



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Khider – BISKRA

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie

## Département d'informatique

N° d'ordre :RTIC 30/M2/2021

### Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en

## Informatique

Parcours : Réseaux et Technologies de l'Information et de la Communication(RTIC)

---

# Systeme Intelligent Pour Gestion Des Serres Agricoles

---

Par :

**SAMIA TOUATI**

Soutenu le 27/06/2022 devant le jury composé de :

BEN DAHMENE Asma

M.A.A

Président

MEKLID Abdessalam

M.A.A

Rapporteur

ZERARKA Nour Elhouda

M.A.B

Examineur

Année universitaire 2021-2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciement

*Mes remerciements vont tout premièrement à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qui m'a donné durant tous ces années d'études.*

*Mon cher mari pour m'encourager , ainsi que son patience durant mes études.*

*Je tiens également ma gratitude à mon encadreur le Dr. MEKLID Abdessalam pour avoir acceptée de diriger cette étude et pour ses conseils et son suivi.*

*Je suis très reconnaissant aux membres du jury qui ont accepté de réviser et d'évaluer mon projet.*

*Je veux également remercier mon collègue pour son encouragement durant mon projet. Mr. REFRAFI Youcef qui m'a orienté en proposant de nombreuses idées et perspectives.*

*Et Mr CHERIFI Ali, directeur du cadastre de Biskra, qui m'a permis a compléter mes études.*

*Merci à vous tous !*

*SAMIA TOUATI*

# Dédicace

*A ma mère et mon père,*

*A mon mari Saber,*

*A mes anges Maria, Meriem et Lina,*

*A mes frères et mes sœurs.*

## المخلص

يكتسب تطوير أنظمة التشغيل الآلي للبيوت البلاستيكية الزراعية أو البستانية ، من حيث الاتصال أو المعالجة أو التحكم أهمية متزايدة يوماً بعد يوم ، و التي ظهرت في التحسينات التي أحدثتها أنظمتها على جودة وكمية وتنوع المنتجات.

تتمثل دراستنا في اقتراح نظام ذكي لجعل أنشطة البيوت البلاستيكية آلية ، مهما كان نوعها. يتميز هذا النظام بالاتصال الاقتصادي (منخفض التكلفة) بين مكوناته ومعالجة البيانات الذكية والتحكم الدقيق في الموقف. لهذا الغرض، ولتحقيق هدفنا ، استخدمنا تقنيات إنترنت الأشياء (شبكات الاستشعار / المشغل ، والاتصالات عن طريق بروتوكول MQTT ، والتبديل ، .....وما إلى ذلك)

يسمح النظام الآلي للمستخدم بمراقبة الظروف المناخية والتحكم فيها في الوقت الفعلي عبر واجهة مستخدم ومسؤول النظام و مهمة تغيير في شروط التحكم المناسبة لكل دفينة. وحدة دعم القرار (نظام ذكي) للتنبؤ بالظروف غير المرغوب فيها.

**الكلمات المفتاح :** نظام ذكي - حساسات - مشغل - MQTT - تطبيق ويب - إنترنت الأشياء

# Résumé

Le développement des systèmes d'automatisation des serres agricoles ou horticoles, en matière de communication, traitement ou de control, acquière, de jour au jour, une importance très accrue, vu à l'amélioration de pointe apportée par ses systèmes sur la qualité, quantité et variété des produits.

Notre travail consiste à proposer un système intelligent d'automatisation des activités de serres, quelque soit leur type. Ce système est caractérisée par une communication économique (à faible coût) entre ses composants, un traitement de données intelligent et un control de situation exacte. Pour cet effet, pour atteindre notre objectif nous avons utiliser les technologies d'internet des objets (réseaux des capteur/ actionneur , communication par protocole MQTT, commutateur , ...)

Le processus d'automatisation permet a l'utilisateur de suivi et contrôle les conditions climatiques en temps réels via une interface utilisateur et a l'administrateur du système la tache de configuration les paramètres de contrôle adéquate pour chaque serre.

Un module d'aide a la décision (système intelligent) pour prédire les conditions indésirable.

**Mots clés** : système intelligent – capteur -Actionneur– MQTT -application web – Ido

# Abstract

The development of automation systems for agricultural or horticultural greenhouses, in terms of communication, treatment or control, acquires, day by day, a very increased importance, given the advanced improvement brought by its systems on quality, quantity and variety of products.

Our job consists in proposing an intelligent system of automation of the activities of greenhouses, whatever their type. This system is characterized by economical (low cost) communication between its components, intelligent data processing and exact situational control. For this purpose, to achieve our objective, we have used Internet of Things technologies (sensor/actuator networks, communication by MQTT protocol, switch, etc.)

The automation process allows the user to monitor and control the climatic conditions in real time via a user interface and the system administrator the task of configuring the appropriate control parameters for each greenhouse.

A decision support module (intelligent system) to predict undesirable conditions.

**Keywords:** intelligent system - sensors – Actuator - MQTT - web application - IoT

# Table des matières

Remerciement.....	vi
Dédicace.....	vi
المخلص.....	vi
Résumé.....	vi
Abstract.....	vi
Table des matières.....	vi
Liste des figures.....	vi
Listes acronymes et abréviations.....	vi
Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE I: Généralités sur les serres agricoles</b>	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Agriculture intelligente.....	3
I.2.1 Processus dans l’agriculture intelligente.....	4
I.2.2 Application de l’agriculture intelligente.....	4
I.2.2.1 Utilisations basées sur des drones.....	5
I.2.2.2 Contrôle du bétail.....	5
I.2.2.3 Automatisation dans les serres intelligentes.....	5
I.3 Les serres agricoles.....	6
I.3.1 Définition .....	6
I.3.2 Avantages de la production sous serre.....	6
I.3.3 Les différents types de serre.....	6
I.4 Les serres agricoles intelligentes.....	7
I.4.1 Définition .....	7
I.4.2 Avantage de l’automatisation de la serre .....	8
I.4.3 Condition environnementale des serres .....	8
I.4.4 Système de contrôle de serre intelligente.....	9
I.4.4.1 Systèmes d’irrigation.....	9
I.4.4.2 Système d’ouverture des serres.....	10
I.4.4.3 Surveillance de l’environnement.....	10
I.5 Conclusion : .....	10
<b>CHAPITRE II : Internet des Objets</b>	
II.1 introduction .....	12
II.2 Internet des objets.....	12
II.2 .1 définition.....	12
II.3 Les caractéristiques d’un système IoT .....	12
II.4 Architecture de l’internet des objets.....	13
II.3.1 Couche de perception.....	14
II.3 .2 Couche réseau .....	14
II.3.3 Couche d’application .....	14
II.5 Technologie et protocoles IoT.....	14
II.5.1 Bluetooth.....	15
II.5.2 Zigbee.....	15
II.5.3 Onde Z.....	15
II.5.4 Wi-Fi.....	16
II.5.5 Cellulaire.....	16
II.5.6 NFC.....	16
II.5.7 RFID .....	17
II.5.8 LoRaWAN.....	17



II.6	Plate-forme IoT .....	18
II.6.1	Plateforme IoT Amazon Web Services (AWS) .....	18
II.6.2	Plateforme Microsoft Azure IoT.....	18
II.6.3	Google Cloud Platform IoT.....	18
II.6.4	Plateforme IBM Watson IoT.....	18
II.6.5	Plateforme IoT Artik Cloud.....	19
II.7	Comment la plate-forme IoT aide.....	19
II.8	Protocoles de l'internet des objets.....	19
II.8.1	Hyper texte Transfer Protocol.....	19
II.8.2	WebSocket .....	19
II.8.3	MQ Telemetry transport (MQTT) .....	20
II.8.3.1	Caractéristiques de la MQTT.....	20
II.8.3.2	Architecture MQTT.....	20
II.8.3.3	MQTT – Broker.....	22
II.8.3.4	Différences majeures entre le protocole MQTT et le protocole HTTP. ....	22
II.9	Paradigmes de communication .....	23
II.9.1	Internet des objets (IoT) .....	23
II.9.2	Communications machine à machine (M2M) .....	23
II.10	Applications et utilisations de l'IoT.....	23
	Maison intelligente .....	24
	Environnement .....	24
	Militaires .....	25
	médicales .....	26
	Ville intelligente .....	27
	Agriculture intelligente .....	27
II.11	Avantages de l'IOT .....	28
II.12	Inconvénients de l'IOT .....	28
II.13	Conclusion .....	29

### **CHAPITRE III : Conception**

III.1	Introduction : .....	31
III.2	Objectifs et principe de la solution proposée: .....	31
III.3	Principe fonctionnement.....	31
III.4	Architecture générale du système .....	31
III.5	Fonctionnement du système .....	34
III.6	Les algorithmes du système.....	35
III.6.1	Module de communication .....	35
III.6.1.1	Serveur Broker MQTT .....	35
III.6.1.2	NodeMCU Objet IOTs .....	36
III.6.2	Les modules du Système Expert minimisé .....	37
III.6.2.1	Module brochage .....	37
III.6.2.2	Module alimentation_base_de_fait_capteur .....	37
III.6.2.3	Module Moteur_inference .....	38
III.6.2.4	Modules Déduction d'actions .....	38
III.6.3	Modules Statistiques .....	39
III.6.4	Module Alerte .....	39
III.6.5	Module système d'apprentissage .....	40
III.6.6	diagramme d'activité du système .....	41
III.6.7	Conclusion.....	43

## CHAPITRE IV : Réalisation

IV.1	Introduction .....	45
IV.2	Description des langages et matériels utilisés .....	45
IV.2.1	Langages de programmation .....	45
IV.2.1.1	C# se prononce « C-Sharp » .....	45
IV.2.1.2	Arduino IDE .....	45
IV.2.1.3	Microsoft SQL Server .....	46
IV.2.1.4	Mosquitto MQTT Broker.....	46
IV.2.1.5	ASP.NET .....	46
IV.2.2	Equipements électroniques .....	46
IV.2.2.1	Le microcontrôleur ESP8266.....	46
IV.2.2.1.1	Architecture interne d'un ESP8266.....	47
IV.2.2.2	NodeMCU ESP8266 12E .....	47
IV.2.2.2.1	Composantes d'un NodeMCU .....	48
IV.2.2.2.2	Brochage de Node MCU .....	48
IV.2.2.3	Les capteurs .....	48
IV.2.2.3.1	Capteur d'humidité et de température DHT11.....	49
IV.2.2.3.2	LDR capteur de lumière .....	49
IV.2.2.3.3	Capteur d'humidité du sol .....	50
IV.2.2.3.3	Relais .....	50
IV.2.2.4	Les actionneurs.....	50
IV.2.2.4.1	Pompe électrique.....	50
IV.2.2.4.2	Ventilateur.....	51
IV.2.2.4.3	Servomoteur.....	51
IV.3	Présentation l'application .....	52
IV.3.1	Installation .....	52
IV.3.1.1	Installation les serres .....	52
IV.3.1.2	Installation NodeMCU .....	53
IV.3.1.3	Installation les Objet_IOT (capteur/actionneur) : .....	53
IV.3.2	introduit les séries des règles.....	53
IV.3.3	Le module SE.....	54
IV.3.3.1	module de brochage.....	54
IV.3.3.2	module alimentation capteur.....	54
IV.3.3.3	module moteur d'inférence.....	55
IV.3.3.4	module déduction des actions.....	55
IV.3.4	la page de contrôle.....	56
IV.3.5	les statistiques.....	56
IV.4	Test de l'application .....	56
IV.5	Le projet final.....	58
IV.6	conclusion.....	59
	Conclusion générale.....	60
	Bibliographie.....	61

# Liste des figures

Figure I.1: agriculture intelligente.....	4
Figure I.2: les drones.....	5
Figure I.3 : serre intelligente.....	6
Figure I.4 : Les différents types de serre.....	7
Figure I.5: contrôle des serres agricoles.....	10
Figure II.1: Architecture a trois couches de l' IOT.....	13
Figure II.2: Les différents technologies IOT.....	15
Figure II.3 : Topic.....	21
Figure II.4 : exemple de fonctionnement du Topic.....	21
Figure II.5: MQTT – Broker.....	22
Figure II.6: e protocole MQTT et le protocole HTTP.....	22
Figure II.7: Maison intelligente .....	24
Figure II.8 : Le domaine militaire et l'Internet des objets. ....	26
Figure II.9 L'internet des objets dans le domaine médicale.....	26
Figure II.10 ville intelligente.....	27
Figure II.11 agriculture intelligente.....	28
Figure III.1 Architecture générale du système.....	33
Figure III.2 Diagramme de séquence .....	34
Figure III.3 Module système d'apprentissage.....	40
Figure III.4 diagramme d'activité du NodeMcu.....	41
Figure III.5 diagramme d'activité du systeme.....	42
Figure III.6 diagramme d'activité « exemple : regle du température » .....	43
Figure IV.1 : Architecture interne de microcontrôleur d'un.....	47
Figure IV.2 : NodeMCU ESP8266.....	48
Figure IV.3 : DHT11.....	49
Figure IV.4 : LDR (capteur de lumière) .....	49
Figure IV.5 : FC-28 .....	50
Figure IV.6 : relais.....	50
Figure IV.7 : Micro pompe à eau.....	51
Figure IV.8 : Ventilateur.....	51
Figure IV.9 : Servomoteur.....	51
Figure IV.10 : Installation pour serre.....	52
Figure IV.11 : Installation pour NodeMCU.....	53
Figure IV.12 : Installation pour (capteur/actionneur) .....	53
Figure IV.13 : introduit nouveau règle.....	53
Figure IV.14 : affichage les règles.....	54
Figure IV.15 : module de brochage.....	54
Figure IV.16 : module alimentation capteur.....	55
Figure IV.17 : module moteur d'inférence.....	55
Figure IV.18 : module moteur déduction des actions.....	55
Figure IV.19 : la page de contrôle.....	56
Figure IV.20 : la page de statistiques.....	56
Figure IV.21 : Schéma de câblage électrique.....	57
Figure IV.22 : Table de brochage.....	57
Figure IV.23 : diagramme d'activité .....	58
Figure IV.24 :L'automatisation des serres à la base un système iot.....	59
Figure IV.25 :Installation des dispositifs électriques.....	60

# LISTES DES ACRONYMES

**API:** Application Programmable Interface

**CPU:** Central Processing Unit

**CO2:** Dioxyde de Carbone

**EEPROM:** Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

**EPROM:** Erasable Programmable Read-Only Memory

**GPS:** Global Positioning System

**GPRS:** Le General Packet Radio Service

**GPIO:** General Purpose Input/Output

**GPU:** Graphics Processing Unit

**GNU:** GNU's Not Unix

**GND:** Ground

**HDMI:** High-Definition Multimedia Interface

**HTTP:** Hyper Text Transfer Protocol

**IP:** Internet Protocol

**IOT:** Internet Of Things

**IDE:** Integrated Development Environment

**LDR:** Light-Dependent Resistor

**LED:** Light Emitting Diode

**LPWAN:** Low Power Wide Area Network

**M2M:** Machine to Machine

**MQTT:** Message Queuing Telemetry Transport

**HP:** Hypertext Preprocessor

**PWM:** Pulse-Width Modulation

**RFID:** Radio Frequency Identification

**RGB:** Red Green Blue

**RAM:** Random Access Memory

**SGBD:** Système de gestion de base de donnée

**SQL:** Structured Query Language

**SRAM:** Static Random Access Memory

**TCP:** Transmission Control Protocol

**TLS:** Transport Layer Security

**TIC:** Technologie de l'Information et de la Communication

**USB:** Universal Serial Bus

**VCC:** Common Collector Voltage

**WiFi:** Wireless Fidelity

**XMPP:** eXtensible Messaging and Presence Protocol

# Introduction générale

Le développement des nouvelles technologies dans le secteur agricole a connu une croissance rapide par rapport à d'autres secteurs dans de nombreux pays puisque changement climatique pose d'importants défis au système .

Pour avoir une production assez riche malgré les conditions climatiques locales ou régionales non favorables, il est nécessaire de s'orienter vers l'exploitation de la production sous serre. Ceci demande un système de régulation et de contrôle des paramètres climatiques à l'intérieur de la serre. C'est la raison pour laquelle le thème : « **système intelligent pour gestion d'une serre agricole** » a été choisi ; l'objectif est d'offrir d'une part une solution pour résoudre les problèmes de surveillance de l'état de la culture .

La culture sous serre connaît 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].

Dans ce cadre, ce projet de fin d'études, a pour finalité, la réalisation d'un système intelligent d'une serre agricole. Le but principal de notre système est d'aider un simple agriculteur en lui fournissant un équipement très simple et facile à manipuler et d'améliorer la productivité en termes de quantité et de qualité.

Le mémoire se divise en quatre chapitres :

Chapitre 1: Premièrement, nous allons expliquer l'agriculture intelligente, puis nous verrons, un peu plus en détails, les serres agricoles avec leurs avantages et les différents paramètres, à prendre en compte, pour avoir un environnement adéquat au développement des cultures.

Chapitre 2: Nous parlerons sur les concepts généraux de l'IoT (Internet of Things, Internet des objets), ainsi que ses différents domaines d'applications.

Chapitre 3: Nous allons faire une étude conceptuelle, qui est une étape très importante pour fixer les choix techniques et pour préparer l'implantation du projet.

Chapitre 4: Enfin, nous passerons à l'implémentation et réalisation de notre système, où nous allons décrire la démarche que nous avons suivie pour aboutir aux résultats, ainsi que la démonstration des différents tests réalisés sur notre serre prototype

# CHAPITRE I:

---

## Généralités sur les serres agricoles

---

## I.1 Introduction

L'agriculture intelligente prend de plus en plus d'importance en raison de la combinaison de la croissance de la population mondiale, de la demande croissante de rendements plus élevés des cultures, de la nécessité d'utiliser efficacement les ressources naturelles, de l'utilisation croissante et du besoin croissant d'une agriculture intelligente en matière de climat.

La culture sous serre est un excellent moyen de produire de nombreux végétaux en grande quantité et en enlevant certains aspects contraignant de la culture en plein air. Retour aux sources, économies et meilleure production, la serre paraît idéale en pour de nombreuses raisons. [2].

Dans ce chapitre, nous parlons de l'agriculture intelligente en générale et des serres intelligentes en particulier.

## I.2 Agriculture intelligente

Le concept de l'agriculture intelligente n'est pas formellement défini pour tous ses aspects. De plus, cette notion peut être définie de différentes façons, toutefois nous avons retenu les définitions suivantes qui nous semblent être les plus appropriées :

L'agriculture intelligente est un concept moderne dans lequel les technologies de l'information et de la communication sont utilisées pour gérer tous les processus et toutes les activités liées au domaine agricole [3].

L'agriculture intelligente va au-delà du concept d'agriculture de précision qui est décrit dans la littérature par plusieurs autres termes, à savoir l'application d'intrants spécifiques au site, la technologie agricole spécifique au site et le traitement à taux variable [4]. Ce dernier fait référence à un concept de gestion axé sur l'observation, la mesure et les réponses à la variabilité des cultures, des champs et des animaux [5]. Autrement dit, les animaux et les cultures reçoivent précisément le traitement dont ils ont besoin. L'agriculture intelligente ne se focalise pas seulement sur la détermination des différences dans le champ ou entre les animaux individuels ou la mesure précise mais également sur les données déclenchées par des événements en temps réel [6]. Cette agriculture recourt à des réseaux et à des outils de gestion des données. Elle implique toutes les opérations agricoles. En utilisant des appareils mobiles comme les tablettes et les smartphones, les agriculteurs peuvent accéder à des données en temps réel sur le climat, l'état des plantes et du sol, l'utilisation des ressources, etc.

L'agriculture intelligente implique l'utilisation de technologies intelligentes telles que des machines automatisées, des capteurs, des actionneurs, des drones et des caméras de sécurité pour contrôler et exploiter les terres agricoles et les animaux. Le motif est d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles tout en gardant à l'esprit le coût et la consommation d'énergie.





Figure I.1: agriculture intelligente

## I.2.1 Processus dans l'agriculture intelligente

- **Collecte de données:** les agriculteurs placent des capteurs dans la ferme pour recueillir des informations sur les niveaux d'humidité dans le sol, etc.
- **Diagnostics :** les données sont ensuite envoyées vers les clouds pour traitement. Les données sont interprétées pour générer des extraits pondérés.
- **Prise de décision:** sur la base des données traitées, l'étape suivante est prise avec le plus grand soin et la plus grande précaution.
- **Action:** une fois la décision prise, il est temps de prendre les mesures nécessaires pour atteindre les objectifs. [7].

## I.2.2 Application de l'agriculture intelligente

Un autre domaine important pour l'Iot est le domaine agricole où le système IoT joue un rôle vital pour la surveillance des sols et des cultures et fournit une solution appropriée en conséquence.

L'utilisation de l'agriculture intelligente grâce aux technologies IoT aide les agriculteurs à réduire la production de déchets et à augmenter leur productivité.

Il existe plusieurs technologies IoT disponibles qui fonctionnent dans le domaine de l'agriculture. Certains d'entre eux sont: [8].

## I.2.2.1 Utilisations basées sur des drones

L'agriculture intelligente implique également le déploiement de drones pour surveiller des zones à distance. Les drones peuvent atteindre des endroits que les humains ne peuvent pas atteindre. Ils sont également capables de collecter des informations et des données. Ils peuvent envoyer aux utilisateurs des données concernant le sol, le bétail, les niveaux d'eau et en outre aider à la prévention des tentatives de cambriolage, des attaques de corbeaux, etc.



Figure I.2: les drones

## I.2.2.2 Contrôle du bétail

Les capteurs et les caméras intelligentes peuvent compter le nombre d'animaux tels que les poules et les porcs à la ferme. Les capteurs peuvent également obtenir des conditions de santé concernant les animaux de la ferme. Cela aide à la détection précoce des éruptions de grippe et permet aux agriculteurs de prendre les mesures nécessaires plus rapidement.

## I.2.2.3 Automatisation dans les serres intelligentes

Les serres intelligentes sont des commandes avec des dispositifs tels que des capteurs de température et des actionneurs. Ces appareils capturent et envoient des informations 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Ces informations sont transmises aux clouds qui stockent ultérieurement les informations dans des serveurs pour les besoins futurs. Une fois l'analyse des performances effectuée, les activités de contrôle de l'éclairage et de pulvérisation sont gérées en conséquence.



Figure I.3 : serre intelligente

## I.3 Les serres agricoles

### I.3.1 Définition

Une serre est une structure qui peut être parfaitement close translucide, en verre ou en plastique, soutenue par une structure métallique ou en bois destinée, en général, à la production agricole. Elle vise à créer un environnement favorable au développement des cultures, en tirant parti de l'influence du climat, en créant un micro climat, pour une meilleure gestion des besoins des plantes, pour en accélérer la croissance et pour les produire indépendamment des saisons. [9].

### I.3.2 Avantages de la production sous serre

Parmi les avantages majeurs d'une production sous serre, nous citons : [10]

- Production et rendement satisfaisant.
- Production hors saisons des fruits, légumes et espèces florales.
- Diminution notable des maladies nuisible aux plantes grâce à la climatisation.
- Exploitation réduite des terres agricoles.
- Qualité et précocité des récoltes.

### I.3.3 Les différents types de serre

Le type de serre est classé en fonction du matériau de revêtement, du contrôle environnemental, de la forme, de la structure et du coût . [11]

#### a. Types de serre basés sur le matériau de revêtement

Voici les types de serres basées sur le matériau de revêtement :

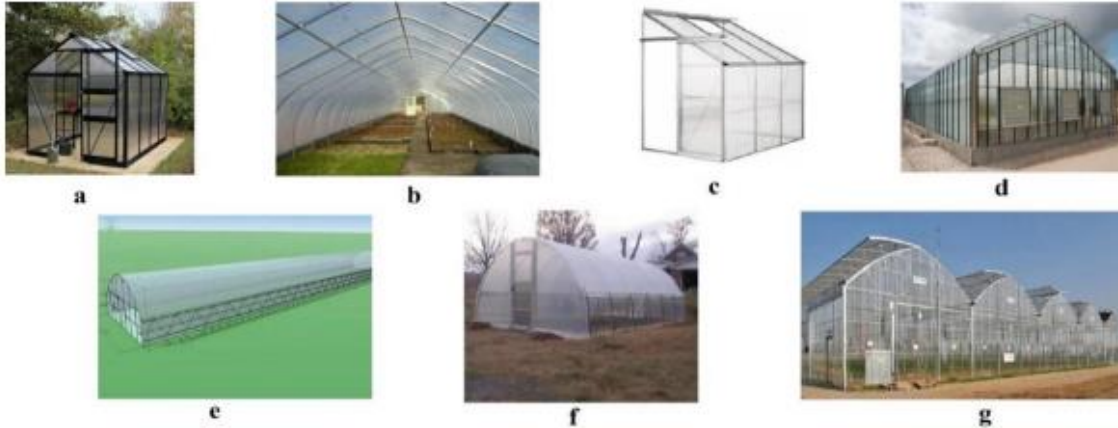
1. Polyhouse
2. Maison en plastique renforcée de fibres
3. Serre

## b. Types de serre basés sur le coût :

Faible coût, Coût moyen ou élevé.

## c. Types de serre basés sur la forme et la structure

Voici les types de serre selon la forme et la structure (figure I.4) :



a) Gable      b) Arc gothique      c) Appentis      d) Envergure uniforme  
e) Portée unique      f) Quonset      g) Double-span ou multi-span.

Figure I.4 : Les différents types de serre

## d. Types de serres basés sur le contrôle environnemental

Voici les types de serres basés sur le contrôle environnemental :

- Serres à ventilation naturelle
- Serres refroidies par évaporation
- Serres de haute technologie

## I.4 Les serres agricoles intelligentes

### I.4.1 Définition

La serre intelligente est une serre qui intègre la technologie de l'Internet des objets en vue d'améliorer la productivité des légumes, des fruits et des cultures. La technologie de l'Internet des objets est ainsi utilisée pour collecter et analyser en temps réel les indicateurs bioclimatiques de la serre et par conséquent appliquer (d'une manière automatique, semi automatique ou manuelle) les mesures et actions requises pour maintenir les conditions environnementales nécessaires aux plantes. Pour contrôler la serre, différents capteurs (connectés à internet ou non) sont utilisés pour mesurer les normes environnementales en fonction des exigences de chaque plante. Ceci élimine la nécessité d'une surveillance statique dans les serres. Ces capteurs fournissent des informations sur les niveaux de lumière, de pression, d'humidité et de température, qui

---

contrôlent automatiquement les déclencheurs pour ouvrir la fenêtre, allumer les lumières, contrôler le chauffage et allumer le ventilateur. [12]

## I.4.2 Avantage de l'automatisation de la serre

L'automatisation des serres permet d'assurer au moins les avantages suivants :

- Protégez les plantes contre les températures extrêmes. Le maintien d'une température intérieure contrôlée dans un environnement de serre est crucial pour éviter d'endommager ou tuer les plantes.
- Protégez les plantes contre les maladies. Garder les plantes en bonne santé et prospère requiert le meilleur environnement de croissance possible. Le système de contrôle automatique permet surveiller en temps réel tous les changements environnementaux et des statuts ou défaillances d'équipement. Il permet également de surveiller des conditions telles que les fluctuations de l'humidité, les failles de sécurité, le chauffage, le ventilateur, l'équipement et les pannes.
- surveiller à distance la serre et rester au courant des conditions climatiques dans la serre. Le système de contrôle automatique permet un continue surveillance à distance en fournissant les moyens permettant ainsi d'agir rapidement et en temps réel. [13]

## I.4.3 Condition environnementale des serres

Conditions environnementales dans les serres La progression des plantes dans les serres implique certaines conditions climatiques spéciales. Dans ce qui suit, nous présentons d'une manière générale ces conditions[14]:

- **Lumière** : 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 est nécessaire.
- **Gaz carbonique** : Les serres commerciales utilisent couramment des générateurs de CO<sub>2</sub> pour maximiser leur production. Lors de la conception d'un système de CO<sub>2</sub>, les rendements n'augmenteront que si le CO<sub>2</sub> est le «facteur limitant». Cela signifie que si toutes les autres variables ne sont pas optimales (lumière, engrais, température / humidité, pH, etc.), les avantages d'une augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub> ne seront pas obtenus .
- **mouvement de l'air** : Il est aussi un facteur important qui affecte la croissance de la plante, modifiant les transferts d'énergie, la transpiration et l'absorption de CO<sub>2</sub>, ce qui affecte la taille des feuilles, ainsi que la croissance de la tige et le rendement. Le taux de photosynthèse peut être augmenté de 40 % si la vitesse du vent augmente de 10 à 100 cm /s .
- **Humidité** : L'humidité de l'air et celle du sol sont deux facteurs importants pour la croissance des plantes.
- **Température** : La température de l'air et celle du sol doit également respecter certaines normes.

## I.4.4 Système de contrôle 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.

**I.4.4.1 Systèmes d'irrigation:** L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides. Tout système d'irrigation implique les opérations de pompage, de traitement, de distribution et d'entreposage / récupération de l'eau. On peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation : [15]

- Par aspersion, technique qui consiste à reproduire la pluie ;
- Par micro aspersion, semblable à la précédente mais plus localisée donc plus économe en eau ;
- Par micro irrigation ou goutte à goutte, technique économe en eau et qui permet d'éviter le ruissellement.
- Par infiltration, au moyen de tuyaux poreux enterrés, variante de la technique du goutte à goutte.
- Par inondation ou submersion (c'est la technique appliquée dans les rizières).

**I.4.4.2 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<sub>2</sub>, 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).

**I.4.4.3 Surveillance de l'environnement:** La surveillance de l'environnement et de climat intérieur et extérieur des serres est une opération important 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.



Figure I.5: contrôle des serres agricoles

## **I.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons parlé de l'agriculture intelligente de manière générale et de serres intelligentes en particulier qui représentent l'essence de notre étude. Nous avons détaillé les conditions et indicateurs climatologiques et les techniques pour contrôler une serre agricole.



# CHAPITR II

---

# Internet des Objets

---



## II.1 introduction

Avec l'évolution rapide des différentes technologies de communication sans fil et leur intégration dans la plupart des objets intelligents, notre vie quotidienne va subir des changements dans de nombreux domaines. Ces objets intelligents sont souvent des capteurs dotés de capacités de mesures (température, pression, vibration, luminosité, humidité, tension, etc.) ou des actionneurs capables d'agir. Ces objets disposent de différentes technologies de communication : RFID (« Radio Frequency IDentification ») [16], NFC (« Near Field Communication ») [17], Bluetooth [18], Wi-Fi [19], LoRa [20], etc. et ainsi, ils peuvent s'interconnecter pour anticiper et interagir en temps réel, c'est-à-dire pour réaliser un objectif commun (surveillance de l'environnement, contrôle du trafic routier urbain, etc.). Ensemble, tous ces objets connectés constituent la base du paradigme de l'Internet des Objets [21] qui permet aux personnes/objets d'être connectés à tout moment et en tout lieu [22].

## II.2 Internet des objets

### II.2.1 définition

L'objet connecté est un objet électronique qui peut transmettre des informations en temps réel via une liaison sans fil à un autre dispositif connecté. Ces informations peuvent être de plusieurs types. [23]

Un objet peut être une entité physique ou virtuelle ayant des identités et des personnalités virtuelles, opérant dans des espaces intelligents et utilisant des interfaces intelligentes pour se connecter et communiquer au sein de contextes d'usages variés [24].

Lorsque qu'un ensemble d'objets connectés communiquent et interagissent entre eux ou avec des serveurs de traitement via le réseau Internet, on parle alors d'Internet des Objets (IdO) ou Internet of Things (IoT). [25]

## II.3 Les caractéristiques d'un système IoT

Les caractéristiques fondamentales de l'IoT sont les suivantes [26] :

1. **Inter-connectivité:** Dans l'IoT, tout objet peut être connecté à l'infrastructure mondiale de l'information et de la communication.
2. **Services liés aux objets connectés:** l'IoT est à même de fournir des services liés aux objets dans les limites des contraintes, telles que la protection de la vie privée et la cohérence sémantique entre les objets physiques et leurs objets virtuels associés. Afin de fournir de tels services, les technologies utilisées seront amenées à changer, aussi bien dans le monde physique que dans le monde de l'information.

3. **Hétérogénéité** : les dispositifs utilisés dans l'IoT sont hétérogènes puisqu'ils ne font pas appel aux mêmes plateformes matérielles ni aux mêmes réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres dispositifs ou plateformes de service par l'intermédiaire de réseaux différents.
4. **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.
5. **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 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. Encore plus critique sera la gestion des données générées par ces dispositifs et leurs interprétations à des fins d'application. Cela concerne la sémantique des données, ainsi que la gestion efficace des données.
6. **Connectivité** : Une fiable connectivité est assurée en mettant en place des mécanismes qui permettent de garantir la disponibilité et l'interconnexion aux réseaux, et aussi assurer la compatibilité en connectant plus facilement les nouvelles applications IoT à celle déjà en place.
7. **Sécurité** : Divers objets connectés apparaissent dans différents domaines et envahissent notre quotidien. Cela nécessite une préoccupation des risques liés à ces objets connectés en mettant en place des mécanismes assurant la sécurité des données personnelles en particuliers et l'internet des objets en général. Et aussi, chaque objet connecté avec une connexion au réseau est un point d'entrée potentiel pour les failles de sécurité, c'est bien nécessaire d'adopter un système capable de sécuriser les points de terminaison (pc, smartphone, tablettes, etc.), des réseaux et des données qui les traversent. Par exemple, concevoir des serrures intelligentes qui se déverrouillent automatiquement avec un clavier optionnel ou un système vocal, et mettre en place un type spécifique de logiciel antivirus qui protège l'intégralité de ces serrures intelligentes.

## II.4 Architecture de l'internet des objets

L'architecture du système de dispositifs connectés est composée de plusieurs niveaux qui communiquent entre eux pour connecter le monde physique au monde virtuel des données. Dans l'IoT, chaque couche est définie par ses fonctions et les périphériques utilisés dans cette couche. L'architecture de l'IoT est généralement divisée en trois couches, la couche perception, la couche réseau et la couche application [27].

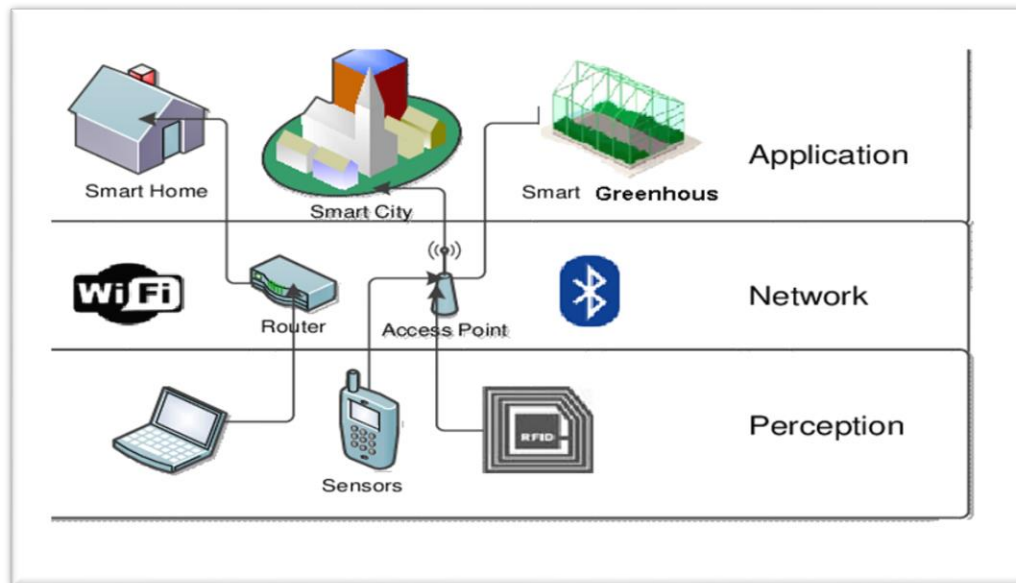


Figure II.1: Architecture a trois couches de l' IOT

### II.3.1 Couche de perception

La couche de perception est également connue sous le nom de couche «Capteurs» dans l'IoT. Le but de cette couche est d'acquérir les données de l'environnement à l'aide de capteurs et d'actionneurs. Cette couche détecte, collecte et traite les informations, puis les transmet à la couche réseau. Cette couche effectue également la collaboration des nœuds IoT dans les réseaux locaux et à courte portée [27].

### II.3 .2 Couche réseau

La couche réseau de l'IoT sert à la fonction de routage et de transmission des données vers différents hubs et appareils IoT sur Internet. À cette couche, les plates-formes de cloud computing, les passerelles Internet, les dispositifs de commutation et de routage ...etc. fonctionnent en utilisant certaines technologies très récentes telles que WiFi, LTE, Bluetooth, 3G, Zigbee, etc. Les passerelles réseau servent de médiateur entre différents IoT nœuds en agrégeant, filtrant et transmettant des données vers et depuis différents capteurs [28].

### II.3.3 Couche d'application

La couche application est considérée comme une couche supérieure de l'architecture IoT conventionnelle. Cette couche fournit des services personnalisés en fonction des besoins des utilisateurs [29]. La responsabilité principale de cette couche est de relier l'écart majeur entre les utilisateurs et les applications. Cette couche IoT combine l'industrie pour atteindre les solutions de type d'applications intelligentes de haut niveau telles que la surveillance des catastrophes, la surveillance de la santé, la transposition, la fortune, l'environnement médical et écologique et la gestion globale gérée pertinente pour toutes les applications .

## II.5 Technologies et protocoles IoT

Plusieurs protocoles et technologies de communication utilisés dans l'Internet des objets. Certaines des principales technologies et protocoles IoT (protocoles de communication IoT) sont Bluetooth, Wifi, Protocoles radio, LTE-A et WiFi-Direct. Ces protocoles de communication IoT répondent aux exigences Fonctionnelles spécifiques d'un système IoT. .[30]

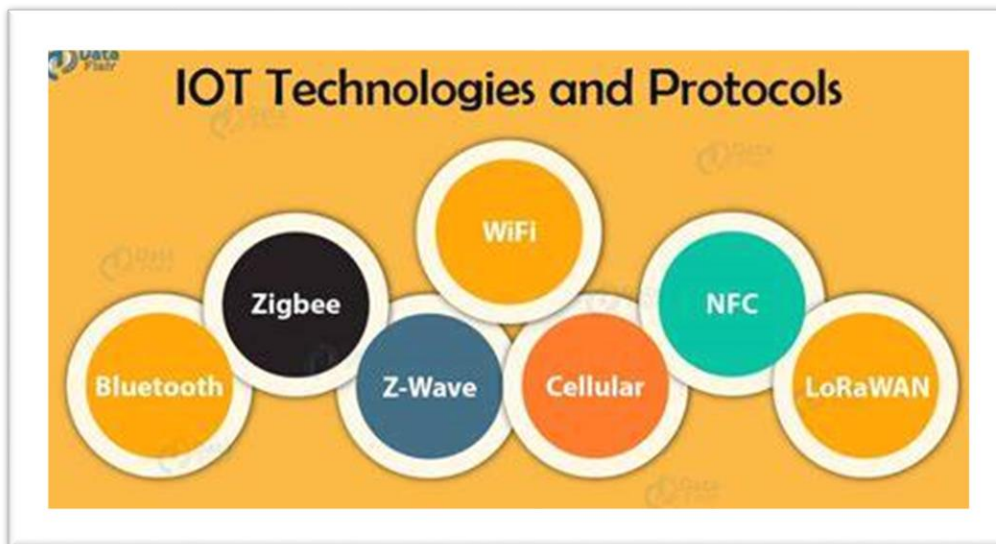


Figure II.2: Les différents technologies du IOT

### II.5.1 Bluetooth

Un important protocole / technologie de communication IoT à courte portée. Bluetooth, qui est devenu très important dans l'informatique et de nombreux marchés de produits de consommation. Il devrait être essentiel pour les produits portables en particulier, se connectant à nouveau à l'IoT, bien que probablement via un smartphone dans de nombreux cas.

Le nouveau Bluetooth Low-Energy (BLE) – ou Bluetooth Smart, comme il est maintenant de marque – est un protocole important pour les applications IoT. Il est important de noter que, bien qu'il offre une portée similaire à Bluetooth, il a été conçu pour offrir une consommation d'énergie considérablement réduite.

### II.5.2 Zigbee

ZigBee est similaire à Bluetooth et est principalement utilisé dans les environnements industriels. Il présente des avantages significatifs dans les systèmes complexes offrant un fonctionnement à faible consommation, une sécurité élevée, une robustesse et une haute qualité et est bien positionné pour tirer parti des réseaux de contrôle et de capteurs sans fil dans les applications IoT.

La dernière version de ZigBee est la 3.0 récemment lancée, qui est essentiellement l'unification des différentes normes sans fil ZigBee en une seule norme.

## II.5.3 Onde Z

Z-Wave est une technologie IoT de communication RF basse consommation qui conçoit principalement pour la domotique pour des produits tels que les contrôleurs de lampe et les capteurs parmi de nombreux autres appareils.

Un Z-Wave utilise un protocole plus simple que d'autres, ce qui peut permettre un développement plus rapide et plus simple, mais le seul fabricant de puces est Sigma Designs par rapport à plusieurs sources pour d'autres technologies sans fil telles que ZigBee et autres.

## II.5.4 Wi-Fi

La connectivité WiFi est l'un des protocoles de communication IoT les plus populaires, souvent un choix évident pour de nombreux développeurs, en particulier compte tenu de la disponibilité du WiFi dans l'environnement domestique au sein des réseaux locaux.

Il existe une vaste infrastructure existante et offre un transfert de données rapide et la possibilité de gérer de grandes quantités de données.

Actuellement, la norme WiFi la plus couramment utilisée dans les foyers et de nombreuses entreprises est 802.11n, qui offre une portée de centaines de mégabits par seconde, ce qui convient aux transferts de fichiers, mais peut être trop énergivore pour de nombreuses applications IoT.

## II.5.5 Cellulaire

Toute application IoT nécessitant un fonctionnement sur de plus longues distances peut tirer parti des capacités de communication cellulaire GSM/3G/4G. Alors que le cellulaire est clairement capable d'envoyer de grandes quantités de données, en particulier pour la 4G, le coût et la consommation d'énergie seront trop élevés pour de nombreuses applications.

Mais il peut être idéal pour les projets de données à faible bande passante basés sur des capteurs qui enverront de très faibles quantités de données sur Internet.

## II.5.6 NFC

NFC (Near Field Communication) est une technologie IoT. Il permet des communications simples et sûres entre les appareils électroniques, et en particulier pour les smartphones, permettant aux consommateurs d'effectuer des transactions dans lesquelles il n'est pas nécessaire d'être physiquement présent.

Il aide l'utilisateur à accéder au contenu numérique et à connecter des appareils électroniques. Essentiellement, il étend la capacité de la technologie de carte sans contact et permet aux appareils de partager des informations à une distance inférieure à 4 cm.

---

### II.5.7 RFID

(Radio Frequency Identification) Le terme RFID englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. C'est une technologie qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio. Il s'agit d'une méthode utilisée pour transférer les données des étiquettes à des objets, ou pour identifier les objets à distance. L'étiquette contient des informations stockées électroniquement pouvant être lues à distance [17].

### II.5.8 LoRaWAN

LoRaWAN est l'une des technologies IoT populaires, cible les applications de réseau étendu (WAN). La conception LoRaWAN pour fournir des WAN basse consommation avec des fonctionnalités spécifiquement nécessaires pour prendre en charge la communication sécurisée mobile à faible coût dans les applications IoT, de ville intelligente et industrielles.

Répond spécifiquement aux exigences de faible consommation d'énergie et prend en charge les grands réseaux avec des millions et des millions d'appareils, les débits de données vont de 0,3 kbps à 50 kbps.[30]

## II.6 Plate-forme IoT

Plate-forme IoT : Comme dans l'IoT, tous les appareils IoT sont connectés à d'autres appareils et applications IoT pour transmettre et recevoir des informations via des protocoles. Il existe une différence entre l'appareil IoT et l'application IoT. Une plateforme IoT comble le fossé entre les appareils (capteurs) et les applications (réseau). Par conséquent, nous pouvons dire qu'une plateforme IoT est un service intégré qui ferme la différence entre l'appareil IoT et l'application et nous propose de mettre un objet physique en ligne. Il existe différentes plates-formes IoT disponibles qui permettent de déployer activement des applications IoT. Certains d'entre eux sont énumérés ci-dessous: [31]

- Plateforme IoT Amazon Web Services (AWS)
- Plateforme Microsoft Azure IoT
- Google Cloud Platform IoT
- Plateforme IBM Watson IoT
- Plateforme IoT Artik Cloud

### II.6.1 Plateforme IoT Amazon Web Services (AWS)

La plateforme IoT Amazon Web Services fournit une sécurité et un ensemble de services qui se connectent à plusieurs appareils. Il collecte les données des appareils connectés et effectue ces actions en temps réel.

## II.6.2 Plateforme Microsoft Azure IoT

La plateforme Microsoft Azure IoT offre une sécurité robuste, une évolutivité et une intégration facile avec les systèmes. Il utilise un protocole standard qui prend en charge la communication bidirectionnelle entre les appareils connectés et la plate-forme. La plateforme Azure IoT dispose d'Azure Stream Analytics qui traite une grande quantité d'informations en temps réel générées par les capteurs. Certaines fonctionnalités standard fournies par la plateforme Microsoft Azure IoT sont les suivantes :

- Surveillance de l'information
- Un moteur de règles
- Ombrage de l'appareil
- Registre d'identité

## II.6.3 Google Cloud Platform IoT

Google Cloud Platform est une plate-forme cloud mondiale qui offre une solution pour les appareils et applications IoT. Il gère une grande quantité de données à l'aide de Cloud IoT Core en connectant différents appareils. Il nous permet d'appliquer l'analyse BigQuery ou l'apprentissage automatique aux données. Les fonctionnalités fournies par Google Cloud IoT Platform sont les suivantes :

- Cœur De l'IoT Cloud
- Accélérez les appareils IoT
- Éditeur-abonné cloud
- Moteur d'apprentissage automatique dans le cloud

## II.6.4 Plateforme IBM Watson IoT

La plateforme IBM Watson IoT permet au développeur de déployer l'application et de créer rapidement des solutions IoT. Elle fournit les services suivants :

- Échange de données en temps réel
- Gestion des appareils
- Communication sécurisée
- Capteur de données et services de données météorologiques

## II.6.5 Plateforme IoT Artik Cloud

Samsung développe la plateforme Artik Cloud IoT. Il permet aux appareils de se connecter aux services cloud. Il offre un ensemble de services pour connecter les appareils au cloud à tout moment et commencer à collecter des données. Il collecte les données entrantes des appareils connectés et combine les informations. Il contient un ensemble de connecteurs qui se connectent à des services tiers.

## II.7 Comment la plate-forme IoT aide

- La plateforme IoT connecte les capteurs et les appareils.
- La plate-forme IoT gère divers protocoles de communication logiciels et matériels.
- La plate-forme IoT assure la sécurité et l'authentification des capteurs et des utilisateurs.
- Il collecte les données des capteurs et des appareils. Il visualise et analyse également ces données.

## II.8 Protocoles de l'internet des objets

### II.8.1 Hyper texte Transfer Protocol

Le protocole de transfert hypertexte (Hyper text Transfer Protocol : HTTP) est le protocole de communication derrière le World Wide Web (WWW). Il est basé sur une architecture clientserveur et fonctionne à la manière des demandes et des réponses. HTTP utilise TCP (protocole de contrôle de transmission) pour fournir des connexions fiables [32].

HTTP est un protocole sans état, car le client et le serveur ne maintiennent pas de connexion pendant la communication. La version actuelle est HTTP/1.1 et la version précédente est HTTP/1.0. La nouvelle version HTTP/2 arrive bientôt, qui aura de nombreuses nouvelles fonctionnalités, telles que la poussée du serveur, pour minimiser le nombre de demandes des clients et augmenter la vitesse [33].

### II.8.2 WebSocket

est un protocole de communication conçu pour les navigateurs Web et les serveurs Web, mais contrairement à HTTP, WebSocket fournit une communication en duplex intégral sur une seule connexion TCP. WebSocket est avec état, car le client et le serveur maintiennent une connexion pendant la communication. Le WebSocket permet une plus grande interaction entre un navigateur et un serveur Web, permet un transfert de données en temps réel et des flux de messages. À ce jour, WebSocket est implémenté dans tous les principaux navigateurs Web, par exemple Firefox 6, Safari 6, Google Chrome 14, Opera 12.10 et Internet Explorer 10 [33].



---

### II.8.3 MQ Telemetry transport (MQTT)

MQ Telemetry transport (MQTT) est un protocole de communication machine à machine légère conçue pour les appareils IoT par IBM. MQTT est basé sur un modèle publisher-subscriber, où publisher publie des données sur un serveur (également appelé broker), et le subscriber s'abonne au serveur et reçoit des données du serveur. Le broker MQTT est responsable de la distribution des messages et peut-être quelque part dans le Cloud [34]

#### II.8.3.1 Caractéristiques de la MQTT

Le MQTT possède certaines caractéristiques uniques qui sont à peine présentes dans d'autres protocoles. Certaines des caractéristiques d'un MQTT sont données ci-dessous :

- Il s'agit d'un protocole machine à machine, c'est-à-dire qu'il assure la communication entre les appareils.
- Il est conçu comme un protocole de messagerie simple et léger qui utilise un système de publication / abonnement pour échanger les informations entre le client et le serveur.
- Il n'est pas nécessaire que le client et le serveur établissent une connexion en même temps.
- Il offre une transmission de données plus rapide, comme WhatsApp / messenger fournit une livraison plus rapide. C'est un protocole de messagerie en temps réel.
- Il permet aux clients de s'abonner à la sélection étroite de sujets afin qu'ils puissent recevoir l'information qu'ils recherchent.

#### II.8.3.2 Architecture MQTT

Pour comprendre l'architecture MQTT, nous examinons d'abord les composants du MQTT. [35]

##### 1. MESSAGE

Le message est les données qui sont effectuées par le protocole à travers le réseau pour l'application. Lorsque le message est transmis sur le réseau, il contient les paramètres suivants :

- Données utiles
- Qualité du service (QoS)
- Collection de propriétés
- Nom du sujet

##### 2. CLIENT

Dans MQTT, l'abonné et l'éditeur sont les deux rôles d'un client. Les clients s'abonnent aux sujets pour publier et recevoir des messages. En termes simples, nous pouvons dire que si un programme ou un appareil utilise un MQTT, alors cet appareil est appelé un client. Un appareil est un client s'il ouvre la connexion réseau au serveur, publie des messages que d'autres clients veulent voir, s'abonne aux messages qu'il est

intéressé à recevoir, se désabonne des messages qu’il n’est pas intéressé à recevoir, et ferme la connexion réseau au serveur.

Dans MQTT, le client effectue deux opérations :

**Publier** : Lorsque le client envoie les données au serveur, nous appelons cette opération une publication.

**S’abonner** : Lorsque le client reçoit les données du serveur, nous appelons cette opération un abonnement.

**Serveur** L’appareil ou un programme qui permet au client de publier les messages et de s’abonner aux messages. Un serveur accepte la connexion réseau du client, accepte les messages du client, traite les demandes d’abonnement et de désabonnement, transmet les messages de l’application au client et ferme la connexion réseau du client.

### 3. SUJET

Sont une manière de spécifier, où on veut publier les messages. Ils sont représentés par, des chaînes de caractères, séparés, par des slashes (/). Chaque slash, indique un niveau du ‘topic’.

Exemple1:



Figure II.3 : Topic

Exemple2 : Eteindre une lampe

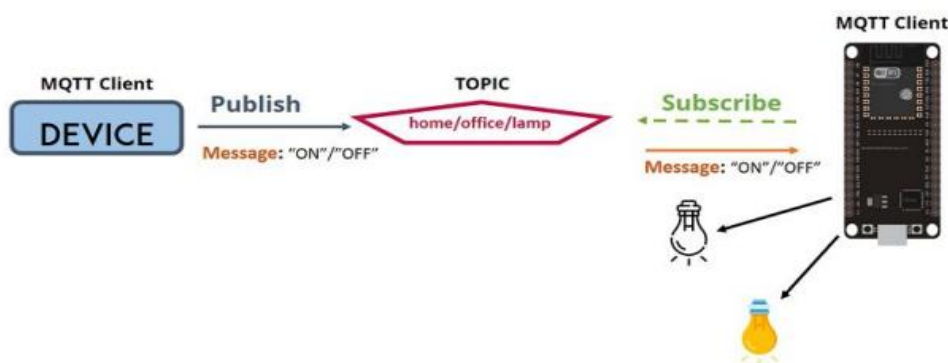


Figure II.4 : Topic

### II.8.3.3 MQTT – Broker

Le broker, est responsable, principalement, de recevoir, tous les messages, de les filtrer, et de les publier, à tout client souscrit, aux mêmes topic.

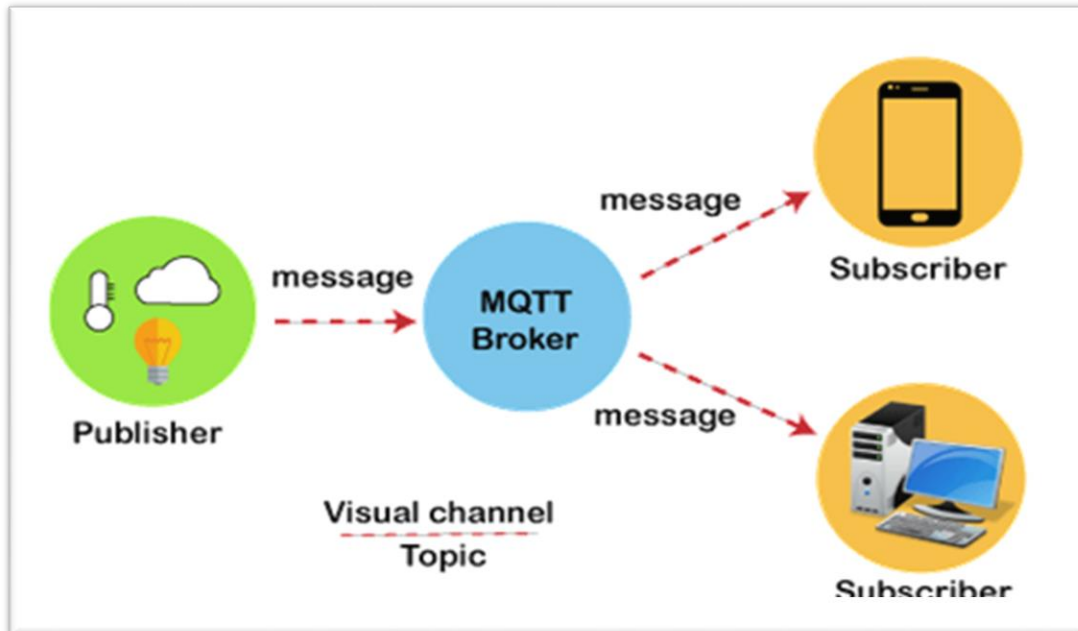


Figure II.5: MQTT – Broker

### II.8.3.4 Différences majeures entre le protocole MQTT et le protocole HTTP.

Le tableau illustre la principale différence entre les deux. [36]

Protocole de transport HTTP	Protocole de transport MQTT
Centré sur les documents	Centré sur les données
Paradigme demande-réponse	Paradigme Publier-S’abonner
Puissance requise plus élevée	faible consommation d’énergie
Les appareils IoT sont toujours prêts à recevoir des communications	Les appareils IoT choisissent quand recevoir la communication
Communication directe entre l’agent IoT et les appareils IoT	Communication indirecte entre l’agent IoT et les appareils IoT
Débit lent	Débit plus rapide

Figure II.6: la différence entre protocole MQTT et le protocole HTTP

---

## II.9 Paradigmes de communication

En plus des communications humain à humain qui ont régné sur l'Internet classique, de nouveaux styles d'interactions émergent avec l'apparition de l'Internet des objets comme le montre la figure cidessous qui illustre ces interactions inter objets connectés et entre l'humain et le(s) objet(s) dans IOT.

### II.9.1 Internet des objets (IoT)

L'IoT peut être défini comme un système où plusieurs périphériques communiquent entre eux via des capteurs et une connectivité numérique. Ils se parlent, travaillent en tandem et forment un réseau combiné de services.

### II.9.2 Communications machine à machine (M2M)

M2M est une communication directe entre périphériques utilisant des canaux de communication câblés ou sans fil. M2M fait référence à l'interaction de deux ou plusieurs périphériques/machines connectés l'un à l'autre. Ces appareils capturent des données et les partagent avec d'autres appareils connectés, créant ainsi un réseau intelligent d'objets ou de systèmes. Les dispositifs peuvent être des capteurs, des actionneurs, des systèmes intégrés ou d'autres éléments connectés.

La technologie M2M pourrait être présente dans nos maisons, nos bureaux, nos centres commerciaux et d'autres lieux. Le contrôle des appareils électriques tels que les ampoules et les ventilateurs à l'aide du RF ou Bluetooth à partir de votre smartphone est un exemple simple d'applications M2M à la maison. Ici, l'appareil électrique et votre smartphone sont les deux machines en interaction.

La communication M2M (Machine-to-Machine) comme une partie de l'IoT, on pourrait dire que l'Internet des objets comme une version évoluée de M2M.

## II.10 Applications et utilisations de l'IoT

L'Internet des objets ce n'est pas qu'un immense ensemble d'objets intelligents interconnectés et connectés à Internet mais c'est également et plus considérablement, les applications qui sont en fait la raison d'être de cette nouvelle vague de connectivité sur Internet. L'existence des objets intelligents avec de nouvelles possibilités de communications automatiques et intelligentes vont sensiblement améliorer le mode de vie des gens ainsi que la qualité de services dans divers domaines à travers des degrés élevés d'autonomie et d'intelligence. Les potentialités de l'Internet des objets ont mené à ce que des modèles de nouvelles applications soient développées sur Internet. Dans cette section, nous citons les applications en vedette de l'IoT [37].

### a. Maison intelligente :

La maison du futur sera un objet connecté à Internet accessible à distance par ses propriétaires via des Smartphones, tablette ou ordinateurs connectés. La porte, la télévision, le thermostat, le réfrigérateur, les parapluies, les montres, etc. de telle sorte qu'une porte connectée informe les parents par Internet de la rentrée de leurs enfants. La télévision qui était seulement un terminal récepteur. Connectée à Internet, elle (la télévision) devient plutôt un dispositif émetteur/récepteur qui fournit à ses téléspectateurs la possibilité d'envoyer et recevoir des e-mails, faire des appels téléphoniques sur Internet, ou autre. Un thermostat intelligent connecté au réseau Wi-Fi de la maison permet de contrôler facilement la température de celle-ci à partir de n'importe où, pour une amélioration du confort et une optimisation des économies énergétiques. Le réfrigérateur intelligent connecté à Internet et muni d'un système RFID traque les produits élémentaires qui y sont stockés et enregistre des informations pertinentes leur concernant (comme la durée du stockage et la date d'expiration). L'utilisateur peut l'interroger à distance pour savoir ce qui reste et ramener les produits manquant avant de rentrer à la maison. Ou alternativement, le réfrigérateur peut être programmé pour commander automatiquement les produits qui manquent.

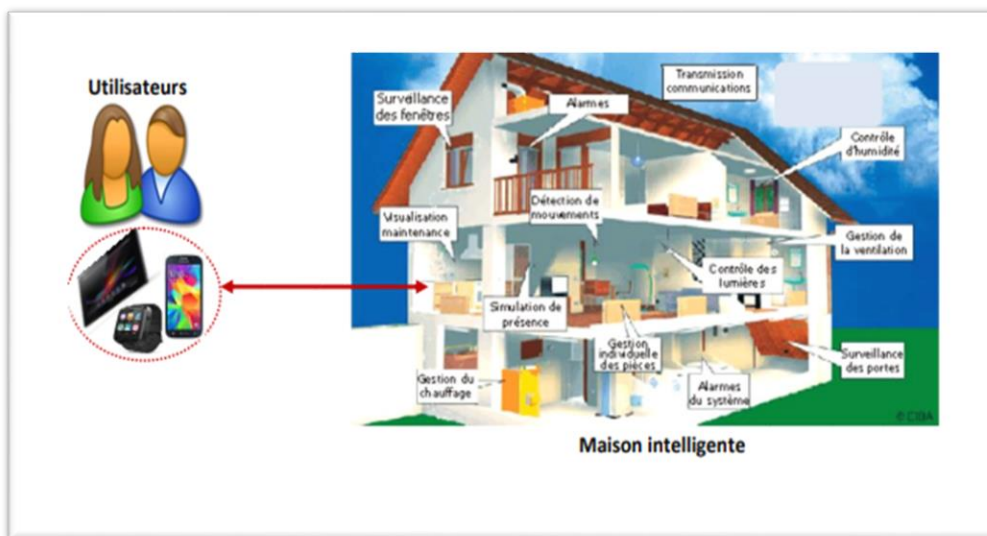


Figure II.7: Maison intelligente

### b. Environnement :

L'Internet des objets contribue dans la réduction de l'impact sur l'environnement en proposant des solutions IoT telles que :

- Les voitures intelligentes et autonomes peuvent mener à une conduite écologique en permettant aux voitures sur la route de communiquer et de prévoir le comportement des autres véhicules. Le trafic s'écoulera à une vitesse uniforme avec seulement quelques mètres entre les véhicules, ce qui réduira le gaspillage de carburant induit par la vitesse et les changements de rapports de boîte des véhicules conduits par des humains.

- Les scientifiques et les experts des espèces sauvages ont pu contribuer au rétablissement durable de l'espèce. Le lynx ibérique a été réintroduit en Espagne grâce à l'utilisation des technologies IoT pour suivre et surveiller les quelques lynx sauvages encore en vie. Des colliers ont permis de les géo-localiser et de connaître leurs habitudes, et avec des drones connectés beaucoup moins invasifs.
- Le déploiement des capteurs connectés dans les avaloirs. Ces capteurs vont permettre de connaître le niveau des déchets récoltés dans les avaloirs en temps réel, d'avoir des alertes quand ceux-ci sont remplis et de notifier les équipes qui pourront aller les vider avant que les déchets ne soient rejetés à la mer lors de fortes pluies.

### c. Militaires :

L'Internet des objets est un domaine fertile tant pour les applications civiles que pour les applications militaires. Dans le domaine de défense les capteurs et les nano-drones connectés à Internet permettent d'envisager des applications sophistiquées pour l'exploration, la surveillance des champs de batailles et des frontières, ainsi que la poursuite et la localisation géographique des objets connectés. Les forces militaires ont la tendance d'utiliser des infrastructures propriétaires pour la connectivité et les communications. En transitant vers l'Internet, il sera plutôt possible d'utiliser des infrastructures cloud, qui offrent une flexibilité opérationnelle très intéressante. Le soldat en mission peut lui-même être connecté à Internet à travers les capteurs connectés, intégrés dans sa tenue. Ces capteurs peuvent être par exemple des capteurs médicaux qui rapportent l'état de santé du soldat, ou des capteurs multimédia qui captent des images, une vidéo ou du son depuis la zone où il se trouve (le soldat).

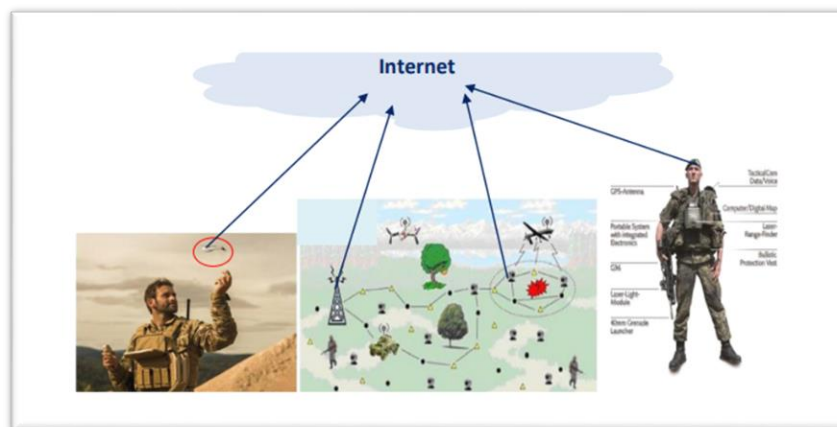


Figure II.8 : Le domaine militaire et l'Internet des objets.

### d. médicales

L'IoT aura de nombreuses applications dans le secteur de la santé où l'objectif est d'arriver à prévenir des situations graves et de suivre à distance des patients atteints des maladies chroniques et agir rapidement si cela s'est avéré nécessaire. Des capteurs corporels implantés dans le corps du patient récoltent des informations relatives aux paramètres médicaux, telles que la température, la glycémie, le rythme des

battements du cœur ou encore même la tension artérielle. Ces informations seront stockées et traitées sur Internet (plus précisément sur un cloud) et mises à la disposition du médecin qui pourra les consulter n'importe quand et depuis n'importe quel dispositif connecté à Internet (ex : son Smartphone ou sa tablette). Le médecin est alerté en temps réel (en lui envoyant un mail ou un SMS) de tout changement brusque concernant l'état de son patient. Suivant le degré de gravité de la situation, le médecin réagit soit en se déplaçant chez le patient ou juste en le contactant et lui indiquant ce qu'il faut faire pour revenir à l'état normal. Imaginons par exemple un patient avec un rythme cardiaque irrégulier. Le capteur détectant tel évènement déclenche une alerte au cardiologue s'occupant du patient. Le médecin peut également consulter à tout moment les rapports médicaux de ses patients ou bien interroger les capteurs pour avoir les valeurs actuelles.

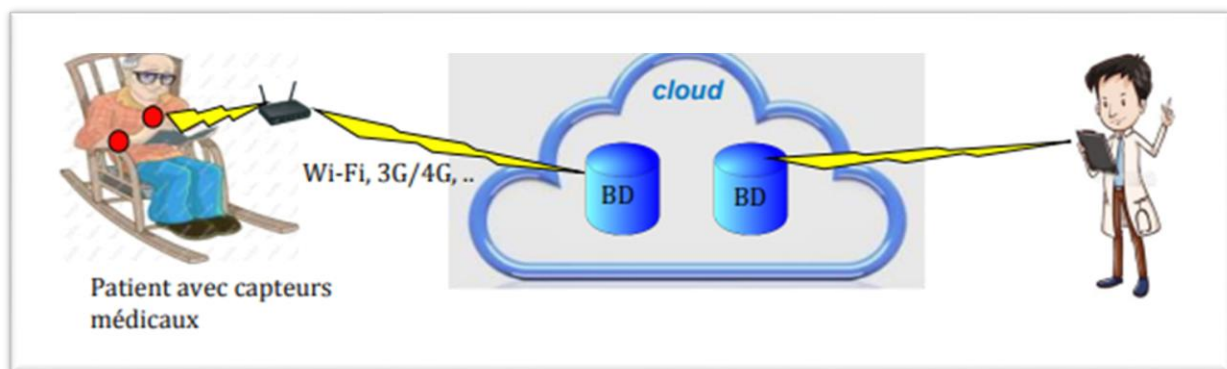


Figure II.9 L'internet des objets dans le domaine médicale

### e. Ville intelligente

Pas que les maisons, les routes, les bâtiments, les véhicules, les magasins, les parkings, etc. seront tous connectés à Internet et annoncent leurs présence les uns aux autres objets connectés pour contrôler le trafic routier, aider les citoyens (surtout les automobilistes) à gagner le temps en leur fournissant des informations pertinentes, en temps réel, sur l'endroit où il se trouve (par exemple le plus proche parking, hôtel, restaurant, hôpital et autres) et des informations d'ordre général sur la ville, comme la température, le taux d'humidité les niveaux de radiation, ... de même, les autorités de la ville intelligente trouveront une facilité de réalisation des tâches de contrôle de la pollution, l'éclairage urbain, etc. notons qu'une coexistence massive de multiples technologies est nécessaire pour la réalisation du projet de la ville intelligente, principalement les réseaux de capteurs. Des applications avantageuses pas moins intéressantes peuvent être envisagées dans d'autres domaines à savoir l'agriculture de précision, où le principe est le même dans tous les cas: permettre un accès ubiquitaire aux informations relatives aux différents types d'objets intelligents existants dans notre



environnement afin de parvenir à automatiser le contrôle et optimiser les rendements.



Figure II.10 ville intelligente

**f. Agriculture intelligente**

Dans ce domaine, des réseaux de capteurs interconnectés à l'IOT peuvent être utilisés pour la supervision de l'environnement des cultures. Ceci permettra une meilleure aide à la décision en agriculture, notamment pour optimiser l'eau d'irrigation, l'usage des intrants, et la planification de travaux agricoles. Ces réseaux peuvent être aussi utilisés pour récolter les informations utiles sur l'état du sol, taux d'humidité, taux des sels minéraux, etc. et envoyer ces informations au fermier pour prendre les mesures nécessaires garantissant la bonne production ainsi lutter contre la pollution de l'air, du sol et des eaux et améliorer la qualité de l'environnement en général [39].



Figure II.11 agriculture intelligente



---

## II.11 Avantages de l'IOT :

**Efficacité** : les interactions entre machines améliorent l'efficacité et permettent aux personnes de gagner du temps pour se concentrer sur d'autres tâches.

**Automatisation** : l'automatisation entraîne une uniformisation des tâches, ce qui peut améliorer la qualité des services et réduire le besoin d'intervention humaine.

**Réduction des coûts** : une efficacité et une automatisation accrues peuvent réduire à la fois les déchets et les coûts de main-d'œuvre, ce qui rend la fabrication et la livraison des marchandises moins coûteuses.

**Contrôle de la qualité** : l'IdO améliore la communication entre les appareils, ce qui permet un meilleur contrôle de la qualité.

**Plus grande transparence** : la possibilité d'accéder aux informations de n'importe où, à tout moment et sur n'importe quel appareil peut simplifier la prise de décision et accroître la transparence.

## II.12 Inconvénients de l'IOT:

**Compatibilité** : en l'absence de normes de compatibilité internationales, les appareils de différents fabricants sont susceptibles de mal communiquer entre eux.

**Moins d'emplois** : l'accélération de l'automatisation par l'IdO pourrait entraîner le retrait de postes qualifiés du marché du travail.

**Complexité** : en raison de la taille du réseau de l'IdO, avec de nombreux appareils qui en dépendent, une seule défaillance logicielle ou matérielle pourrait avoir des conséquences disproportionnées.

**Confidentialité et sécurité** : avec un si grand nombre d'appareils courants connectés à Internet, une quantité considérable d'informations se retrouve en ligne. Il en résulte des risques pour la vie privée et la sécurité .[40]

## II.13 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons introduit les principes points sur l'internet des objets comme les notions des objets connecté qui sont les unités de base ainsi les composantes nécessaires pour obtenir un système IoT et l'avenir de plusieurs domaines d'applications.

# CHAPITRE III

---

## Conception

---

### **III.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier lieu l'objectif de notre travail, le principe de la solution proposée et l'architecture globale du système. Par la suite, nous présenterons les outils matériels, les environnements logiciels et les protocoles utilisés pour développer notre système, ainsi que les différentes plateformes d'exécution de ces différentes parties.

### **III.2 Objectifs et principe de la solution proposée:**

Vu que :

- 1 - Le matériel électronique, à l'intérieur de la serre, tombe en panne fréquemment, à cause de ses conditions climatiques sévères, et la gestion de ce dernier est délicate car nous oblige à chaque fois de changer les équipements et par conséquent , modifier le brochage des cartes NodeMCU et leur programme interne.
- 2- Le diagramme d'activité de la serre, fixé préalablement, ne répond pas aux nouvelles mesures de sécurité ou aux exigences précises des experts agricoles le jour de l'évaluation du produits, ou de changement dans la conduite agricole à fin d'améliorer ou de changer le programme agricole.

Alors notre objectif est de :

- 1- Rendre la réaction de la serre automatique vis-à-vis tout changement macro-climatique ou microclimatique , à savoir
  - L'ouverture des portes
  - Arrosage des plantes et gestion de l'irrigation
  - Gestion de ventilation aération ...
  - Gestion de l'éclairage
- 2- En cas de changement dans l'installation des capteurs ou actionneurs dans la serre , il suffit de :  
brancher à n'importe quel PIN de n'importe quel carte NodeMCU , informer notre système par ce brochage et tous fonctionnent bien sans reprogrammer les cartes NodeMCU.
- 3- En cas où la serre répond ou régit d'une manière insuffisante ou carrément incorrecte ou bien en cas de besoin d'ajuster ou de changer la conduite agricole , alors
  - le système serre permet de modifier le diagramme d'activité de la serre sans faire recours aux programmes internes de logiciel; il suffit d'ajuster le diagramme d'activité à travers des règles à introduire d'une manière syntaxique prédéfinie.

### III.3 Principe fonctionnement:

Notre système décompose en trois phases principales :

**la première phase** correspond au sous système physique de capture et d'actionnement ,Il permet de collecter des données en temps réel sur la température, l'humidité, luminosité, ... de l'environnement intérieur de la serre et envoyez-les au système par le microcontrôleur NodeMcu qui sont reliés ; L'ESP8266 agit en tant qu'éditeur elle publie des données provenant des capteurs dans un broker MQTT qui accepte ces données.

**La deuxième phase** correspond à partie principale du système proposé ; l'envoi, des données capteurs, sous forme des messages vers le Borker MQTT qui les renvoi, à son tour, vers un site web qui s'occupe de les traiter par le biais d'un système expert dedans, appliquant des règles de conduite agricole et/ou de sécurité prédéfinies par des experts via le même site; Et ce pour diriger la séquence d'activité de la serre en envoyant, à travers le même Broker MQTT, la bonne action à exécuter par le bon actionneur dans le bon moment. Le cas échéant, le système permet, un actionnement manuel; En même temps, à travers le site il donne la possibilité aux experts d'intervenir, directement, pour ajuster ou ajouter des nouvelles règles.

**La troisième phase** est implémentée comme un site web dynamique. Elle est donc hébergée dans un serveur Internet. Elle permet de l'installation du matériels, introduire des règles exprimant les diagrammes d'activité de la serre, surveiller plusieurs serres et d'établir des statistiques . Ce site est donc accessible de n'importe quelle appareille connectée à Internet comme le Smartphone, tablette, ordinateur, etc.

### III.4 Architecture générale du système

L'implémentation de notre solution est basée sur un modèle matériels minimisé et capable de supporter tout type de pannes, d'ajustement et d'amélioration au fur et mesure de l'expérience acquise; suivi d'un modèle de taches et communications entres ses différents composants que se soit hardware ou software, comme il est montré ci-dessous.

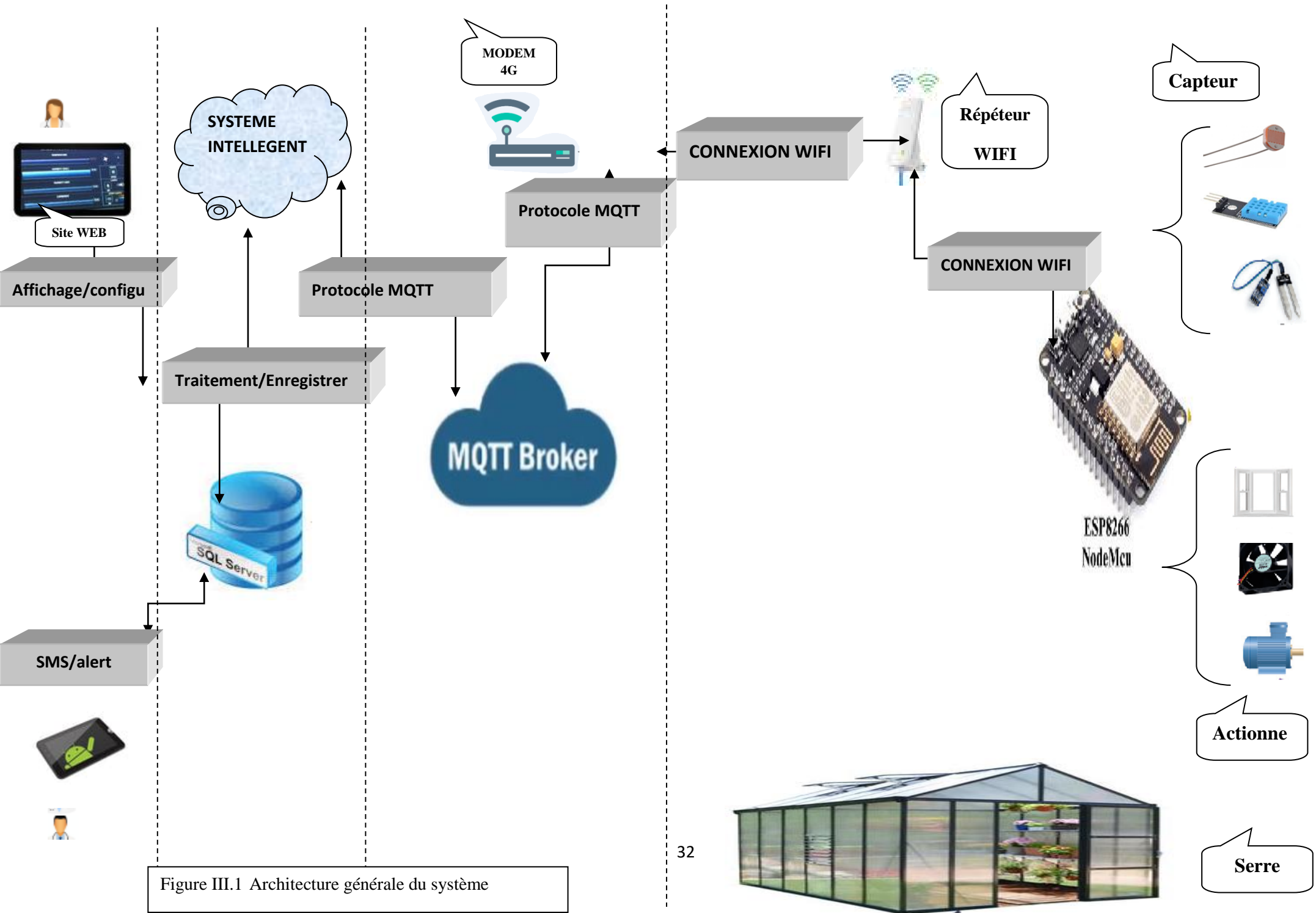


Figure III.1 Architecture générale du système

III.5 Fonctionnement du système :

Pour le fonctionnement de notre système, nous présentons le modèle proposé pour les tâches et la communication entre ses composants, par le diagramme de séquence suivant:

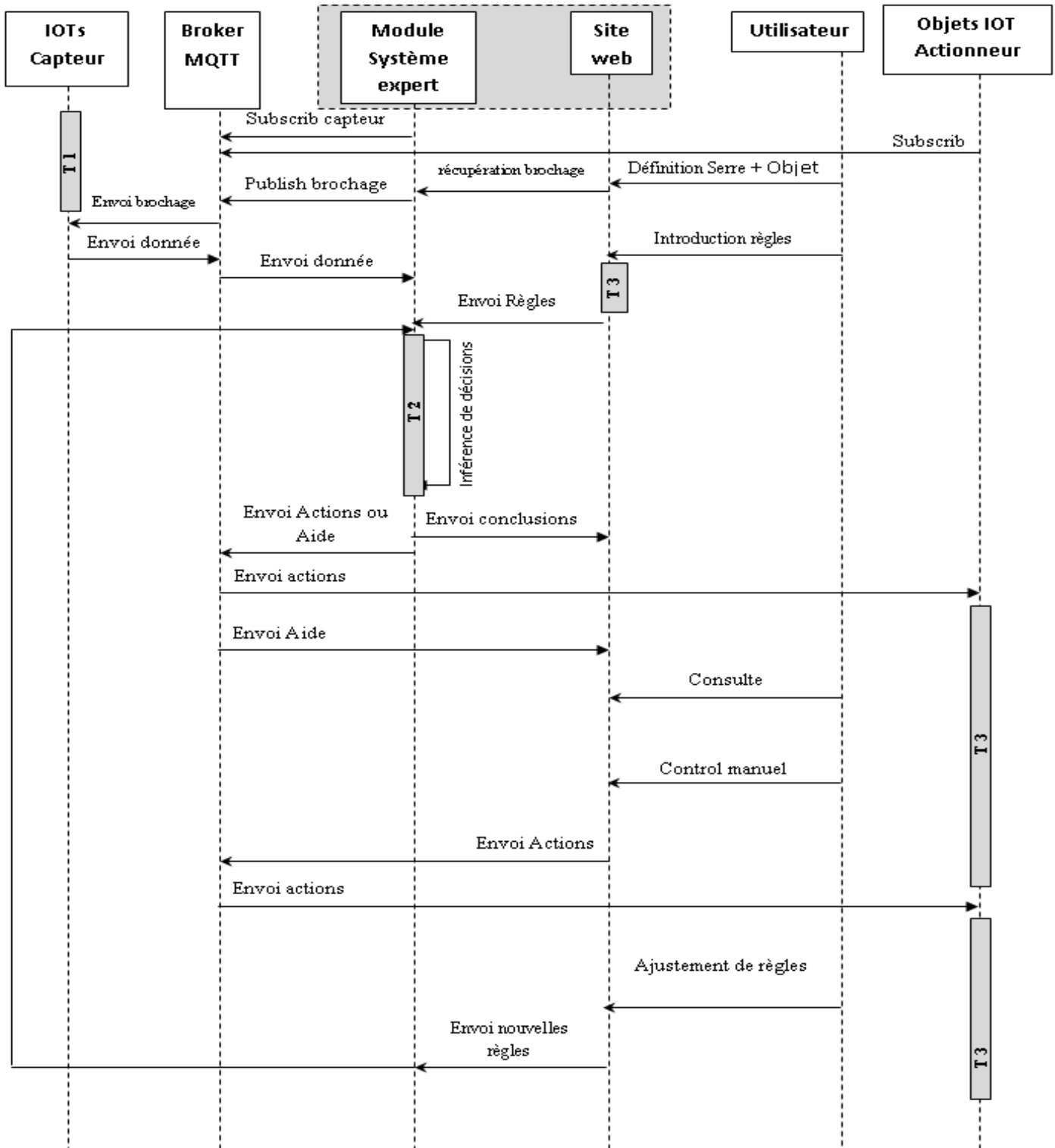


Figure III.2 Diagramme de séquence

**Tel que :**

T1 : Tache exécutée au niveau de chaque capteur, elle consiste à préparer les données à envoyer au système par le microcontrôleur NodeMcu lui sont reliés; en respectant la table de brochage déjà reçue.

T2 : Tache exécutée par le système expert , elle consiste à appliquer les règles et déduire les actions à entreprendre avec les objets Iot (actionneurs) ou avec les utilisateurs (action sur objet ou sur les règles: ajustement, ajout, suppression).

T3 : Tache exécutée au niveau des objets Iot actionneurs qui conduit à des changement dans le système. Cette tache est assurée par toujours le microcontrôleur lui sont reliés ces actionneurs, en respectant une autre fois table de brochage déjà reçue.

## III.6 Les algorithmes du systeme

### III.6 .1 Module de communication

Pour la réalisation de notre système, nous avons opté, pour les taches détaillées dans le chapitre de la conception, des algorithmes simplifiés suivants, qui s'exécutent tous en parallèle :

#### III.6 .1.1 Serveur Broker MQTT :

Cet algorithme se déroule au niveau du Broker MQTT;

**Algo Broker\_ MQTT ( )**

**debut**

en contenu :

demande = ecoute\_demande (opération, client, topic,message)

si demande.operation="subscrib" : souscrire (client,topic)

sinon :

si demande.operation="unsubscrib" : annuler\_souscription  
(client,topic)

sinon :

- publier (topic,message)

- pour chaque (client\_i déjà inscrit pour topic) :

envoyer\_message (topic, client\_i, message)

fin\_si\_sinon

fin\_si\_sinon

fin\_contenu

**fin**

#### III.6 .1.2 NodeMCU Objet IOTs :

Cet algorithme se déroule au niveau du microcontrôleur NodeMCU Objet IOTs :

Pour chaque NodeMCU\_Objet IOTs, on attribue 3 topic au niveau du Broker\_MQTT :

- ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs / table\_brochage : correspondance entre objet Iot et PIN.

- ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs / liste\_actions : valeur numérique pour chaque actionneur inscrit dans la table de brochage.
- ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs / liste\_valeur\_capteur : valeur numérique pour chaque capteur inscrit dans la table de brochage.

Et pour simplifier la codification des objets Iot , nous concéderons que sur chaque capteur, actionneur, NodeMCU\_Objet IOTs, NodeMCU\_répéteur\_Wifi est collé une ticket portant un numéro séquentiel unique exemple dans l'intervale [1 ... 999999999].

### Algo NodeMCU\_Objet IOTs ( )

ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs : donné

SSID\_mon\_repeteur\_wifi : donné

souscription\_terminé = non

table\_brochage=""

liste\_actions=""

liste\_valeur\_capteur = ""

**debut**

tantque souscription\_terminé = non :

si connecter\_avec (SSID\_mon\_repeteur\_wifi) :

souscrire (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs , "ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs /  
table\_brochage")

souscrire (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs , "ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs /  
liste\_actions")

souscription\_terminé = oui

fin\_si

fin\_tantque

en contenu :

si connecter\_avec (SSID\_mon\_repeteur\_wifi) :

si message\_reçu ( topic, message) :

si topic="ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs / table\_brochage") :

table\_brochage = message

sinon

si date(liste\_actions)>=date(table\_brochage) :

appliquer(liste\_actions)

fin\_si\_sinon

fin\_si

preparer\_nouvelle\_liste\_valeur\_capteur (liste\_valeur\_capteur)

publier\_message (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs, "ID\_  
NodeMCU\_Objet IOTs / liste\_actions", liste\_valeur\_capteur);

fin\_si

fin\_continu

**fin**



### III.6 .2 Les modules du Système Expert minimisé :

Les algorithmes se déroulent au niveau de la machine hébergeant le site web; le mécanisme d'inférence est basé simplement sur le principe suivant :

- Les faits présentent, principalement, les valeurs des capteurs, les actions pour actionneurs , en plus toute nouvelle information déduite.
- Vu que l'objectif principal de l'application des règles, est de savoir, à tout moment , pour chaque ensembles d'informations capteurs, quelle est l'action à exécuter et par quel actionneur ? alors nous adoptons **le chaînage avant**, en parcourant toutes les règles.
- La lecture des actions se fait à partir des faits actuels.
- Les diagnostics et les statistiques sont établis à partir de l'historique de tous les faits.
- Les **topic** sont générés, automatiquement, au fur et à mesure, du changement dans le brochage des objets Iot.

#### III.6 .2 .1 Module brochage :

**Algo brochage ( )**

**debut**

en contenu:

si table\_brochage\_web est modifié :

pour chaque (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs\_i dans table\_brochage\_web)

si table\_brochage (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs\_i) est modifié :

publier\_message (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs\_i / table\_brochage, table\_brochage  
(ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs\_i)

fin\_si

fin\_pour

fin\_si

fin\_contenu

**fin**

#### III.6.2.2 Module alimentation\_base\_de\_fait\_capteur :

**Algo alimentation\_base\_de\_fait\_capteur ( )**

**debut**

en contenu :

pour chaque (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs\_i dans table\_brochage\_web) :

souscrire ("SE" ,"ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs\_i / liste\_valeur\_capteur")

fin\_pour

si message\_reçu (topic, message) :

ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs = recuperer\_IDNODE (message)

Liste\_valeur\_capteur = recuperer\_liste\_valeur\_capteur (message)

Remplir\_dans\_base\_faits (ID\_ NodeMCU\_Objet IOTs , Liste\_valeur\_capteur)

fin\_contenu :

**fin**

### III.6.2.3 Module Moteur\_inference :

#### Algo Moteur\_inference ( )

Appliquer\_regle (**regle\_i**)

*debut*

*si toutes les premisses de **regle\_i** sont trouvées dans la base de faits :*

*si toutes les premisses de **regle\_i** sont vrai :*

*si existe (conclusion\_de\_regle (**regle\_i**), **base\_de\_faits**)*

*deplacer (conclusion\_de\_regle (**regle\_i**), **journal\_faits**)*

*fin\_si*

*ajouter (conclusion\_de\_regle (**regle\_i**), **base\_de\_faits**)*

*fin\_si*

*fin\_si*

*fin*

**debut**

regles\_candidates = determiner\_regles\_candidates ( dont les premisses trouvées dans la base de faits)

pour chaque (regle\_i dans regles\_candidates) : Appliquer\_regle(regle\_i)

tantque reste\_des\_regles n'est pas vide :

pour chaque (regle\_j dans reste\_des\_regles) :

Appliquer\_regle(regle\_i)

reste\_des\_regles = reste\_des\_regles - regle\_j

fin\_pour

fin\_tantque

**fin**

### III.6.2.4 Modules Déduction d'actions :

Admettant que notre système réagit, en matière de l'information, avec l'utilisateur à travers 2 types d'interfaces :

- Tableau de bord : affichant la situation complète des serres.
- Control direct des actionneurs par l'utilisateur.

Alors, l'action à déduire soit : une action commandée, automatiquement, sur un objet Iot; ou soit action intervenant sur le contenu du tableau de bord.

#### Algo Action ( )

**debut**

en contenu

pour chaque (fait\_i dans base\_de\_faits) :

si type (fait\_i) = "action" :

si cible\_fait (fait\_i) = "Objet\_Iot" :

publier ("SE" , ID\_NodeMCU (fait\_i)+" / liste\_actions", ID\_objetIot (fait\_i)+ ":"+valeur\_action (fait\_i) )

sinon :

element\_tableau\_de\_bord = recuperer\_element\_tableau\_de\_bord (fait\_i)

si existe\_dans\_tableau\_de\_bord (element\_tableau\_de\_bord) :

```

supprimer_depuis_tableau_de_bord
    (element_tableau_de_bord)
ajouter_dans_tableau_de_bord (element_tableau_de_bord)
fin_si_sinon
fin_si
fin_pour
fin_contenu
fin

```

### III.6.3 Modules Statistiques :

Cet algorithme se déroule au niveau du site web.

**Algo Statistiques ( )**

```

debut
    liste_colonnes = recuperer_liste_colonnes (utilisateur)
    table_tmp = filtrer(journal, liste_colonnes)
    afficher (table_tmp)
    titre_graphe = choix_utilisateur (page_web)
    axe_x = choix_utilisateur (page_web)
    axe_y = choix_utilisateur (page_web)
    Dessiner_graphe (titre_graphe , axe_x , axe_y)
fin

```

### III.6.4 Module Alerte :

Cet algorithme se déroule au niveau de la tablette logé dans l'armoire.

**Algo Alarme ( )**

```

debut
    en contenu
        si telecharger_ftp ( adresse_site , fichier_message ) est réussi :
            message = lire (fichier_message)
            si message="alerte" :
                envoyer_SMS ( tele_surveillant , " Alerte ")
            fin_si
        sinon :
            envoyer_SMS ( tele_surveillant , " Alerte ")
        fin_si_sinon
    fin_contenu
fin

```

### III.6.5 Module système d'apprentissage (SE) : à base des règles (logique d'ordre 0 ou logique des propositions)

Pour que la réaction de la serre soit complètement correcte dans toutes les circonstances, notre mécanisme proposé pour l'actionnement des composants de la serre est basé sur un système expert intégrant à la fois la situation interne de la serre et la situation de l'environnement ;

Ce mécanisme est clarifié comme suit :

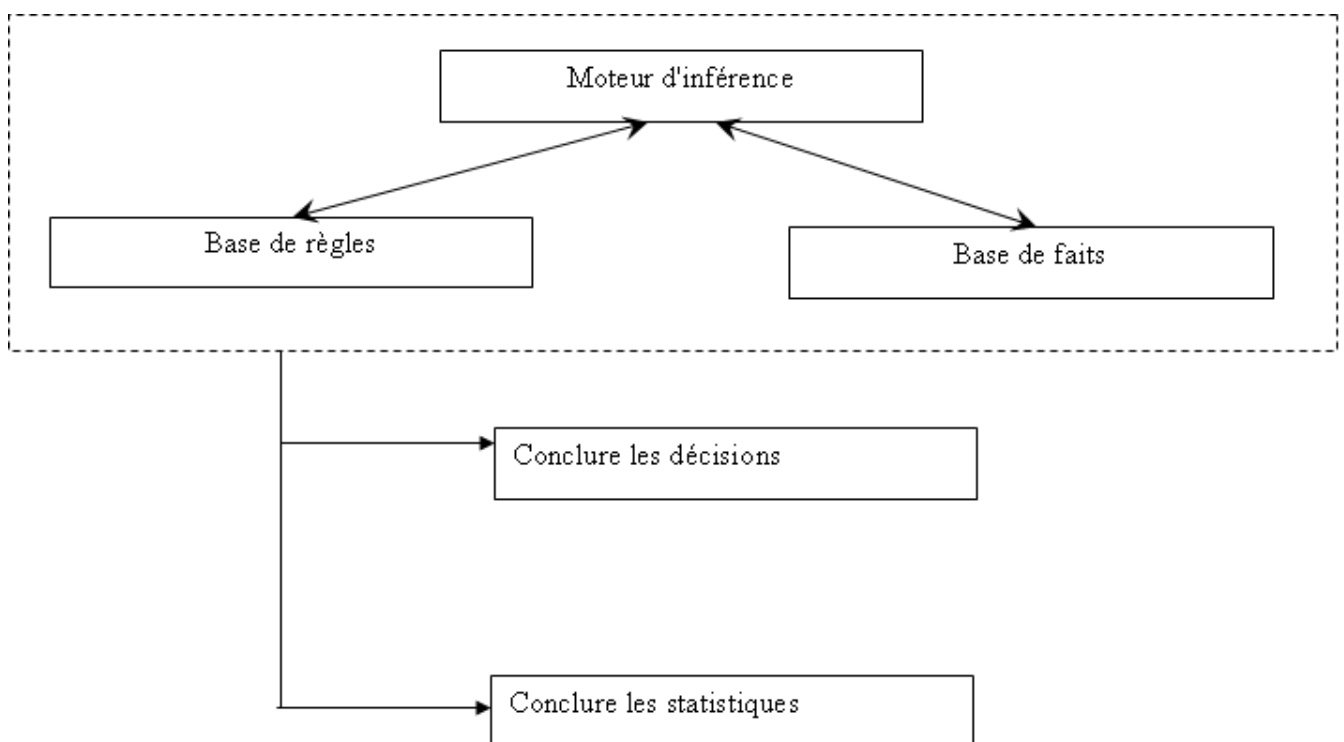


Figure III.3 Module système d'apprentissage

Moteur d'inférence : pour déduire des nouvelles **règles** ou des nouveaux **faits** qui servent comme mémoire du système.

Conclure les décisions : pour la détection, à partir de la **base de faits** de nouvelles actions à commander sur les Objets Ilots actionneurs ou les demandes d'aide auprès des utilisateurs pour ajuster les règles ou introduire de toute nouvelle information manquante.

Conclure les statistiques : pour donner des lectures en courbe ou en chiffre de certains états ou certains phénomènes, toujours à partir de **base de faits**.

**III.6.6 diagramme d'activité du système**

Notre système se déroule dans deux endroits de types différents :

1- La carte ou microcontrôleur NodeMcu : qui exécute le diagramme d'activité suivant décrivant les 2 tâches T1 et T3 comme suit :

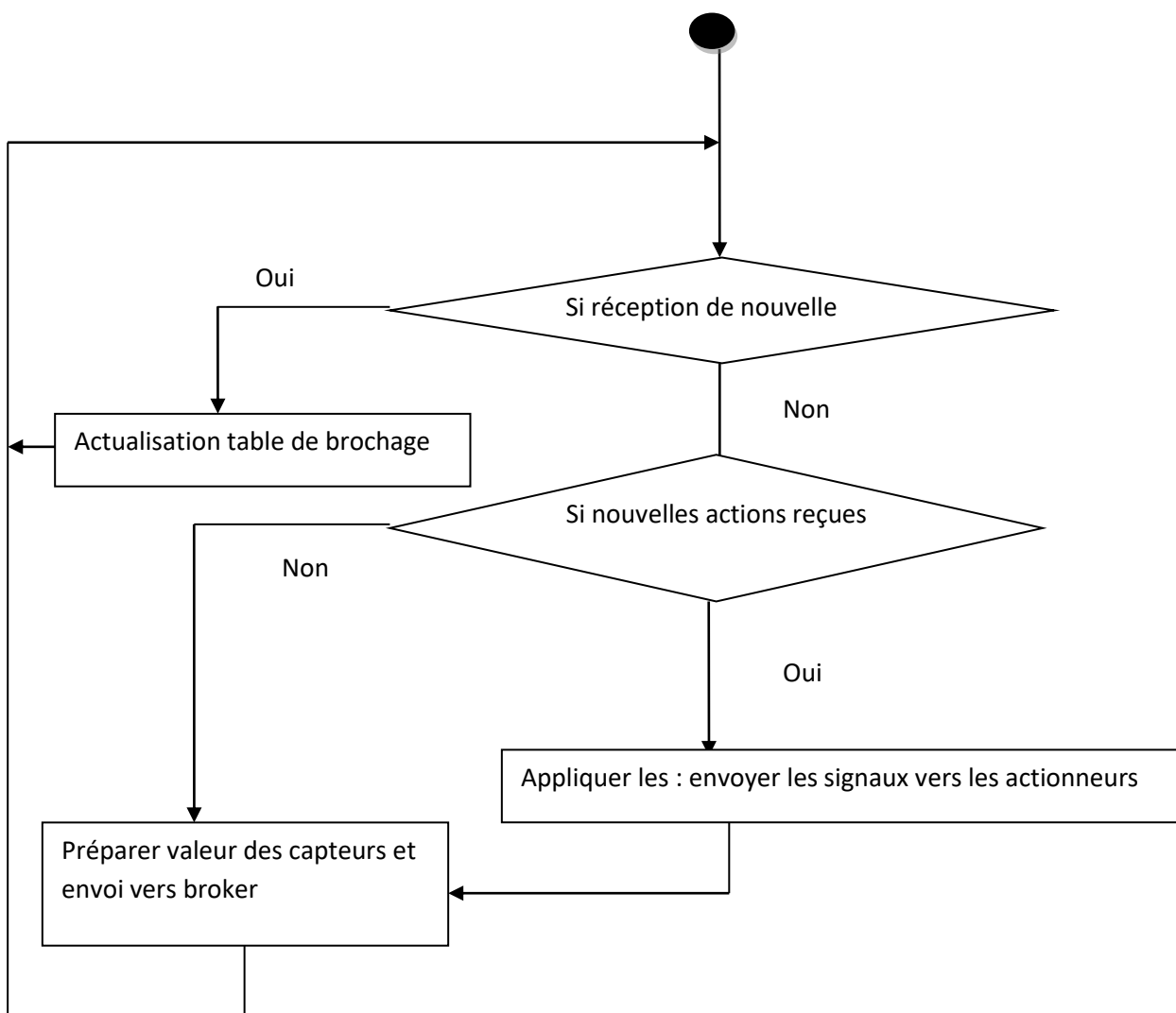


Figure III.4 diagramme d'activité du NodeMcu

2- La machine hébergeant le site web et le module système expert : qui exécute le diagramme d'activité suivant :

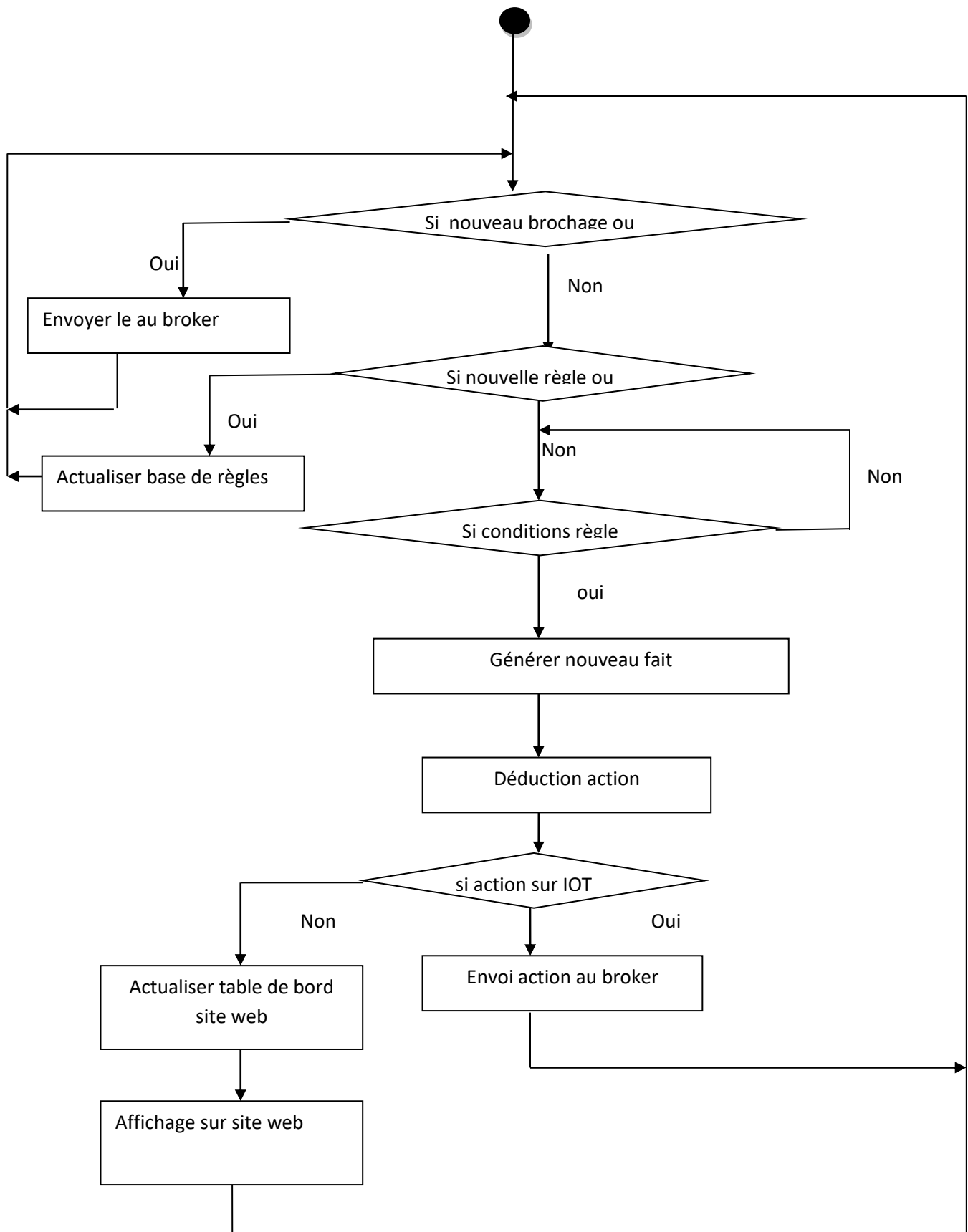


Figure III.5 diagramme d'activité du système

L'exécution de ce diagramme d'activité génère pour chaque ensemble de règles un diagramme d'activité serre à part suivant les prémisses et conclusions exprimant chaque règle, alors la création des diagrammes d'activité de la serre est dynamique au fur et à mesure au cheminement dicté par ses règles sujettes au changement des experts agricoles.

Exemple :

Règle : **SI** température air > 45 ° **ALORS** ouvrir\_porte\_principale = 1 ;

Le diagramme d'activité sera comme suit :

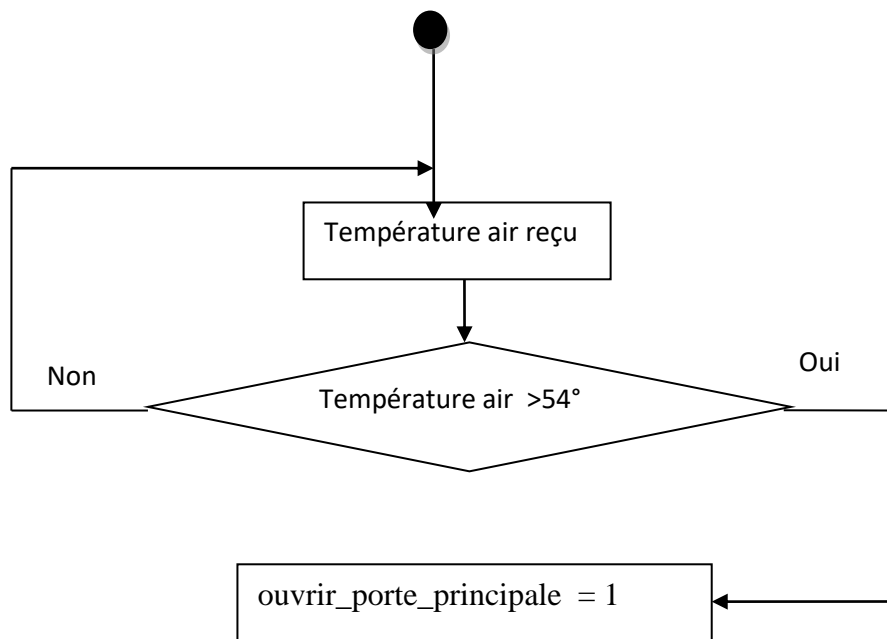


Figure III.6 diagramme d'activité « exemple : règle du température »

### III.6.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté toutes les détails de la conception de notre système pour les serres intelligentes.

# CHAPITRE IV

---

## Réalisation

---



## IV.1 Introduction

Dans cette section, nous avons expliqué la partie conception de notre système qui est composé deux côtés, nous décrirons les étapes que nous avons suivies pour développer et mettre en œuvre notre Solution IdO. Dans un premier temps, nous présenterons de brèves définitions des langages de développement et les outils utilisés dans la mise en place de notre système, et dans un deuxième temps nous présenterons les équipements électroniques utilisés pour le déploiement la solution propose.

## IV.2 Description des langages et matériels utilisés

### IV.2.1 Langages de programmation

#### IV.2.1.1 C# se prononce « C-Sharp »

Il s'agit d'un langage de programmation orienté objet créé par Microsoft qui s'exécute sur le .NET Framework. C# a des racines de la famille C, et le langage est proche d'autres langages populaires comme C++ et Java. C# est utilisé pour :



- Applications mobiles
- Applications de bureau
- Applications Web
- Services Web
- Sites Web
- Jeux
- Applications de base de données

#### IV.2.1.2 Arduino IDE

Arduino se compose à la fois d'une carte de circuit physique programmable (souvent appelée microcontrôleur) et d'un logiciel, ou IDE (Integrated Développement Environnement) qui fonctionne sur



l'ordinateur, utilisé pour écrire et télécharger du code informatique sur le tableau physique. L'environnement de développement intégré Arduino - ou Arduino Software (IDE) – contient un éditeur de texte pour écrire un code, une zone de message, une console de texte, une barre d'outils avec des boutons pour des fonctions communes et une série de menus. Il se connecte au matériel Arduino et Genuino pour télécharger des programmes et communiquer avec eux. Le langage de programmation utilisé est le C++, lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties [50].

## IV.2.1.3 Microsoft SQL Server



est un système de gestion de base de données (SGBD) en langage SQL incorporant entre autres un SGBDR (SGBD relationnel »développé et commercialisé par la société Microsoft. Il fonctionne sous les OS Windows et Linux (depuis mars 2016), mais il est possible de le lancer sur Mac OS via Docker

## IV.2.1.4 Mosquitto MQTT Broker



Eclipse Mosquitto est un agent de messages open source (sous licence EPL/EDL) qui implémente les versions 5.0, 3.1.1 et 3.1 du protocole MQTT. Mosquitto est léger et convient à une utilisation sur tous les appareils, des ordinateurs monocarte basse consommation aux serveurs complets.

Le protocole MQTT fournit une méthode légère d'exécution de la messagerie à l'aide d'un modèle de publication/abonnement. Cela le rend adapté à la messagerie Internet des objets, par exemple avec des capteurs de faible puissance ou des appareils mobiles tels que des téléphones, des ordinateurs embarqués ou des microcontrôleurs.

Le projet Mosquitto fournit également une bibliothèque C pour l'implémentation de clients MQTT, ainsi que les très populaires mosquitto\_pub et mosquitto\_sub clients MQTT en ligne de commande.

## IV.2.1.5 ASP.NET

est un Framework Web open source, créé par Microsoft, pour créer des applications et des services Web modernes avec .NET. ASP.NET est multiplateforme



- Les langages de programmation C#, F# et Visual Basic-Bibliothèques de base pour travailler avec des chaînes, des dates, des fichiers/E/S, etc.
- Éditeurs et outils pour Windows, Linux, macOS et Docker.

## IV.2.2 Equipements électroniques

### IV.2.2.1 Le microcontrôleur ESP8266

ESP8266 est un module Wi-Fi économique qui prend en charge à la fois TCP / IP, en mode client/serveur HTTP et les microcontrôleurs. Il fonctionne à 3 V avec une plage de tension maximale d'environ 3,6 V. Le

plus souvent, il est également nommé émetteur-récepteur sans fil ESP8266. Ce module reste en avance sur son prédécesseur en termes de vitesse de traitement et de capacité de stockage. Il peut être interfacé avec les capteurs et autres appareils et nécessite très peu de modifications et de développement pour le rendre compatible avec d'autres appareils.

1. Processeur RISC 32bits cadencé à 80Mhz (par défaut) ou à 160 Mhz.
2. 64 Ko de RAM pour les instructions et 96 Ko pour les données.
3. Mémoire flash externe QSPI entre 512 KB et 4MB selon les modèles.
4. Puce Wi-Fi 2.4 GHz (802.11 b/g/n) avec antenne intégrée.
5. WEP or WPA/WPA2 authentication, or open networks.
6. 16 Entrées/sorties numériques GPIO.
7. PWM / ADC 10bits (variante 12E).
8. UART / I2C / I2S / SPI.
9. Alimentation en 3,3V.
10. Consommation : entre 60mA et 215mA

### IV.2.2.1.1 Architecture interne d'un ESP8266

Nous avons choisi le microcontrôleur ESP8266 12E à cause de sa puissance de calcul la plus élevée avec un bus de données 32 bits, une fréquence pouvant atteindre jusqu'à 160 Mhz et une grande capacité mémoire RAM et ROM qu'ils lui permettront de gérer des algorithmes de régulation complexes avec un grand nombre de variables. Il est aussi capable de se connecter à un réseau Wifi pour communiquer avec l'internet, ce qui le rend un microcontrôleur idéal pour la réalisation de notre projet. La figure ci-dessous présente les principaux blocs fonctionnels présents à l'intérieur d'un ESP8266.

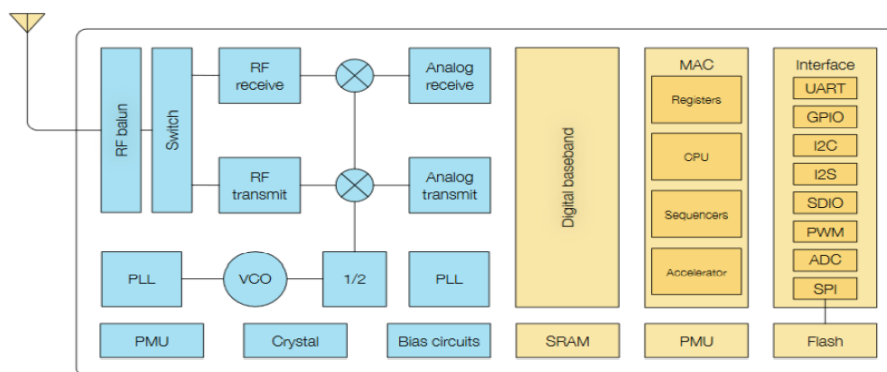


Figure IV.1 : Architecture interne de microcontrôleur d'un

### IV.2.2.2 NodeMCU ESP8266 12E

NodeMCU est une plate-forme open source, sa conception matérielle est ouverte pour éditer, modifier et construire. Le kit / carte de développement NodeMCU se compose d'une puce compatible WiFi ESP8266. Il

utilise un système de fichiers SPIFFS (Serial Peripheral Interface Flash File System) sur module. Il est implémenté en C et est superposé sur le SDK Espressif NON-OS

## IV.2.2.2.1 Composantes d'un NodeMCU

le node mcu se compose de :

1. Un ESP-12E.
2. Un convertisseur USB vers série pour communiquer avec un ordinateur (à des fins de clignotement de console et de programme); la plupart du temps c'est une puce CP2102 mais parfois c'est une CH340. L'installation d'un pilote est parfois nécessaire.
3. Un connecteur MicroUSB-B pour connecter notre NodeMCU DEVKIT v1.0 à notre ordinateur pendant le développement / débogage. Vous aurez besoin d'un câble.
4. Un régulateur 3,3 V pour faire 3,3 V à partir de 5 V USB (référence typique: AMS1117).
5. Un bouton "flash" (nous n'avons pas eu à l'utiliser) et un bouton de réinitialisation utile.

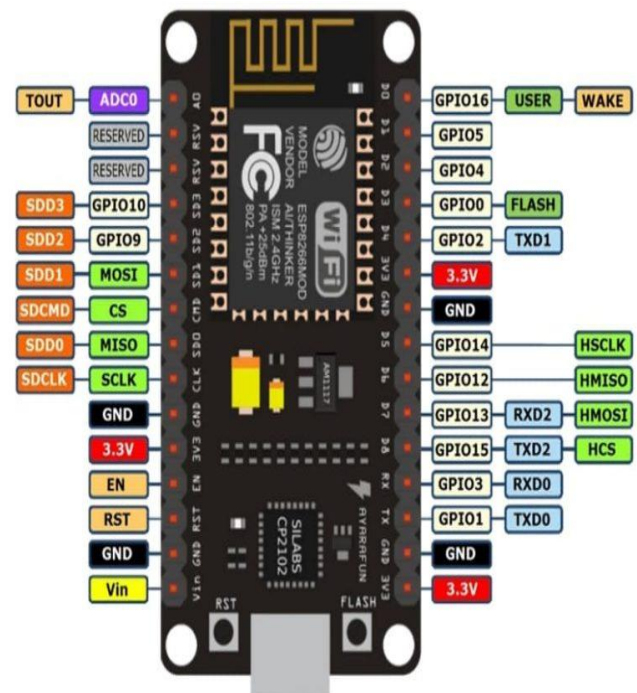


Figure IV.2 : NodeMCU ESP8266

6. Une LED bleue intégrée faible active, connectée à D0 (GPIO16) (voir brochage ci-dessous, après la photo NodeMCU DEVKIT v1.0)
7. Un diviseur de tension (non référencé sur l'image ci-dessous) dont le rôle est expliqué juste après.

## IV.2.2.2.2 Brochage de Node MCU:

Les principaux broches dans Nodemcu sont :

1. Broches d'alimentation (3,3 V).
2. Broches de masse (GND).
3. Broches analogiques (A0).
4. Broches numériques (D0 - D8, SD2, SD3, RX et TX - GPIO XX)

## IV.2.2.3 Les capteurs

### IV.2.2.3.1 Capteur d'humidité et de température DHT11

DHT11 est un capteur d'humidité et de température numérique basique et économique. Il utilise un capteur d'humidité capacitif et une thermistance pour mesurer l'air environnant et crache un signal numérique sur la broche de données (aucune broche d'entrée analogique n'est nécessaire). Il est relativement simple à utiliser, mais nécessite un minutage minutieux des données. Le seul inconvénient réel de ce capteur est que vous ne pouvez obtenir de nouvelles données qu'une fois toutes les 2 secondes. Le capteur de température et

d'humidité DHT11 communique avec un microcontrôleur via un port série. Livré avec résistance de "pull-up" pour la sortie data.

## Caractéristiques

- Alimentation : 3 à 5 Vcc
- Consommation maxi : 2,5 mA
- Plage de mesure :
  - température : 0 à +50 °C
  - humidité : 20 à 100 % HR
- Précision :
  - température :  $\pm 2$  °C
  - humidité :  $\pm 5$  % HR
- Dimensions : 16 x 12 x 7 mm [10]

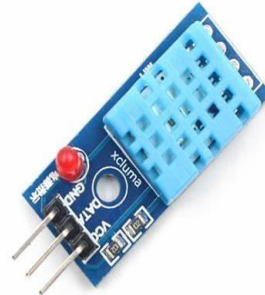


Figure IV.3 : DHT11

### IV.2.2.3.2 LDR capteur de lumière

Les photorésistances (LDR) sont des résistances variables qui sont contrôlées par la lumière. Egalement appelées résistances photo dépendantes ou cellules photoconductrices, elles sont généralement utilisées dans des circuits de commutation activés par la lumière ou l'obscurité, ou des circuits de détection sensibles à la lumière. Elles sont utilisées dans les circuits qui doivent être sensibles à la lumière. Un circuit peut ainsi être programmé de sorte que, lorsque la photorésistance ne détecte pas de lumière, un éclairage soit mis en marche.

## Caractéristiques

- Résistance à la lumière : 20 k $\Omega$
- Résistance d'obscurité : 20M $\Omega$
- Temps de chute : 55ms
- Temps de croissance : 45ms
- Nombre de broches : 2
- Résistance à la lumière maximum : 100 k $\Omega$
- Température d'utilisation maximum : 75°C
- Température minimum de fonctionnement : -60°C

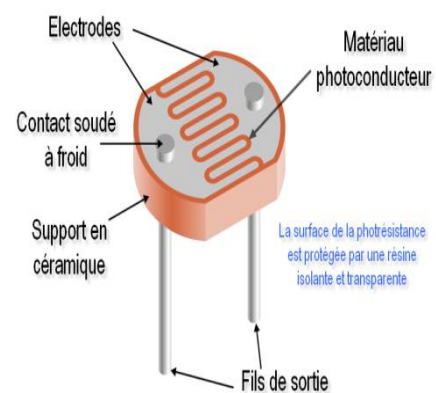


Figure IV.4 : LDR (capteur de lumière)

- Puissance dissipée : 50mW. [11]

### IV.2.2.3.3 Capteur d'humidité du sol :

Le choix se portera sur le capteur d'humidité du sol (FC-28), ce capteur mesure l'humidité du sol à partir des changements de conductivité électrique de la terre (la résistance du sol augmente avec la sécheresse), il est composé d'une platine qui constitue le conditionnement et une fourche résinée qui protègent contre l'oxydation et se plante verticalement dans la terre. Le fonctionnement électrique de ce capteur est basé sur l'immersion des deux tiges, qui en contact avec le sol permettent la circulation d'un courant, ce qui permet la lecture du niveau d'humidité par rapport à la résistance. Plus y'a d'eau dans la terre, plus la conduction de courant entre les tiges est meilleure, en raison de la faible résistance, ce qui permet à la tension au niveau du capteur d'approcher 5V. Alors que la conductivité d'un sol sec est faible en raison d'une résistance élevée, résultant en un signal proche de 0V.

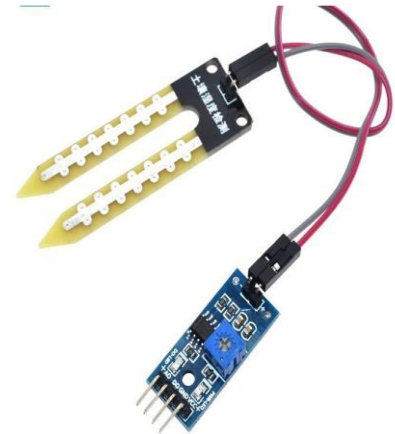


Figure IV.5 : FC-28

### Caractéristiques

- Tension de fonctionnement : 3.3v-5v.
- Taille de circuit imprimé : 3.2cm x 1.4cm. [13]

### IV.2.2.3.3 Relais :

Le relais est un interrupteur que l'on peut commander en envoyant un petit courant. Au repos, il est normalement fermé, ou normalement ouvert, selon le modèle. On peut s'en servir avec l'Arduino pour commander des machines en haute tension (220v par exemple), ou pour déclencher toute machine ou lumière.



Figure IV.6 : relais

## IV.2.2.4 Les actionneurs

### IV.2.2.4.1 Pompe électrique

C'est une micro pompe submersible qui fonctionne sur dc 3-6v avec une rentabilité et portable. Elle est capable de prendre environ 120 litres par heure avec une utilisation en courant extrêmement faible. Le niveau d'eau doit être plus élevé car si le moteur est utilisé sans eau, il peut endommager les pièces de cet appareil en raison d'une surchauffe. Il existe de nombreuses applications telles que le débit d'eau contrôlé de la fontaine, les systèmes hydroponiques, le système d'arrosage contrôlé du jardin.



## Caractéristiques

- Tension DC : 2,5 - 6 V
- Levée maximale : 40-110 cm
- Débit : 80-120 L/H
- Diamètre extérieur de la sortie d'eau : 7,5 mm
- Diamètre intérieur de la sortie d'eau : 5 mm
- Diamètre : env. 24mm
- Longueur : env. 45 mm
- Hauteur : env. 30 mm
- Matériel : plastique d'ingénierie
- Vitesse nominale : 9000 tr / min / 150 Hz



Figure IV.7 : Micro pompe à eau

## IV.2.2.4.2 Ventilateur

Un ventilateur est un appareil destiné, comme son nom l'indique, à créer un vent artificiel pour diminuer la température au niveau des serres agricoles. Dans la réalisation de notre prototype, nous avons utilisé un ventilateur d'alimentation de PC. La figure ci-dessous est le ventilateur GDT5010S12B utilisé.

## Caractéristiques

- Modèle : GDT5010S12B
- Connecteur : XH2.0-2P
- Tension nominale DC : 5V
- Courant nominal : 0,1 A
- Vitesse nominale :  $4500 \pm 10\%$  tr / min
- Débit d'air : 9.55CFM
- Bruit :  $25 \pm 10\%$  dBA
- Type de roulement : manchon
- Vie : 35000 heures
- Longueur du câble : 17 cm
- Poids : 18 g / pcs
- Dimensions : 50x50x10 mm



Figure IV.8 : Ventilateur

## IV.2.2.4.3 Servomoteur

Un servomoteur est un système qui vise à produire un mouvement précis en réponse à une commande externe. C'est un actionneur (système produisant une action) qui mélange l'électronique, la mécanique et l'automatique. Il est composé d'un moteur à courant continu avec deux caractéristiques spéciales: au lieu d'avoir une rotation constante, il est asservi en position angulaire, cela signifie que l'axe de sortie du servomoteur respectera la consigne d'instruction que vous lui



Figure IV.9 : Servomoteur

avez envoyée et maintiendra sa position fixe permettant de contrôler la vitesse de rotation.

## Caractéristiques

- Dimensions : 22 x 11.5 x 27 mm.
- Poids : 9 gr.
- Tension d'alimentation : 4.8v à 6v.
- Vitesse : 0.12 s / 60° sous 4.8v.
- Couple : 1.2 Kg / cm sous 4.8v.
- Amplitude : de 0 à 180°.

## IV.3 Présentation l'application

Nous exposons notre travail final à travers les interfaces suivantes :

tout d'abord, le système exige l'enregistrement des table de brochage des cartes NodeMCU avec leurs capteur et/ou actionneurs lui sont attachés, et ce à travers la page web de "Installation", suivante :

### IV.3.1 Installation

#### IV.3.1.1 Installation les serres

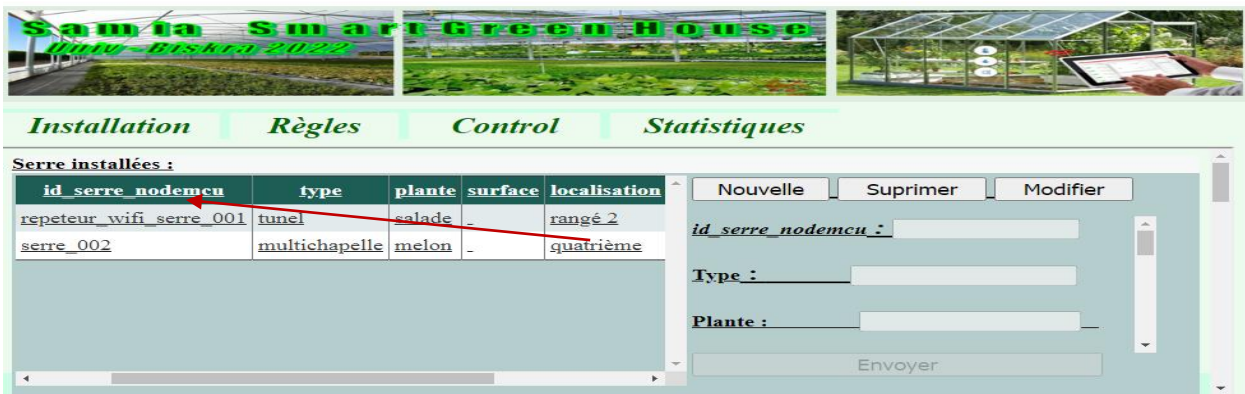


Figure IV.10 : Installation pour serre

#### IV.3.1.2 Installation NodeMCU

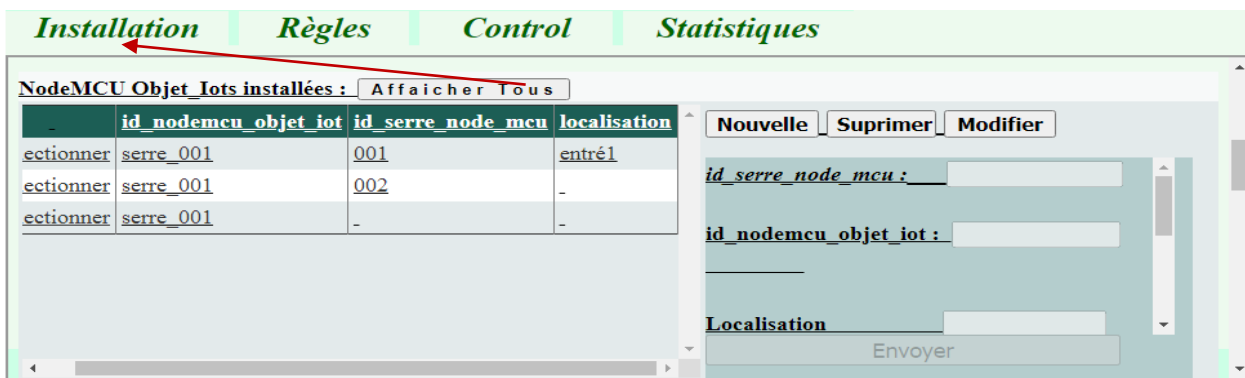


Figure IV.11 : Installation pour NodeMCU



### IV.3.1.3 Installation les Objet\_IOT (capteur/actionneur) :

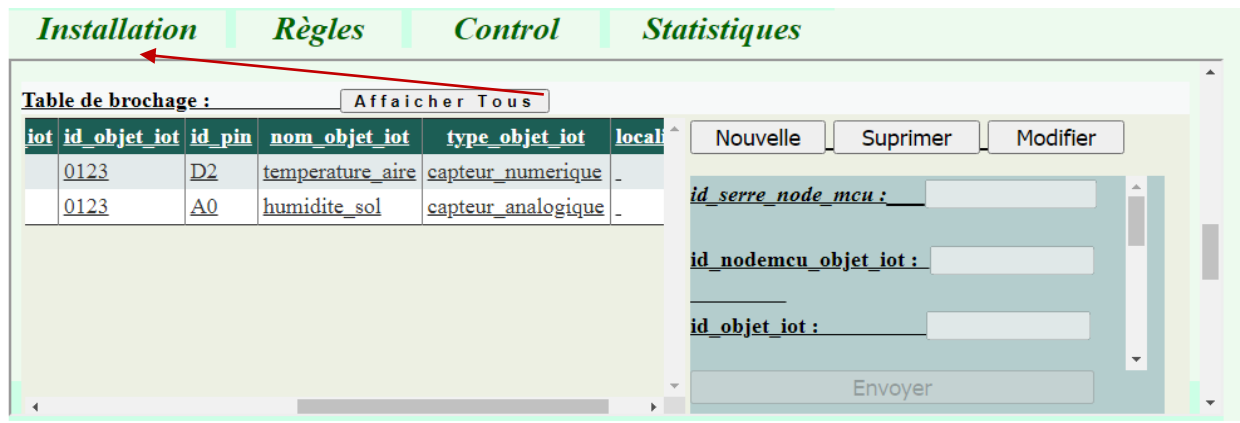


Figure IV.12 : Installation pour (capteur/actionneur)

### IV.3.2 introduit les séries des règles

En suite ,on introduit les séries des règles qui dictent les diagrammes d'activité à planifier, et ce ci à travers la page web suivante :

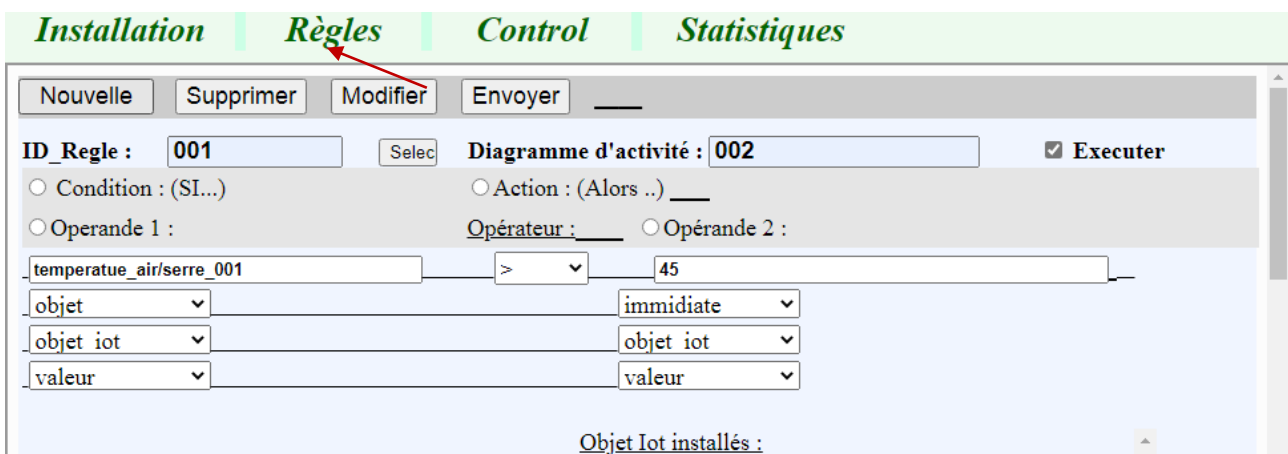


Figure IV.13 : introduit nouveau règle

Règle déjà définies :

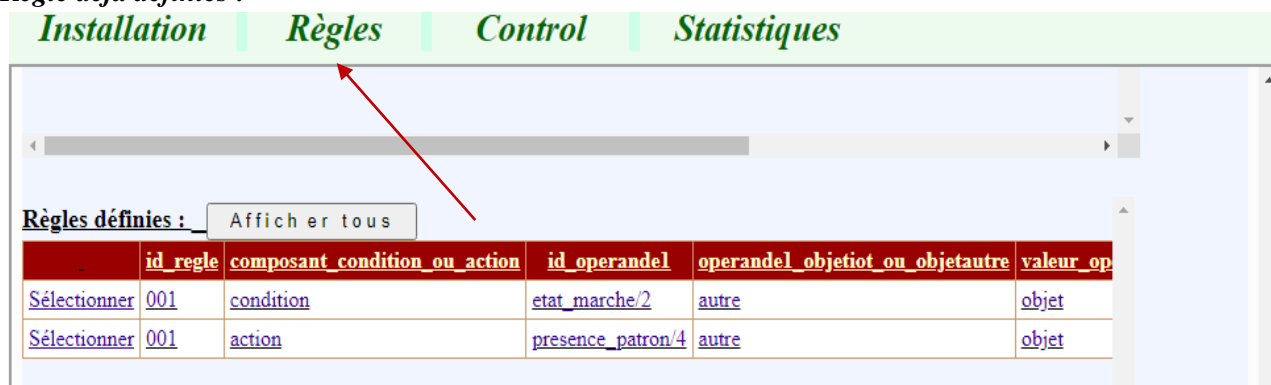


Figure IV.14 : affichage les règles

## IV.3.3 Le module SE

Puis, on passe à la phase d'envoi de table de brochage en cas de changement, par la fenêtre SE suivante :

- Le module SE s'exécute en arrière plan et en permanence en même endroit que le site web;
- Le module SE sert aussi pour contrôler le fonctionnement interne de notre système, et il peut être exécuté aussi dans n'importe quelle machine disposant de la connexion internet et ceci pour donner possibilité de son administrateur de l'utiliser.

### IV.3.3.1 module de brochage

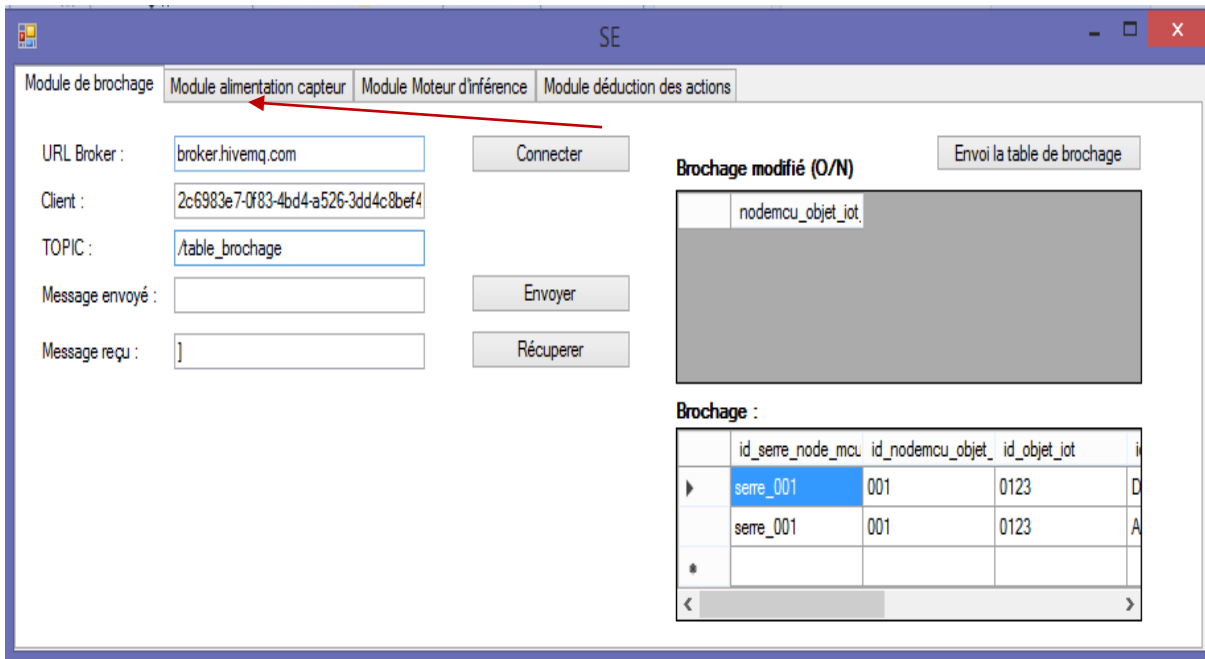


Figure IV.15 : module de brochage

### IV.3.3.2 module alimentation capteur

Suivi par la phase de réception des valeurs capteurs IOT et les enregistrer dans la table de faits come le montre l'interface suivante :

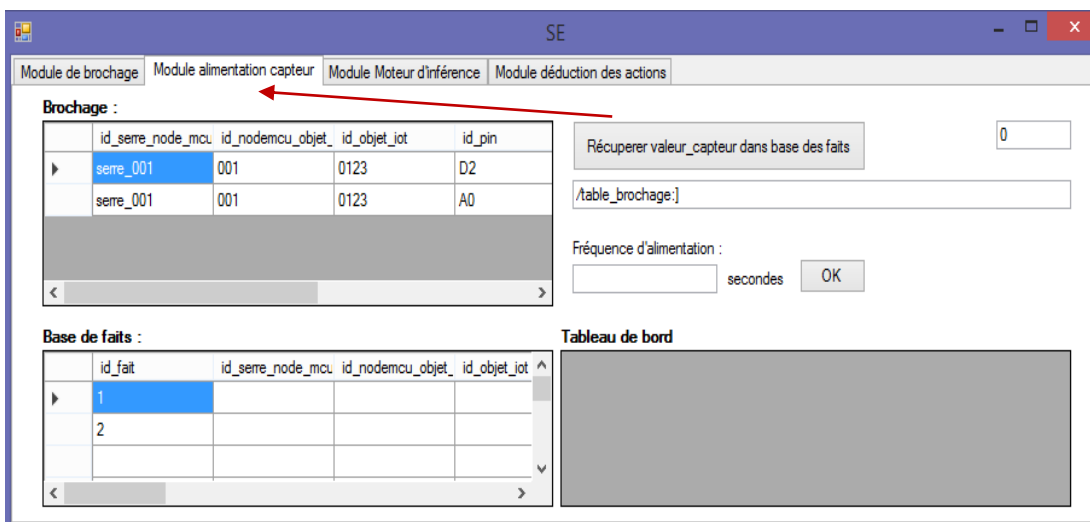


Figure IV.16 : module alimentation capteur

## IV.3.3.3 module moteur d'inférence

Puis, la phase d'inférence d'actions par :

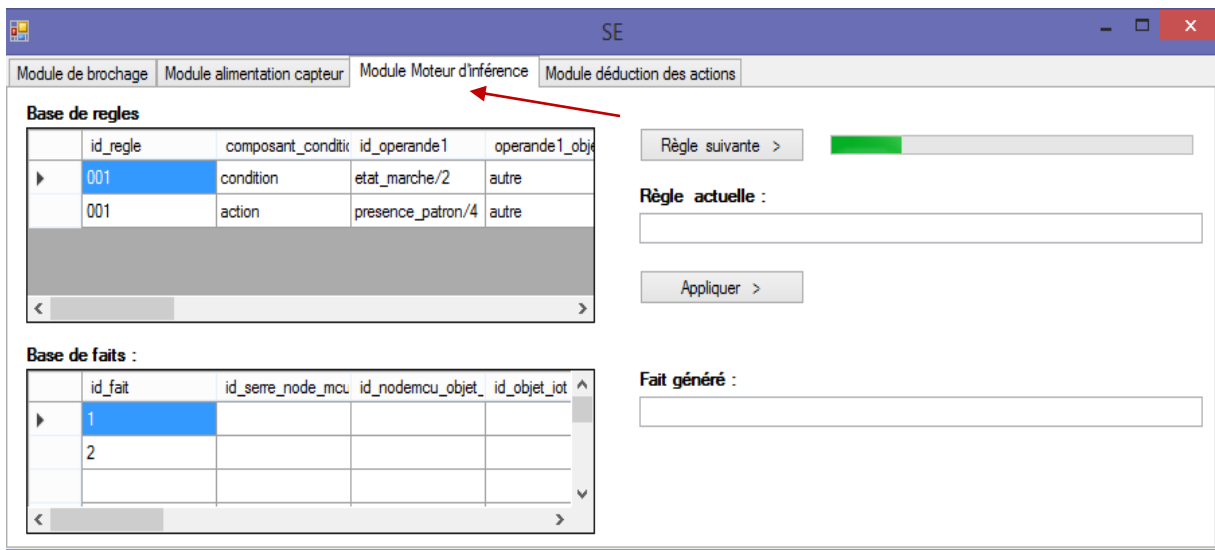


Figure IV.17 : module moteur d'inférence

## IV.3.3.4 module déduction des actions

En fin, la phase de lecture d'actions (sur IOT ou sur Tableau de bord ) par :

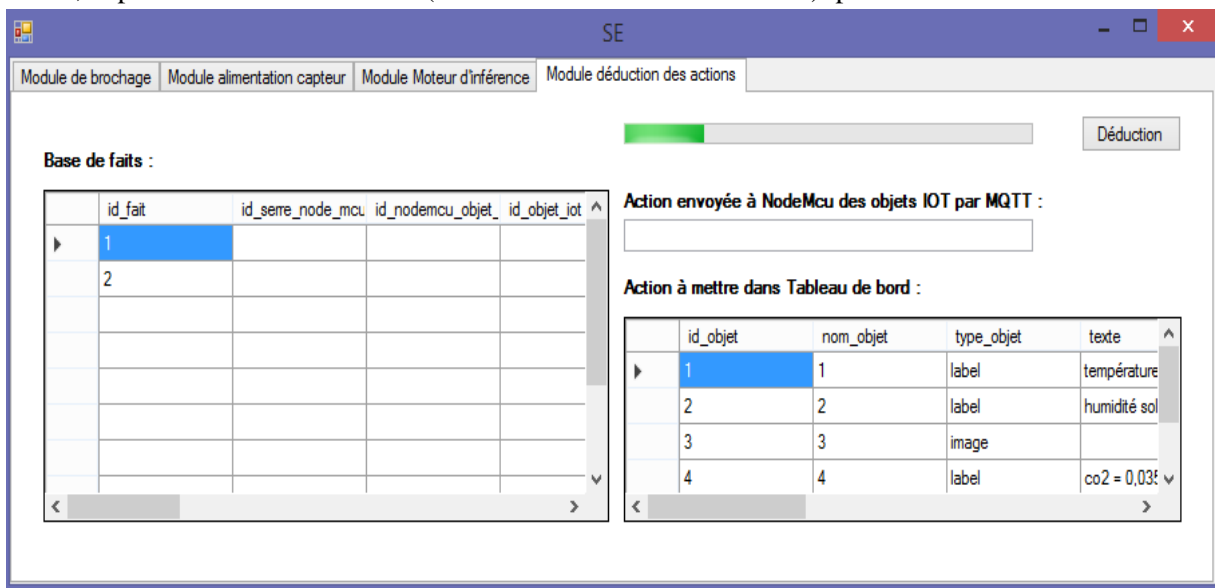


Figure IV.18 : module moteur déduction des actions

## IV.3.4 la page de contrôle

Le control de fonctionnement et la lecture d'état de tout le système se fait à travers la page "Control" web suivante :



Figure IV.19 : la page de contrôle

## IV.3.5 les statistiques

A la fin de cette présentation, et pour suivre les statistiques et l'avancement dans la production agricole ou réponse système aux circonstance sécurité , à fin de détecter les erreurs non visées par les règles déjà définies par les experts, et corriger ou compenser tout éventuel manque , nous mettons à la disposition des experts une dernière page permettant d'exposer des statistiques par exemple en graphe come suit :

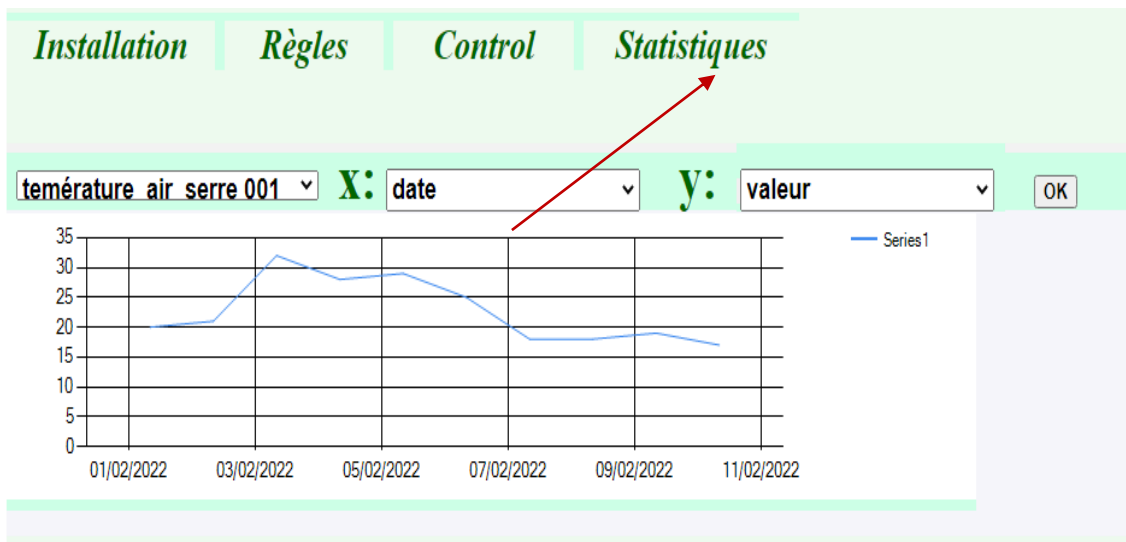


Figure IV.20 : la page de statistiques

## IV.4 Test de l'application

Pour tester notre application , nous prenons l'exemple suivant :

- 1- Fixer un montage matériels composé de : 1 carte NodeMcu 8266, 1 capteur température - humidité air, 1 capteur d'humidité sol, 1 servo-moteur pour ouvrir porte , un relais pompe, et 1 relais\_ventilateur ; comme le montre le schéma suivant :

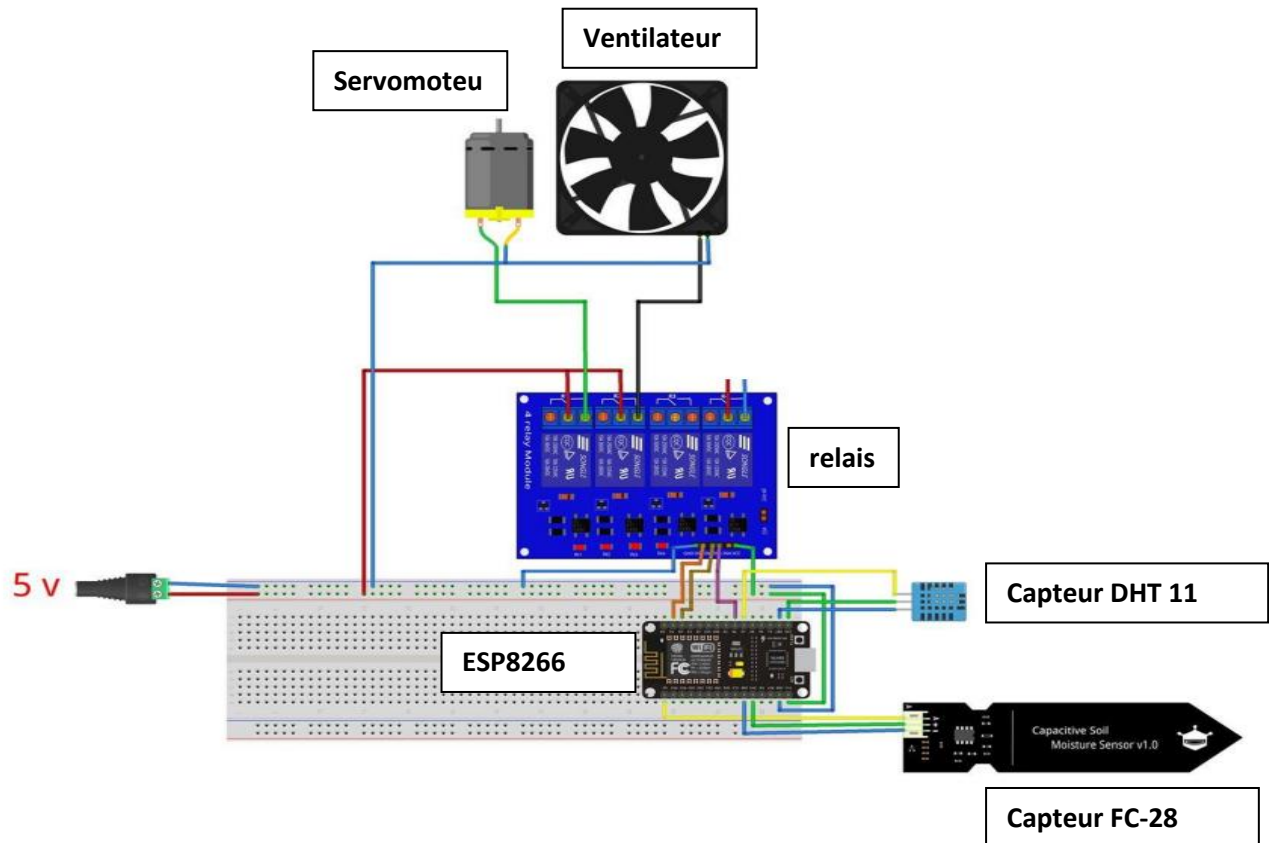


Figure IV.21 : Schéma de câblage électrique

ce montage est inscrit sous forme de table de brochage suivant :

Table de brochage :		Affaicher Tous		
id_objet_iot	id_pin	nom_objet_iot	type_objet_iot	localisation
0123	D2	temperature_aire	capteur_numerique	toit_milieu
36	A0	humidite_sol	capteur_analogique	milieu
0123	D2	humidite_air	capteur_numerique	toit_milieu
041	D1	relais_pompe	actionneur_numerique	entrée_2
002	D4	relais_ventilateur	actionneur_numerique	milieu
105	D6	servo_moteur_porte	actionneur_numerique	entrée_1

Figure IV.22 : Table de brochage

2- Définir dans la base de règles 5 règles R1, R2, R3, R4 et R5 décrivant un diagramme d'activité serre, comme suit :

**R1** : SI `temperature_air > 40°` ALORS `relais_ventilateur = 1`

**R2** : SI `humidite_sol > 480` ALORS `relais_pompe_entre2 = 1` et  
`afficher_tableau_bord=image;vane_ouvert.gif`

**R3** : **SI** instruction\_patron="recolter" et humidite\_sol > 350 humidite\_sol <= 480 **ALORS**  
 afficher\_tableau\_bord=  
 texte;commencer la  
 récolte;jaune;verte

**R4** : **SI** humidite\_air > 65% **ALORS** servo\_mteur \_porte\_principale = 90°

**R5** : **SI** humidite\_sol < 200 **ALORS** relais\_pompe\_entre2 = 0

Le diagramme d'activité de la serre décrit par ces 5 règles sera :

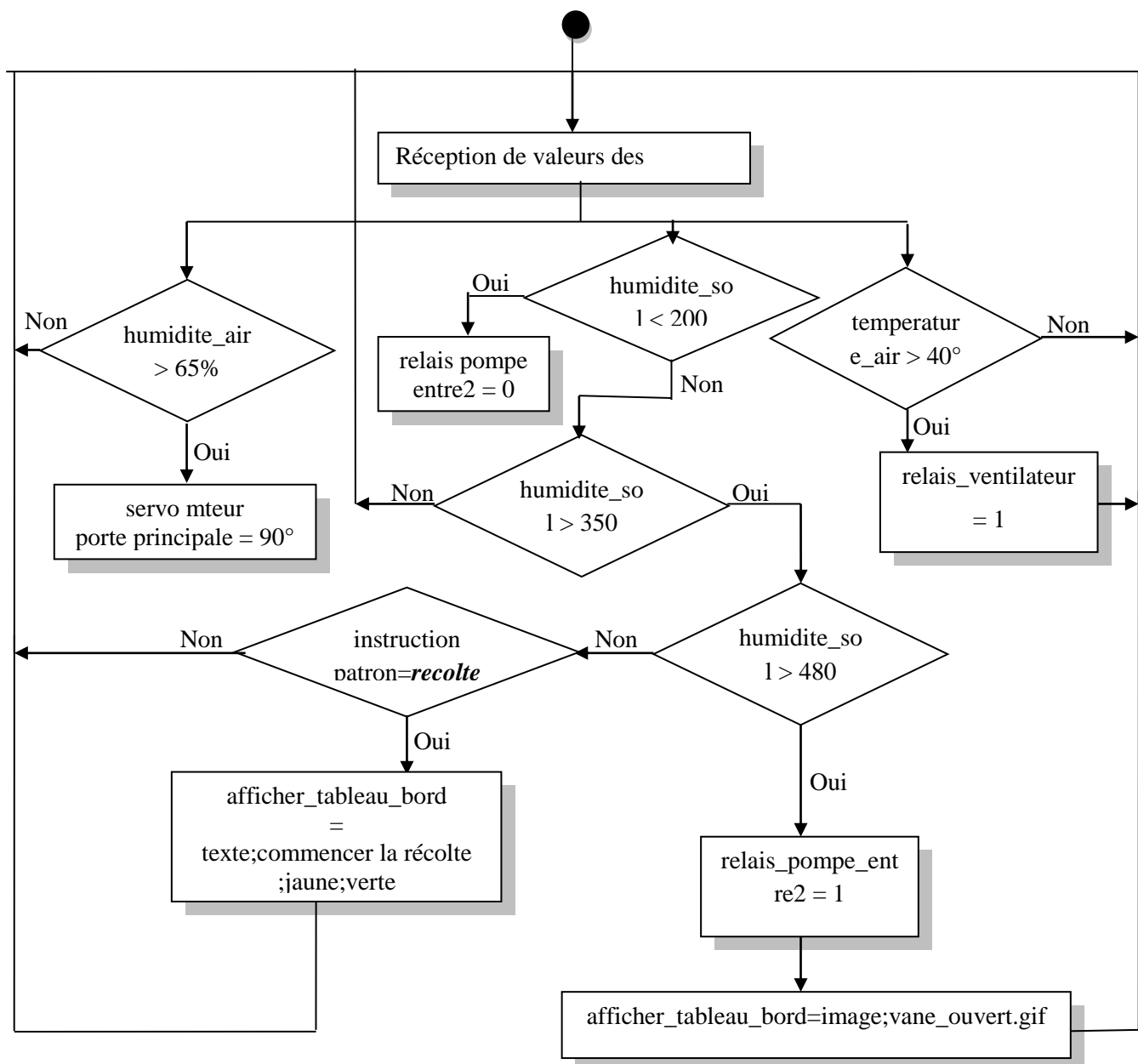


Figure IV.23 : diagramme d'activité

3- En cours de déroulement , le système envoie la table de brochage ci-dessus à la carte NodeMcu, cette dernière l'actualise, et envoie au système les valeurs de capteurs suivants :

*temperature\_air = 47°, humidite\_aire = 70% , humidite\_sol = 650*

et le système les actualise dans la base de faits.

le système commence à appliquer ces règles, sur la base de faits, dans l'ordre suivant :

**R1** : condition satisfaite donc mise en marche du ventilateur.

**R2** : condition satisfaite donc mise en marche pompe et affichage dans tableau de bord site web l'image animée "vane\_ouverte.gif" qui est déjà chargée dans le dossier /images du site web lors de définition de règle R2.

**R3** : condition non satisfaite parce que la prémisse (condition) *instruction\_patron* ne se trouve pas dans la base de faits.

**R4** : condition satisfaite donc ouvrir la porte principale d'un angle de 90°.

**R5** : condition non satisfaite donc la pompe reste allumée .

Après un certain temps, et en long de parcours de notre système sur les règles, le capteur *humidite\_sol* envoie la valeur 180, donc la règle **R5** est **appliquée** et la pompe s'est éteint.

Après un certain autre temps, plus tard, le patron téléphone le paysan et lui demande de récolter les légumes mûrs, le paysan passe par la tablette pour introduire à travers le tableau de bord web cette instruction. le système actualise cette information dans la base de faits.

Comme notre système s'exécute en permanence, alors quand il passe une autre fois par la règle R3 , il trouve dans cet instant que la condition est complètement satisfaite alors il actualise le tableau de bord pour afficher le texte "**commencer la récolte**" avec la couleur jaune pour le texte et la couleur verte pour son arrière , et ce qu'on appelle le **chainage avant** .

### IV.5 Le projet final

L'image suivante présente notre projet qui est l'automatisation des serres agricoles grâce à un système IOT.

Voici une description de notre prototype de serre :



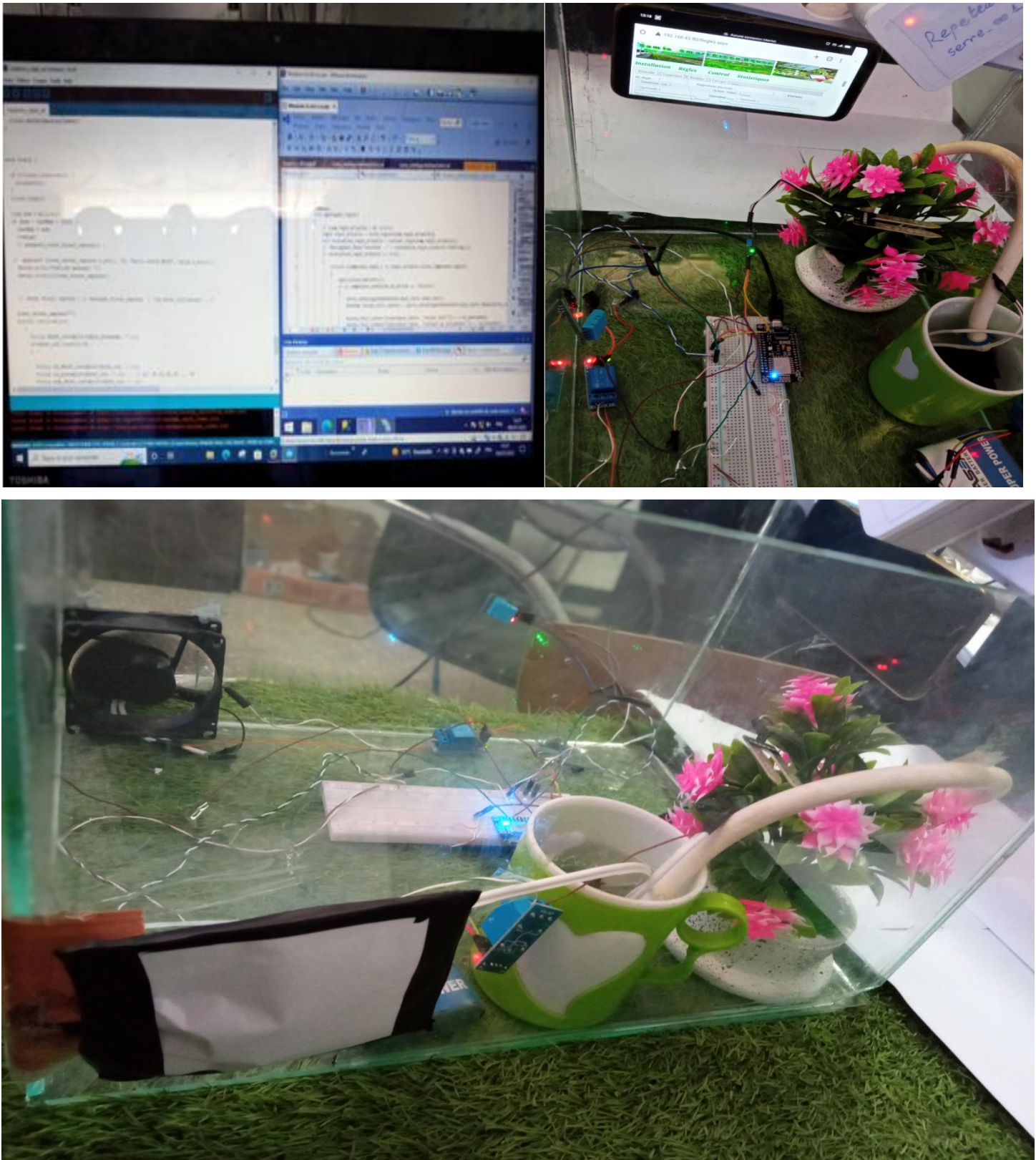


Figure IV.24 :L'automatisation des serres à la base un système iot





Figure IV.25 :Installation des dispositifs électriques

### **IV.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les détails d'implémentation de notre prototype de mini serre agricole en deux parties principales qui englobe le côté matériel, électrique et informatique.

### Conclusion générale

Le climat est l'un des facteurs qui affectent la croissance et la production des cultures dans la serre agricole. Cependant, les conditions météorologiques imprévisibles résultant du changement climatique dégradent davantage la qualité et la quantité de la production. Le déploiement d'appareils IoT pour la surveillance en temps réel est une valeur ajoutée pour résoudre le problème, à la recherche d'une solution à long terme à la production alimentaire afin d'optimiser les performances et la productivité.

Notre étude a présenté la technologie IoT applicable dans une serre afin de surveiller les paramètres environnementaux. De plus, ce système de gestion assure la réaction automatique de la serre, comme il permet aux utilisateurs de surveiller à distance le fonctionnement des contrôleurs montés dans la serre, ce qui rend le processus agricole plus pratique, précis et analytique, ce qui améliorera la gestion et la production agricoles.

Après avoir implémenté une solution, dans le domaine de l'automatisation intelligente des serres agricoles, caractérisée, essentiellement, par une dynamique vis à vis au changement dans l'environnement ou dans les conduites ou programmes agricoles ; cette dynamique est pratiquée à travers la possibilité de changer le système des règles et introduire de nouvelles informations. Et malgré que cette solution est aussi simple et permet un apprentissage évolutif des expériences actuelles et même ceux de futur, nous pouvons dire qu'il s'agit que du premier pas au long d'une voie pour arriver à des serres 100% autonome et capable d'ajuster les conduites agricoles toutes seules ou peut être même à d'altérer les objectifs planifiés afin d'optimiser la production dans toutes les dimensions scientifiques, économique, sociales, etc.

Dans cette allure, nous visons donc, comme perspectives, à concentrer les recherches sur les axes suivants :

1- Créer un niveau intermédiaire automatisé entre l'expert agricole et le système de règles, pour faciliter la modélisation de n'importe quelle conduite en système de règles sans faire punir l'expert de synthétiser lui-même les règles qu'il faut respectent certaine syntaxe.

2- Renforcer le système serre par les techniques d'apprentissage Machine Learning, afin de pouvoir répondre à des situations ou requêtes, compliquées et/ou imprévues, qui dépendent de plusieurs valeurs capteurs ou d'informations en même temps.

# Bibliographie

- [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] DIDI Faouzi ,Thèse pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT LMD faculté des sciences département de physique spécialité « énergie renouvelable » thème : « Optimisation de la gestion du microclimat de la serre par l'introduction de l'intelligence artificielle ». Promotion 2018, Université TAbou baker belkaid telemcen.
- [3] C. Balaceanu, I. Marcu, and G. Suci. Telemetry system for smart agriculture. In International Conference on Business Information Systems, pages 573–584. Springer, 2019.
- [4] S. M. Pedersen, K. M. Lind, et al. Precision Agriculture : Technology and Economic Perspectives. Springer, 2017.
- [5] C. Bahr, D. Forristal, S. Fountas, E. Gil, G. Grenier, R. Hoerfarter, A. Jonsson, A. Jung, C. Kempenaar, K. Lokhorst, et al. Eip-agri focus group : Precision farming. Technical report, European Commission, 2015.
- [6] H. Sundmaeker, C. Verdouw, S. Wolfert, and L. Pérez Freire. Internet of food and farm 2020. Digitising the Industry-Internet of Things connecting physical, digital and virtual worlds, 2, 2016.
- [7] <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/lagriculture-intelligente>.
- [8] <https://techvidvan.com/tutorials/smart-agriculture-using-iot>.
- [9] Lemadani, Maloumajmi,Mémoire de master, Filière: Génie Electrique, Option :Automatique, thème« Etude, conception et réalisation d'une plateforme pour l'automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles ». Promotion Juin 2017, Université m'hamed bougara-boumerdes .
- [10] Hanène Guedmim , Mémoire de fin d'études de Master Académique ,Conception et réalisation d'une serre agricole connectée , 2019/2020, Mémoire de fin d'études de Master Académique Université mouloud maamri de tizi ouzou
- [11] <https://www.agrifarming.in/greenhouse-farming-information>
- [12] Zahra Dafri, Mémoire de Fin d'études de Master Académique ,Réalisation d'un système basé sur Internet des Objets pour le contrôle des serres intelligentes,. Université de 8 Mai 1945 Guelma
- [13] : [www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX\\_238-1/FicheTox\\_238.pdf](http://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_238-1/FicheTox_238.pdf)
- [14] <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/LavalLanaudiere/Jour>

- [15] Serre intelligente et l'agriculture numérique au Maroc (maferme.ma)
- [16] Klaus Finkenzeller. RFID handbook : fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. John Wiley & Sons, 2010.
- [17] Vedat Coskun, Busra Ozdenizci, and Kerem Ok. A survey on near field communication (nfc) technology. *Wireless personal communications*, 71(3) :2259–2294, 2013.
- [18] Jennifer Bray and Charles F Sturman. Bluetooth 1.1 : connect without cables. pearson Education, 2001.
- [19] Jin-Shyan Lee, Yu-Wei Su, Chung-Chou Shen, et al. A comparative study of wireless protocols : Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. *Industrial electronics society*, 5 :46–51, 2007.
- [20] Konstantin Mikhaylov, Juha Petaejaevaervi, and Tuomo Haenninen. Analysis of capacity and scalability of the lora low power wide area network technology. In *European Wireless 2016; 22th European Wireless Conference*, pages 1–6. VDE, 2016.
- [21] Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. Understanding the internet of things : definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56 :122– 140, 2017.
- [22] J Sathish Kumar and Dhiren R Patel. A survey on internet of things : Security and privacy issues. *International Journal of Computer Applications*, 90(11), 2014.
- [23] Rafiullah Khan, Sarmad Ullah Khan, Rifaqat Zaheer, and Shahid Khan. Future internet : the internet of things architecture, possible applications and key challenges. In *2012 10th international conference on frontiers of information technology*, pages 257–260. IEEE, 2012.
- [24] RÉVEILLAC Jean-Michel. *La réalité augmentée : techniques et entités virtuelles*. Lavoisier, 2013.
- [25] Meftah ZOUAI , Une approche cloud computing basée IoT pour le smart House, Université Mohamed Khider – BISKRA,2021.
- [26] Sunil M Patel Keyur K Patel. Internet of things-iot : Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application and future challenges. *IJESC*, May 2016.
- [27] Kai Zhao and Lina Ge. A survey on the internet of things security. In *2013 Ninth international conference on computational intellig*
- [28] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito, and Michele Nitti. The social internet of things (siot)–when social networks meet the internet of things : Concept, architecture and network characterization. *Computer networks*, 56(16) :3594–3608, 2012.
- [29] Marco Leo, Federica Battisti, Marco Carli, and Alessandro Neri. A federated architecture approach for internet of things security. In *2014 EuroMed Telco Conference (EMTC)*, pages

1–5. IEEE, 2014.

[29] Technologie et protocoles IoT - 7 protocoles de communication IoT importants - DataFlair (dataflair.training)

[31] <https://www.tutorialandexample.com/iot-platform>

[32] Mohammad Aizuddin Daud and Wida Susanty Haji Suhaili. Internet of things (iot) with coap and http protocol : A study on which protocol suits iot in terms of performance. In International Conference on Computational Intelligence in Information System, pages 165–174. Springer, 2016.

[33] Francesco Longo, Dario Bruneo, Salvatore Distefano, Giovanni Merlino, and Antonio Puliafito. Stack4things : a sensing-and-actuation-as-a-service framework for iot and cloud integration. Annals of Telecommunications, 72(1-2) :53–70, 2017

[34] Valerie Lampkin, Weng Tat Leong, Leonardo Olivera, Sweta Rawat, Nagesh Subrahmanyam, Rong Xiang, Gerald Kallas, Neeraj Krishna, Stefan Fassmann, Martin Keen, et al.

*Building smarter planet solutions with mqtt and ibm websphere mq telemetry*. IBM Redbooks,

[35] <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20IoT/monitoramento-e-controle-por-aplicativo-Mqtt> 2012.

[36] Vincent de Paul Niyigena Kwizera<sup>1</sup>, Zhanming Li<sup>1</sup>, Victus Elikplim Lumorvie, Febronie Nambajemariya<sup>3</sup>, Xiaowei Niu<sup>1</sup>, IoT Based Greenhouse Real-Time Data Acquisition and Visualization through Message Queuing Telemetry Transfer (MQTT) Protocol Published: April 30, 2021

[37] Jun-Oh Seo and Chul-Won Kim. Design and implementation of realtime things control system using mqtt and websocket in iot environment. The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, 13(3) :517–524, 2018.

[36] Vincent de Paul Niyigena Kwizera<sup>1</sup>, Zhanming Li<sup>1</sup>, Victus Elikplim Lumorvie, Febronie Nambajemariya<sup>3</sup>, Xiaowei Niu<sup>1</sup>, IoT Based Greenhouse Real-Time Data Acquisition and Visualization through Message Queuing Telemetry Transfer (MQTT) Protocol Published: April 30, 2021

[37] Jun-Oh Seo and Chul-Won Kim. Design and implementation of realtime things control system using mqtt and websocket in iot environment. The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, 13(3) :517–524, 2018.

[38] Muneer Bani Yassein, Mohammed Q Shatnawi, Shadi Aljwarneh, and Razan Al-Hatmi. Internet of things : Survey and open issues of mqtt protocol. In 2017 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS), pages 1–6. IEEE, 2017.

[39] Somia SAHRAOUI , Mécanismes de sécurité pour l'intégration des RCSFs à l'IoT (Internet of Things), these , Doctorat en Informatique. Université de Batna 2.

[40] Hui Suo, Jiafu Wan, Caifeng Zou, and Jianqi Liu. Security in the internet of things : a review. In *2012 international conference on computer science and electronics engineering*, volume 3, pages 648–651. IEEE, 2012.1–5. IEEE, 2014