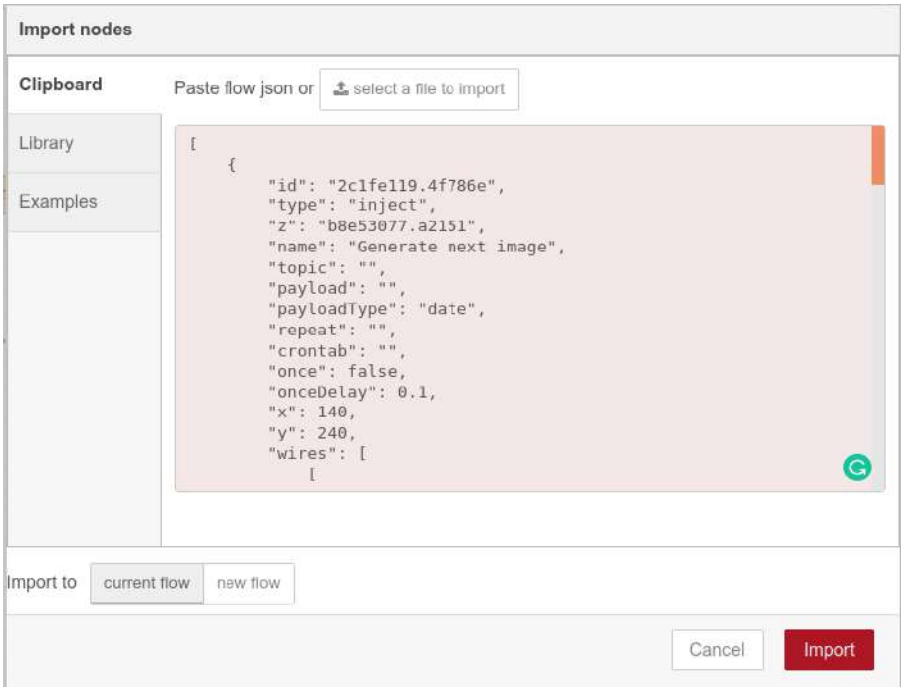


Figure3. 5: Importation des flows

III.3.2.3.2. Exportation des Flows

On peut exporter un nœud selectionné, un flow ou tous les flows.

Selectionnez chaque nœud du flux que vous souhaitez exporter dans l'espace de travail, Cliquez ensuite sur **Menu**, ensuite cliquez sur **Export**.

Il y a trois onglets à l'écran avec l'onglet des nœuds sélectionnés. Vous pouvez le modifier pour exporter le flow actuel ou tous les flow de l'espace de travail.

Cliquez sur **Export to clipboard**, puis ouvrez un éditeur de fichiers et collez le contenu dans le fichier, Donnez un nom au fichier et enregistrez-le, Ou bien cliquez sur **Download** pour exporter un fichier sous format **JSON** (Figure3.6).

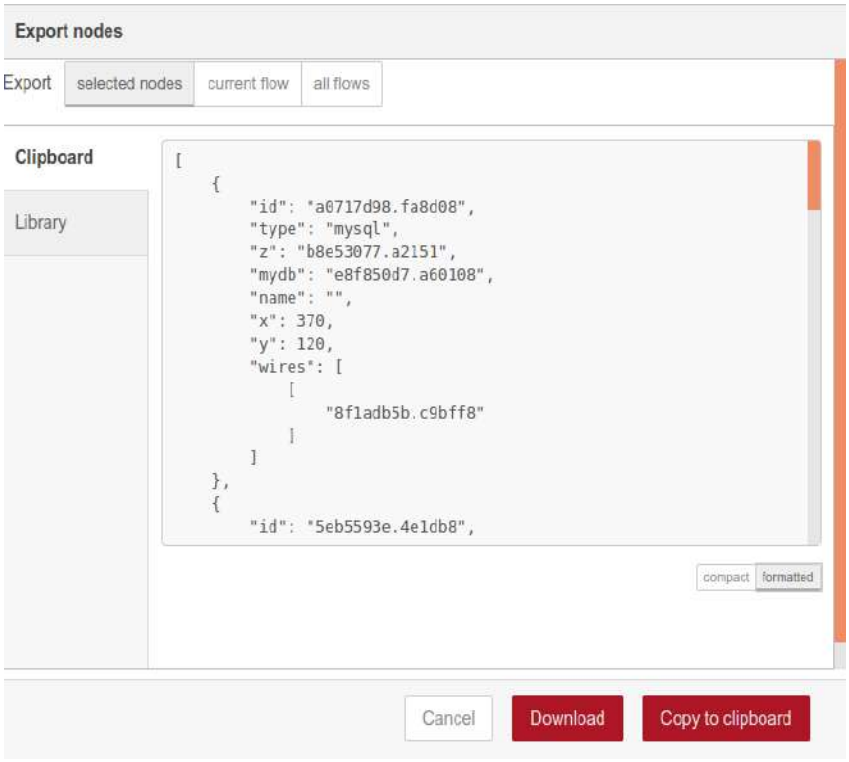


Figure3. 6: Exportation des flows

III.4. La carte Arduino

Il existe beaucoup des carte arduino (Figure 3.7) : Lilypad, RedBoard, Arduino Mini, Arduino Nano, Arduino Mega, Arduino Leonardo, etc.

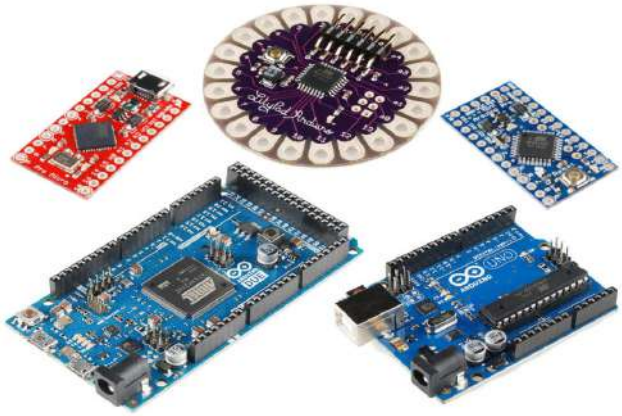


Figure3. 7: Les différents types de cartes Arduino

La carte Arduino Uno est l'une des cartes les plus populaires de la famille Arduino et un excellent choix pour les débutants car il a un environnement de programmation clair et simple et le matériel Open source et extensible. Nous parlerons par la suite de ce qu'elle contient et de ce qu'elle peut faire.

III.4.1. La carte Arduino UNO

Le système Arduino uno est composé de deux choses principales, qui sont :

Le matériel et le logiciel. Ces deux outils réunis, ils nous seront possible de faire n'importe quelle réalisation [22].

III.4.1.1. Description materiel

Il existe de nombreuses variétés de cartes Arduino (Figure3.8) qui peuvent être utilisées à différentes fins. Certaines cartes ont un aspect un peu différent de celle ci-dessous, mais la plupart des Arduino ont la majorité de ces composants en commun :

1. **Alimentation**: Chaque carte Arduino a besoin d'un moyen d'être connectée à une source d'énergie. L'Arduino UNO peut être alimentée par un câble USB venant de votre ordinateur ou par une alimentation externe(peut être soit un adapteur secteur ou des piles), La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte. Sur la figure3.8, la connexion USB est indiquée (1) et la prise jack est indiquée (2).
2. **Les broches d'alimentation**: les broches de votre Arduino sont les endroits où vous connectez les fils pour construire un circuit . L'Arduino possède plusieurs types de broches, chacune d'entre elles étant étiquetée sur la carte et utilisée pour différentes fonctions:

- GND (3) : L'Arduino possède plusieurs broches GND, chacune d'entre elles pouvant être utilisée pour mettre votre circuit à la terre.
- 5V (4) : La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension

d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.

- 3.3V (5): Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.
- VIN: La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.
- PWM (8) : Vous avez peut-être remarqué le tilde (~) à côté de certaines des broches numériques (3, 5, 6, 9, 10 et 11 sur l'UNO). Ces broches agissent comme des broches numériques normales, mais peuvent également être utilisées pour quelque chose appelé modulation de largeur d'impulsion (PWM).
- AREF (9) : Représente la référence analogique. Elle est parfois utilisée pour définir une tension de référence externe (entre 0 et 5 volts) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogique.

3. **Bouton de réinitialisation Reset**: (10) Mettre cette broche au niveau bas entraîne la réinitialisation du microcontrôleur. cette broche permet de redémarrer tout code chargé sur la carte Arduino, elle peut être très utile si votre code ne se répète pas.

4. **Les trois LED** : qu'on trouve sur la carte sont de la taille de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

- La première (11) : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Elle s'allume chaque fois que la carte est branchée sur une source d'alimentation.
- Les deux LED (12) : une Tx pour l'émission et l'autre Lx pour la réception, Servent à visualiser l'activité sur la voie série . Le téléchargement du

programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

- LED: Broche 13 : Broche 13 : Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13.

5. **Circuit intégré IC** : Integrated Circuit(13) :C'est le cerveau de notre Arduino. Le circuit intégré principal de l'Arduino est légèrement différent d'un type de carte à l'autre, mais il provient généralement de la gamme de circuits intégrés ATmega de la société ATMEL.

- Memoire du ATmega328 : L'ATmega 328 a 32Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme dont 0.5Ko également utilisés par le bootloader (petit programme de démarrage) . L'ATmega 328 a également 2ko de mémoire SRAM (volatile) et 1Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

6. **Régulateur de tension** : Le régulateur de tension (14) fait exactement ce qu'il dit : il contrôle la quantité de tension qui est laissée dans la carte Arduino. Considérez-le comme une sorte de gardien ; il va détourner une tension supplémentaire qui pourrait endommager le circuit. Bien sûr, il a ses limites, alors ne branchez pas votre Arduino à plus de 20 volts.

7. **Entrées et sorties numériques(7) :** Chacune des 14 broches numériques de la carte UNO (numérotées des 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms.

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Communication Serie:** Broches 0 (Rx) et 1 (Tx). Utilisées pour recevoir (Rx) et transmettre (Tx) les données séries de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.

- **Interruptions Externes:** Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur.
- **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):** Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits .
- **SPI (Interface Série Périphérique):** Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Mega.
- **I^2C:** Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I^2C (ou interface TWI :Two Wire Interface), disponible en utilisant la librairie Wire/I2C.
- **LED:** Broche 13 :Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

8. **Les Entrées Analogiques (6)** : La carte Uno dispose de 6 entrées analogiques (A0 à A5), chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (càd sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023). Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF. Ces broches peuvent lire le signal d'un capteur analogique (comme un capteur de température) et le convertir en une valeur numérique que nous pouvons lire.

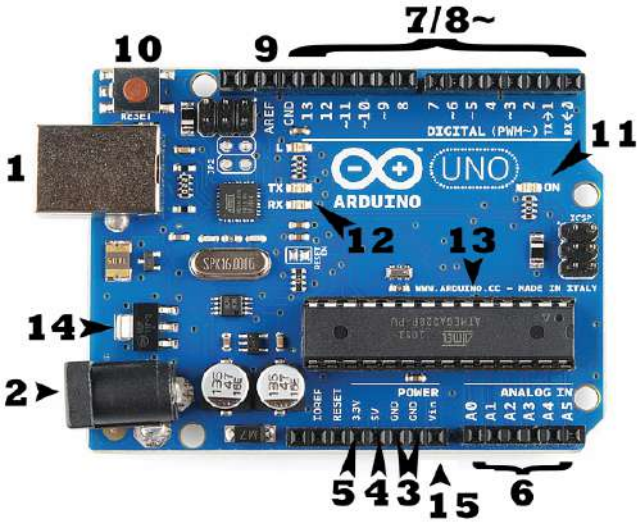


Figure3. 8: Les composants d'une carte Arduino

III.4.1.2. L'environnement de développement

L'environnement de programmation Arduino (IDE en anglais) est une application écrite en Java inspirée du langage Processing. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte (Figure3.9).

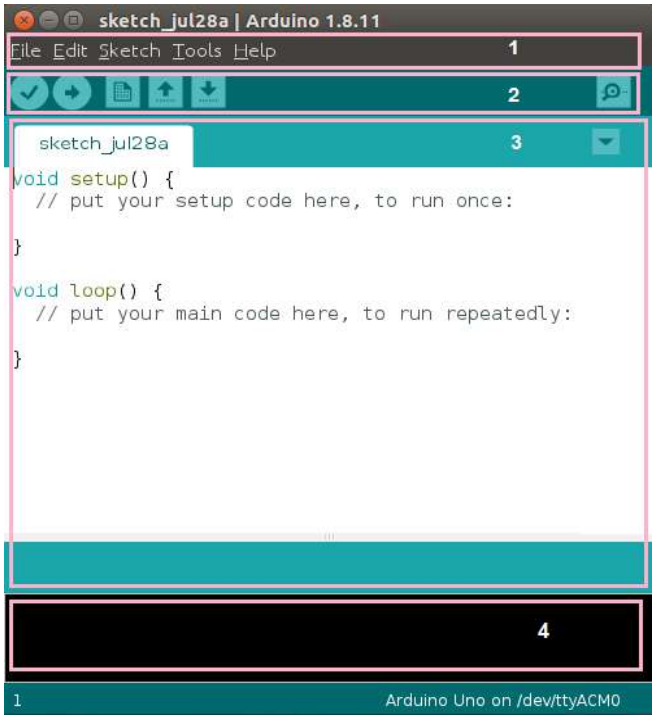


Figure3. 9: Fenêtre générale de l'application Arduino

L'IDE ressemble les éléments suivants :

Le cadre numéro 1 : un menu contient des éléments qui nous permettent de créer de nouveaux sketchs, de les sauvegarder, de gérer les préférences du logiciel et les paramètres de communication avec votre carte Arduino.

Le cadre numéro 2 :une barre d'actions (Figure3.10) contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes.

1. Bouton Vérifier : Vérifiée le programme.
2. Bouton Téléverser: Compile le code et exporte le programme dans le micro-contrôleur.
3. Bouton Nouveau: Création d'un nouveau fichier.
4. Bouton Ouvrir: Ouverture d'un fichier.
5. Bouton Sauvegarder: Sauvegarde le fichier.
6. Bouton Moniteur sériel: Ouvre le moniteur série.

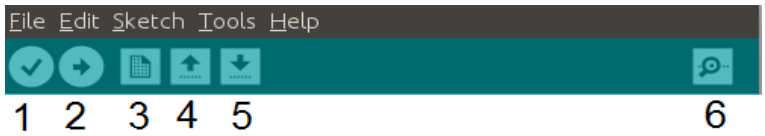


Figure3. 10: Présentation des boutons

Le cadre numéro 3 : une fenêtre de programmation, ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.

Le cadre numéro 4 : une console ou un débogueur qui affiche les informations et erreurs de compilation et de téléversement du programme. il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme.

III.4.2. Synthèse des caractéristiques

Les caractéristiques de la carte Arduino Uno est montré par le tableau III.1

Table III.1 : Caractéristiques de la carte arduino uno

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	32 KB (ATmega328) dont **0.5 KB** sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

III.5. La carte Raspberry Pi

Nous présenterons dans la suite, le Raspberry Pi que l'on a utilisé dans notre projet. Ce dernier est considéré comme le cerveau de notre système parce que joue le role d'un serveur Web affichant en temps réel plusieur valeurs stockée dans une base de données.

III.5.1. Présentation du Raspberry

Le Raspberry Pi est en effet un mini-ordinateur, c'est un petit ordinateur mono carte capable de faire fonctionner des systèmes d'exploitation comme Linux et même une version réduite de Windows 10. Cette carte est fabriquée pour aider à étudier les ordinateurs et pour représenter un moyen d'apprentissage de la programmation informatique en plusieurs langages (python, scratch, etc.). Il dispose de ports USB, d'un connecteur Ethernet, d'un port HDMI et de sortie audio, tout comme l'ordinateur de bureau. Le Raspberry pi destiné à des applications d'informatique embarquée. Le

cœur de raspberry est un FPGA (Broadcom 2835) intégrant un processeur ARM11 cadencé à 700MHz et de nombreux périphériques [23].

III.5.2. Spécifications matérielles et architectures

Il y a eu plusieurs modèles différents du Raspberry Pi depuis sa conception:

Modéle A: Utilisez ce modèle pour un projet à faible coût qui nécessite un ordinateur complet sans capacités de mise en réseau et un support E/S décent

Modéle B: Ce modèle peut être utilisé pour un projet où le prix n'est pas un problème et où le Pi le plus puissant est nécessaire. Ce modèle contient également des E/S faciles à utiliser, il convient donc aux premiers projets Pi.

Model Zero: Ce modèle est idéal pour un projet à très faible coût, dans un espace restreint, qui nécessite un ordinateur en parfait état de fonctionnement et qui bénéficierait d'une connectivité sans fil.

Le tableau III.2 présente quelques différences entre certains modèles de Raspberry pi:

Table III.2 : Comparaison entre les modeles du RPI

	Générations Zéro	**Génération 1**		**Génération 2**	**Génération 3**	**Génération 4**
Modéle	zéro	A	B	2 B	3 A+	4 B
RAM	512 Mo	256 Mo	512 Mo	1 Go	512 Mo	1Go / 2Go / 4Go / 8Go
Processor	1GHz ARM11	700 MHz ARM11	700 MHz ARM11	900 quadricœur ARM Cortex-A7	1,4 quadricœur ARM Cortex-A53	1,5 quadricœur ARM Cortex-A72
Sorties vidéo	Mini HDMI et Composite via soudures	HDMI et Composite via une Price RCA		HDMI et Composite (via un connecteur Jack		2 Micro HDMI et Composite via un connecteur Jack
Sorties audio	Mini-HDMI	stéréo Jack 3,5 sortie son 5.1 sur la prise HDMI				
USB	1 Micro-USB 2.0	1 (2.0)	2 (2.0)	4 (2.0)	1 (2.0)	2 (2.0) 2 (3.0)
poids	9 g	45 g	45 g	45 g	29 g	46 g
Reseau	non		10/100 Mbits/s Ethernet		Wifi 802.11 ac Bluetooth 4.2	Ethernet Wifi Bluetooth

En regardant les différents modéles Raspberry Pi disponibles, on peut remarquer que certains modèles ont un signe "+" dans leur nom. Ce signe indique généralement des améliorations dans la conception. Par exemple, le Raspberry Pi modèle A dispose de 256 Mo de RAM, tandis que le Raspberry Pi modèle A+ dispose de 512 Mo de RAM, d'un emplacement microSD et de plus de GPIO.

Le Raspberry Pi 3 modèle B est le premier modèle de la troisième génération de Raspberry Pi. Il a remplacé le Raspberry Pi 2 Model B, Le Raspberry Pi 3 modèle B a un processeur broadcom BCM2837 64 bits quadricœur à 1,2 GHz et 1 Go de RAM, un réseau local sans fil et Bluetooth Low Energy (BLE) tandis que le Raspberry pi 3 modèle B+ a un processeur Broadcom BCM2837B0 Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit à 1.4GHz et 1GB deRAM, un Réseau local sans fil 2,4 GHz et 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac et Bluetooth 4.2 et BLE.

III.5.3. Les composants standards de Raspberry

Afin de bien visualiser ce qu'il est possible d'adjoindre à la carte Raspberry Pi nue, La figure3.11 représente tout à la fois son organisation générale et les différents connecteurs disponible d'un Raspberry standard :

Le centre de la carte est occupé par le processeur ou, plus exactement, par un empilement du processeur et de sa mémoire qui sont littéralement montés l'un sur l'autre.

L'autre gros circuit intégré visible sur cette face du circuit imprimé n'est autre que le contrôleur réseau, absent bien évidemment sur le modèle A.

La connectique qui occupe la majorité de la surface de la carte et non les composants actifs, et ce d'autant que des choix pour le moins curieux ont été faits au niveau des connecteurs, dont certains sont véritablement archaïques sur un produit aussi récent.

La prise réseau accepte une prise normalisée RJ45 et tout réseau Ethernet classique à 10 Mbits ou 100 Mbits par seconde.

Le double connecteur USB voisin et quant à lui conforme à la norme USB 2.0, rétrocompatible USB 2.0 comme il se doit.

Dans l'angle situé à coté de ces connecteurs on trouve cinq LED d'état du Raspberry Pi :

1. Une LED verte d'activité du processeur.
2. Une LED rouge de mise sous tension.
3. Une LED verte signalant le mode full duplex de la connexion réseau.
4. Une autre LED verte signalant l'activité réseau.
5. Une LED jaune indiquant que le réseau fonctionne à 100 Mbits par seconde.

La carte comporte :

1. Un processeur ARM : les architectures ARM sont des architectures de processeur, à faible consommation, introduit à partir de 1983 par « Acorn computers » et développées depuis 1990 par « ARM Ltd ».
2. Mémoire vive RAM : c'est la mémoire dans laquelle le raspberry place les données lors de son traitement .
3. Une connectique variée :

Port USB : est un port série qui sert à connecter le raspberry aux autres périphériques ou pour connecter une souris et un clavier.

Emplacement pour carte SD : le raspberry a besoin d'une mémoire externe supplémentaire pour fonctionner. Ce slot permet de connecter la mémoire externe. C'est ici que sont stockés le système d'exploitation et tes fichiers.

Port Ethernet : c'est un port qui correspond au protocole international ETHERNET de réseau local à communication de paquets.

Prise audio ou Une prise jack : c'est une connectique femelle stéréo de 3.5 mm de diamètre destiné à la connexion d'un casque, d'un pair de haut-parleurs amplifiés comme ceux que l'on utilise avec les PC, ou bien encore d'un amplificateur externe.

Port HDMI : « Hight Definition Multimedia Interface » permet de relier le Raspberry Pi à un dispositif compatible (écran LCD ou un vidéoprojecteur), capable de surcroît de fournir de la vidéo au format full HD de 1080p, et véhicule également le son.

Port RCA : « Radio Corporation of America », véhicule quant à lui le signal vidéo généré par le Raspberry Pi au format vidéo composite PAL ou NTSC et ne

permet donc qu'un affichage en basse résolution, sur un vieux moniteur à tube cathodique de surcroit.

Connecteur d'alimentation Micro USB : pour connecte à une alimentation électrique. Toujours faire ceci en dernier, après avoir connecté tous tes autres composants.

Ports GPIO : « General Purpose Input/Output » sont des ports d'Entres/Sorties qui nous permettent de connecter des composants électroniques tels que des LEDs et des boutons au Raspberry Pi.

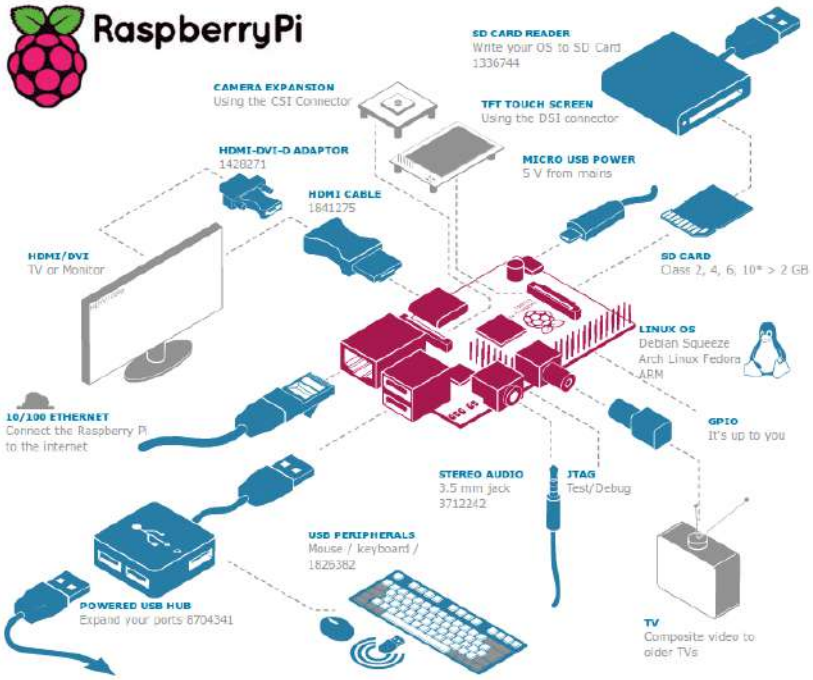


Figure3. 11: Les composants standards d'un Raspberry

III.5.4. Les GPIOs

GPIO simples : entrées/sorties numériques: interrupteurs ON/OFF numériques (manette de jeu, bouton-poussoir, allumer-éteindre lumière ou moteur, etc.)

PWM :« Modulation de la largeur des pics » signaux carres largeur variable pour la commande de moteur pas à pas, variateur lumière LED, variateur vitesse moteur continu, etc. Il y a un seul port GPIO configurable en PWM hardware sur

Raspberry Pi, ce dernier est nécessaire pour piloter les servomoteurs (temps de réponse courts pour encodeur en plus régularité précise).

UART : échange informations série asynchrone (pas d'horloge). Dialogue avec PC Windows (Putty).

I^2C : échange informations série synchrone (horloge). Tous les récepteurs au même niveau.

SPI: échange informations série synchrone (horloge). Récepteur maitre/esclave, maitre tournant possible.

Toutes ces choses nous allons les exploiter dans les parties suivantes pour relier notre Raspberry au monde extérieur et lui permettre ainsi de commander et de s'interfacer avec la carte arduino.

Autrement, notre carte dispose de connecteur micro USB qui sert uniquement à alimenter le Raspberry Pi.

III.5.5. Mise en marche d'un Raspberry Pi

Le Raspberry Pi peut être directement connecté à une IHM classique, souris/clavier/écran HDMI ou vidéo composite, cependant comme tout ordinateur Linux, Raspberry Pi peut intégrer ses propres outils de développement et une interface homme-machine reposant sur SSH contrôlable depuis un autre ordinateur par Ethernet ou WIFI.

III.5.5.1. Premier démarrage de Raspberry Pi

Nous aurons besoin de plusieurs choses. Tout d'abord, d'un Raspberry Pi, et de son alimentation. Ensuite, d'une carte MicroSD, Par ailleurs il vous faudra également Un clavier et une souris USB pour votre Raspberry Pi, et enfin un écran.

III.5.5.1.1. Préparation de la carte SD

Tout comme le disque dur d'un PC doit être préparé avec le système d'exploitation que l'on souhaite utiliser, la carte mémoire destinée au Raspberry Pi doit également être initialisée avec le système d'exploitation choisi. il ne pourra donc

pas démarrer sans cette dernière. La fondation recommande une carte d'au moins 4 Go et de classe 4 minimum.

La première étape consiste à télécharger le système d'exploitation de Raspberry Pi de la Fondation Raspberry Pi. Nous utiliserons « Raspberry Pi imager » pour ubuntu, Il suffit de télécharger le fichier ZIP et de l'extraire dans un nouveau dossier. Vous aurez alors un seul fichier image .img qui contient le système d'exploitation.

Ensuite, nous aurons besoin d'un programme qui puisse graver le fichier image du système d'exploitation sur la carte microSD. Nous utiliserons le logiciel balenaEtcher pour le faire, donc téléchargez-le et installez-le.

III.5.5.1.2. La Connection du Raspberry Pi

Branchez le Raspberry Pi pour le faire fonctionner de la maniere suivante :

Commencez par insérer votre carte microSD dans le logement prévu sur le Raspberry Pi.

Ensuite, connectez votre souris et votre clavier USB aux ports USB du Raspberry Pi, rien de bien particulier n'est à signaler en ce qui les concerne. N'importe quel clavier USB et n'importe quelle souris USB convient au Raspberry Pi et se connectent directement dans les deux ports USB prévus à cet effet sur le modèle B que nous allons utiliser.

Connectez le câble de l'écran au port HDMI du Raspberry Pi, utilisez un adaptateur si nécessaire, vous pouvez également utiliser la sortie RCA, Cette prise délivre un signal vidéo composite de qualité bien inférieure à celle permise par la sortie HDMI. cette sortie ne permettra pas de dépasser une résolution de 640 par 480p.

Si vous souhaitez connecter votre Raspberry Pi à l'internet par câble, utilisez un câble Ethernet pour relier le port du Pi à la prise Ethernet. Cette étape n'est pas nécessaire si vous ne voulez pas vous connecter à l'internet, En effet, tous les logiciels susceptibles d'être utilisés avec le Raspberry Pi sont téléchargeables sur internet ou doivent être mis à jour par ce biais, ce qui rend bien vite cet accès indispensable.

Fort heureusement, si vous disposez d'un réseau filaire, sa connexion au Raspberry Pi est immédiate puisqu'il suffit de faire appel à n'importe quel câble RJ45 standard. L'interface réseau du Raspberry Pi est évidemment de type auto MDI et accepte donc indifféremment les câbles réseau droits ou croisés.

Le Raspberry Pi n'intègre pas en standard un module WIFI donc il faudra faire l'acquisition d'une clé USB-WIFI si nous voulons l'utiliser.

Si votre écran est équipé de haut-parleurs, votre Raspberry Pi peut lire le son à travers eux. Sinon, vous pouvez brancher des écouteurs ou des haut-parleurs sur le port audio.

Lorsque vous avez branché tous les câbles et inséré la carte microSD requise, branchez l'alimentation électrique micro USB. Cette action met sous tension et démarre votre Raspberry Pi, Vous devriez voir une lumière rouge sur votre Raspberry Pi et des framboises s'afficher sur l'écran, Votre Raspberry Pi va alors démarrer sur une interface graphique et vous présenter le bureau. Une fois le système démarré, il va vous demander de vous identifier. Lors **du premier démarrage** le login par défaut est « pi », et le password est « raspberry ». Figure3.12 illustre la connexion avec les différents ports de Raspberry.

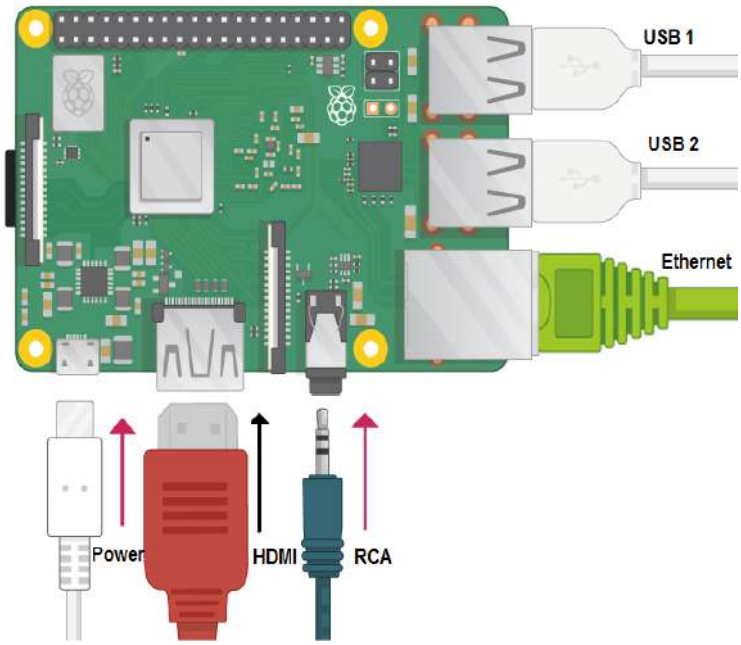


Figure3. 12: Connexion des périphériques

Maintenant que Raspbian est installé sur la carte SD, nous allons pouvoir configurer et modifier certains fichiers afin que le Raspberry Pi puisse fonctionner sans écran et sans clavier. Pour cela, nous allons commencer par activer SSH sur la Raspberry Pi.

III.5.5.2. Connexion à distance

En général, les systèmes embarqués n'ont pas de moniteur, de clavier et de souris, ils sont conçus pour fonctionner à l'intérieur d'un système matériel et donc inaccessible. Leur gestion se fait alors à distance, par l'intermédiaire de liaisons de communications séries ou par réseau filaire ou wifi. On accède alors au système en mode console grâce au protocole SSH (Secure Shell).

Le moyen le plus simple de contrôler le RPi à distance est donc d'utiliser le SSH. Mais il doit encore être activé, ce qui n'est plus le cas par défaut depuis 2016 et une attaque massive sur les objets connectés.

III.5.6. Activation de SSH

Pour activer SSH nous n'aurons besoin que de peu de matériel. Deux solutions sont possibles, Dans tous les cas, nous aurons besoin d'un RPI, de sa alimentation, et d'une carte SD avec Raspbian installé :

- **Activer SSH depuis le Raspberry Pi avec raspi-config** : dans ce cas vous aurez besoin d'un écran et d'un clavier.

Nous allons directement utiliser l'outil en ligne de commande `raspi-config`, Ouvrez un terminal, et tapez-y la commande suivante : `sudo raspi-config`

Vous allez arriver devant une fenêtre ressemblant à ceci (Figure3.13) :

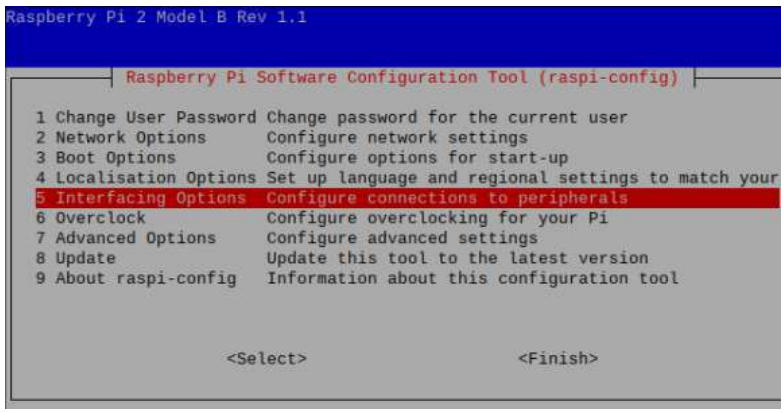


Figure3. 13: raspi-config menu

Descendez jusqu'au **Interfacing Options**, après validation vous arrivez sur un autre menu ou vous allez choisir **SSH** (Figure 3.14). Choisissez **Enable**, puis validez. Le système lance quelques commandes puis vous réaffiche une fenêtre vous indiquant le succès de l'opération.

- **Activer SSH sans écran ni clavier, depuis votre PC :** Deuxième solution pour activer SSH, si vous n'avez pas de clavier ni d'écran reliés à votre Raspberry Pi et vous voulez le gérer entièrement à distance.

Il suffit d'Insérez la carte SD de votre RPi dans votre PC, et créez un fichier nommé `ssh` dans la partition `boot` de la carte. Pas d'extension, pas de contenu, juste un fichier vide nommé SSH.

Retirez la carte du PC, remettez-la dans le RPi, allumez celle-ci, et voilà, SSH est activé !

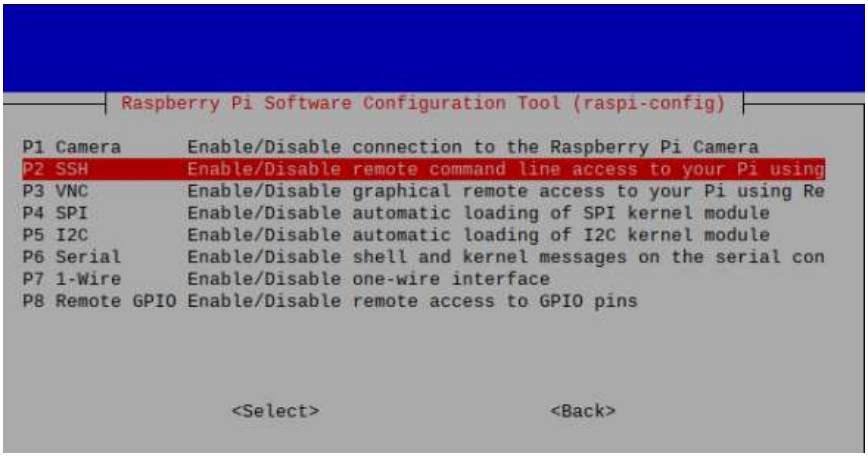


Figure3. 14: Activation de SSH

III.5.6.1.1. Activation de VNC

VNC, ou Virtual Network Computing, est un système permet de prendre le contrôle d'une machine distante, tout en affichant le bureau de celle-ci. Vous pouvez donc voir en temps réel ce qui se passe sur votre Raspberry Pi, sans pour autant avoir besoin de la brancher sur un écran.

Lors de l'utilisation de VNC, deux parties différentes du logiciel sont utilisées :

- La première partie est le serveur VNC : Celui-ci est installé sur le raspberry pi, et il va permettre la connexion et le contrôle par la partie client.
- La seconde partie est donc le client VNC : Celui-ci est installé sur votre pc, et il va permettre de traduire vos actions en opérations compréhensibles par le serveur qui va alors contrôler la machine distante depuis votre ordinateur.

Activer le serveur VNC sur votre Raspberry Pi : Une fois que vous êtes connecté en SSH à la raspberry Pi, nous allons pouvoir activer le serveur VNC qui est installé par défaut sur Raspbian, il vous suffit de lancer la commande : **sudo raspi-config,** de Choisissez **Interfacing Options**, puis **VNC**, et enfin validez l'activation.

Se connecter à VNC pour contrôler la raspberry pi : Maintenant que nous avons activé le serveur VNC de la Raspberry pi, il ne nous reste plus qu'à nous connecter dessus. Pour cela, nous allons devoir installer un client sur la machine depuis laquelle nous souhaitons prendre le contrôle de RPI.

Par défaut, le raspberry pi utilise le serveur RealVNC (voir la Figure 3.15), Nous devrons donc installer un client compatible, à savoir le client de RealVNC.

Une fois que vous avez installé RealVNC viewer, il ne vous reste plus qu'à le lancer et à vous connecter sur l'adresse IP de RPi, les identifiants par défaut sont ceux du compte pi.

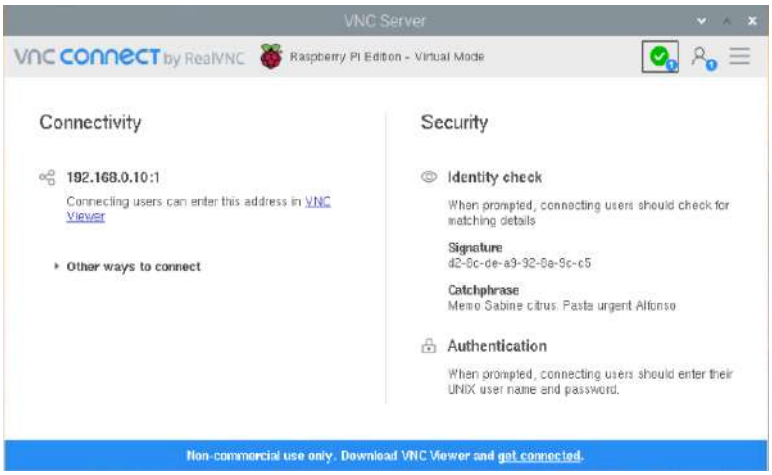


Figure3. 15: VNC server "realVNC"

III.6. La communication entre Raspberry Pi et Arduino

La communication série est une méthode couramment utilisée pour échanger des données entre le Raspberry pi et l'Arduino. Les transmissions série entre l'émetteur et le récepteur sont soumises à des protocoles stricts assurant leur sécurité et leur fiabilité, ce qui explique leur longévité.

La communication série utilise une méthode d'échange de données binaire numérique, se servant de différentes interfaces et de protocoles de communication série tels que communication série (UART), USB, I^2C, Ethernet, communication sans fil...

III.6.1. Communication par USB entre RPI et Arduino Uno

Pour établir la communication série entre Raspberry Pi et Arduino, il suffit de les relier grâce à un câble USB adapté(Figure3.16). Dans notre cas, nous utilisons un Raspberry Pi 2 et un Arduino UNO. Il nous faut donc un cable USB A Mâle vers USB B Mâle.

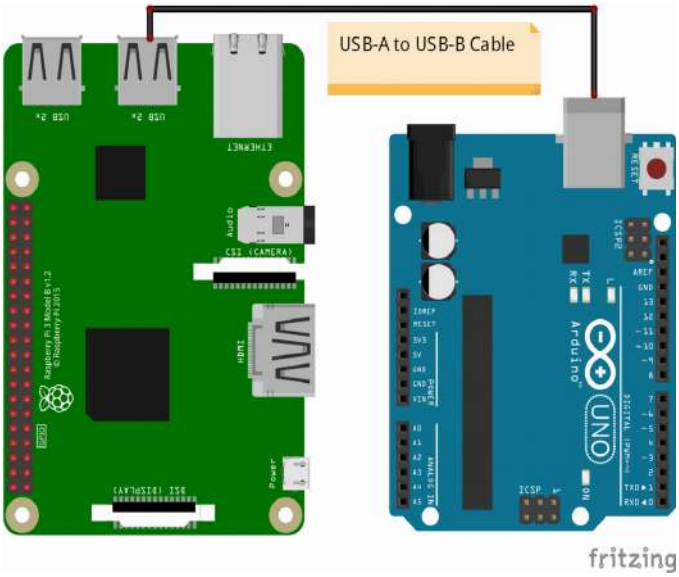


Figure3. 16: Communication série entre Raspberry Pi et arduino

Il est aussi possible de créer une communication série en utilisant les broches GPIO sur le Raspberry Pi et les broches Tx et Rx sur l'Arduino. Cette méthode peut être pratique si vous avez un Arduino avec plus d'un port série.

Le seul problème est que si vous utilisez un Arduino 5V, vous avez besoin d'un convertisseur de niveau. Pour recevoir un signal de 5V dans le Pi, un simple diviseur résistif suffira, mais pour passer de 3V3 à 5V, il faut un transistor (Figure3.17).

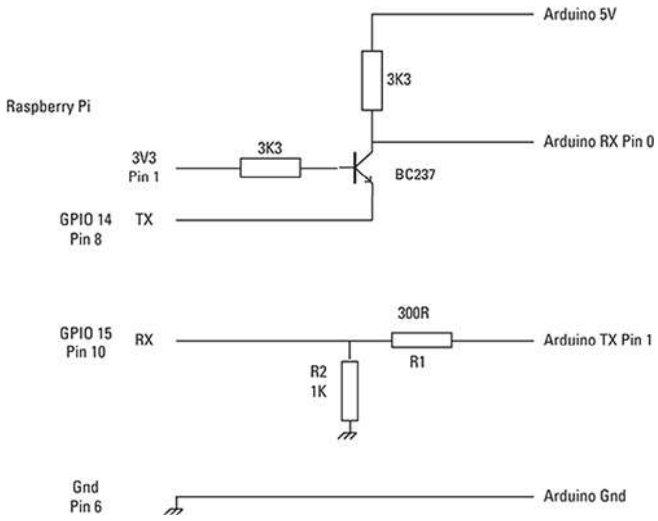


Figure3. 17: Un convertisseur de niveau de tension

La connexion des GPIO du RPI par les pin d'arduino se fait de la manière suivante (tableau III.3) :

Table III.3 : La laison serie entre RPI et arduino

Raspberry Pi 2	Arduino UNO
Tx (GPIO 14)	Rx (PIN 0)
Rx (GPIO 15)	Tx (PIN 1)
GND	GND

III.6.1.1. Les inconvénients de la communication par USB

La communication via le bus USB est l'une des formes les plus simple de communication en série, ce protocole n'utilise que deux fils, Rx et Tx . Comme aucune horloge n'est nécessaire ici, les deux appareils doivent utiliser leurs horloges internes indépendantes pour fonctionner. Il existe cependant un terme appelé débit en bauds qui aide ces appareils à rester synchronisés en fixant la vitesse d'échange des données. Le débit en bauds fait référence au nombre de bits de données transmis par seconde, de sorte que les deux appareils doivent fonctionner au même débit en bauds afin de maintenir leur bon fonctionnement.

Ce protocole fortement limité par le fait que seuls deux appareils peuvent communiquer en utilisant ce protocole à la fois. La broche Tx d'un appareil transmet les données à la broche Rx d'un autre appareil et de même, la broche Tx de ce dernier transmet les données à la broche Rx du premier appareil. C'est ainsi que l'échange de données à lieu.

Donc la communication par USB est facile à utiliser et largement répandu dans de nombreux périphériques Mais on ne peut pas utiliser plusieurs appareils maîtres et esclaves.

Lorsque on a plusieurs dispositifs maîtres, en dehors des dispositifs esclaves multiples, il est préférable d'utiliser l'interface I2C. Cela permettra également de réduire le nombre de fils à utiliser.

III.6.2. La communication I²C

III.6.2.1. Le protocole I²C

Le protocole I²C (ou Inter-Integrated Circuit) est un protocole matériel conçu pour permettre à plusieurs circuits intégrés esclaves de communiquer avec un ou plusieurs maîtres.

Sur un bus I²C, on peut trouver un ou plusieurs Arduino, d'autres types de microcontrôleur (l'un d'eux joue le rôle de maître), des afficheurs LCD, des cartes pilotes de moteurs, des convertisseurs analogique-numérique, des mémoires EEPROM, des horloges, des périphériques audios, etc.

Une communication I²C est défini par un bus de deux fils (parfois appelé TWI, Two Wire Interface) et une adresse.

Chaque appareil maitre ou esclave peut envoyer et reçoit des données en utilisant deux lignes bidirectionnelles :

- **SDA(Serial Data Line) :** La ligne de données.
- **SLC (Serial Clock Line)** : Le signal d'horloge de synchronisation .

Les masses des deux cartes doivent être reliées pour établir une référence commune de potentiel.

Figure3.18 illustre une communication entre plusieurs périphériques (Slaves) avec un Raspberry (Master) en utilisant le protocole I2C.

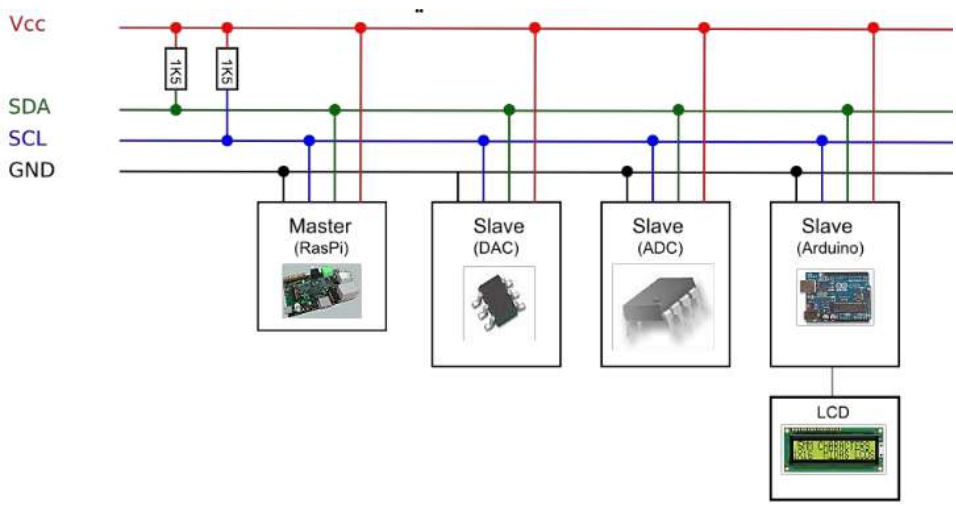


Figure3. 18: La Communication I2C

Dans la communication I²C, l'appareil maître initie les communications et fournit le signal d'horloge. Il n'est pas possible pour un appareil esclave d'initier des communications, il doit attendre jusqu'à ce qu'il soit appelé par le maître.

la transmission des donnees selon le protocole I²C (Figure3.19) se déroule comme suit :

La transmission commence par une condition START (tandis que la ligne SCL est à l'état HIGH, la ligne SDA bascule à l'état LOW).

S'ensuivent les 7 bits de l'adresse du composant (Slave Address), puis un bit R/W qui vaut ici 0 pour indiquer une opération d'écriture sur la ligne SDA.

Le composant adressé doit envoyer un bit d'acquittement (ACK pour Acknowledgement, selon les spécifications le composant esclave doit abaisser la ligne SDA pour acquitter de la bonne réception). Chaque octet de donnée écrit sur la ligne par le maître doit être acquitté par l'esclave.

La transmission s'arrête en finissant par une condition STOP (tandis que la ligne SCL est à l'état HIGH, la ligne SDA bascule à l'état HIGH).

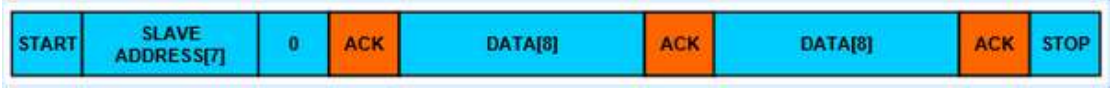


Figure3. 19: Trame des données selon le protocole I²C

III.6.3. Les avantages de communication I²C

Parmi les avantages de communication I²C nous mentionnons ce qui suit [24]:

- Flexible, car il prend en charge la communication entre plusieurs maîtres et plusieurs esclaves.
- Simple, car il n'utilise que deux fils bidirectionnels pour établir la communication entre plusieurs appareils.
- Adaptable, car il peut s'adapter aux besoins de divers dispositifs esclaves.
- Prend en charge plusieurs maîtres.
- Chaque équipement relié au bus dispose d'une adresse codée sur 7 bits, soit une possibilité de connecter 128 équipements.
- Les composants programmables récents comprennent des fonctions permettant de gérer le protocole I²C.

III.6.3.1. Communication I²C entre Raspberry Pi et Arduino

Le Raspberry Pi fonctionne à 3,3 volts tandis que l'Arduino fonctionne à 5 volts. Mais comme le Raspberry Pi fonctionne en tant que maître et l'Arduino en tant qu'esclave, donc on a pas besoin d'utiliser un convertisseur de niveau pour la communication I²C.

Pour établir la communication I²C entre Raspberry Pi et Arduino, il nous faut relier physiquement le bus qui utilise 3 broches. Comme illustre par le tableau III.4 et la figure3.20.

Table III.4 : La laison I²C entre RPI et arduino

Raspberry pi	Arduino
BCM 2 (SDA)	A4 (SDA)
BCM 3 (SCL)	A5 (SCL)
GND	GND

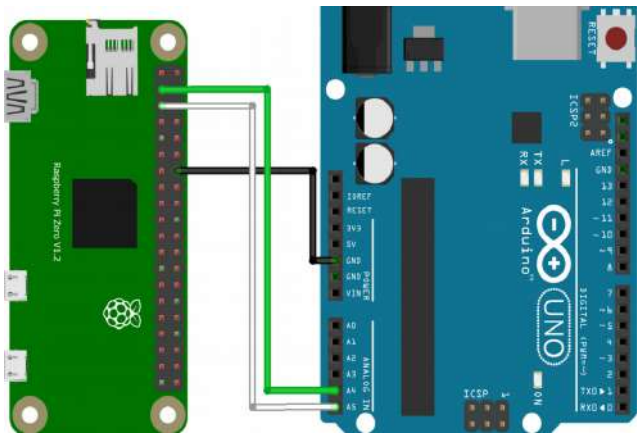


Figure3. 20: Communication i2c entre Raspberry Pi et arduino

III.6.4. Configuration du Raspberry Pi

Pour utiliser l'interface I²C du Raspberry Pi, celle-ci doit être activée dans le menu de configuration. Pour cela entrez la commande suivante dans le terminal : **sudo raspi-config**

Dans le menu, sélectionner **Interfacing Options** puis **I²C** et valider, après redémarrer le RPI, Changer la configuration du raspberry pour autoriser le protocole I²C, qui est parfois désactivé par défaut dans le fichier /etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf, mettre en commentaire (avec un #) la ligne blacklist i2c-bcm2708, Pour activer le module lors de chaque démarrage ajouter à la fin du fichier /etc/modules la ligne i2c-dev. Puis installer la suite des outils de gestion I²C par l'instruction apt-get install i2c-tools, et installer la librairie smbus qui permet de gérer la communication I²C côté Raspberry Pi par la commande : apt-get install python-smbus.

Un fois le branchement fait, on peut vérifier les appareils branchés sur le bus en tapant dans le terminal la commande i2cdetect -y 1, Le Raspberry Pi retourne la liste des adresses détectées sur le bus.

III.6.5. Préparation de l'arduino

La librairie utilisée pour la gestion de la communication I²C côté Arduino est la librairie **Wire.h**

La gestion du bus I²C et des fonctions hardware TWI (Two Wire Interface) des processeurs Atmel est intégré nativement dans l'IDE Arduino et ne nécessite donc pas d'installation de bibliothèques externe.

Pour initialiser l'arduino comme un esclave, il faut importer la bibliothèque wire, Cela se fait en début de programme par l'instruction : #include <Wire.h>.

Tout comme la bibliothèque Serial, il est nécessaire avant la fonction de mettre en argument Wire.

Parmi les fonctions utilisables sur la carte arduino uno pour la communication I²C, nous mentionnons :

- **la fonction wire.begin() :** Initialise la librairie Wire et se connecte au bus I²C en tant que maître ou esclave. Cette instruction ne doit normalement n'être appelée qu'une seule fois au début du programme.

Si l'Arduino rejoint le bus de communication sans adresse, il le rejoint comme maître. A noter qu'un seul maître est nécessaire et suffisant, sinon les communications vont être parasitées si 2 maîtres envoient chacun un ordre par exemple.

Mettre une adresse comme paramètre indique que le périphérique rejoint le bus comme un périphérique esclave :Wire.begin(adresse)

- **la fonction wire.onRequest() :** Enregistrer une fonction à appeler lorsqu'un maître demande des données à ce périphérique esclave.
- **La fonction wire.onReceive() :** Enregistre une fonction à appeler lorsqu'un périphérique esclave reçoit une transmission d'un maître.
- **La fonction wire.write():** Cette fonction écrit le paramètre qu'on lui donne (le premier) sur le bus de communication. Elle est commune aux deux types de périphériques.
- **La fonction wire.read() :** Lit un octet qui a été transmis d'un périphérique esclave à un maître après un appel à requestFrom() ou a été transmis d'un maître à un esclave.

III.7. Le réseau des capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil (Figure3.21) est un type spécial de réseaux adhoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de recevoir et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome sans intervention humaine. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée, ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté. La figure3.21 montre que le réseau possède en général un nœud particulier, la base (ou sink), connectée avec les autres nœuds par un réseau filaire est reliée à une alimentation électrique [25].

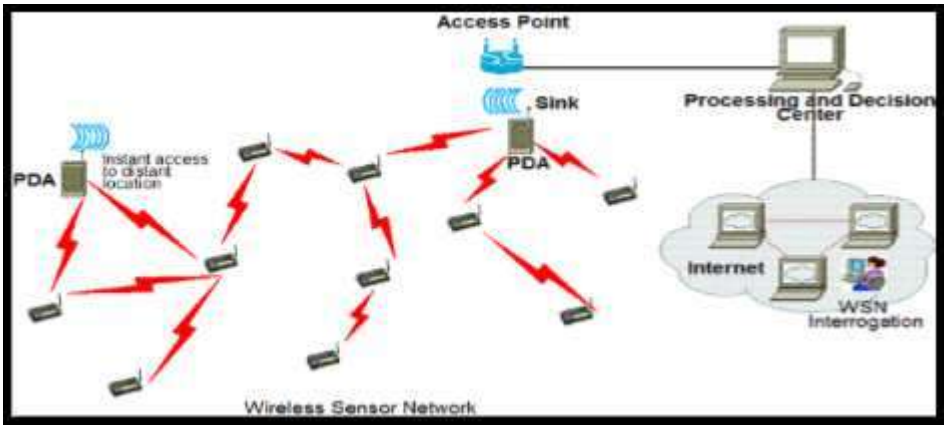


Figure3. 21: réseaux de capteurs sans fils

III.8. Communication radio fréquence

III.8.1. Présentation du module nRF24L01+

Le module nRF24L01+ est un émetteur-récepteur faible puissance qui permet l'échange de données sans fil sur la bande de fréquence radio 2.4GHz. Il permet de communiquer entre deux appareils de manière efficace et sur une moyenne distance (50m) lorsque ces derniers sont en vue directe, c'est-à-dire sans obstacle [26].

III.8.2. Pins de module nRF24L01+

La figure3.22 montre les broches de module nRF24L01+. Il contient les pins

suivants :

- **GND** : est la broche de terre.
- **VCC** : fournit l'alimentation au module. Cela peut être n'importe où de 1,9 à 3,6 volts.
- **CE** : (Chip Enable) est une broche active-HAUTE. Lorsque sélectionné, le nRF24L01 transmettra ou recevra, selon le mode dans lequel il se trouve actuellement.
- **CSN** : (Chip Select Not) est une broche active-LOW et est normalement maintenue à l'état HIGH. Lorsque cette broche devient faible, le nRF24L01+ commence à écouter les données sur son port SPI et les traite en conséquence.
- **SCK** : (Serial Clock) accepte les impulsions d'horloge fournies par le bus maître SPI.
- **MOSI** : (Master Out Slave In) est l'entrée SPI du nRF24L01+.
- **MISO** : (Master In Slave Out) est la sortie SPI du nRF24L01+.
- **IRQ** : est une broche d'interruption pouvant alerter le maître lorsque de nouvelles données sont disponibles pour traitement.



Figure3. 22: Pins de module nRF24L01+

III.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents outils hardware (Raspberry et Arduino) et software (Node-RED) ainsi que les moins de communication (I^2C, série et radio fréquence), aussi nous avons pris une notion sur l'internet des objets et ses applications.

Dans le prochain chapitre, nous expliquerons les détails de l'implémentation de notre système.

Chapitre IV:

Réalisation et Implémentation

Chapitre IV. Réalisation et Implimentation

IV.1. Introduction

La révolution numérique touche tous les secteurs de l'économie, y compris l'agriculture. On parle aujourd'hui « d'agriculture numérique », c'est-à-dire d'une agriculture qui utilise les technologies de l'information et de la communication (TIC).

Le développement des technologies de l'information et des communications a une influence croissante sur la façon dont l'information est divulguée et obtenue dans le secteur agricole.

Pour bénéficier de TIC un système intelligent de stockage, contrôle et supervision a été proposé. Le but de ce chapitre est présenté en détaille les différentes étapes suivies pour réaliser notre projet.

IV.2. Description du systeme

Le système des serres connectées et intelligentes que nous avons proposé contient deux parties :

- Une partie pour la conception et le développement d'une base de données pour stocker les informations agricoles.
- L'autre consacrer pour la conception d'une IHM pour faire la supervision à distance des données des serres collecter par le réseau de capteurs sans fils implanté dans notre serre agricole.

Le systeme doit assurer les fonctionnalités suivantes :

- Une collection de l'ensemble des données des serres et de leur environnement à distances via un réseau de capteurs sans fils.
- Une supervision à distance des serres par un PC, smartphone, etc.
- Un contrôle automatique des serres assisté par un système embarqué pour établir les conditions climatiques idéales.

- Un contrôle manuel où l'opérateur humain peut intervenir à tous les moments dans le processus de contrôle moyennant une interface appropriée.

Notre système offre à l'utilisateur deux options de contrôle : le contrôle manuel de la serre via un ordinateur ou un smartphone et un autre contrôle automatique.

Les services que notre système peut fournir que ce soit le contrôle est automatique ou manuelle sont :

- Gestion d'irrigation.
- Gestion de ventilation.
- Gestion d'humidité.
- Gestion de la densité du gaz CO_2.
- Gestion de l'éclairage.

IV.3. Principe de fonctionnement de systeme proposé

Le système que nous proposons est une solution pour connecter ensemble des serres et les controler a distance, Notre systeme basée sur l'installation de plusieurs noeuds contient des capteurs pour collecter les différents paramètres agricoles.

Ces données sont envoyées vers un noeud collecteur Sink en utilisant la communication RF (radio fréquence). Ensuite, le Sink transférées ces données vers l'unité de traitement Raspberry Pi via la communication I^2C.

Nous utilisons les informations issues des capteurs toutes les minutes pour remplire la base de données MySQL installé sur notre Raspberry Pi. Nous utiliserons Node Red pour présenter ces données sous forme des jauges et des graphiques retraçant l'évolution des dernières mesures.

En plus, l'interface graphique cree par Node-Red, offre à l'utilisateur un contrôle à distance des serres.

Le système illustré par la figure 4.1 contient quatre parties principales :

- **La première étape : Acquisition des données**

Cette partie consiste de collecter les données de l'environnement intérieur de la serre en temps réel par l'utilisation d'un réseau de capteurs sans fils nœud installée

dans chaque serre. Ces données sont envoyées vers un nœud collecteur (Sink) en utilisant la communication RF. Le nœud de collecte des données Sink transférées ces données vers l'unité de traitement (Raspberry) via la communication I2C.

- **La deuxieme étape : Stockage des données**

Nous avons utilisé le langage python pour stockées ces valeurs dans la base de données, nous avons déjà créé une base de données pour chaque serre et des tables avec phpMyAdmin.

Nous installerons également un serveur Apache et phpMyAdmin pour faciliter la gestion la base de données MySQL.

- **La troisieme étape : Affichage des données**

Pour assurer la lecture des données, nous allons soumettre la requête toutes 30 seconds. En utilisant des nœuds crée par Node-Red, Nous communiquons à la base de données pour récupérer les données à afficher. Nos données sont affichées à l'aide de l'IHM, à partir de cette interface on peut également contrôler le bon fonctionnement du système.

Notre interface graphique permet également à l'utilisateur de récupérer l'historiques des données pour une année, que ce soit les données pour une période de temps ou pour un jour précis.

- **La quatrième étape : Traitement des données**

L'utilisateur du l'IHM est libre de basculer entre le contrôle automatique et le contrôle manuel, Le contrôle automatique permet au système de réagir d'une manière intelligente pour établir les conditions climatologiques idéales pour les plantes et de prendre une décision pour chaque paramètre. Dans le cas de contrôle manuel, l'opérateur humain peut intervenir dans le processus de contrôle comme celui d'irrigation, d'aération, l'activation du chauffage, l'activation de la ventilation, etc.

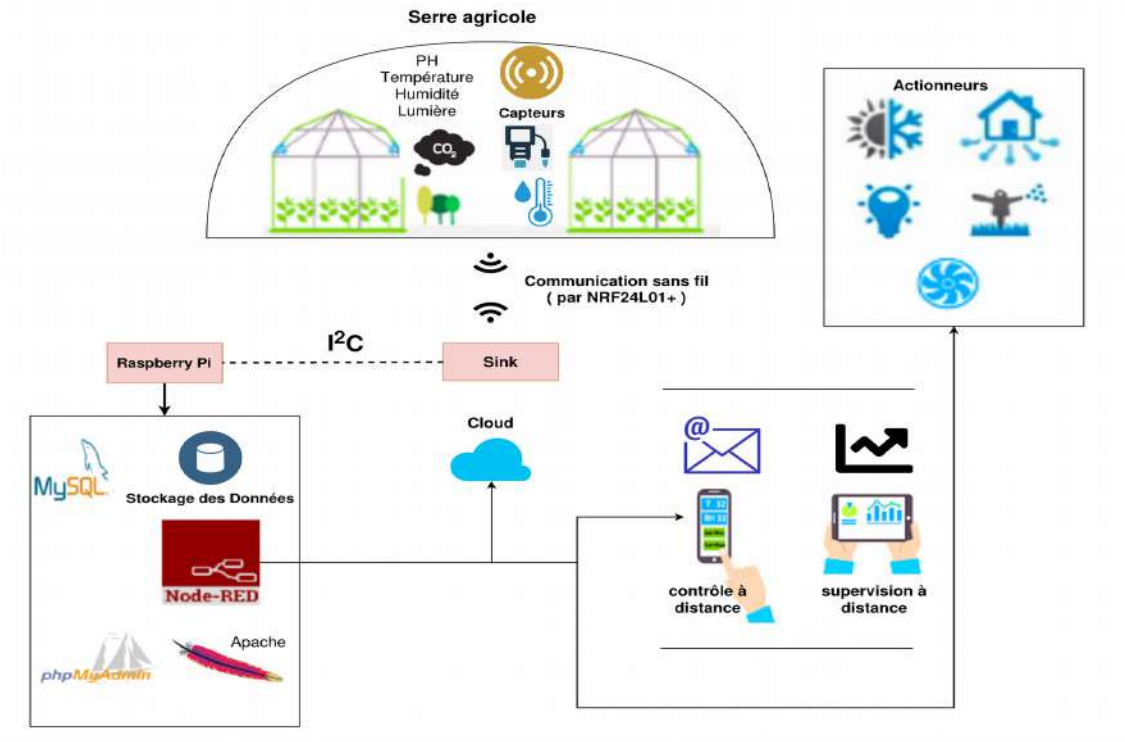


Figure4. 1: Architecture du système proposé

La figure4.2 montre l'architecteur interne du système proposé :

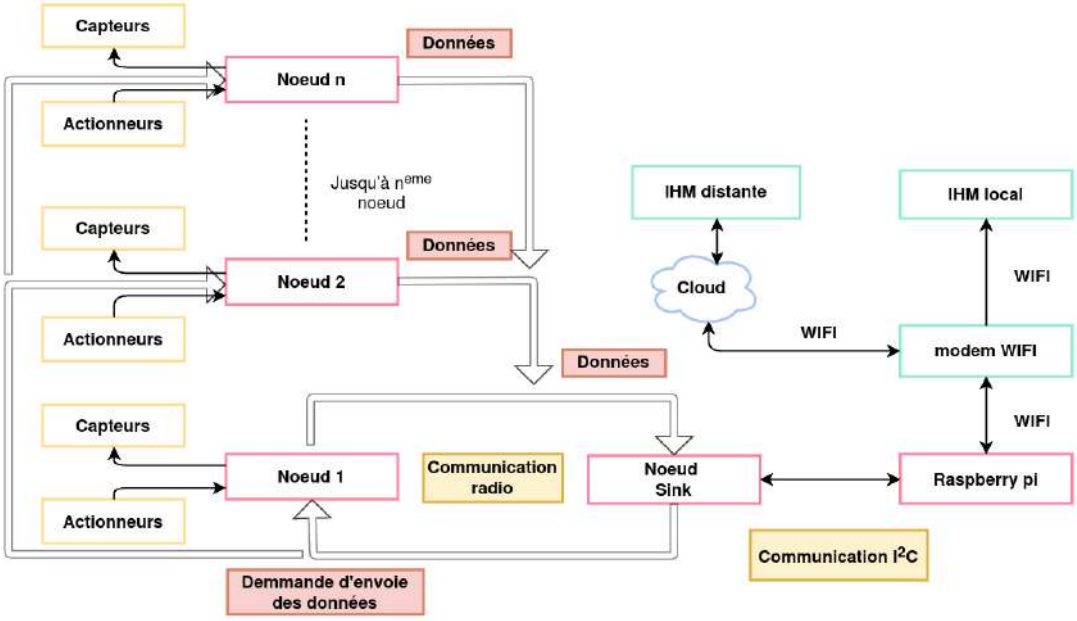


Figure4. 2: L'architecteur interne du système proposé

IV.4. Solutions hardware et software

IV.4.1. Hardware

Notre système est constitué de :

1. Un bloc d'alimentation.
2. Module de capture des informations :
   - Capteur d'humidité de l'air et de température : DHT11
   - Capteur de rayonnement solaire :LDR
   - Capteur d'humidité de sol : YL-69
   - Capteur de PH.

Nous avons obtenu d'autres paramètres d'après notre application web pour améliorer le contrôle automatique, tels que les informations sur la météo : la pluie, la vitesse et la direction du vent.

3. Module actionneur :
   - Électrovanne pour la gestion d'arrosage.
   - LED ou une lampe de lumière pour contrôler l'éclairage dans la serre.
   - Ventilateur pour l'aération de la serre.
   - Chauffage pour la gestion de température.
   - Humidificateur / extracteur pour la gestion d'humidité.
4. Module de communication **:** Nous pouvons constater qu'il y a deux types de liaisons :
   - La communication I^2C : entre le nœud principal (Sink) et le RPI.
   - La communication sans fil radio fréquence (entre le Sink et le reseau de capteurs).
5. Nœud de capteurs : contient de réseau de capteurs basé sur Arduino esclave et un module nRF24L01+ dont le rôle de transmettre les données du capteur au nœud de collecte des données à l'aide d'une communication radio fréquence.
6. Nœud de collecte des données (Sink): se compose d'Arduino maitre et un module nRF24L01+ dont le rôle de transfère des données vers l'unité de traitement Raspberry via la communication I^2C.

7. Unité de traitement : c'est le RPI, joue le rôle de serveur web qui analyse, traite, enregistre des données climatiques et envoyer la commande aux différents actionneurs (led, ventilateur, chauffage, extracteur et humidificateur).

IV.4.2. Software

- **Node-Red :** un outil de développement basé sur le langage **JavaScript,** utilisé pour créer une interface homme-machine (IHM) pour la visualisation et le controle des paramètres climatiques des serres à distance via une communication sans fils (WIFI).
- **Langage C :** utilisé dans la carte Arduino a travers Arduino IDE.
- **Langage Python :** utilisé pour programmer la carte RPI.
- **Language SQL :** qui permet d'interagir avec less bases de données relationnelles.
- **MySQL :** un système de gestion de bases de données relationnelle qui permet de gérer les bases de données.
- **L'interface phpMyAdmin :** utilisé pour la création et l'administration des base sans avoir à écrire des requêtes.

IV.5. Algorithmes

Avant de passer à l'implémentation, nous devons réaliser des organigrammes qui expliquent le déroulement des différentes séquences, ils comportent plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement.

A) **Collection et Stockage des données**

L'algorithme illustré dans la figure4.3 illustre le principe de collection et de stockage des données.

B) **Supervision et de contrôle des paramètres climatique**

L'algorithme illustré dans la figure4.4 est bien explique le principe de contrôle et supervision.

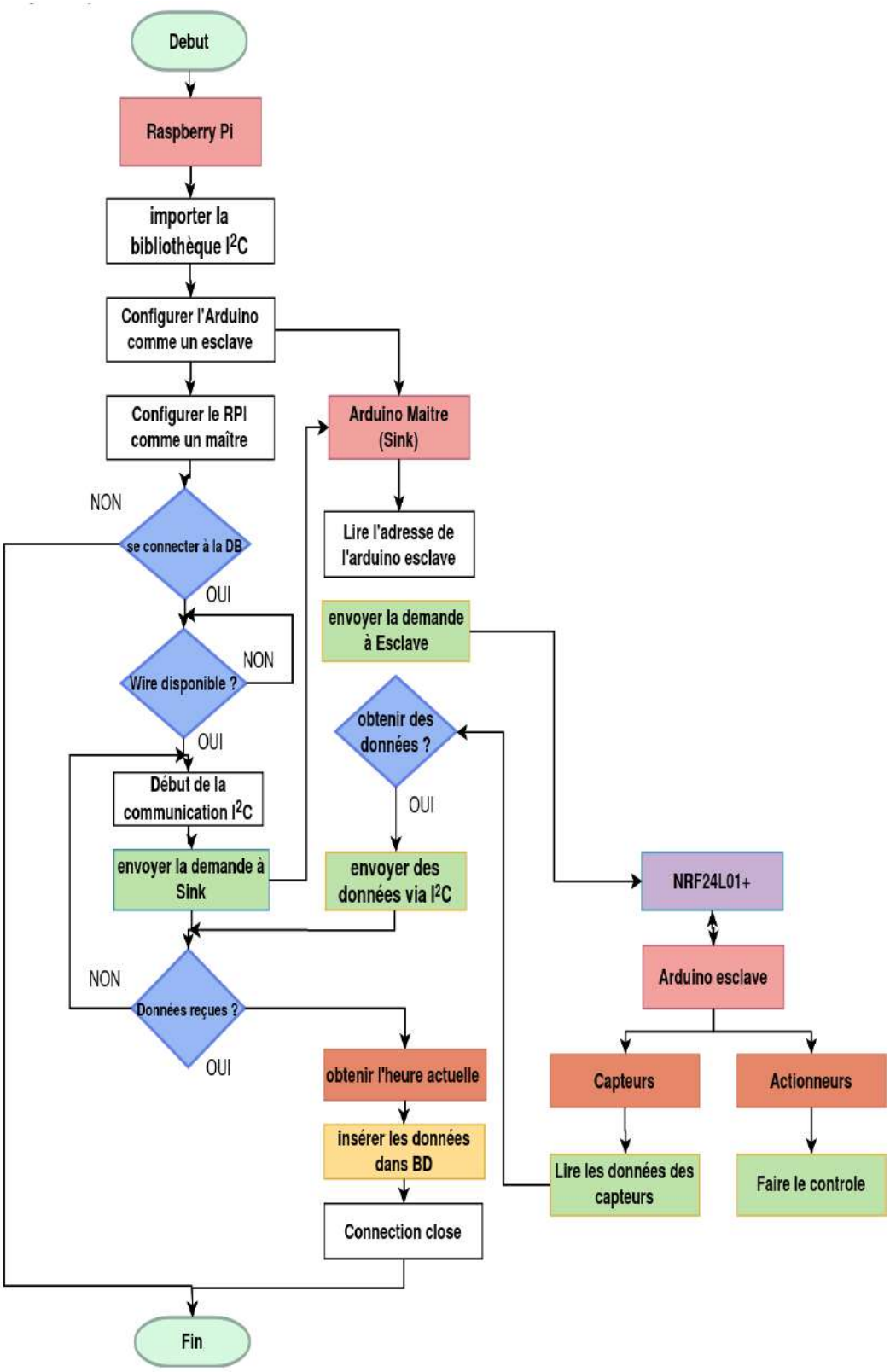


Figure4. 3: Collection et stockage des données

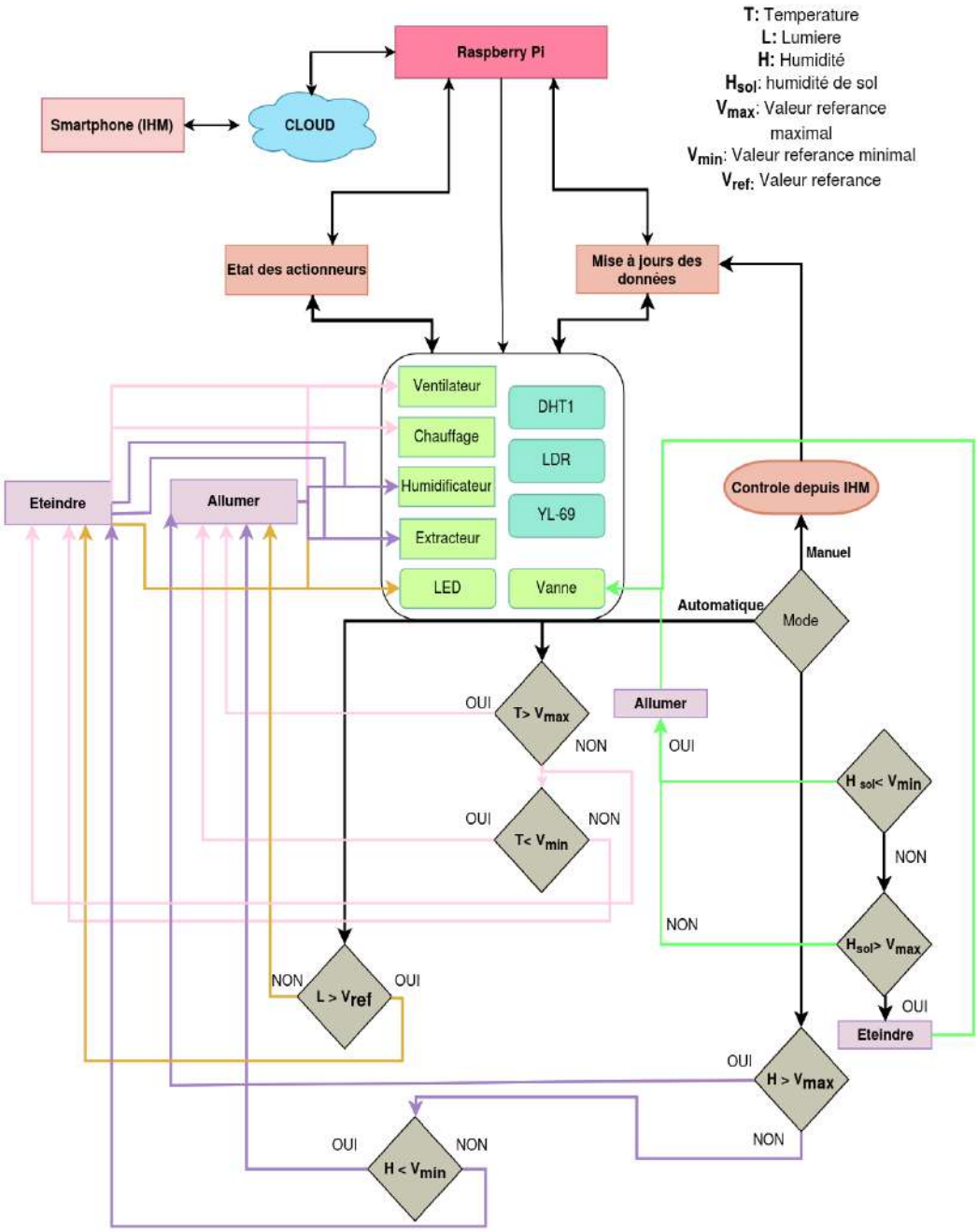


Figure4. 4: Principe de suppervision et de controle

IV.6. Implémentation du système

IV.6.1. La création de la base données

Suivant les étapes présenter dans le chapitre II, une base de données db a été créé dans notre projet. Elle est contenue deux tables Serre1 et Serre2, nous les avons utilisé pour stocker les données climatiques de deux serres, le tableau suivant présente quelque champs de la table :

Les champs	id	temp	lum	humd	humdsol	Img
leur contenu	Numéro d'identification	Température	La lumière	Humidité	Humidité de sol	Les images capturées par la camera

Chacune des tables contient 13 colonnes de types différents :

- Le champ **Id** est de type **INT**, **PRIMARY** et **Auto-incrémental**.
- Les champs **temp** et **lum** sont de type **INT**.
- Les champs **CO2** ,**vent**, **pluie** et **ph** sont de type **DOUBLE**.
- Les champs **humd** et **humdsol** sont de type **float**.
- Le champ **img** est de type **longblob** pour les images capturées par la caméra installée dans la serre.
- Le champ **GPS** est de type **text** pour les coordonnées géographiques.
- Le champ **date** est de type **DATE** pour la date actuelle.
- Le champ **time** est de type **TIME** pour l'heure.

La figure4.5 montre la table « **Serre1** » et ses champs.

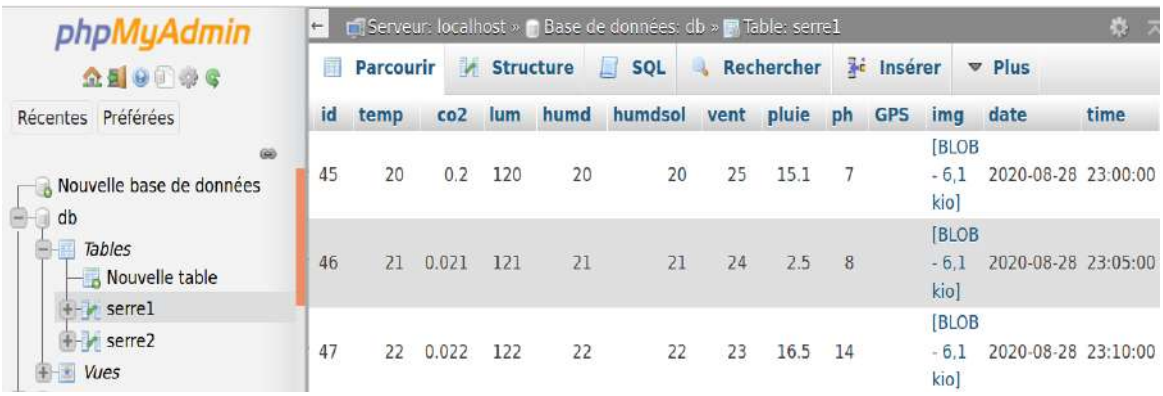


Figure4. 5: La table Serre1

IV.6.2. L'interface IHM

IV.6.2.1. Premier flow sous NODE-RED

Commençons par réaliser un flow très simple, ce flow lit la dernière valeur de la température stockée dans notre base de données et l'affiche dans une jauge dans dashboard (Figure4.5).

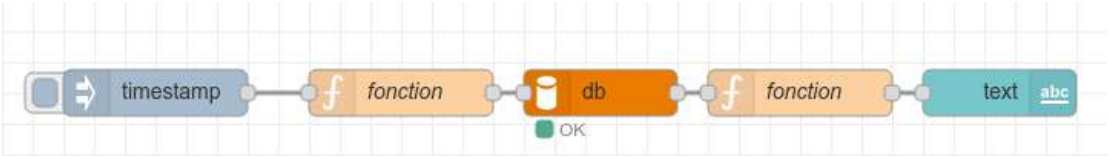


Figure4. 6: Lire la derniere valeur de la température

Ce flow composé de :

- **un nœud MySQL :** Permet l'accès de base à une base de données MySQL.
- **un nœud Gauge :** pour ajouter un widget de type jauge à l'interface utilisateur.
- **un nœud text :** qui affiche le msg.payload comme un champ de texte non modifiable sur l'interface d'utilisateur.
- **un nœud function :** Le nœud Fonction permet de faire passer un message par une fonction JavaScript.
- **un nœud Inject :** Le nœud d'injection nous permet d'injecter des messages dans un flux, soit en cliquant sur le bouton du nœud, soit en fixant un intervalle de temps entre les injections. En déployant (en cliquant sur le bouton **deploy**) on obtient bien la dernière valeur stockée dans la base de données (Figure4.6) :

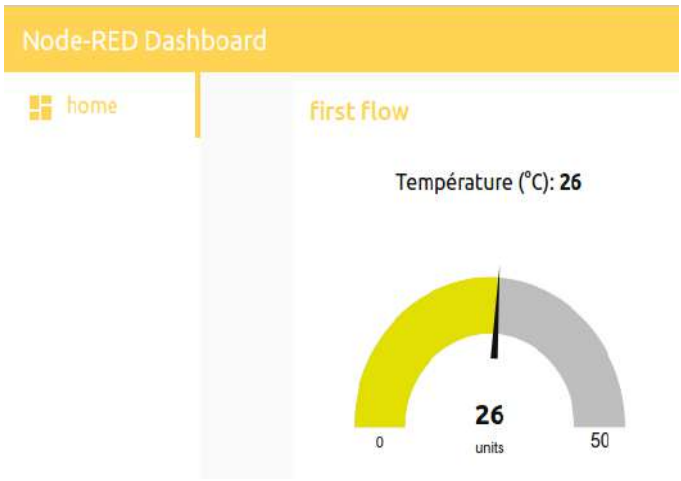


Figure4. 7: Affichage de température en temps réel

IV.6.2.2. Les nœuds de base

Notre interface IHM est créée par l'utilisation des plusieurs nœuds pour former les différents flux.

A) Noeuds d'obtenir des données

Le flux de récupération des données stockées dans la base de données est constitué de trois blocs principaux, de bloc fonction écrit en JavaScript, un bloc MySQL qui permet l'accès de base à une base de données MySQL et un bloc debug de débogage pour l'affichage des sorties (voir la figure4.7).

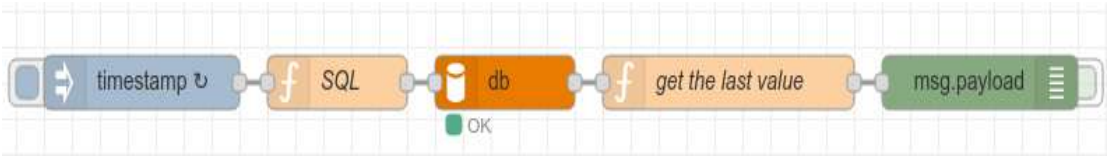


Figure4. 8: Noeuds d'obtenir des données

On utilise le nœud **injection** pour initier le flux, le nœud **SQL** pour afficher toutes les valeurs de la BD et le nœud **get the last value** pour sélectionner la dernière valeur seulement.

Les configurations de nœuds nommées **db**, **get the last value** sont montrées dans les figures 4.8, 4.9 et 4.10 respectivement.

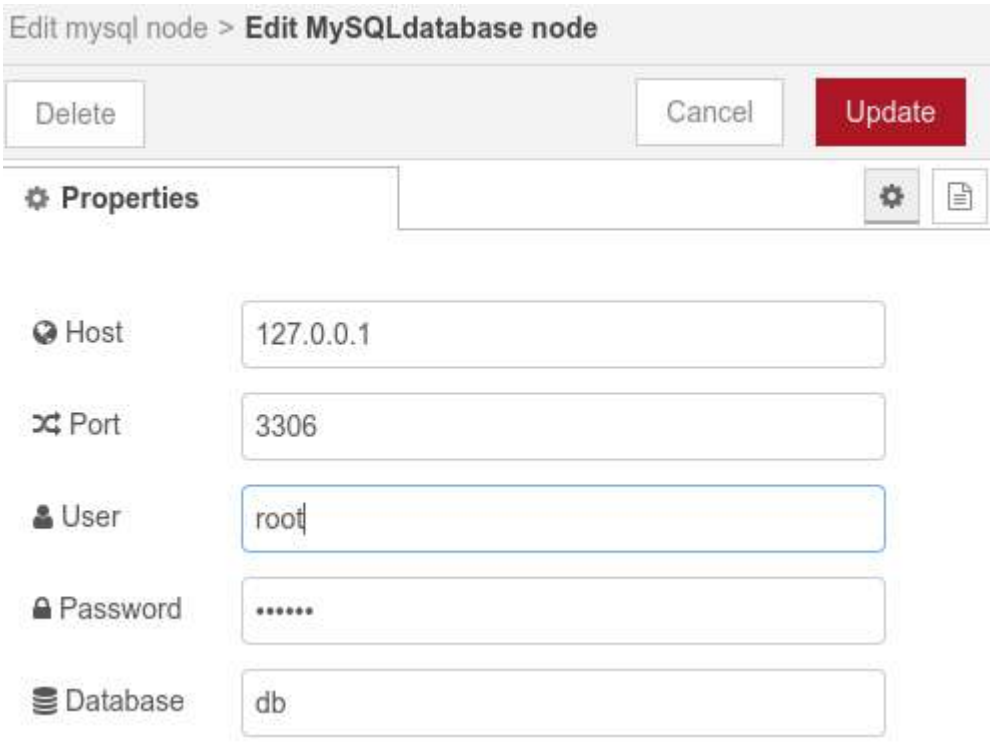


Figure4. 9: Le noeud db

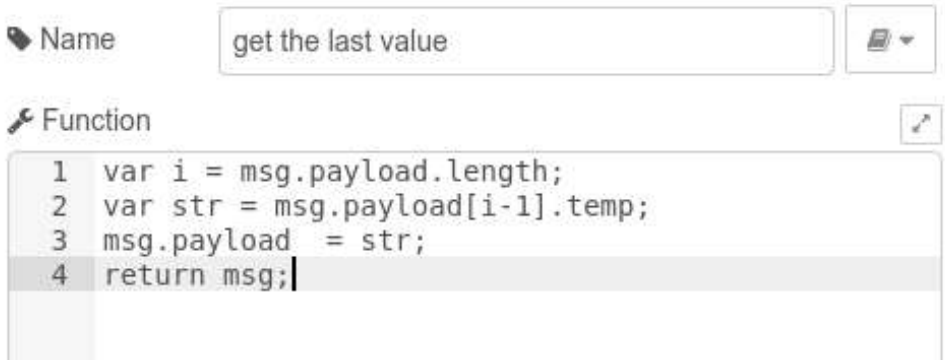


Figure4. 10: La fonction " get the last value "

B) Nœuds de Visualisation des données

Nous pouvons afficher les données de la BD grâce aux éléments graphiques de Node Red (figure4.11).

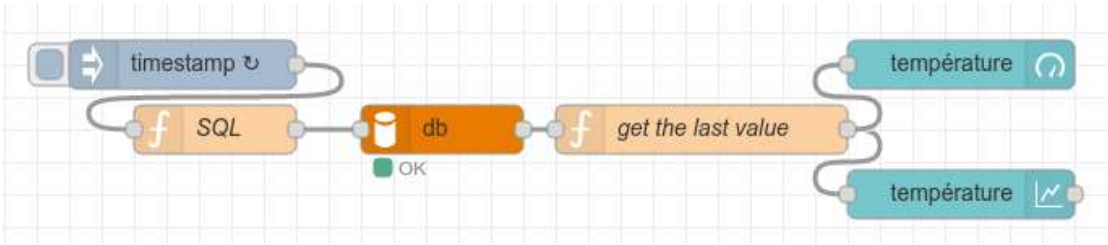


Figure4. 11: Les nœuds pour l'affichage

C) Nœuds d'envoi des données

Les commandes envoyées par l'IHM aux différents actionneurs sont effectuées via la communication I²C, pour que le Node Red utilise le bus I²C. Pour cette raison le nœud I2C bus a été utilisé (voir la figure4.12).

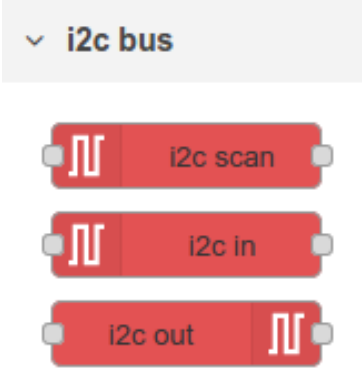


Figure4. 12: Le noeud I²C

Pour envoyer via le bus I²C, on clique sur le nœud pour configurer les paramètres de bus I²C (Numéro de bus, adresse du bus, etc.) (Voir la figure4.13).

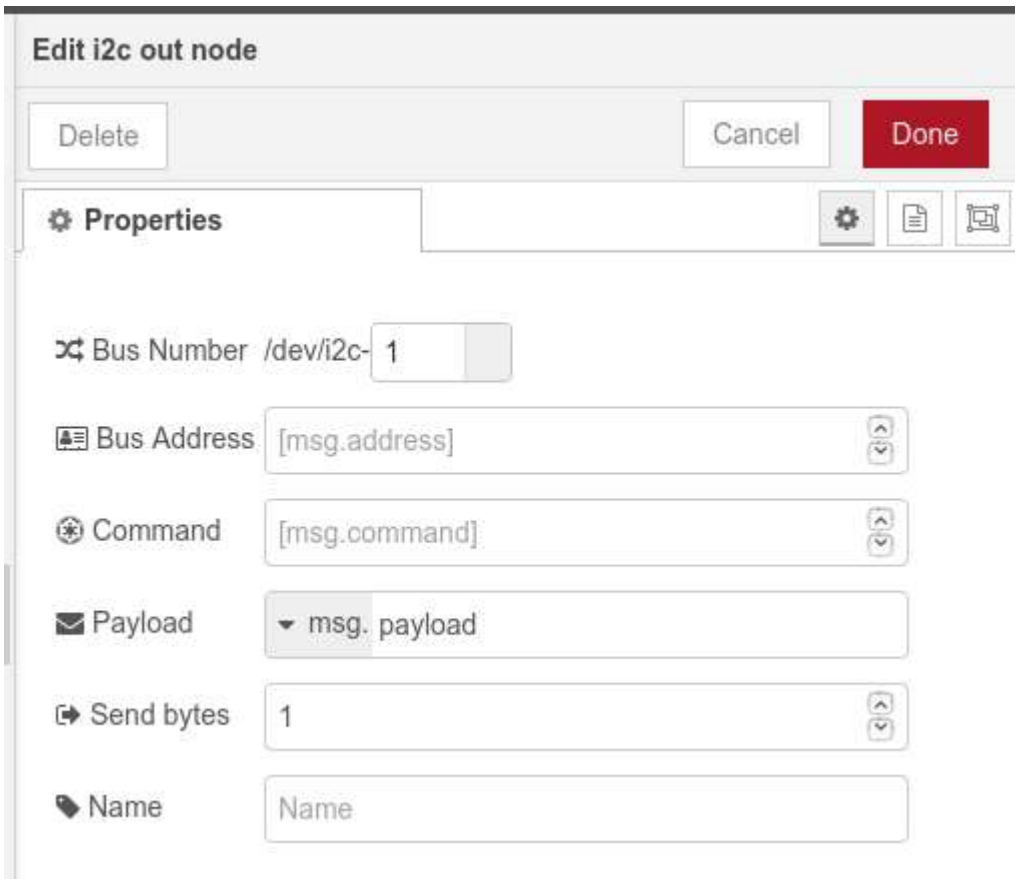


Figure4. 13: Configuration du nœud I²C out

IV.6.2.3. Présentation des interfaces

Dans ce qui suit, nous présentons notre application web en exposant les différentes interfaces que nous avons réussie à mettre en place.

A) Interface de connection

La Figure 4.14 illustre l'interface de connexion. Pour avoir accès à cette interface, l'utilisateur doit insérer un mot de passe.

Cette interface contenant aussi le logo de l'application, Nous avons choisi le mot *Hi-green* comme le nom de notre projet.



Figure4. 14: Interface de connexion (Welcome page)

B) Interface de la page d'accueil

Après avoir accédé à l'application une interface de menu qui apparue dans le but de choisir qu'elle genre d'information voulant on savoir ou gérer.

On a deux serres à contrôler dans notre application et il y a une possibilité de choisir entre les deux langues : arabe ou français.

La page d'accueil nous donne une vue globale sur les éléments les plus importants de notre IHM, Il contient trois éléments principaux :

1. Une liste de boutons pour obtenir : courbes graphiques, graphes, historique des données, image capturée par une caméra de surveillance, météo et calendrier. Ainsi que deux boutons de contrôle (manuel ou automatique) et deux autres boutons pour la sélectionne des serres.
2. Une section spéciale pour afficher les valeurs actuelles des capteurs les plus importants, et une autre pour les remarques afin d'aider l'opérateur humain dans le contrôle manuel.
3. Une barre d'affichage contient la date et l'heure actuelles ainsi que deux boutons permettant de basculer entre les deux langues : l'arabe et le français.

Les figure4.15 et 4.16 illustrent l'interface de la page d'accueil en deux langues (français et arabe) :

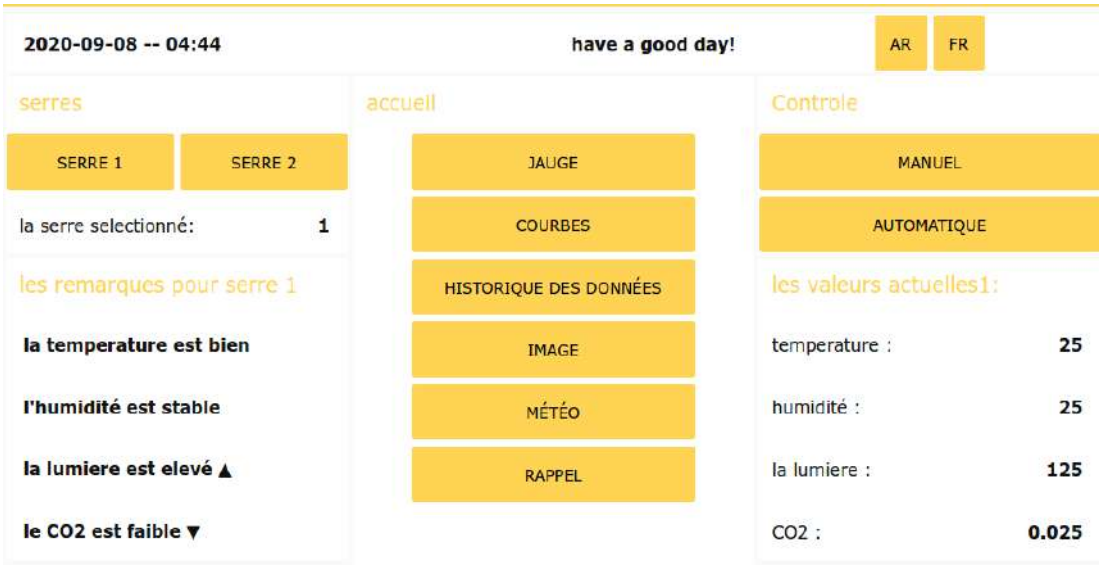


Figure4. 15: La page d'accueil en français

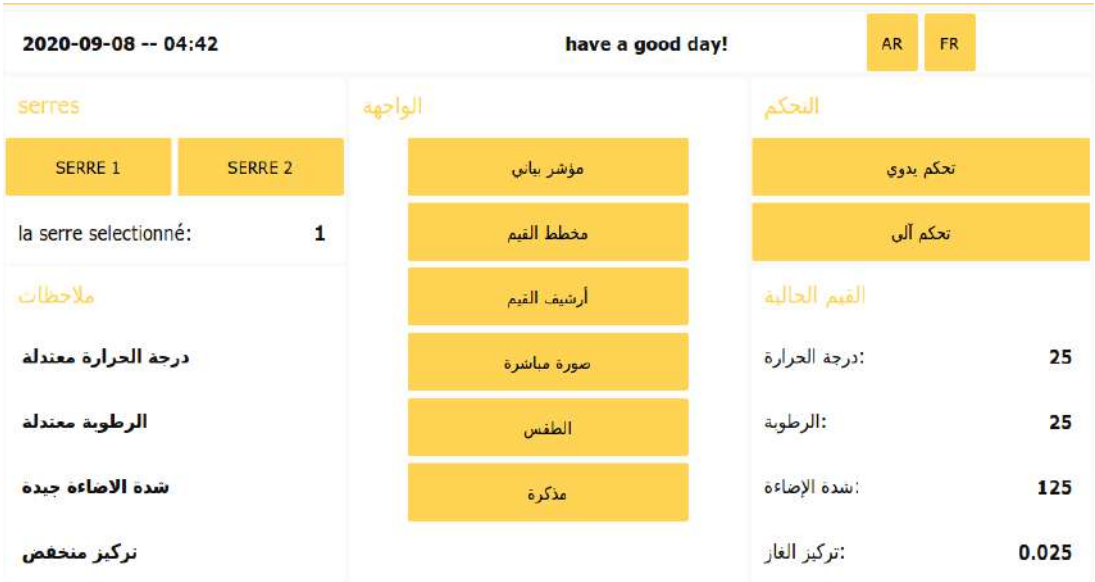


Figure4. 16: La page d'accueil en arabe

Les données extraites de la base de données via le nœud MySQL sont traitées par des fonctions écrites en langage javascript pour afficher des remarques et des conseils.

Les conseils sont afficher à l'interface de contrôle manuel.

Les nœuds de remarques et de conseils liés aux valeurs de température sont indiqués dans la figure 4.17 :

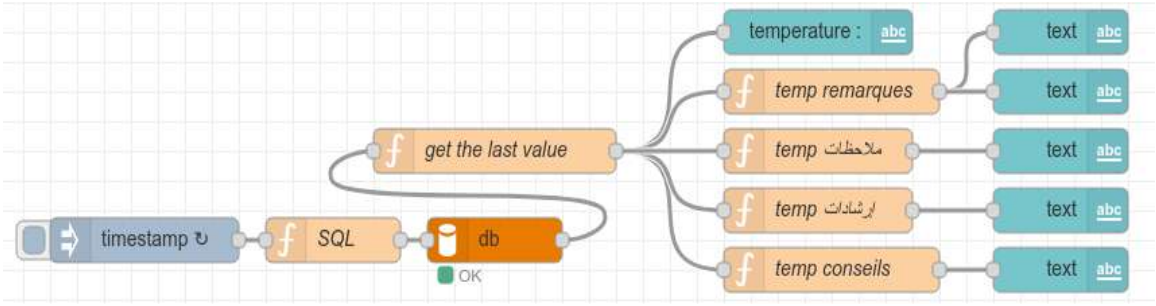


Figure4. 17: Les noeuds de remarques et des conseils

C) Interface de suivi de la météo

pour obtenir les données envirenmentaux à l'exterieur des serres sans l'utilisation des capteurs, Nous utilisons les services de openweathermap,org/[27] qui permet d'accédez aux données météorologiques actuelles pour n'importe quel endroit sur la Terre, La météo actuelle est fréquemment mise à jour.

En préalable, Nous devons s'enregistrer auprès de ce site et récupérer une clé API qu'il faudra fournir au nœud **node-red-node-openweathermap**, ce nœud reçoit le bulletin et les prévisions météorologiques d'OpenWeatherMap, Les données sont disponibles en format JSON, XML ou HTML.

Le flux utilisé pour la météorologique est indiqué dans la figure4.18 :

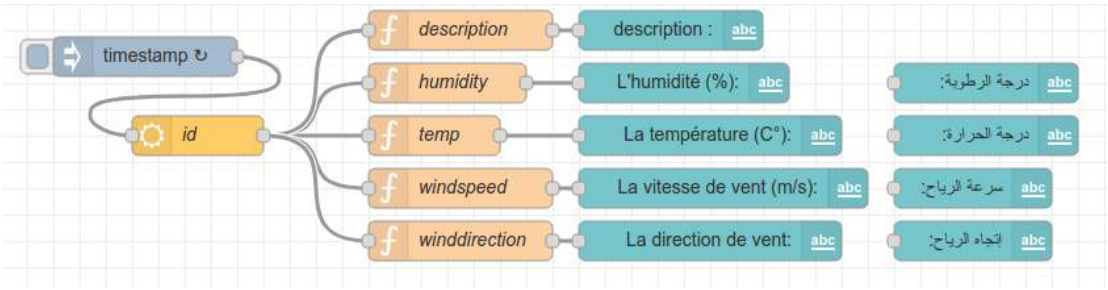


Figure4. 18: Les noeuds de météo

La configuration des nœuds **openweathermap** est illustrée par la figure 4.19.

La figure 4.20 illustre l'interface de suivi de la météo en direct : observations de température, l'humidité, la vitesse du vent, etc.

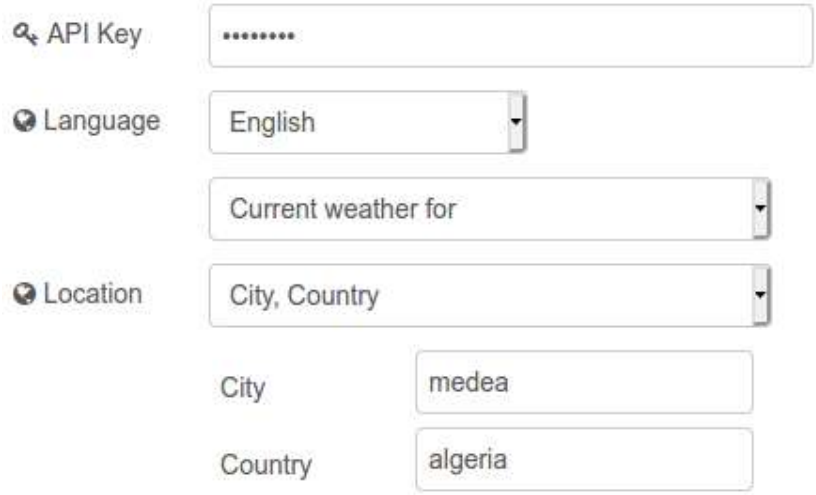


Figure4. 19: Configuration de openweathermap

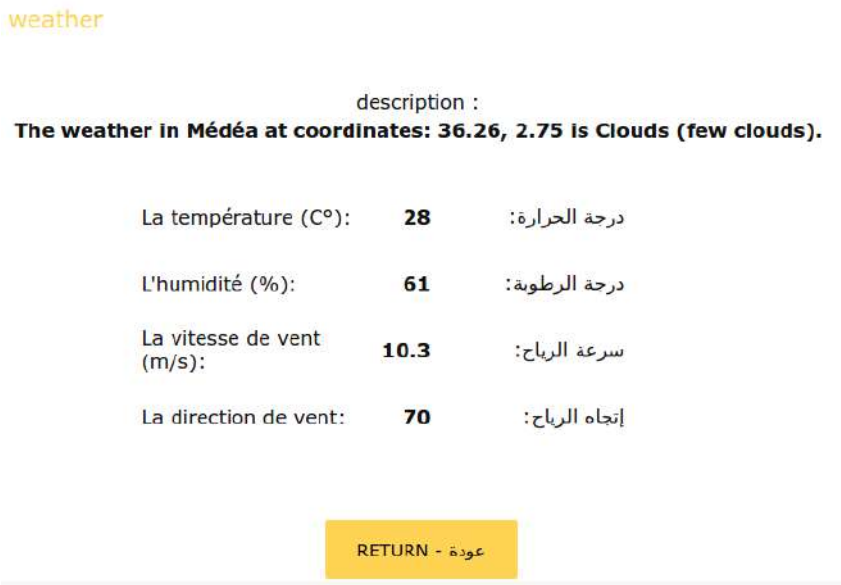


Figure4. 20: Les informations météorologiques

D) Interface d'informations des capteurs

La figure4.21 illustre les nœuds utilisés à l'interface d'informations des capteurs placé dans la serre :

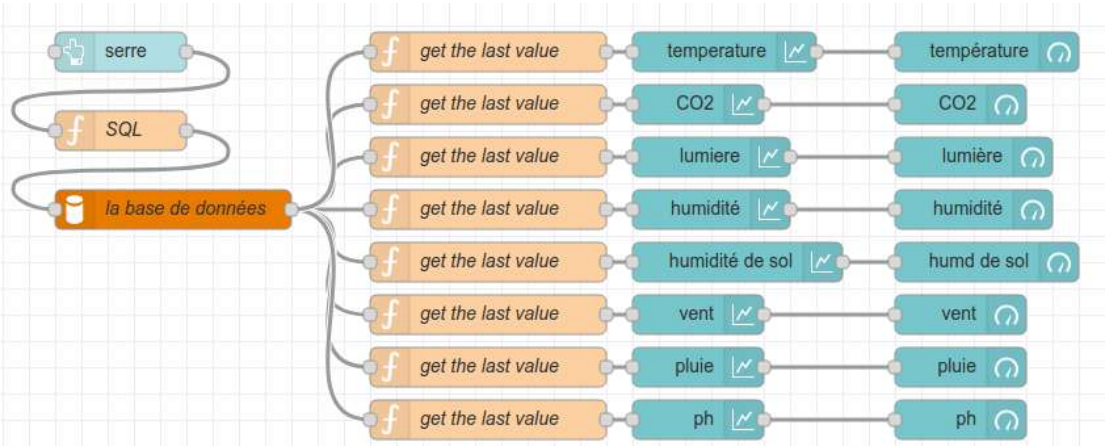


Figure4. 21: Les noeuds de l'interface d'informations des capteurs

Nous pouvons obtenir des valeurs instantanées en jauges (Figure 4.22) ou des plusieurs données successives sous forme des graphes (Figure 4.23).

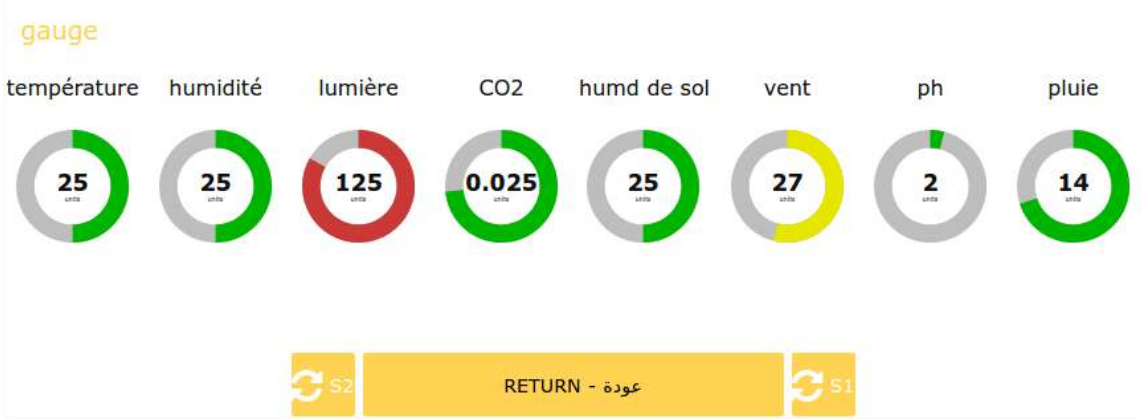


Figure4. 22: Présentation des informations sous forme des jauges

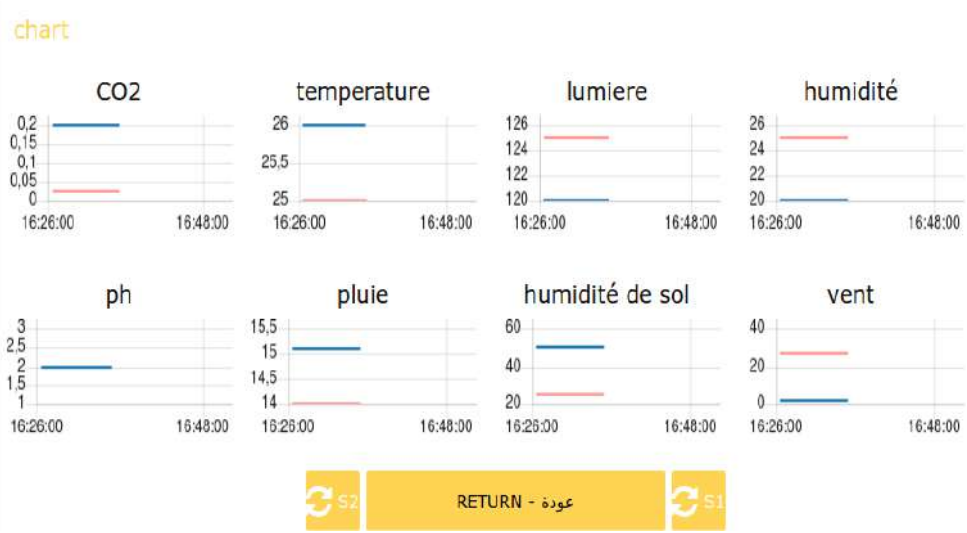


Figure4. 23: Présentation des informations sous forme des graphes

Pour actualiser les données à tout moment, il suffit d'utiliser les boutton **S1** et **S2** pour actualiser respectivement la serre 1 et la serre 2 , et pour le revenir à la page d'accueil on utilise le bouton **Return** (Figure 4.24).



Figure4. 24: boutons d'actualisation

E) Interface de contrôle

Pour contrôler les serres et gérer les différents actionneurs, nous avons créé un flux en utilisant les nœuds **Fonction**, cette palette permet d'écrire et exécuter des fonctions en JavaScript, la figure4.25 présente le flux de contrôle de la ventilation.

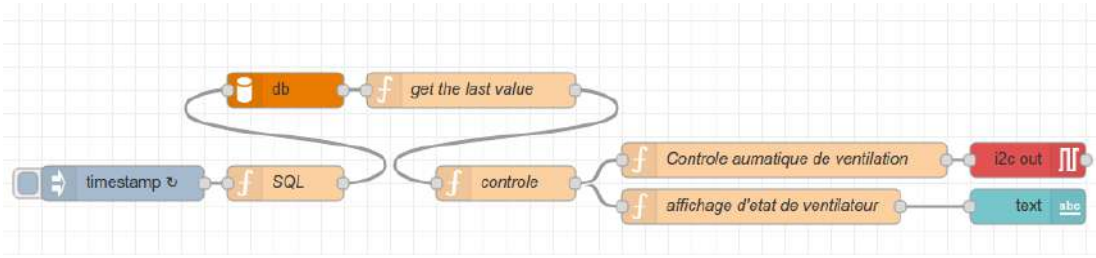


Figure4. 25: Les noeuds de controle

On a deux types de contrôle dans notre IHM: contrôle manuel et automatique (figure4.26).

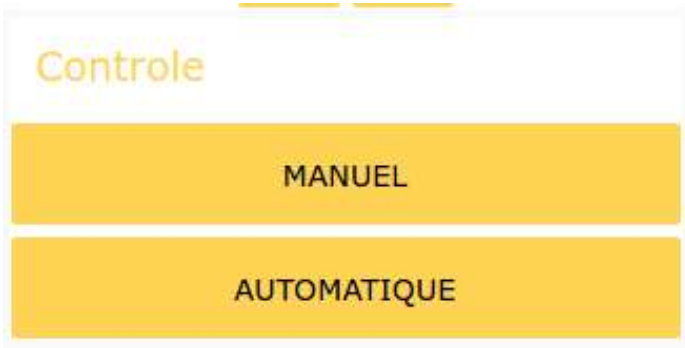


Figure4. 26: Le choix du type du Controle

- **Controle manuel :**

Permet à l'opérateur humain d'intervenir dans le proccesus de contrôle comme celui d'irrigation, d'aération,etc.

La vue de control manuel (Figure4.27) contient des remarques et des conseils pour aider l'utilisateur à prendre les bonnes décisions, ainsi que des switches pour exécuter un ensemble d'actions (allumer et éteindre la led d'éclairage, allumer et éteindre le ventilateur et le chauffage, ouvrir et fermer la vanne et le toit, allumer et atteindre l'humidificateur).

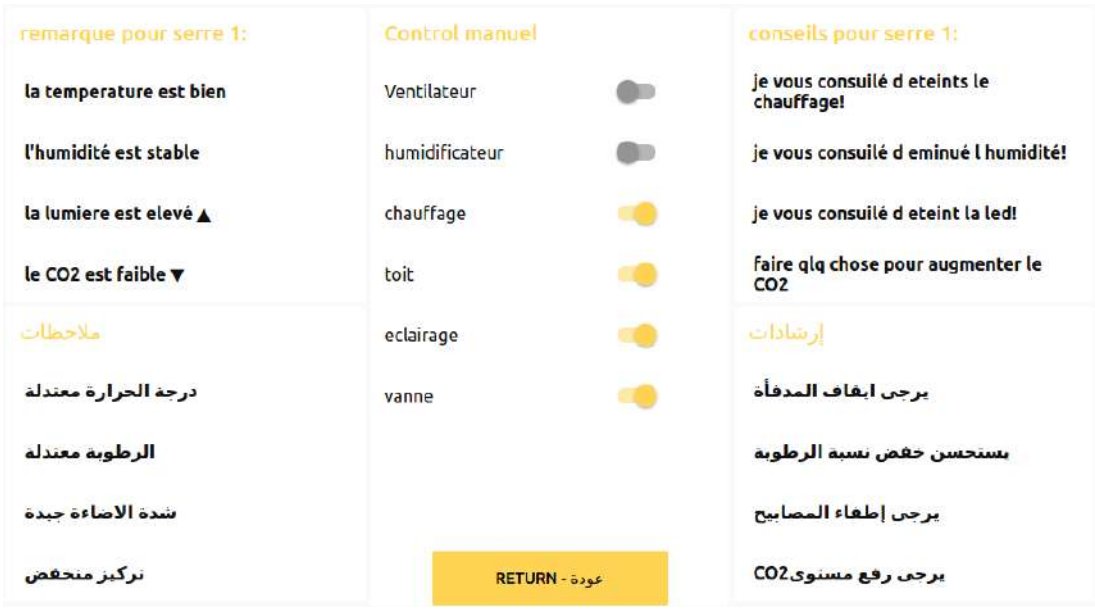


Figure4. 27: Vue de Contore manuel

Figure4.28 illustre les différents nœuds utilisés pour construire la vue de contrôle manuel.

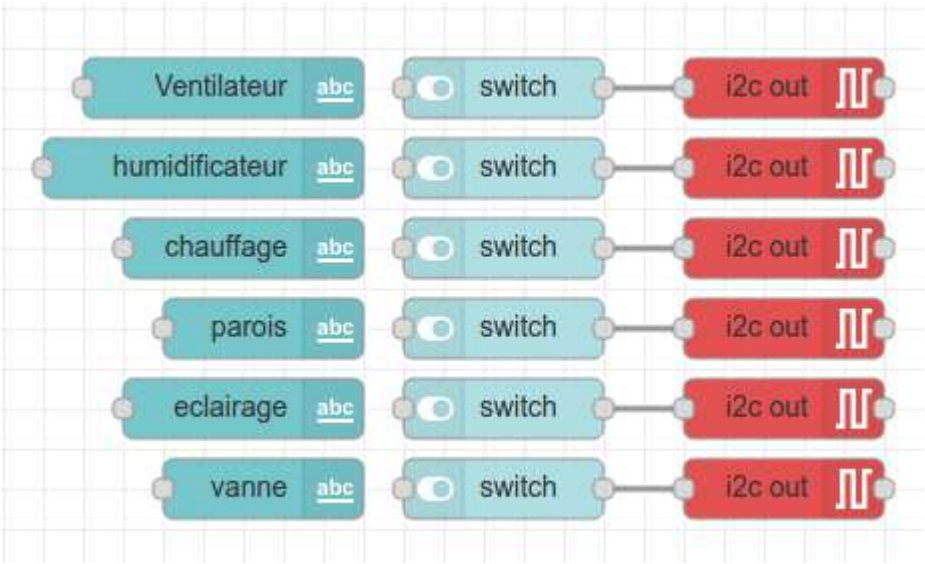


Figure4. 28: Les noeuds de controle manuel

Le nœud de **switch** est capable d'envoyer des données au **bus I²C** sous différents types : chaîne, booléen, nombre, etc. La configuration des paramètres de ce nœud est simple (voir figure4.29), on clique sur le nœud et on choisit le type de données à envoyer et la valeur d'envoi sur **ON** et **OFF**.

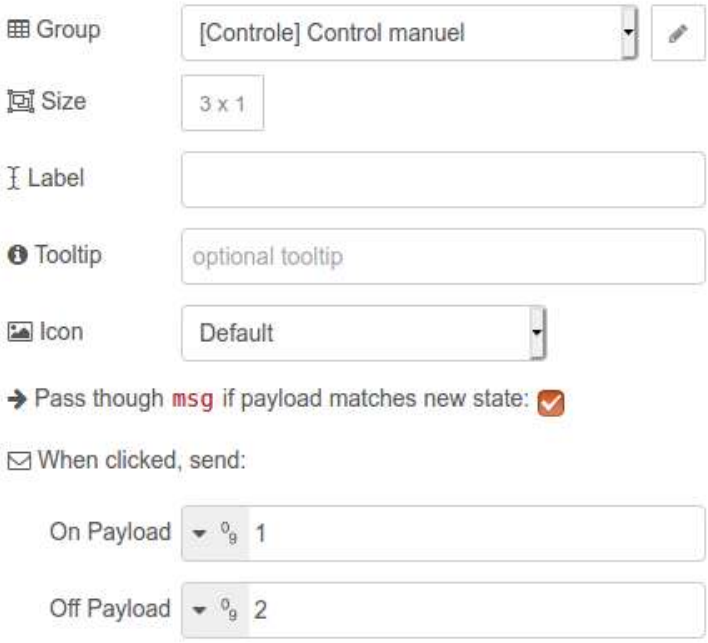


Figure4. 29: La configuration de noeud switch

- **Controle automatique :**

Le contrôle automatique permet au système de réagir d'une manière intelligente pour établir les conditions climatologiques idéales pour les plantes. La figure 4.30 illustre la vue de notifications de control automatique.



Figure4. 30: Vue de notifications de contrôle automatique

F) Interface d'historique des données

Pour obtenir l'historique des données d'une période de temps une interface a été développées (Figure 4.31). Cette interface est divisée en deux partie ; partie pour obtenir les données d'un temps fixe et une partie pour obtenir les données d'une période de temps.



Figure4. 31: Vue d'historique des données

- **Données d'un jours précis :**

Cette partie permet d'obtenir les valeurs correspondantes à des moments précis et à des jours précis (la figure4.32).

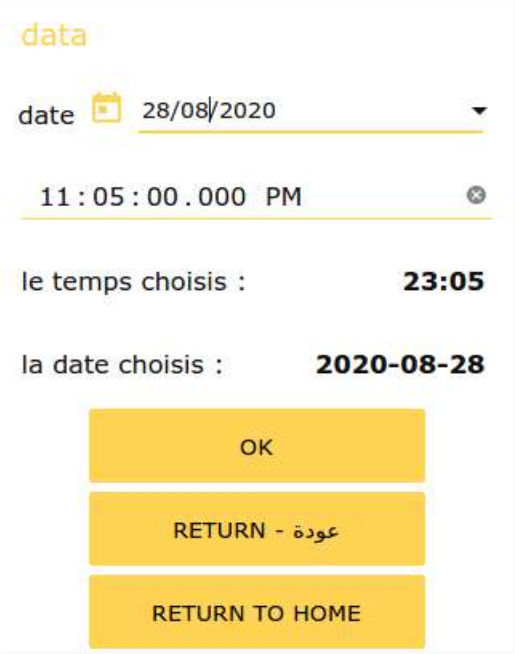


Figure4. 32: Vue d'historique des données d'un temps fixe

On utilise le nœud **Date/Time formatter** pour convertir la chaîne de caractères de date/heure en un texte bien formaté afin d'utiliser cette valeur plus tard avec le noeud **db**.

Les nœuds correspondants à l'historique d'un jour illustrés dans la figure4.33 :

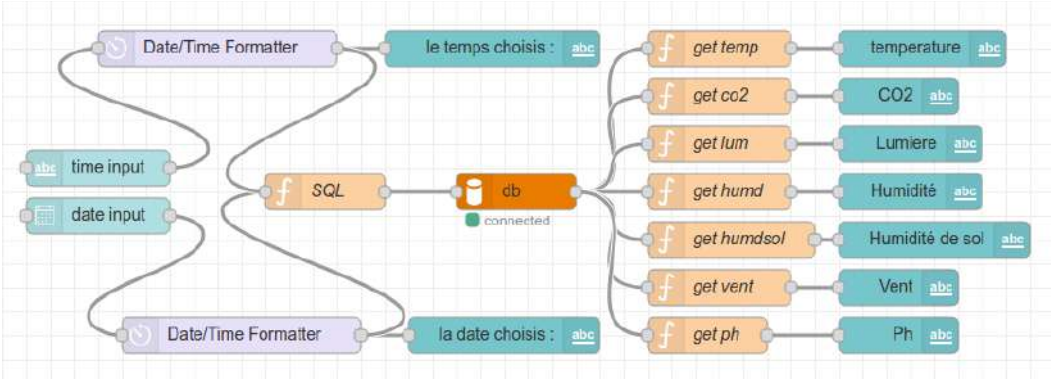


Figure4. 33: Les nœuds d'historique d'un jour

- **Données d'une période du temps :**

Cette partie permet d'obtenir les données correspondantes à une intervalle du temps (Figure 4.34).

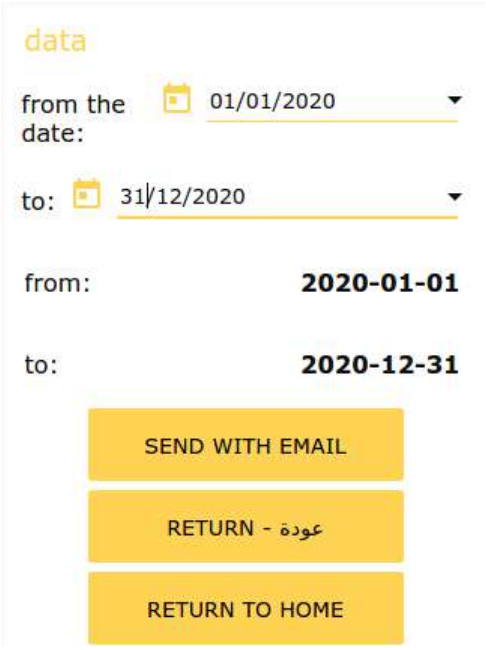


Figure4. 34: Vue d'historique d'une période du temps

G) Interface d'image en direct

Cette interface permet d'afficher les images captées par une caméra placé à l'intérieure de la serre afin de créer une meilleure visualisation en ligne (voir figure4.35).

Les nœuds de cette interface est illustrés dans la figure4.36 :

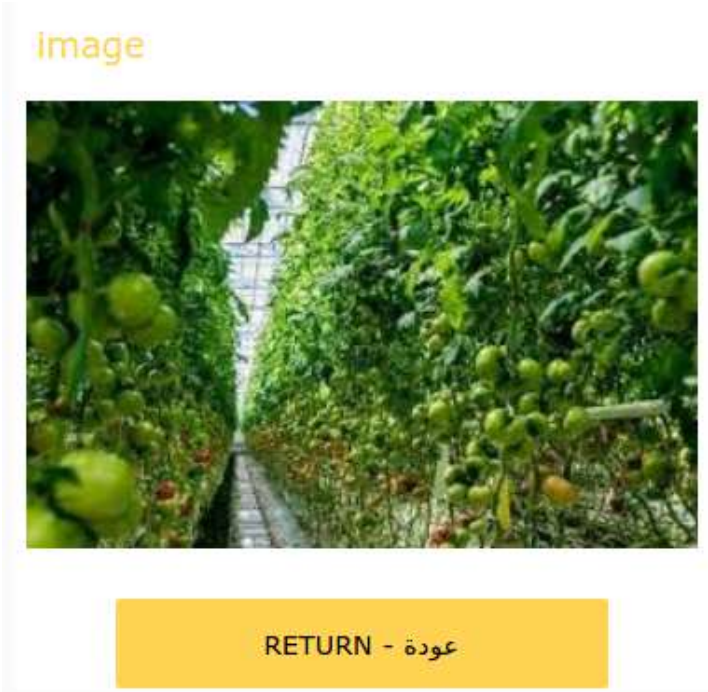


Figure4. 35: Vue d'image en direct

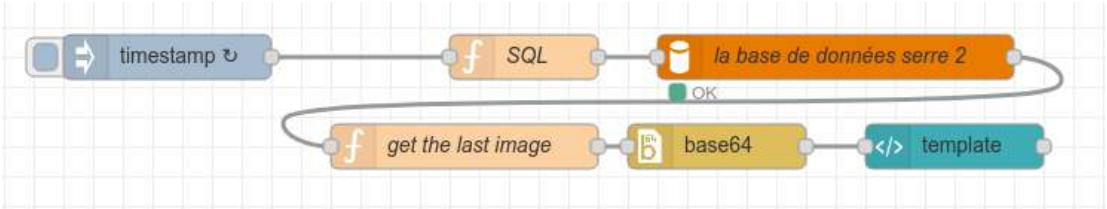


Figure4. 36: Les nœuds d'affichage de l'image

IV.7. Réalisation du système

Pour tester le système de contrôle et de supervision développé, un prototype d'une serre agricole a été réalisé, où les différents capteurs ainsi que les actionneurs sont installés.

La figure4.37 donne une présentation générale de la maquette réalisée :

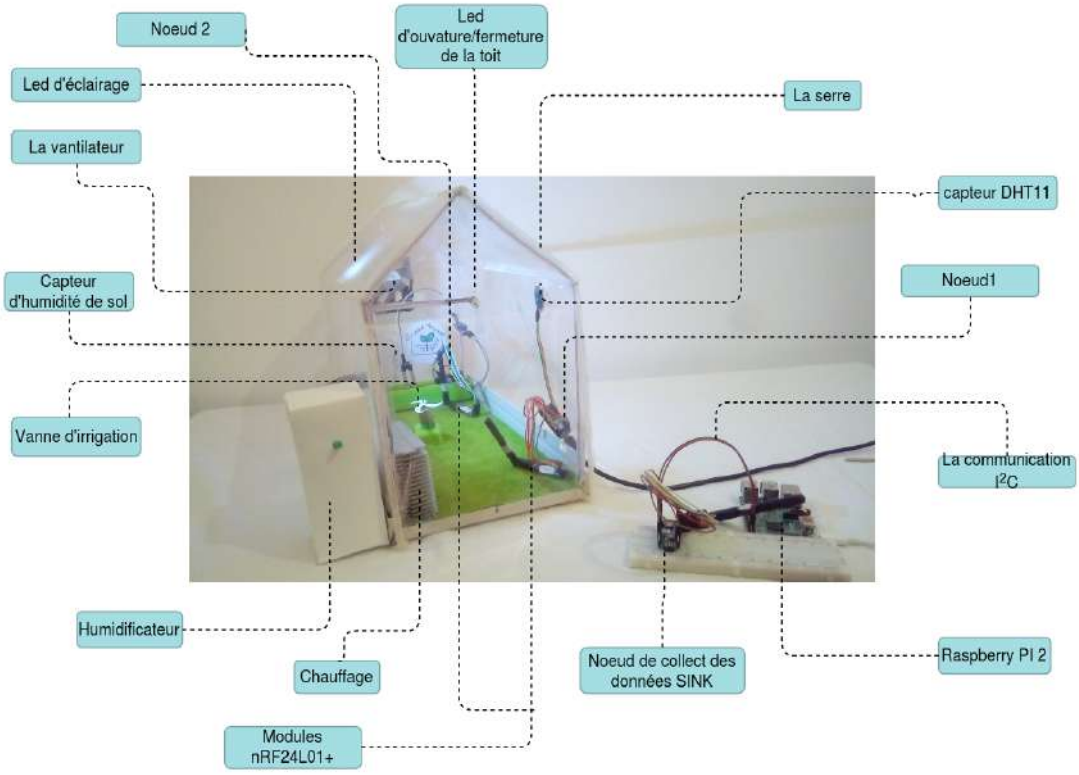


Figure4. 37: Prototype réalisé

IV.8. Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre pour la partie de développement de l'application, ainsi que pour les étapes de la réalisation de la serre intelligente.

Nous avons présenté en détails la réalisation de notre système où nous avons décrit le montage du matériel et la programmation étape par étape.

Par la suite nous avons décrit le principe de notre application ainsi que son environnement de développement.

Conclusion générale :

Le projet est investi dans le cadre des serres agricoles intelligentes. Notre objectif général était de créer un système de serre connectée et intelligente pour le contrôle la serre avec la possibilité de supervision et de perception des situations environnementales du sol et des situations météorologiques dans un ensemble de serres. En plus de ça, et à base de la technologie d'Internet des objets, ce système peut fournir d'une manière intelligente automatique et manuel des services adéquats à savoir la gestion d'irrigation , température, d'éclairage et de ventilation afin de pouvoir contrôler notre serre à distance grâce à une application web développée ainsi dans le cadre de notre projet. L'agriculteur pourra donc à son tour contrôler des paramètres tels que la température et l'humidité en utilisant son Smartphone, et de n'importe où.

On a pris le plaisir de travailler sur ce thème, par ce qu'il consiste l'avenir du domaine économique algérien. Cette idée est un système qui peut aider à améliorer l'agriculture en facilitant la gestion des informations effectué par l'application développée.

Notre projet était en relation avec plusieurs autres domaines comme l'automatique, l'électronique et l'informatique ce qui nous a permis d'acquérir beaucoup d'informations en le réalisant.

Ce projet est vivant, entrainant et motivant pour la suite de nos études. Nous pensons avoir entraperçu une partie de notre future vie active.

Malgré les efforts que nous avons déployés pour réaliser ce modeste travail, malgré les concepts que nous avons acquis, nous constatons que notre contribution ce n'est qu'un début d'un long chemin. Le travail que nous avons accompli poura être amélioré, complété et poursuivi de différentes manières, notamment:

- Apprentissage automatique et utilisation de l'historique.
- L'utilisation d'énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire.
- Intégration des systèmes de ferme intelligents utilisés dans les pays développés: système d'irrigation fertilisante, injecteur CO_2, le chauffage d'eau,etc.

Références bibliographiques :

[1] F. Rodrigues, M. Berenguel, M. Arahal, « A hierarchical control system for maximizing profit in greenhouse crop production », Proceeding in Eurcapean Control Conference ECCO3, Cambridge, UK, 2003.

[2] 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.

[3] F.DIDI, « Optimisation de la gestion du microclimat de la serre par l'introduction de l'intelligence artificielle », Thèse de Doctorat Energies Renouvelables,UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID de Tlemcen, 2018.

[4] Y. Bouteraa, « Automatisation d'une serre agricole », Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure D'agronomie-El Harrach, 2012.

[5] « L'éclairage artificiel ». [En ligne]. Disponible sur : http://www.hortere.fr/eclairage/ [Consulté le :21/03/2020]

[6] ZERAIB-ALA-EDDINE, « Une approche IoT pour la mise en œuvre des serres intelligentes connectées ». Mémoire de fin d'étude Master, université de biskra, 2018.

[7] « Les solutions au manque de ressources financières et de main d'oeuvre des producteurs en serre ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.harnois.com/blog/serres/les-solutions-au-manque-de-ressources-financieres-et-de-main-doeuvre-des-producteurs-en-serre/. [Consulté le: 25/03/2020]

[8] Jean François PILLOU, « Bases de données – Introduction », Mai 2015.

[9] jean-François Pillou. « Bases de données – Introduction : CCM », En ligne]. Disponible sur : https://www.commentcamarche.net/contents/104-bases-de-donnees-introduction. [Consulté le: 16/04/2020]

[10] « Les bases de données distribuées : partie 1 – Qu'est-ce que c'est ? ». [En ligne]. Disponible sur : http://substance.etsmtl.ca/les-bases-de-donnees-distribuees-une-evolution-qui-pose-des-problemes# . [Consulté le :16/04/2020]

[11] Michel Tuffery, « BASES DE DONNEES et SGBD Conception Structure Organisation ».

[12] « Cours et tutoriels sur le langage SQL ».[En ligne]. Disponible sur : https://sql.sh/sgbd/mysql . [Consulté le :17/04/2020]

[13] « Introduction aux Systèmes de Gestion de Bases de Données Relationnelles ». [En ligne]. Disponible sur : http://lagis-vi.univ lille1.fr/~lo/ens/commun/bd/bd_cours.pdf. [Consulté le : 05/05/2020]

[14] Chantal Gribaumont (Taguan), « Administrez vos bases de données avec MySQL», ivre publié par Openclassrooms.

[15] « Conception de base de données: Myscenari ». [En ligne]. Disponible sur : https://stph.scenari-community.org/bdd/0/co/sql0c00.html . [Consulté le :07/05/2020]

[16] « Utiliser XAMPP pour créer un serveur de test local ». [En ligne]. Disponible sur : https://blog.lws-hosting.com/creation-de-sites-web/utiliser-xampp-pour-creer-son-serveur-web. [Consulté le :02/06/2020]

[17] « Internet des objets : FUTURA TECH » . [En ligne]. Disponible sur : https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-internet-objets-15158/ . [Consulté le :05/06/2020]

[18] « Présentation générale de l'Internet des objets ». Union internationale des télécommunications UIT-T Y.2060.

[19] A.BOUHARAOUA, M.BOUKLI HACENE, « Automatisation d'une maison intelligente via une application Android » , Master Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications,2017.

[20] « IoT Applications in Agriculture : IOT for all ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.iotforall.com/iot-applications-in-agriculture/amp/ . [Consulté le :20/06/2020]

[21] « Creating your first flow : Site Officiel Node-Red ». [En ligne]. Disponible sur : http://nodered.org/docs/ . [Consulté le :03/07/2020]

[22] « Language Reference : Site Officiel Arduino.cc ». [En ligne]. Disponible sur : http://arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-uno-reference-design.zip . [Consulté le: 23/06/2020]

[23] « Get started with Raspberry Pi: Site Officiel Raspberry Pi ».[En ligne]. Disponible sur : https://projects.raspberrypi.org/en/pathways/getting-started-with-raspberry-pi .[Consulté le :23/06/2020]

[24] « UART vs I2C vs SPI – Communication Protocols and Uses: Seeed ». [En ligne]. Disponible sur :https://www.seeedstudio.com/blog/2019/09/25/uart-vs-i2c-vs-spi-communication-protocols-and-uses/ .[Consulté le :27/06/2020]

[25] R.BENHAMADI , « Système de Supervision et de Contrôle base sur l'IOT Application dans un Centre de Transmission ». Master électronique et Système de Télécommunication, 2019 - 2018

[26] « Utilisation d'un module NRF24L01 avec Arduino : AranaCorp ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.aranacorp.com/fr/utilisation-dun-radio-module-nrf24l01-avec-arduino/. Consulté le :07/08/2020]

[27] « Weather API : Weather API ». [En ligne]. Disponible sur : https://openweathermap.org/api

[Consulté le :08/08/2020]

[28] «Communication série: Eltima Software ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.serial-port-monitor.org/fr/articles/serial-communication/ . [Consulté le :11/06/2020]

[29] «Serial communications: ELECTROONOOBS » . [En ligne]. Disponible sur : http://www.electronoobs.com/eng_circuitos_tut36.php. [Consulté le :25/06/2020]

[30] LIU Dan ,Cao Xin ,« Intelligent Agriculture Greenhouse Environement Monitoring System Based on IOT Technology ».date de publication original: 2015.

[31] I.HAJ HAMAD, H.BOUZAOUACHE , « Gestion et Instrumentation d'une Serre Agricole: Réalisation Expérimentale ».date de publication original: 2017

[32] A.Touhami, L.Parra, K .benahmed, Jaime Lloret,« Network Protocols and Algorithms Sensor Network Proposal for Greenhouse Automation placed at the South of Algeria ». date de publication original: janvier 2019.