

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de 8 Mai 1945 – Guelma -

Faculté des Mathématiques, d'Informatique et des Sciences de la matière

Département d'Informatique



## Mémoire de Fin d'études Master

**Filière :** Informatique

**Option :** Systèmes Informatiques

---

---

Réalisation d'un système basé sur Internet des  
Objets pour le contrôle des serres intelligentes

---

---

**Encadrer par:**

Dr. Said Brahim

**Présenté par :**

Zahra Dafri

**Juillet 2019**

# *Dédicaces*

À toute ma famille

À mes amies proches

À mon encadreur Dr.Brahimi Said

A tous ceux qui aiment Zahra et lui  
souhaitent le meilleur

## Résumé

Nous proposons dans ce mémoire la réalisation d'un système des serres intelligentes. Ce système permet de contrôler intelligemment un ensemble des serres en vue de garantir une bonne performance, de réduire les efforts des agriculteurs et d'améliorer la productivité en termes de quantité et de qualité. Pour des raisons pratiques nous proposons une hybridation entre un contrôle automatique et semi automatique. Basé sur l'utilisation des réseaux de neurones et des arbres de décision, le contrôle automatique permet au système de réagir d'une manière intelligente pour établir les conditions climatologiques idéales pour les plantes. Les réseaux de neurones sont utilisés pour reconnaître des situations contextuelles de haut niveau à partir des données de capteurs et les arbres de décision pour associer les actions à entreprendre par le système aux différentes situations.

Le contrôle semi automatique est le mode de contrôle alternatif où l'opérateur humain peut se renseigner sur les conditions climatologiques intérieures des serres via un interface graphique appropriée et peut intervenir (en réalisant d'éventuelles actions) dans le processus de contrôle comme celui d'irrigation, d'aération, etc.

Par l'intermédiaire d'un site web que nous l'avons développé à cet effet, le système assure une surveillance à distance d'un ensemble de serres. L'opérateur ou l'expert humain peut collecter à distance un ensemble des données sur le climat intérieur et extérieur des serres, d'établir des statistiques et des études stratégiques et de faire des prédictions (en utilisant les réseaux bayésiens) à la base des ces données.

## ملخص

نقترح في هذه المذكرة أنجاز نظام الدفيئات الذكية. يتحكم هذا النظام بذكاء في مجموعة من الدفيئات الزراعية لضمان الأداء الجيد وتقليل جهود المزارعين وتحسين الإنتاجية من حيث الكمية والجودة. لأسباب عملية نقترح تهجين بين التحكم الآلي وشبه التلقائي. استناداً إلى استخدام الشبكات العصبية وأشجار القرارات ، يتيح التحكم الآلي للنظام الاستجابة بطريقة ذكية لتهيئة ظروف مناخية مثالية للنباتات. تُستخدم الشبكات العصبية للتعرف على المواقف السياقية عالية المستوى بدءاً من بيانات المستشعر وأشجار القرارات لربط الإجراءات التي يتعين على النظام اتخاذها في مواقف مختلفة. التحكم شبه التلقائي هو وضع التحكم البديل حيث يمكن للمشغل البشري التعرف على الظروف المناخية داخل البيوت الزجاجية عبر واجهة رسومية مناسبة ويمكن أن يتدخل (من خلال تنفيذ الإجراءات الممكنة) في عملية التحكم مثل تلك الخاصة بالري ، التهوية ، الخ من خلال موقع ويب قمنا بتطويره لهذا الغرض ، يوفر النظام مراقبة عن بعد لمجموعة من الدفيئات الزراعية. يمكن للمشغل أو الخبير البشري جمع مجموعة من بيانات المناخ الدفيئة الداخلية والخارجية عن بعد ، وإنشاء إحصاءات ودراسات إستراتيجية ، والتنبؤ (باستخدام شبكات بايز) في قاعدة هذه المعطيات.

## Abstract

We propose in this paper the realization of intelligent greenhouses system. This system intelligently controls a set of greenhouses to ensure good performance, reduce farmers' efforts and improve productivity in terms of quantity and quality. For practical reasons we propose a hybridization between an automatic and semi automatic control. Based on the use of neural networks and decision trees, automatic control allows the system to respond in an intelligent way to establish ideal climate conditions for plants. Neural networks are used to recognize high-level contextual situations from sensor data and decision trees to associate actions to be undertaken by the system to different situations.

semi-automatic control is the alternative control mode where the human operator can learn about indoor climate conditions of greenhouses via an appropriate graphical interface and can intervene (by performing possible actions) in the control process such as that of irrigation, ventilation, etc.

Through a website that we have developed for this purpose, the system provides remote monitoring of a set of greenhouses. The operator or human expert can remotely collect a set of greenhouse indoor and outdoor climate data, establish statistics and strategic studies, and make predictions (using Bayesian networks) at the base of those data.

# Table des matières

Chapitre1 : serre intelligent.....	3
1.Introduction.....	3
2. Agriculture intelligente .....	3
2.1. Définition de l'agriculture intelligente.....	3
2.2. Domaines de l'agriculture intelligente .....	4
2.2.1. Agriculture de précision.....	4
2.2.2. Contrôle du bétail.....	5
2.2.3. Serres intelligentes.....	5
3. Serres Intelligentes.....	5
3.1. Avantages de l'automatisation des serres.....	5
3.2. Conditions environnementales dans les serres.....	6
3.3. Contrôle des conditions environnementales .....	6
3.3.1. Contrôle de lumière.....	7
3.3.2. Gaz carbonique.....	7
3.3.3. Humidité de l'air.....	7
3.3.4. Température.....	7
3.4. Systèmes de contrôle.....	8
3.4.1. Systèmes d'irrigation.....	8
3.4.2. Système d'ouverture des serres.....	9
3.4.3. Surveillance de l'environnement.....	10
4. Conclusion.....	10
Chapitre 2 Internet des objets.....	11
1.Introduction.....	11
2. Définition et caractéristiques de l'Internet des Objets.....	11
2.1. Définition.....	11
2.2. Caractéristiques d'un système d'Internet des objets.....	12

3. Architecture d'un système IdO.....	13
3.1. Couche de Perception.....	13
3.2. Couche de Transmission.....	14
3.3. Couche Application.....	14
4. Domaines d'application de l'IdO.....	14
5. Défis.....	16
6. Travaux IdO actuelles pour les serres.....	17
7. Conclusion.....	18
Chapitre 3 Étude conceptuelle .....	20
1.Introduction.....	20
2. Objectifs et principe de la solution proposée.....	20
2.1. Objectif du projet.....	20
2.2. Principe de la solution propose.....	22
3. Architecture globale du système.....	23
3.1. Modules du système .....	24
3.1.1. Interface physique de capture et commande.....	24
3.1.2. Module de Perception et Reconnaissance de situations.....	24
3.1.3. Module de décision.....	25
3.1.4. Autres modules.....	25
3.2. Principe de fonctionnement.....	27
4. Perception et reconnaissance des situations contextuelles.....	27
5. Prise de décision.....	29
6. Site web .....	31
6.1. prédiction web.....	32
6.1.1. Architecture.....	32
7. Services et Applications .....	33
7.1. Gestion de l'irrigation.....	33

7.2. Gestion d'éclairage.....	35
7.3. Gestion de Ventilation.....	37
7.4. Gestion de réservoir.....	39
8. Conclusion.....	39
Chapitre 4 Réalisation et Implémentation .....	40
1. Introduction.....	40
2. Vision globale.....	40
3. Interface physique de capture et d'actionnement.....	41
3.1. Schémas de raccordement.....	41
3.2. Composants.....	42
3.2.1. Carte Arduino UNO.....	42
3.2.2. Module Relais.....	42
3.2.3. Capteurs.....	43
3.2.4. Actionneurs.....	43
3.3. Environnement logiciel et langage.....	44
4. Application java : Système de contrôle local .....	45
4.1. Environnement materiel.....	45
4.2. Langages et environnement de programmation et bibliothèques.....	45
4.3. Interface graphique.....	46
5. Site Web.....	50
5.1. Langages et environnements de programmation et bibliothèques.....	50
5.2. Pages WEB.....	52
6. Maquette de la serre.....	54
7. Conclusion.....	55
Conclusion et perspectives.....	57

## Liste des figures

Figure 1.1 : Définition du contexte d'interaction.....	5
Figure 1.2 : Architecture minimale d'un systeme sensible au contexte.....	8
Figure 1.3 : Application tenant compte du contexte.....	9
Figure 3.1. Éléments du système.....	27
Figure 3.2: Architecture global du système.....	29
Figure 3.3: réseau de neurones à propagation avant.....	31
Figure 3-4: Arbre de decision simplicatif du gestion de l'irrigation.....	32
Figure 3-5: Arbre de decision simplicatif du gestion d'éclairage.....	32
Figure 3-6: Arbre de decision simplicatif du gestion Ventilation.....	33
Figure 3-7: Arbre de decision simplicatif du gestion réservoir.....	33
Figure 3-8: Diagramme d'activite relatif au service: gestion de prédiction web.....	34
Figure 3-9: Diagramme de sequence relatif au service: gestion de prédiction web.....	35
Figure 3-10: Diagramme de sequence relatif au service: gestion de l'irrigation.....	37
Figure 3-11: Diagramme de sequence relatif au service: gestion d'éclairage.....	39
Figure 3-12: Diagramme de sequence relatif au service: gestion Ventilation.....	41
Figure 3-13: Diagramme de sequence relatif au service: gestion réservoir.....	42
Figure 4.1. Éléments du système.....	45
Figure 4.2: Schéma de raccordement de l'interface de capture.....	46
Figure 4.3: Schéma de raccordement de l'interface d'actionnement.....	46
Figure 4.4: Carte ARDUINO UNO.....	47
Figure 4.5: RELAY 4 MODULE.....	47
Figure 4.6: Control manuel.....	51
Figure 4.7: Control automatique.....	51
Figure 4.8: changement de la durée.....	52
Figure 4.9: envoyer les données vers le web.....	52
Figure 4.10: affichage du journal.....	53



Figure 4.11: statistiques.....	53
Figure 4.12: page d'Accueil.....	56
Figure 4.13: prédiction de qualité.....	56
Figure 4.14: statistiques web.....	57
Figure 4.15: maquette de la serre utilisée.....	58



# Chapitre 1

## Serres intelligentes

### 1. Introduction

Selon l'Organisation des Nations Unies (ONU), le « principal facteur à l'origine de l'augmentation des besoins alimentaires ». Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards d'habitants d'ici 2050. Il sera donc difficile pour le secteur agricole de répondre aux besoins de la population vivant de l'alimentation.

Aujourd'hui, une autre difficulté que le secteur agricole doit faire face relative aux conditions météorologiques instables et le réchauffement de la planète qui a un impact négatif sur les cultures.

Les scientifiques cherchent des techniques et des moyens répondant aux besoins alimentaires suffisants et allant au-delà des menaces du changement climatique. L'agriculture intelligente utilise des technologies avancées telles que Big Data, l'Internet des objets, etc. Elle facilite l'automatisation de l'agriculture, la collecte des données sur le terrain et les analyses afin que les agriculteurs puissent prendre une décision précise en matière de production de cultures de haute qualité.

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

### 2. Agriculture intelligente

#### 2.1. Définition de l'agriculture intelligente

L'agriculture intelligente est une révolution de l'agriculture classique qui implique la réorientation des systèmes agricoles afin de soutenir efficacement le développement

alimentaire. Le principal objectif de l'agriculture intelligente est d'accroître la productivité et les revenus agricoles

L'agriculture intelligente implique l'utilisation des technologies de la communication de l'information (TIC) et en particulier de l'Internet des objets (IoT) et de l'analyse de données volumineuses (Big data) associées pour faire face à ces défis via la surveillance électronique des cultures, ainsi que pour l'environnement, le sol, la fertilisation et conditions d'irrigation.

Ces données de surveillance peuvent ensuite être analysées pour identifier les cultures qui répondent le mieux aux objectifs de productivité de toute exploitation agricole dans le monde [11].

## **2.2. Domaines de l'agriculture intelligente**

### **2.2.1. Agriculture de précision**

L'agriculture de précision est un principe de gestion des parcelles agricoles qui vise l'optimisation des rendements et des investissements, en cherchant à mieux tenir compte des variabilités des milieux et des conditions entre parcelles différentes ainsi qu'à des échelles intra-parcellaires [12].

Elle s'intéresse à l'intégration et l'utilisation des technologies de l'information et de divers éléments tels que capteurs, systèmes de contrôle, robots et véhicules autonomes pour faciliter la gestion de l'élevage et de la croissance des cultures.

L'agriculture de précision est l'une des applications Internet les plus populaires dans le secteur agricole. De nombreuses organisations bénéficient de cette technologie dans le monde entier. Elle peut impliquer l'utilisation de divers types de capteurs qui remontent des informations riches de manière régulière, notamment des:

- capteurs de sol qui recueillent des données sur la teneur des sols en azote
- capteurs d'irrigation mesurent le niveau d'eau
- capteurs d'inondation surveillent également les niveaux d'eau
- capteurs de gel

Les informations fournies par ces capteurs permettront de contrôler automatiquement le système d'irrigation et d'arrosage et d'alerter automatiquement les utilisateurs lorsque les conditions météorologiques ou autres événements susceptible d'endommager les plants sensibles se produisent.

### **2.2.2. Contrôle du bétail**

L'internet des objets peut aider également à contrôler les bétails. Les grandes exploitations peuvent tirer parti des applications Internet sans fil pour collecter des données sur l'emplacement, le bien-être et la santé de leurs animaux, ce qui les aide à identifier les animaux malades et à les séparer du troupeau, évitant ainsi la propagation de la maladie. Avec l'aide de capteurs basés sur Internet [7].

### **2.2.3. Serres intelligentes**

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.

## **3. Serres Intelligentes**

Les serres intelligentes sont des serres qui sont contrôlées et automatisées par un système intelligent. Celui-ci permet d'assurer la surveillance et le contrôle de l'environnement et le micro climat de ces serres.

### **3.1. Avantages de l'automatisation des serres**

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 de courant.
- 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.

### 3.2. Conditions environnementales dans les serres

La progression des plantes dans les serres implique certaines conditions climatiques spéciales. Dans ce qui suit, on présente d'une manière générale ces conditions.

- **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 devant être 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 [8].
- **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 pourcent si la vitesse du vent augmente de 10 à 100 centimètres par seconde [8].
- **Humidité** : l'humidité de l'air et celle du sol sont deux facteurs importants pour la croissance des plantes
- **Température** : la température du milieu intérieur et extérieur, du sol et de l'eau doit également respecter certaine norme.

### 3.3. Contrôle des conditions environnementales

#### 3.3.1. Contrôle de lumière

Le contrôle de la lumière peut concerner les actions suivantes :

- **Renforcement de l'éclairage** : Durant les courtes journées d'hiver ou dans les zones très nuageuses, un éclairage supplémentaire est requis. Le renforcement de l'éclairage peut être réalisé par une source supplémentaire d'éclairage basé sur des lampes électriques ou par la lumière réfléchié du soleil. La lumière réfléchié est surtout important dans le cas des jardins urbains.
- **Réduction de l'éclairage** : s'il y a trop de lumière dans la serre, on peut la diminuer.

#### 3.3.2. Gaz carbonique

Le contrôle du gaz carbonique peut concerner l'enrichissement en CO<sub>2</sub> (méthode de la glace carbonique) . le taux de CO<sub>2</sub> peut être augmenté en utilisant des générateurs de CO<sub>2</sub>. 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 facteurs ne sont pas optimales (lumière, engrais, température / humidité, pH, etc.), l'augmentation de CO<sub>2</sub> n'aura pas d'effet.

#### 3.3.3. Humidité de l'air

Le contrôle de l'humidité peut concerner les deux actions suivantes [9] :

- **Diminuer l'humidité élevée**. Ceci peut être réalisé par aérer l'air humide vers l'extérieur. À chaque fois que la température extérieure est suffisamment chaude, la ventilation vers l'extérieur peut diminuer l'humidité.
- **Augmenter l'humidité** : il est possible d'augmenter l'humidité en arrosant simplement le sol et en utilisant des climatiseurs de type refroidisseur de marais. Une autre méthode consiste à utiliser un système de brumisation pour pulvériser le brouillard dans l'air. Cela aidera à refroidir la serre tout en ajoutant de l'humidité à l'air.

#### 3.3.4. Température

Le contrôle de température peut concerner :

- **Refroidissement** : le refroidissement peut être réalisé par plusieurs méthodes : par évaporation, par toile d'ombrage et par le mouvement de l'air. le principe de refroidissement par évaporation est simple. Lorsque les ventilateurs d'extraction expulsent de l'air à l'une des extrémités de la serre, ils aspirent de l'air humide à l'autre extrémité. Le déplacement de l'air humide peut conduire une évaporation de l'eau et par conséquent une absorption de la chaleur. Le refroidissement peut être effectué en utilisant un rideau d'ombrage interne qui peut être tiré par temps nuageux et étendu (manuellement ou avec de petits moteurs) les jours ensoleillés à la demande.
- **Chauffage** : on peut chauffer la serre par un petit système électrique contrôlé par thermostat. Ce système peut délivrer la chaleur uniquement lorsque cela est nécessaire. on peut également chauffer la serre en utilisant du gaz avec un chauffage central.

### 3.4. Systèmes de contrôle

La figure 1.1 présente les éléments principaux qui composent un système de serre intelligente. Il existe de nombreuses techniques utilisées pour contrôler l'environnement des serres. Dans ce qui suit, on présente certaines des techniques plus utilisées pour contrôler les facteurs environnementaux.

#### 3.4.1. 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 [5].

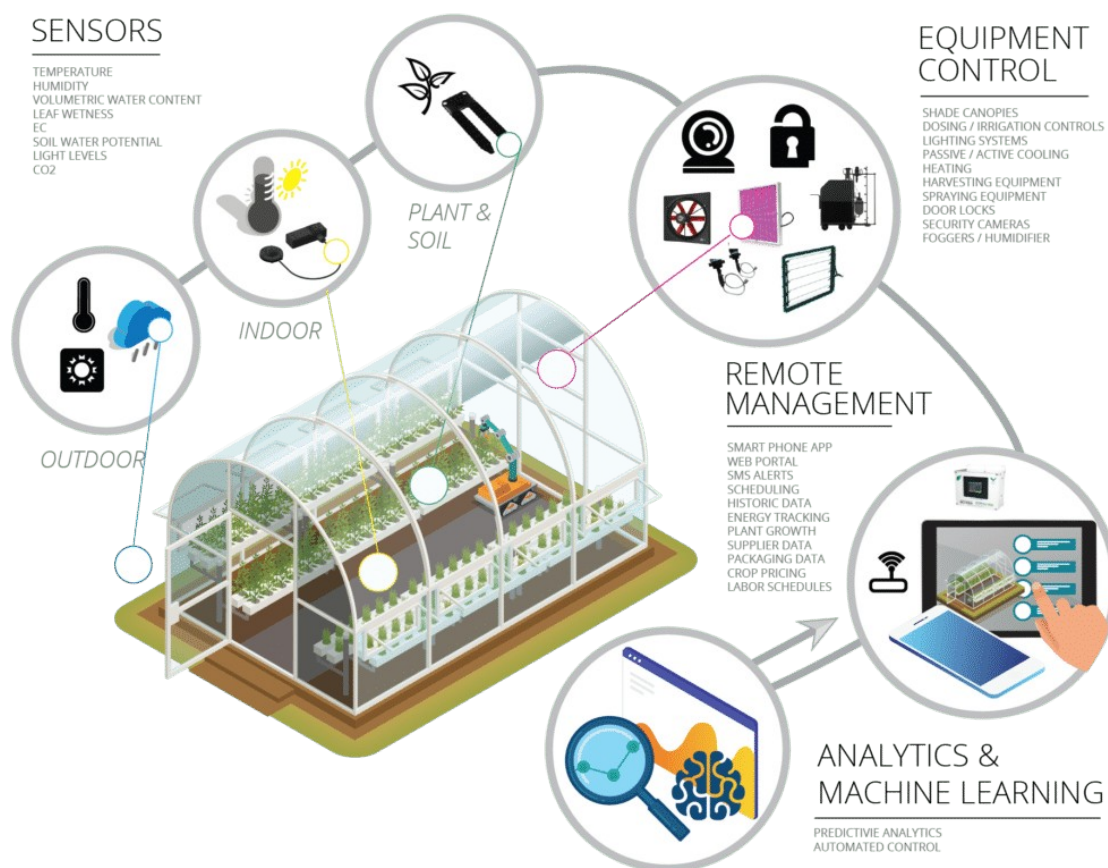
Tout système d'irrigation implique les opérations de pompage, de traitement, de distribution et de entreposage / Récupération de l'eau.

On peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation [4] :

- Manuelle (arrosoir, seau...), réservée aux très petites surfaces ;
- Par écoulement de surface, sous le simple effet de la gravité, au moyen de canaux et rigoles : irrigation gravitaire appelée aussi irrigation de surface, irrigation par sillons ou « à la raie » ;



- 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, mais présente le grave inconvénient de charger à la longue les sols en sels qui en modifient les caractéristiques.
- 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; c'était aussi celle qui fertilisait l'Égypte par les crues du Nil)



**Figure 1.1.** Les éléments principaux qui composent un système de serre intelligente [13]

### 3.4.2. 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) [10].

### **3.4.3. Surveillance de l'environnement**

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

## **4. 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 sujet. Nous avons détaillé les conditions et indicateurs climatologiques et les techniques globales pour les contrôler.

Comme nous avons indiqué dans ce chapitre les serres intelligentes sont des serres basées sur la technologie de l'Internet des objets (IoT) qui permet de collecter et analyser en temps réel les indicateurs bioclimatiques de la serre et maintenir les bonnes conditions pour la progression des plantes dans ces serres.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons ce domaine et indiquerons comment il est intégré dans la technologie des serres.

-

## Chapitre 2

# Internet des objets

### 1. Introduction

Les serres intelligentes représentent une autre génération développée des serres basée sur l'introduction des technologies avancées telles que Big Data, Internet des objets (IdO), etc. Ces serres sont dotées d'un système de contrôle qui permet de collecter et d'analyser en temps réel des données sur les plantes et leur environnement et les transmet via internet à d'autres plateformes.

L'Internet des objets représente une infrastructure qui remplit le gap entre les capteurs simples qui fournit des données bruts, bruités et imparfaites et la virtualisation basée sur des applications de haut niveau qui fournissent des services sophistiqués.

Dans ce chapitre nous présentons la définition du concept et l'architecture de l'IdO.

### 2. Définition et caractéristiques de l'Internet des Objets

#### 2.1. Définition

Il y a plusieurs définition du concept Internet des Objets (en anglais : Internet of Things ou IoT). Dans ce qui suit, on présente quelques définitions.

**Définition 1 :** Internet des Objets est un réseau qui relie et combine les objets avec l'Internet suivant des protocoles qui assurent leur communication et échange d'informations à travers une variété de dispositifs [12].

**Définition 2 :** L'Internet des objets peut être défini aussi comme étant un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électroniques normalisés et unifiés, et des

dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi, de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter les données sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels [13].

**Définition 3 :** L'Internet des objets est une extension de l'Internet actuel envers tout objet pouvant communiquer de manière directe ou indirecte avec des équipements électroniques eux-mêmes connectés à l'Internet [14].

Dans le cadre de notre travail, nous adoptons la définition proposée dans [15] qui est : "L'Internet des Objets (IdO) se définit comme un réseau mondial de services interconnectés et d'objets intelligents de toutes natures destinés à soutenir les humains dans les activités de la vie quotidienne grâce à leurs capacités de détection, de calcul et de communication. Leurs aptitudes à observer le monde physique et à fournir des informations pour la prise de décision, seront partie intégrante de l'architecture de l'Internet du futur".

## 2.2. Caractéristiques d'un système d'Internet des objets

Les caractéristiques fondamentales de l'IdO sont les suivantes [16] :

- **Inter-connectivité** : tout peut être interconnecté avec l'infrastructure globale d'information et de communication
- **Services liés aux objets connectés** : L'IdO est capable 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 choses physiques et leurs objets virtuels associés. Afin de fournir des services liés aux choses (i.e. objets) dans les contraintes sur les choses, les technologies dans le monde physique et le monde de l'information vont changer.
- **Hétérogénéité** : Les périphériques de l'IoT sont hétérogènes en fonction des plates-formes matérielles et des réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres appareils ou plates-formes de services via différents réseaux.
- **Changements dynamiques** : L'état des dispositifs change dynamiquement, par exemple dormir et se réveiller, être connecté et / ou déconnecté ainsi que le contexte des dispositifs, y compris l'emplacement et la vitesse. De plus, le nombre d'appareils peut changer de façon dynamique. [17]
- **Énorme échelle** : Le nombre de périphériques qui doivent être gérés et qui communiquent entre eux sera d'au moins un ordre de grandeur supérieur à celui des

périphériques connectés à Internet. Encore plus critique sera la gestion des données générées et leur interprétation à des fins d'application. Cela concerne la sémantique des données, ainsi que la gestion efficace des données [18].

- **Sécurité** : Comme nous gagnons des avantages de l'IoT, nous ne devons pas oublier la sécurité. En tant que créateurs et destinataires de l'IoT, nous devons concevoir des mécanismes assurant la sécurité. Cela inclut la sécurité de nos données personnelles et la sécurité de notre bien-être physique. La sécurisation des points de terminaison, des réseaux et des données qui les traversent signifie la création d'un paradigme de sécurité qui évoluera. [18]
- **Connectivité** : La connectivité permet l'accessibilité et la compatibilité du réseau. L'accessibilité se met sur un réseau alors que la compatibilité fournit la capacité commune de consommer et de produire des données [19].

### 3. Architecture d'un système IdO

En fait, il n'y a pas une définition formellement identique d'une architecture d'un système IdO adoptée par tous les projets. Dans le ce mémoire on adopte celle présentée dans [20] illustrée par la figure 2.1. Cette architecture est composée de trois couches :

<b>Couche Application</b>	Application IdO
	support d'application
<b>Couche Transmission</b>	Réseau local et étendu
	Réseau cœur
	Réseau d'accès
<b>Couche Perception</b>	Réseau de perception
	Nœud de perception

Figure 2.1. Architecture de l'IdO [20]

#### 3.1. Couche de Perception

La couche de perception (peut être appelé "couche de périphérique", "couche sensorielle" ou "couche de reconnaissance") qui est la couche la plus basse de l'architecture IoT, est

responsable de la capture des informations du monde réel et leur représentation au format numérique. Elle inclut les technologies utilisées pour la détection (collecte des données de l'environnement), l'identification (identification d'objets), l'activation (réalisation données détectées) et la communication (établissement de la connectivité entre appareils intelligents hétérogènes) avec un minimum d'interaction humaine. Selon les fonctionnalités qu'elle assure, cette couche peut être divisée en deux sous-couches: les nœuds de perception (ou nœuds sensoriels) et le réseau de perception (comme réseau des capteurs).

### **3.2. Couche de Transmission**

La couche de transmission (appelée aussi «couche de transport» ou «couche réseau») est responsable de transmission des données collectées par les nœuds de perception à l'unité de traitement de l'information (ou unités de prise de décision de haut niveau) à travers un réseau ou une interconnexion des réseaux. Cette couche permet alors une intégration d'une variété de réseaux, de technologies et de protocoles hétérogènes.

Cette couche peut être divisée en trois sous-couches: réseau d'accès, réseau cœur et réseau local et étendu.

### **3.3. Couche Application**

C'est la couche la plus haute de l'architecture IoT visible par l'utilisateur final. La couche application a pour but de gérer et de fournir les applications globales en se basant sur la les informations collectées par la couche de perception. Elle fournit aux utilisateurs finaux un accès aux services personnalisés sur le réseau, en fonction de leurs besoins, grâce à l'utilisation de divers appareils mobiles et équipements terminaux.

Cette couche peut être divisée en deux sous-couches: couche de support d'application et applications IdO.

## **4. Domaines d'application de l'IdO**

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

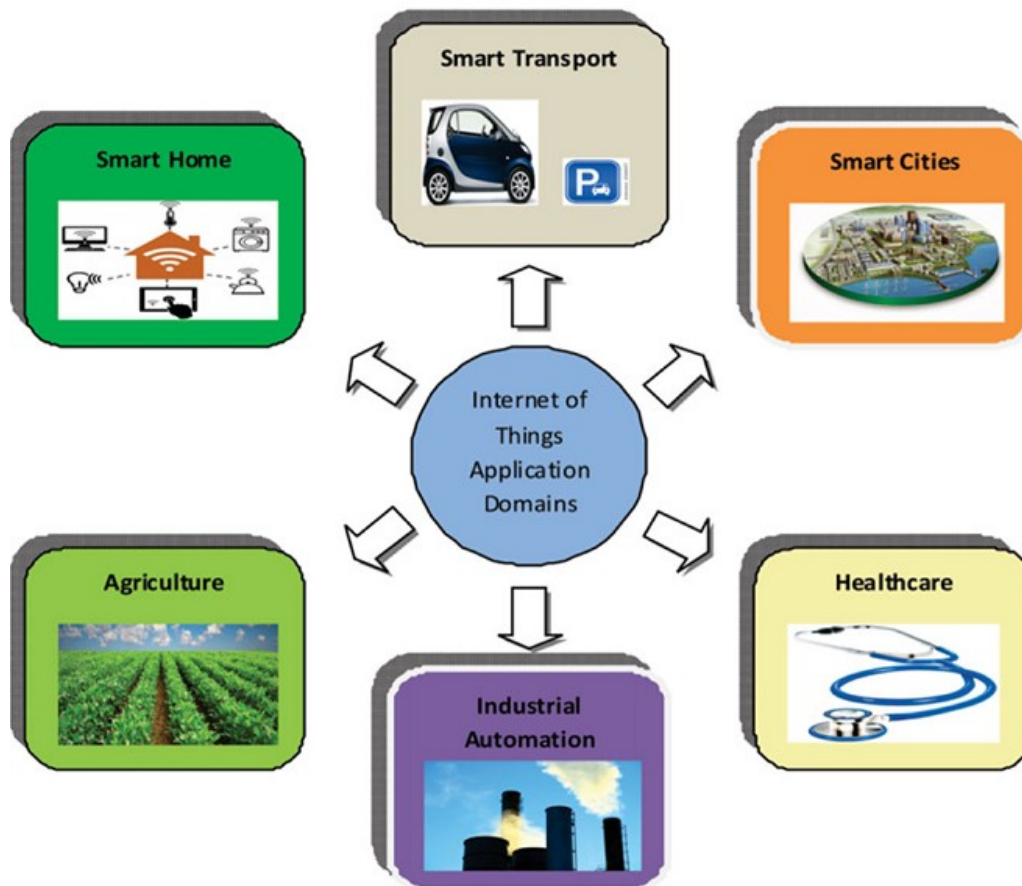


Figure 2.2. Applications de l'IdO [20]

En fonction de leurs fonctionnalités, les applications IdO peuvent être divisées en trois catégories :

- applications de collection d'informations : elles sont chargées de collecter les données des nœuds de perception et de leur stockage local
- applications d'analyse : elles sont concernées par le prétraitement hors ligne des données collectées pour créer un modèle générique à utiliser pour l'évaluation de futures données à collecter ultérieurement.
- applications prise de décision en temps réel : elles sont impliquées dans la prise des mesures et actions appropriées en fonction des données capturées et analysées.

L'IdO possède un vaste domaine d'applications, comme illustré à la figure 2.2 en relation avec des demandes de l'industrie. Celles-ci comprennent des applications destinées aux consommateurs, telles que les appareils portables, les maisons intelligentes (Smart Home) et les soins de santé intelligents (Healthcare) ; applications commerciales telles que la logistique et la vente au détail ; applications industrielles telles que la gestion des ressources et de l'énergie, le transport intelligent (Smart Transport) et la fabrication (industrial automation) ; et des applications spécifiques au secteur public telles que les villes intelligentes (Smart cities), la sécurité et la surveillance, etc., qui visent à améliorer la qualité de la vie humaine.

Les applications et les services IoT sont directement accessibles aux utilisateurs via l'utilisation de divers appareils de poche tels que les téléphones portables, les ordinateurs, les assistants numériques personnels (PDA), etc.

## **5. Défis**

Parmi les principaux défis liés au soutien de ces études et des activités agricoles normales, on peut citer les suivants [21] :

- Saisir le grand volume de données hétérogènes produites par divers capteurs IdO (et éventuellement des mesures manuelles), et ce, pour un grand nombre d'activités variées impliquant différentes études et cultures.
- Prise en charge de l'intégration et de l'utilisation de presque tous les appareils IdO, y compris tous les capteurs, caméras, stations météo, etc. disponibles dans le commerce, ce qui permettra de créer un modèle de capteur à emporter
- des opérations qui permettront aux agriculteurs, aux producteurs et aux scientifiques de tirer parti de capteurs IdO moins chers/plus performants, ainsi que des préférences et des budgets individuels.
- Intégration de données hétérogènes provenant d'une aussi grande variété de dispositifs IdO, ainsi que des données historiques sur les performances des cultures produites par des études antérieures (ces données et résultats sont généralement disponibles au format CSV).
- fichiers qui rendent l'utilisation, l'analyse, l'exploration et le partage plus difficiles).



- Fourniture d'un logiciel d'analyse des données sur les performances des cultures et des outils associés pour la recherche, l'analyse et la visualisation autonomes des données collectées dans plusieurs études.

## 6. Travaux IdO actuelles pour les serres

Dans cette section, nous présentons quelques travaux d'IdO ont été réalisé dans le cadre de systèmes de serres intelligentes. Il s'agit de [22] :

- **Kaa** : est une plate-forme IoT open source qui permet de relier différents capteurs, appareils connectés et installations agricoles. Elle permet de mettre en place des applications à utiliser par les agriculteurs et les producteurs de surveiller à distance le climat, les cultures et les équipements. Elle permet également de fournir des moyens d'analyse prédictive des cultures.
- **GetSenso** : est une application Cloud permet à l'utilisateur de surveiller à distance et en temps réel les conditions climatologiques de la serre via un ordinateur de bureau, un smart phone ou une tablette. GetSenso est basée sur la technologie de capteurs sans fil et IdO offre un paramètre de surveillance à faible coût dans une serre. La surveillance est basée sur les différents capteurs tel que celui de lumière, d'humidité, etc., placés dans la serre. GetSenso fournit également des informations permettant de définir les valeurs d'automatisation de la serre, l'agriculteur peut initier un processus d'automatisation tel que l'arrosage.
- **Bitponics** : est un projet de jardinage IdO open source destiné aux producteurs et aux agriculteurs qui planifient des rappels indiquant le moment où ils doivent prendre des mesures, des lectures de capteurs en temps réel, ainsi que la possibilité d'allumer et d'éteindre automatiquement les appareils connectés, ..., et tout cela à partir de n'importe quel navigateur Web.
- **Plantlink** : ce n'est pas un système IdO, mais un capteur d'humidité du sol connecté qui envoie à l'agriculteur un rappel d'arrosage (push, email, texto) quand cela lui convient le mieux. De cette manière l'agriculteur peut contrôler l'arrosage précisément en fonction de l'état du sol. Plantlink eut être relié directement avec la vanne et peut donc la contrôler automatiquement.

- **HarvestGeek** : est un système d'IdO de surveillance et d'automatisation des serres et jardins open source et communique selon le mode sans fil. Ce système fonctionne conjointement avec un système de perception qui s'appelle HarvestBot. HarvestGeek propose des modalités de notification par SMS, Facebook, Twitter ou par courrier électronique.

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le domaine d'Internet des Objets. Nous avons commencé par des définitions et détaillé par la suite son architecture générale des domaines d'application pertinentes. À partir de ce qui est expliqué dans ce chapitre nous pouvons apprendre que l'utilisation de l'IdO dans le cadre des serres implique le traitement des problèmes se pose dans trois niveaux : perception des données climatologiques en utilisant les capteurs placés dans la serre, prétraitement, analyse et abstraction des données capturées et application des actions sur la serre en fonction des décisions prise par le système ou l'agriculteur.

Dans le chapitre suivant nous allons expliquer en détail notre proposition en la matière en traitant tous ces problèmes.



# Chapitre 3

## Étude conceptuelle

### 1. Introduction

La phase de conception est très importante pour fixer les choix techniques et de préparer l'implantation, elle décrit la solution (comment le problème est résolu) et elle doit servir de support pour l'implantation et la maintenance.

Dans ce chapitre, nous présentons les objectifs et principe de la solution proposée et l'architecture global du système

### 2. Objectifs et principe de la solution proposée

L'agriculture intelligente repose sur l'argent et l'application de la technologie dans l'agriculture et la production végétale. Les serres intelligentes doivent notamment relever les défis suivants:

- Changement permanent des conditions climatiques.
- Différentes conditions d'agriculture d'une plante à l'autre.
- Coût de production des maisons en plastique.
- Type de capteurs et leur nombre dans chaque maison en plastique.
- Connexion des serres à Internet.

Les interfaces d'interaction homme/système inconfortables.

#### 2.1. Objectif du projet

L'objectif dans ce projet est de créer un système de serre connectée et intelligente. Cette serre est conçue principalement pour établir les conditions nécessaires à la croissance de la plante,

qui sont collectées à partir des capteurs préalablement placés dans la serre. Les données sont traitées immédiatement pour obtenir des données plus complexes que nous ne pouvons pas obtenir des capteurs. Les données de haut niveau constituent la base sur laquelle reposent les décisions et les prédictions, ce qui nous donne un aperçu de la situation dans la serre et le futur.

Ce système assure les fonctionnalités suivantes :

- Assure un contrôle automatisé et intelligent des serres pour établir les conditions climatologiques idéales et contrôler la quantité de matière organique à soumettre pour chaque espèce végétale
- Assure un contrôle assisté par ordinateur de ces serres où l'opérateur humain peut intervenir dans le processus de contrôle moyennant une interface appropriée.
- collecter l'ensemble des données des serres et de leur environnement à distances via un site Web,
- surveiller et établir des statistiques et des études stratégiques à distance et faire des prédictions à la base des ces données.

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

Les services que notre système peut fournir (automatique ou manuelle) dans le cadre de contrôle sont :

- Arrosage des plantes et gestion de l'irrigation
- Gestion de ventilation
- Gestion de réservoir
- Gestion de l'éclairage

## **2.2. Principe de la solution proposé**

Nous avons opté pour la décomposition de notre système en trois parties (figure 3.1) :

- la première partie correspond au sous système physique de capture et d'actionnement. Ce sous système sert d'interface physique entre le reste du système et la serre. Il permet de collecter en permanence des données en temps réel sur la température, l'humidité, luminosité, ... de l'environnement intérieur de la serre. Il permet également de traduire des commandes du système en des actions réelles sur la serre. Par exemple : allumer la lumière. Ce système est mis en œuvre en utilisant la carte micro contrôleur Arduino, des capteurs physiques et des composants pour l'actionnement. Le langage de programmation pour ce système est une version simplifiée du langage C<sup>++</sup> dédiée pour ce genre de cartes.
- La deuxième partie correspond à partie principale du système proposé. cette partie est conçue pour l'abstraction des données des capteurs en identifiant les différentes situations contextuelles sur l'état de la serre et pour la prise des décisions convenables pour réaliser différents services. Cette partie implémente ainsi les fonctionnalités de perception, de décision, et d'action. Pour la réalisation de cette partie, nous avons opté pour l'introduction des réseaux de neurones pour reconnaître les situations de haut niveau impliquant le déclenchement des services appropriés et l'introduction des arbres de décision comme un outil de prise de décision. Cette partie est programmée en java et sensé exécuter sur un ordinateur proche à la serre. Elle peut être même exécutée sur la carte Raspberry (une carte bien dédiée à ce genre d'application).
- La troisième partie est implémentée comme un site web dynamique. Elle est donc réellement hébergée dans un serveur Internet. Elle permet de surveiller plusieurs serres et

d'établir plusieurs genres de statistiques et ainsi que de prédiction. Ce site est donc accessible de n'importe quelle appareil connectée à Internet comme le Smartphone, tablette, ordinateur, etc.

Afin de pouvoir tester notre système, nous réalisons une maquette d'une serre.

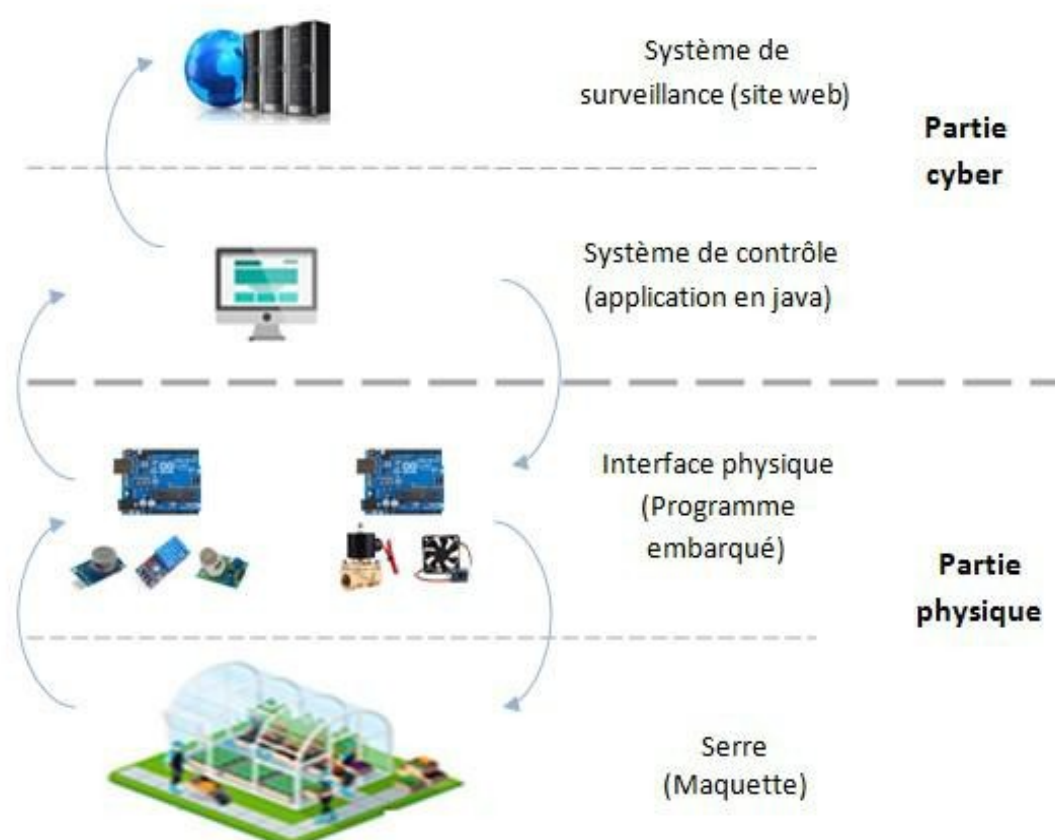


Figure 3.1. Éléments du système

### 3. Architecture globale du système

Dans cette section, nous détaillons, dans une architecture générale, les éléments de notre système qui ont été illustrés dans la figure 3.2. La figure 3.3 illustre cette architecture et montre ses grands modules. Dans ce qui suit, nous expliquons le rôle de chaque module et ainsi que sa relation avec les autres.

## **3.1. Modules du système**

### **3.1.1. Interface physique de capture et commande**

Cette interface est composée de deux modules :

#### **Module de capture des informations :**

Composé d'une carte microcontrôleur et d'un ensemble de capteurs, ce module permet de collecter des données sur le climat intérieur de la serre, il s'agit de :

- la température et l'humidité de l'air
- la luminosité ou l'intensité lumineuse
- la densité du gaz
- l'humidité du sol

#### **Module actionneur :**

Composé également d'une autre carte microcontrôleur et d'un module relai et contrôle les composants suivants :

- Robinet Électrovanne pour contrôler le débit d'eau pour la régulation de l'irrigation.
- La lampe de lumière pour contrôler l'éclairage dans la serre.
- Ventilateur pour l'aération de la serre
- Pompe pour remplir le réservoir

Les actions à entreprendre par ce module à propos de ces composants sont : *allumer*(composant) et *éteindre*(composant).

Il est à noter que ces actions sont élémentaires. Les actions complexes sont gérées par le niveau supérieur.

### **3.1.2. Module de Perception et Reconnaissance de situations**

Le Module de Perception et Reconnaissance de situations est le module qui permet de reconnaître les différentes situations à la base desquelles les décisions (du système ou l'opérateur humain) doivent être établies. Ces situations sont déduites à partir des données brutes fournies par module de capture.

Les différentes situations considérées dans le cadre de notre projet sont :



- Pour le sol: sec ou non sec.
- Pour la lumière: suffisant ou insuffisant.
- pour le climat: chaud ou modéré.

Le processus de calcul de situation se déclenche après la collecte des données requises pour une période déterminée.

Pour identifier ces situations nous proposons d'utiliser les réseaux de neurones qui seront détaillé dans la section 4.

### **3.1.3. Module de décision**

Comme mentionné ci-dessus, l'un de nos objectifs est de créer un système intelligent capable de prendre des décisions de manière autonome. Donc ce module est crée pour fournir la suite des actions à entreprendre pour exécuter le service requis. Le mapping entre la situation courant déduite par le module de reconnaissance de situation et l'(les) action (s) à entreprendre est basé sur l'arbre de décision.

### **3.1.4. Autres modules**

- **Interface graphique.** Cette interface per à un opérateur humain de surveiller et contrôler la serre. À partir de cette interface on peut également contrôler le bon fonctionnement des différents capteurs et actionneurs.
- **Interface de communication web :** Interface de communication web assure le lien entre le système local de contrôle et le serveur Web qui regroupe les données émanant de plusieurs serres.
- **Module action.** Ce module assure le contrôle des actions qui ne sont pas atomiques. Les actions et les commandes élémentaires nécessaires pour accomplir les actions complexes sont passées au composant d'actionnement.
- **Site web :** ce site est réalisé pour collecter des données de plusieurs serres et pour faire des statistiques et des prédictions stratégiques. Il gère également une base de données et sert de portail web à partir duquel un expert ou même un propriétaire peut consulter les différentes données. La technique de prédiction réalisée est basée sur les réseaux Bayésien qui sera détaillée ultérieurement.

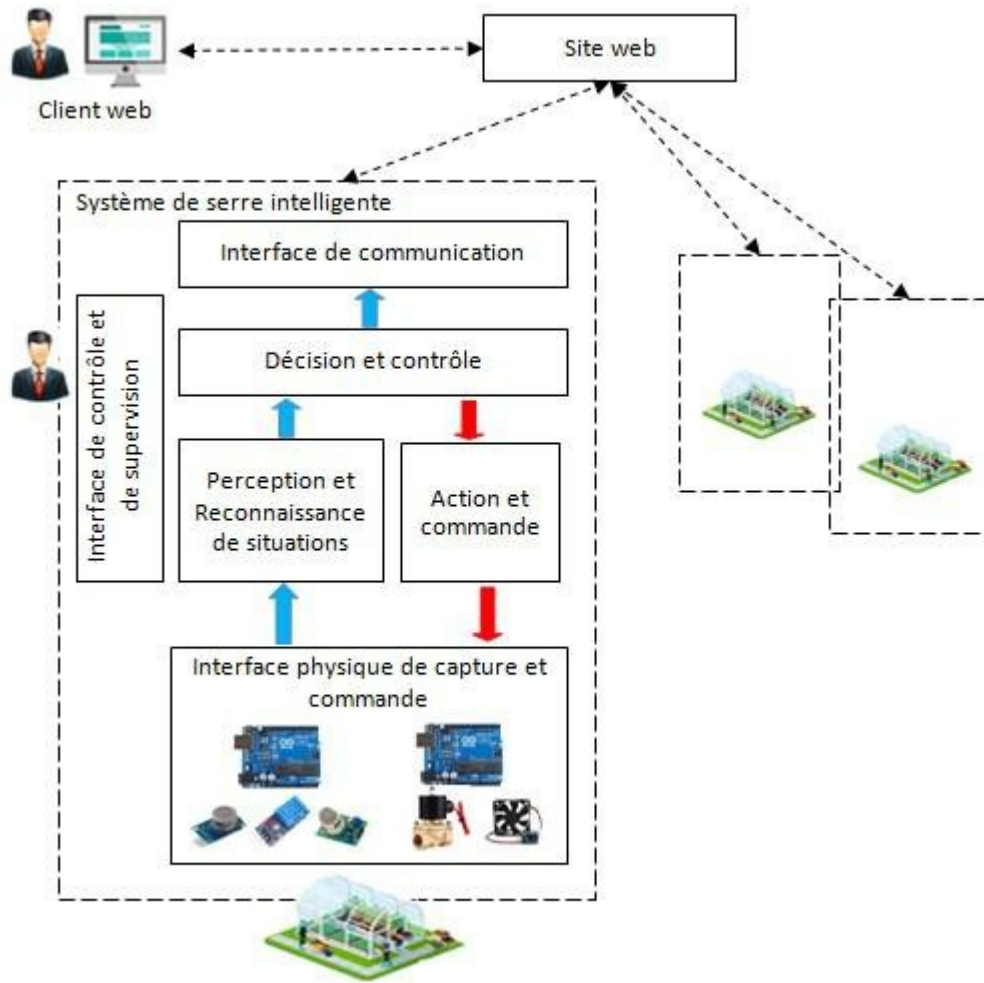


Figure 3.2: Architecture global du système

### 3.2. Principe de fonctionnement

L'utilisateur du système est libre de basculer entre le contrôle automatique et manuel. Dans le cas de contrôle automatique, le fonctionnement du système est gouverné par les données acquises par les capteurs (via le module de capture).

À chaque fois où il y a un changement de situation le module décision se déclenche et détermine l'action à entreprendre à chaque fois. Ces actions concernent l'ouverture et la fermeture de l'arrosage, de l'éclairage, etc.

L'exécution des actions doit être effectuée d'une manière concurrente avec le reste du système.

Les données fournies et les décisions prises manuellement et automatiquement d'une durée de 24 heures seront fournies au site web.

Pour garder de la trace sur historique de son fonctionnement, les données obtenues et les actions entreprises par le système sont sauvegardées dans un journal. Ce journal peut se servir d'une base d'apprentissage ultérieur.

Le site web est conçu pour permettre le contrôle de plusieurs serres. Il étend également le système de contrôle local par des fonctionnalités relatives à l'analyse et aux statistiques et à la prédiction.

#### **4. Perception et reconnaissance des situations contextuelles**

La perception et reconnaissance des différentes situations sont des tâches importantes pour le système d'être au courant et être conscient de l'environnement intérieur et extérieur de la serre. Grâce à cette capacité, le système peut se renseigner en temps réel sur l'état global de climat et des conditions requises pour la progression des plantes. À la base de cet état, le système (dans le cas de contrôle automatique) ou l'opérateur ou expert humain (dans le cas de contrôle manuel) peut prendre les décisions pertinentes et convenables et ainsi de choisir la meilleure action à entreprendre aux bons moments.

Pour déterminer si le sol est sec ou non, nous avons besoin de température (capteur de température), d'humidité du sol (capteur de sol) et d'humidité (capteur d'humidité). -Pour déterminer si l'addition est suffisante ou insuffisante, nous avons besoin de la température (capteur de température), de l'humidité (capteur d'humidité) et de l'intensité de la lumière (capteur de lumière).

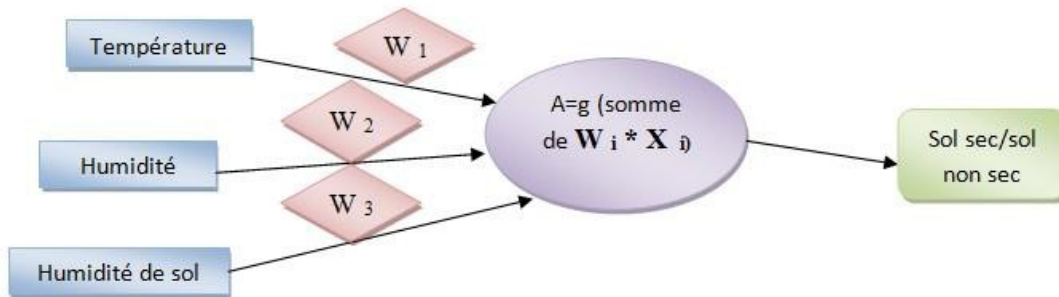


Figure 3.3: réseau de neurones à propagation avant

Pour déterminer si le temps est chaud ou modéré, nous avons besoin de température (capteur de température), d'humidité du sol (capteur de sol), de quantité de gaz (capteur de gaz).

On note  $(X_i)$   $1 \leq i < k$  les  $k$  informations parvenant du capteurs au neurone. De plus, chacune sera plus ou moins valorisée vis à vis du neurone par le biais d'un poids. Un poids est simplement un coefficient

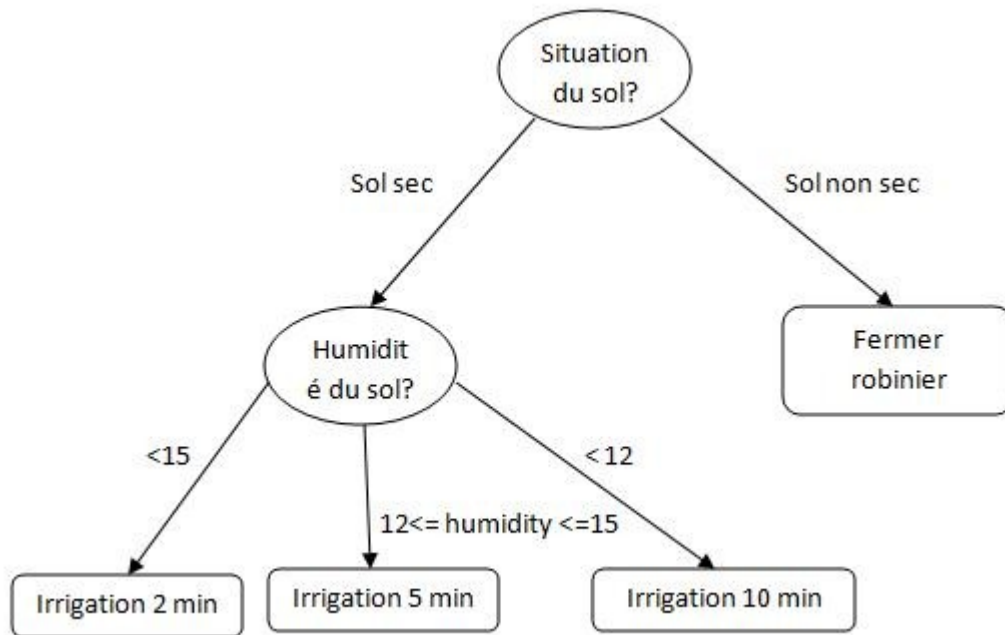
$W_i$  lié à l'information  $X_i$ . La  $i$ -ème information qui parviendra au neurone sera donc en fait  $W_i * X_i$ . Il y a toutefois un "poids" supplémentaire, qui va représenter ce que l'on appelle le coefficient de biais. Nous le noterons  $W_0$  et le supposerons lié à une information  $X_0 = -1$ .

Le neurone artificiel effectuer une somme pondérée de ses entrées plutôt que de considérer séparément chacune des informations. Ensuite, nous appliquons la fonction d'activation à la somme de  $W_i * X_i$ .

La fonction d'activation, ou fonction de transfert, est une fonction qui doit renvoyer un réel proche de 1 quand les "bonnes" informations d'entrée sont données et un réel proche de 0 quand elles sont "mauvaises".

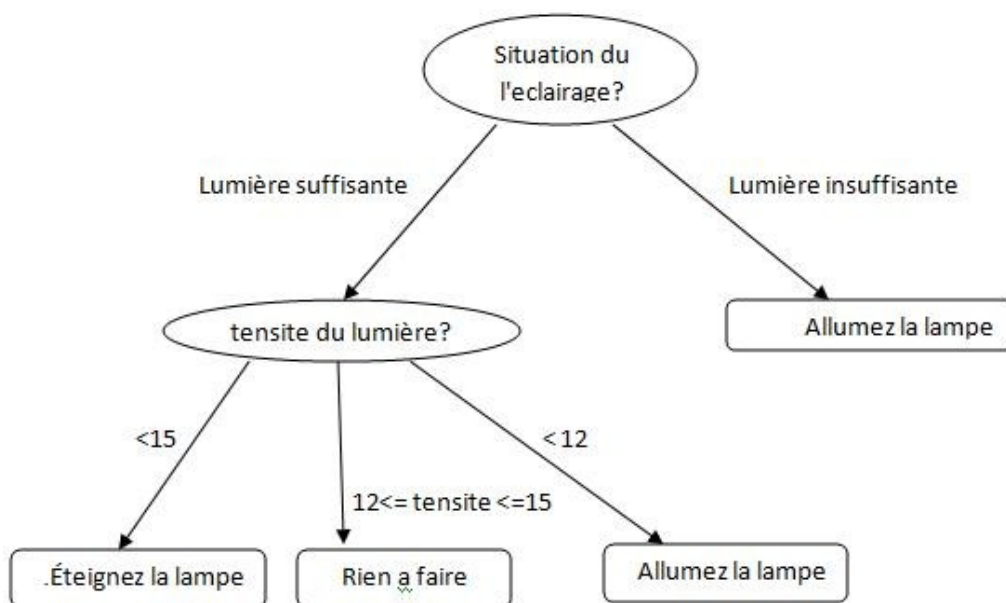
## **5. Prise de décision**

Tout d'abord, on teste si le sol est sec ou non, si le sol est non sec, le robinet est immédiatement fermé, Si le sol est sec, il est testé. Si l'humidité est inférieure à 12, la décision d'irrigation est prise pendant 10 minutes. Si elle est supérieure à 15, la décision d'irrigation est prise pour une période de 2 Minutes et sinon la décision d'irrigation est prise pour une période de 5 minutes.



**Figure 3.4:** Arbre de décision pour la gestion de l'irrigation

Tout d'abord, tester si la lumière suffisant ou insuffisant, dans le cas insuffisant la lampe est immédiatement allumez, dans le cas suffisant, il est testé. Si la densité est inférieure à 12, la décision est allumez la lampe. Si elle est supérieure à 15, la décision éteindre la lampe et sinon rien à faire.



**Figure 3.5:** Arbre de décision pour la gestion d'éclairage

Tout d'abord, on teste si le climat dans la serre est modéré ou chaud, dans le cas de modéré la ventilateur est immédiatement éteindre, dans le cas de climat chaud, il est testé. Si la température est supérieure à 15, la décision allumer ventilateur et sinon éteindre ventilateur.

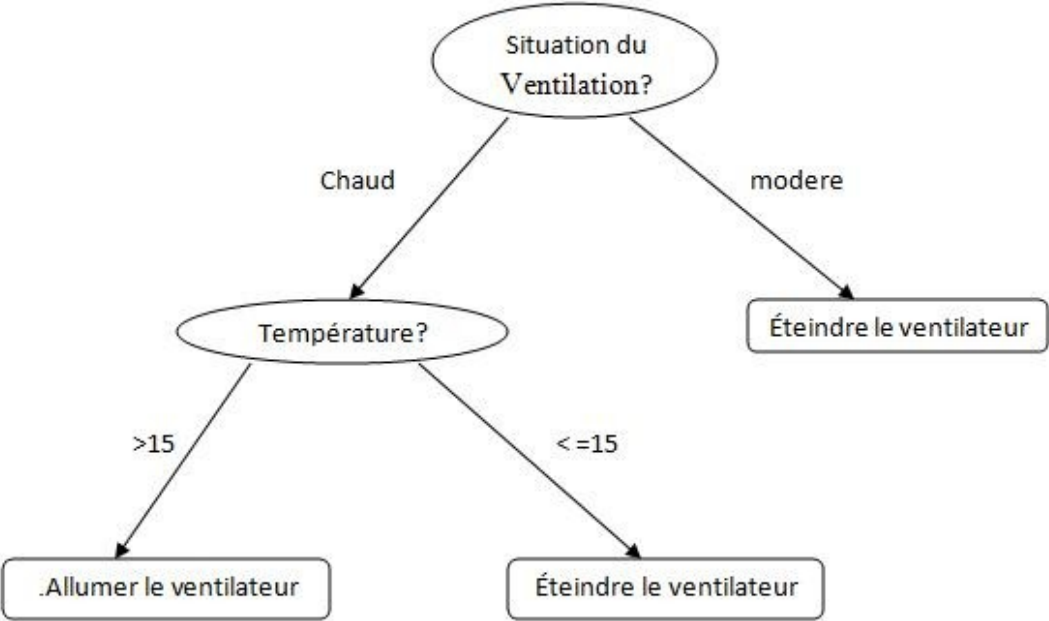


Figure 3.6 : Arbre de décision pour la gestion Ventilation

Pour déterminer si le réservoir doit être rempli ou non, Si la donnée de "capteur de niveau d'eau" est inférieure à 1 litre, la pompe est activée pour remplir le réservoir.

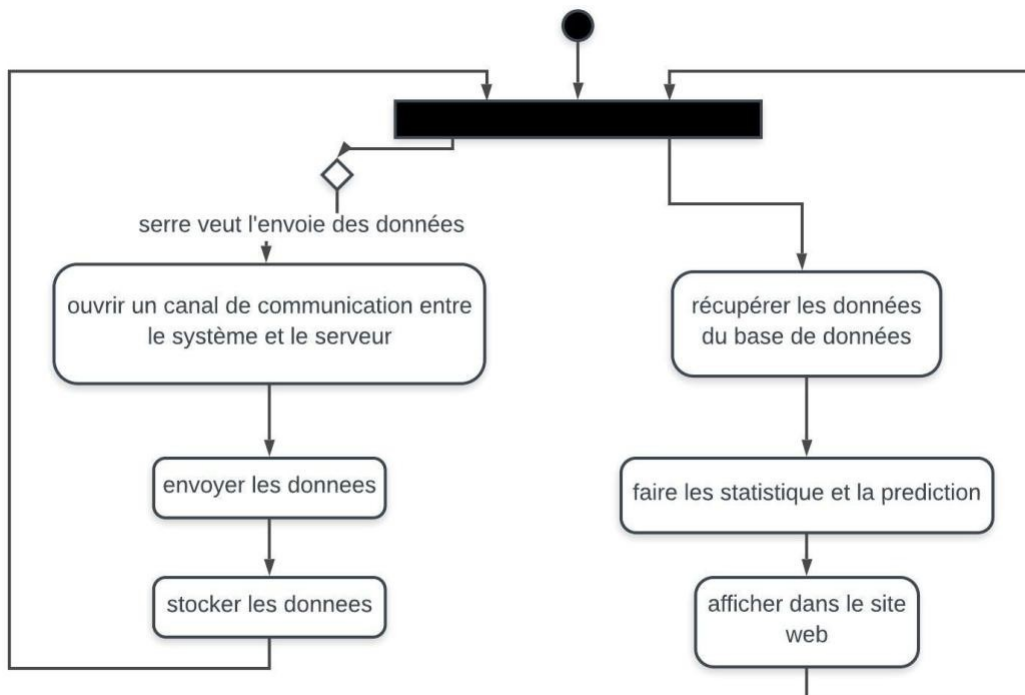


## 6. Site web

## 6.1. prédiction web

### 6.1.1. Architecture

- Le module communication Web ouvre un canal de communication entre le système et le serveur via Internet.
- Les données sont envoyées au serveur, puis stockées
- Le module prédiction fait les statistiques et les prévisions en fonction des données envoyées et des données de l'historique.
- Le module prédiction affiche les statistiques et le résultat de la prévision sur le site Web afin que l'utilisateur puisse visualiser les résultats.



**Figure 3.8** : Diagramme d'activités relatif au service: gestion de prédiction web



## 6.1.2. Interaction des composants

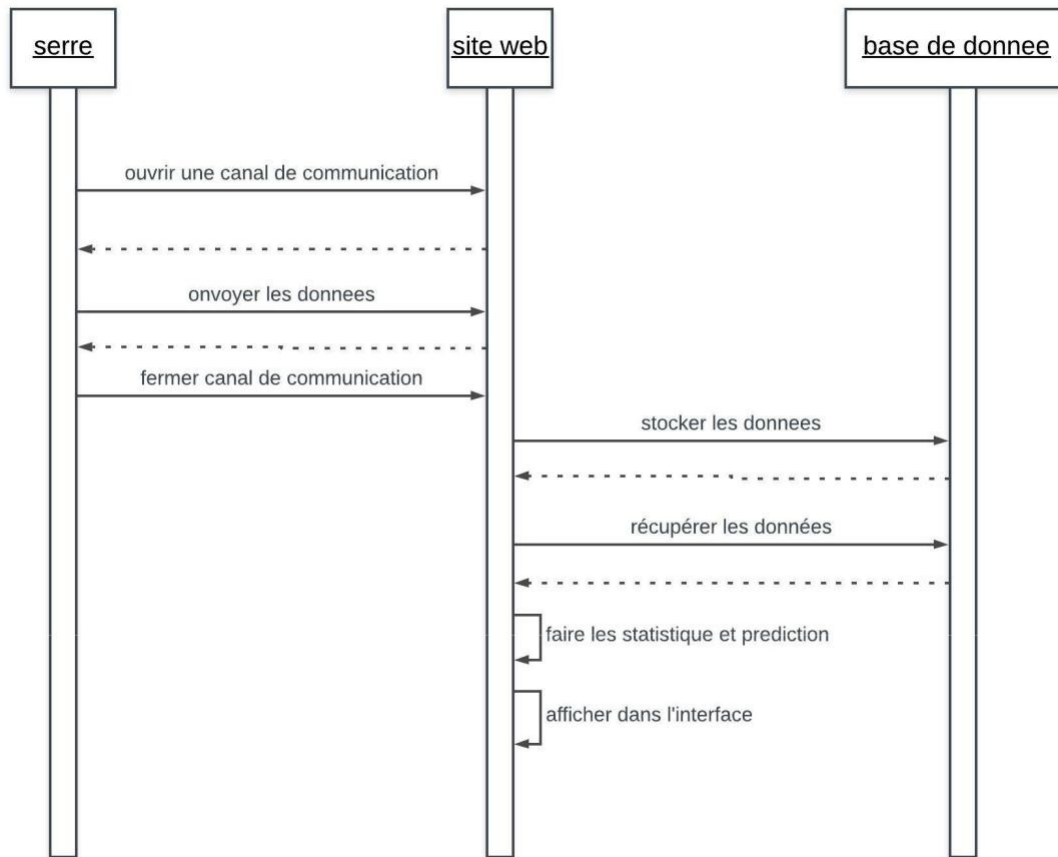


Figure 3.9: Diagramme de séquence relatif au service "gestion de prédiction web"

## 7. Services et Applications

### 7.1. Gestion de l'irrigation

Les capteurs (capteur de température - capteur d'humidité de l'air - capteur d'humidité du sol) enregistrent les valeurs de température et d'humidité de l'atmosphère et l'humidité du sol, puis envoyées à la carte Arduino.

Au niveau de la carte Arduino, le programme codée avec un identifiant les valeurs enregistrées, ce qui signifie que t- est ajouté à la température enregistrée et h- l'humidité de l'atmosphère et e- l'humidité du sol (le but de ce processus est de distinguer les données de chaque capteur).

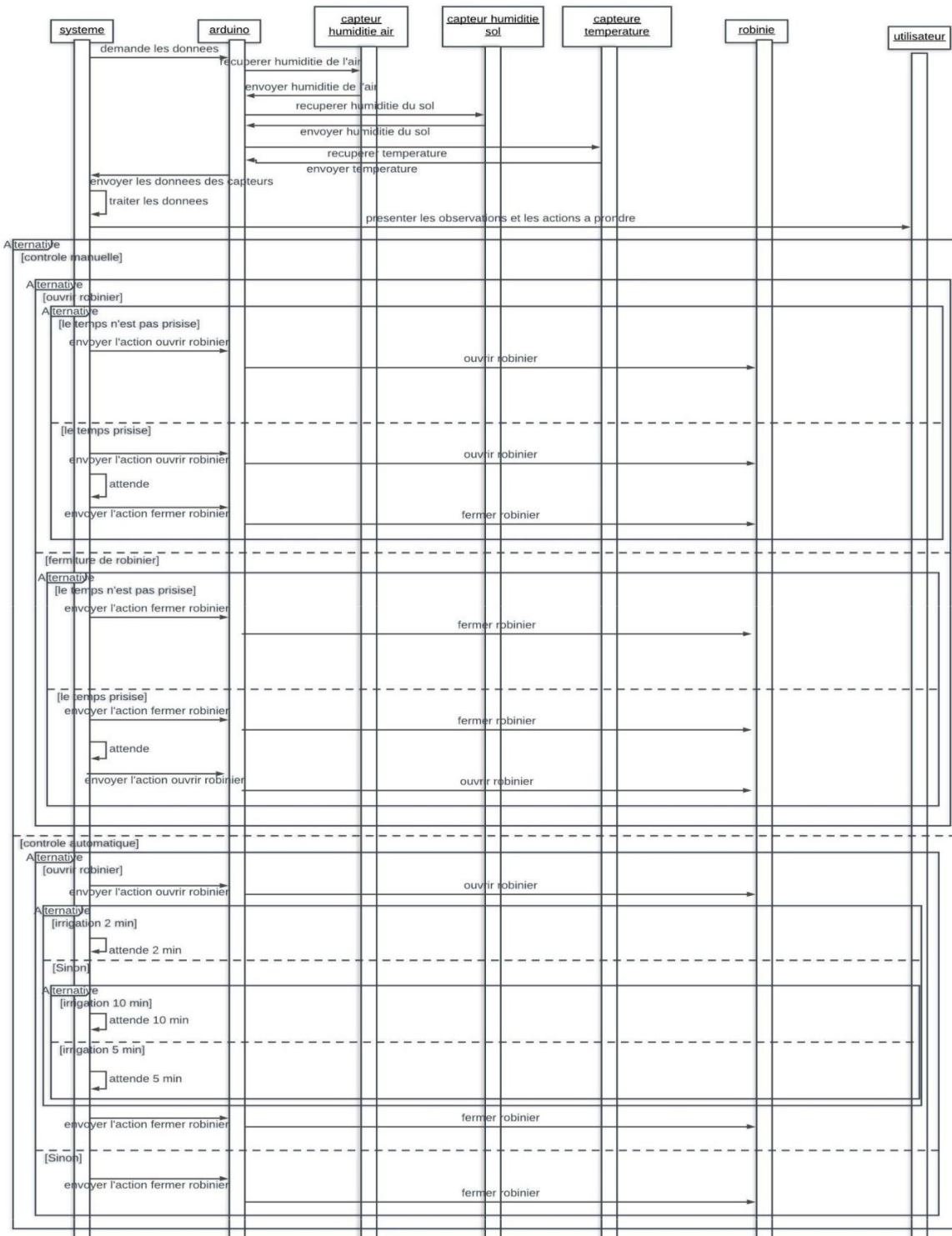


Figure 3.10 : Diagramme de séquence relatif au service: gestion de l'irrigation

Le module reconnaissance situation désassemble les données et les affiche dans l'interface graphique sous forme de courbes, d'une part, d'autre part, la température moyenne, l'humidité moyenne de l'air et l'humidité du sol sont utilisées comme entrées du réseau neuronal artificiel, qui reconnaît l'état du sol, qu'il soit sec ou non.

Envoyer le résultat du réseau neurone artificiel à l'arbre de décision afin d'extraire la situation qui correspond aux données actuelles de la serre.

- En cas de contrôle automatique, module de décision envoie des demandes d'ouverture ou de fermeture du robinet pour l'irrigation.

## **7.2. Gestion d'éclairage**

Le service de Gestion d'éclairage se déroule selon la scénario suivant :

- Les capteurs (capteur de température - capteur d'humidité de l'air - capteur de luminosité) enregistrent les valeurs de lumière et d'humidité de l'atmosphère et température, puis envoyées à la carte Arduino.
- Au niveau de la carte Arduino, le programme codée avec un identifiant les valeurs enregistrées, ce qui signifie que t- est ajouté à la température enregistrée et h-l'humidité de l'atmosphère et l- lumière.
- Le module reconnaissance situation désassemble les données et les affiche dans l'interface graphique sous forme de courbes, d'une part, d'autre part, la température moyenne, l'humidité moyenne de l'air et lumière sont utilisées comme entrées du réseau neuronal artificiel, qui reconnaît l'état de l'éclairage: élevé, modéré ou faible.
- Envoyer le résultat du réseau neurone artificiel à l'arbre de décision afin d'extraire la situation qui correspond aux données actuelles de la serre.
- En cas de contrôle automatique, module de décision envoie des demandes d'allumez la lampe et éteignez-la.

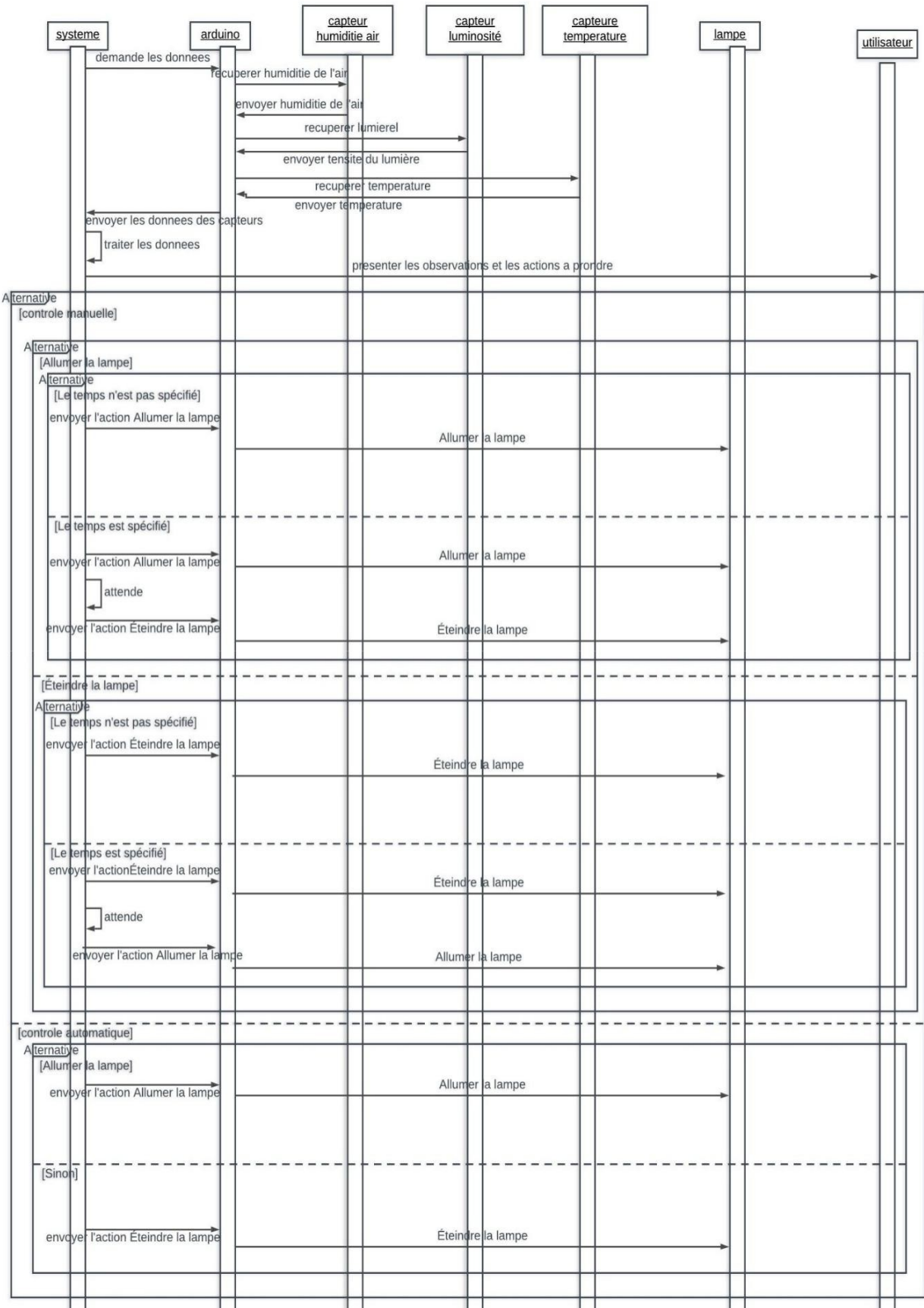


Figure 3.11: Diagramme de séquence relatif au service: gestion d'éclairage

### 7.3. Gestion de Ventilation

Le service de Gestion de ventilation se déroule selon la scénario suivant :

- Les capteurs (capteur de température - capteur d'humidité de sol - capteur de gaz) enregistrent les valeurs de lumière et d'humidité de l'atmosphère et température, puis envoyées à la carte Arduino.
- Au niveau de la carte Arduino, le programme codée avec un identifiant les valeurs enregistrées, ce qui signifie que t- est ajouté à la température enregistrée et e-l'humidité de sol et g- gaz .
- Le module reconnaissance de situation désassemble les données et les affiche dans l'interface graphique sous forme de courbes, d'une part, d'autre part, la température moyenne, l'humidité moyenne de sol et gaz sont utilisées comme entrées du réseau neuronal artificiel, qui reconnaît l'état du climat, chaud ou modère.
- Envoyer le résultat du réseau neurone artificiel à l'arbre de décision afin d' extraire la situation qui correspond aux données actuelles de la serre.
- En cas de contrôle automatique, module de décision envoie des demandes d'ouverture ou de fermeture du ventilateur.

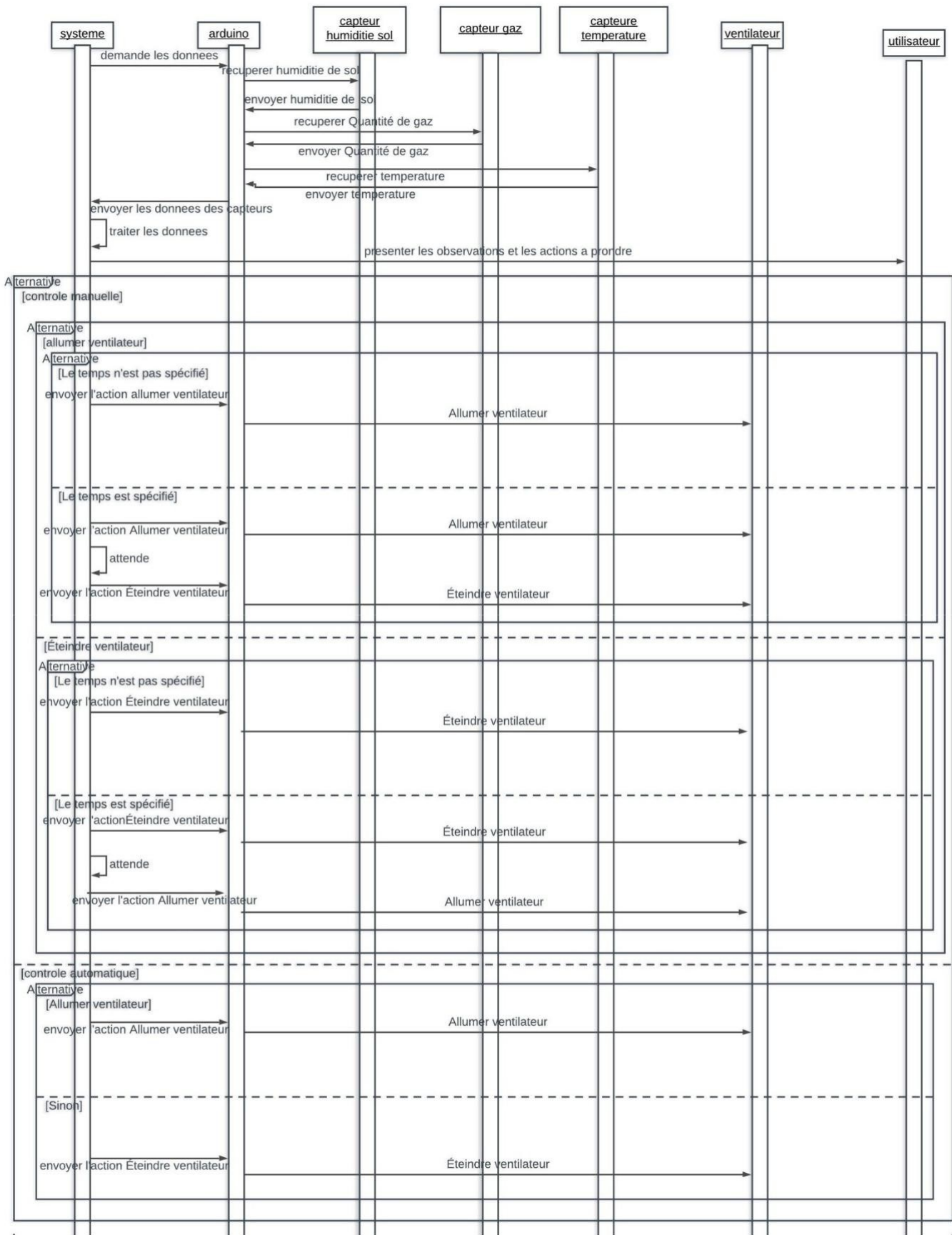


Figure 3.12 : Diagramme de séquence relatif au service "gestion ventilation"

## 7.4. Gestion de réservoir

Dans cette partie, nous voulions utiliser un capteur placé au sommet du réservoir et mesurer la distance entre celui-ci et la surface de l'eau à l'intérieur du réservoir, afin de connaître le niveau d'eau et de savoir si le réservoir est rempli ou non. En raison de l'absence de ce capteur pour le moment, nous avons trouvé un autre moyen de mesurer le niveau d'eau dans le réservoir. C'est ce que nous allons expliquer dans les étapes suivantes:

- Nous avons supposé que l'irrigation pendant 2 minutes nécessiterait 0.25 litres d'eau.
- Après chaque irrigation, la quantité d'eau utilisée est réduite du volume total d'eau dans le réservoir.
- Dans le cas de contrôle manuel, l'utilisateur choisit la taille de l'eau qu'il veut remplir le réservoir.
- En cas d'autocontrôle, si le niveau d'eau dans le réservoir est inférieur à 1 litre, module décision envoie un ordre à module d'actions pour remplir le réservoir par 3 litres.

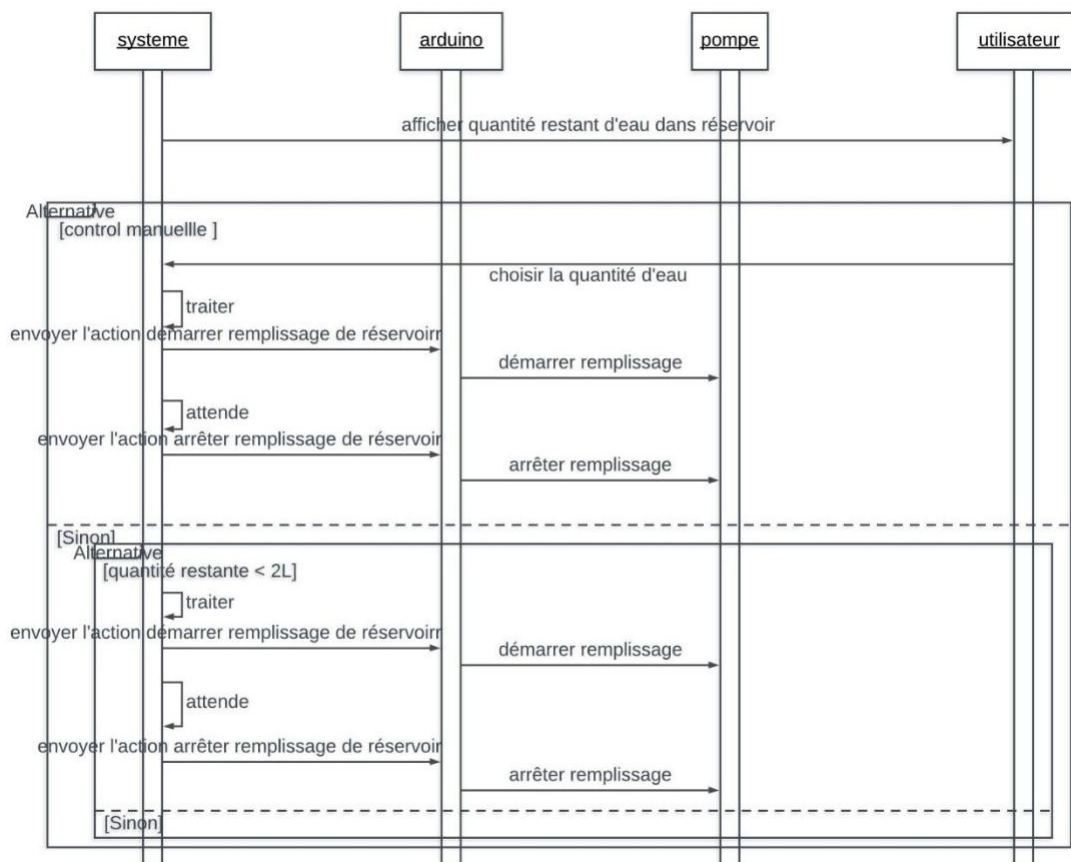


Figure 3.13 : Diagramme de séquence relatif au service "gestion réservoir"

## **8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté toutes les détails de la conception de notre système de serres intelligentes. Nous avons présenté dans un premier lieu le principe de notre solution et l'architecture globale du système et expliqué ensuite le détail de chaque partie.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les détails de l'implémentation.



# Chapitre 4

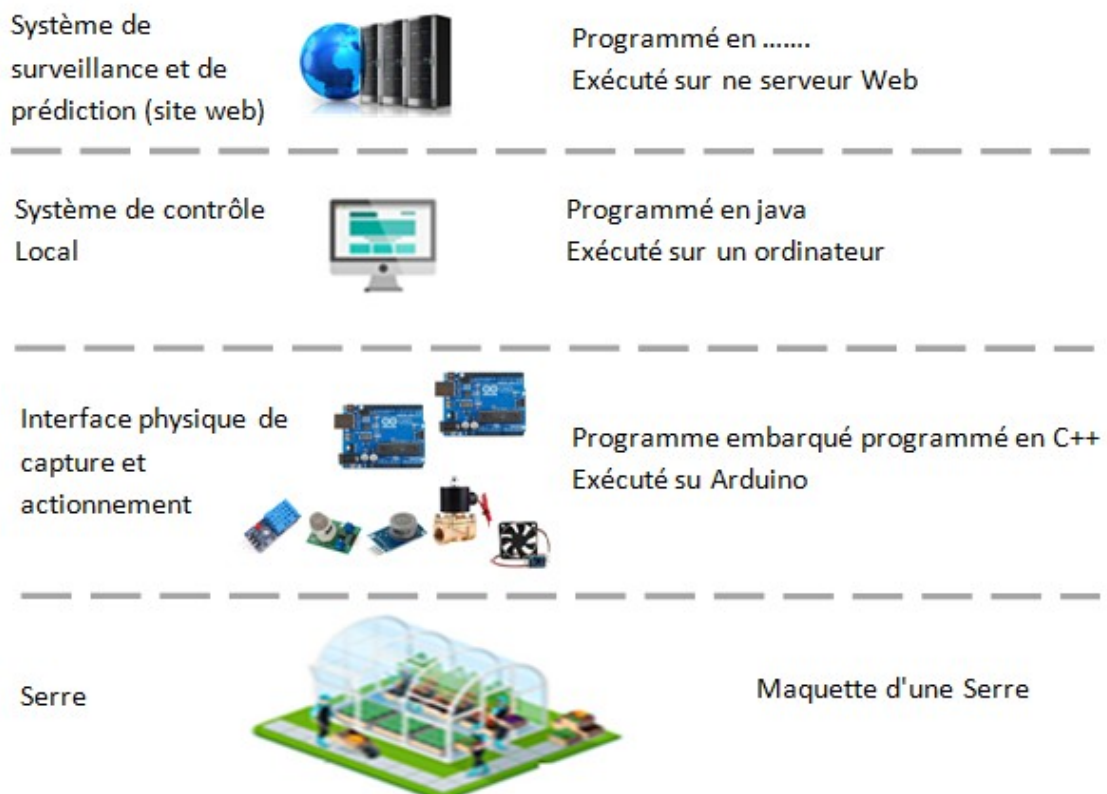
## Réalisation et Implémentation

### 1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les outils matériels et environnements logiciels utilisés pour développer notre système et ainsi que les différentes plateformes d'exécution de ses différentes parties.

### 2. Vision globale

Les éléments qui composent notre système, les environnements de leur exécution et les langages de programmations utilisés sont résumés dans la figure 4.1 ci-après.



**Figure 4.1.** Éléments du système

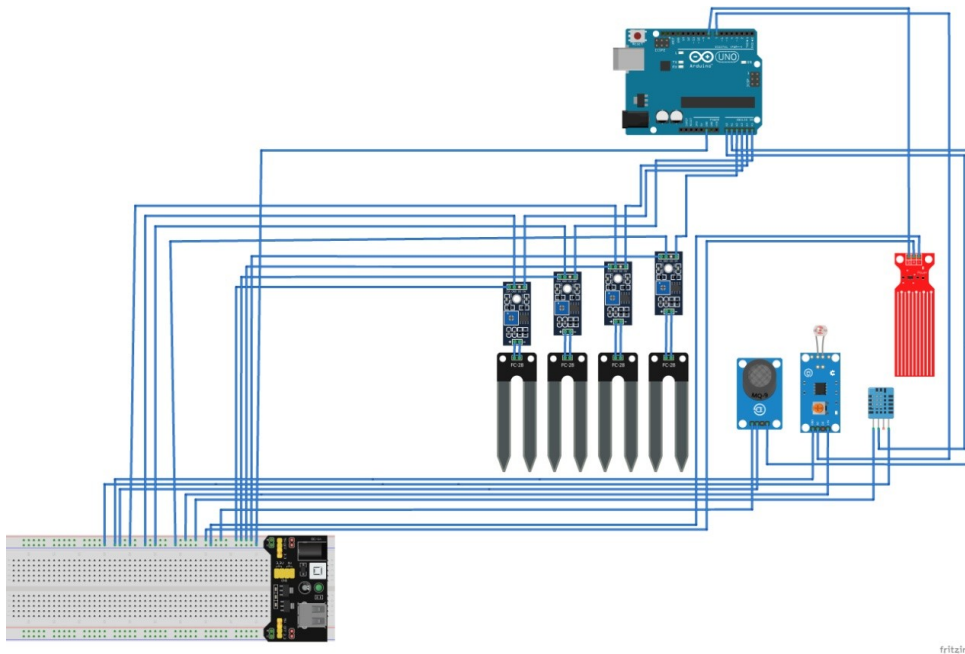
Dans ce qui suit, nous présentant la configuration matérielle, outils matériels et environnements de développement.

### 3. Interface physique de capture et d'actionnement

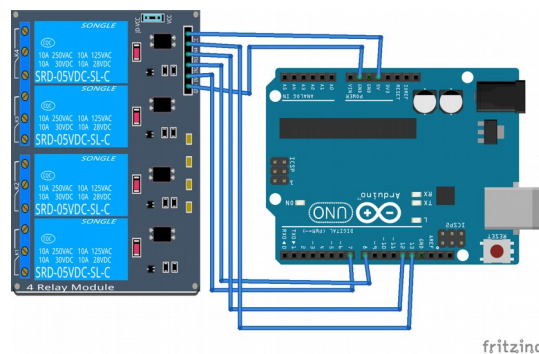
L'interface physique de capteur et raccordement est composé de deux cartes de microcontrôleur Arduino avec lesquelles sont raccordés les autres composants.

#### 3.1. Schémas de raccordement

Les figures 4.2 et 4.3 illustrent respectivement les schémas de raccordement de l'interface capture et actionnement.



**Figure 4.2:** Schéma de raccordement de l'interface de capture



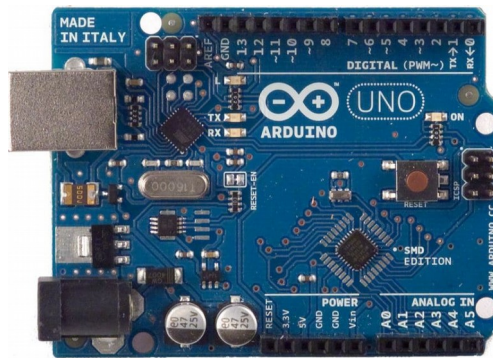
**Figure 4.3:** Schéma de raccordement de l'interface d'actionnement

## 3.2. Composants

### 3.2.1. Carte Arduino UNO

La carte Arduino constitue l'essentiel de notre projet. Nous avons utilisé deux cartes: la première carte est connectée aux capteurs, elle a pour fonction de récupérer les données des capteurs puis de les coder, puis de les envoyer à l'ordinateur.

La deuxième carte est connectée aux actionneurs, sa fonction est de recevoir les ordres de l'ordinateur puis de les exécuter.



**Figure 4.4:** Carte ARDUINO UNO

### 3.2.2. Module Relais



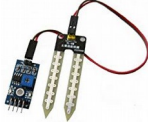


Nous avons utilisé Relais 4 module qui nous permettent de contrôler divers appareils et équipements (Ventilateur, pompe à eau, lampe et la vanne), Il possède une interface standard qui peut être contrôlée directement par un microcontrôleur.



## Figure 4.5: RELAY 4 MODULE

### 3.2.3. Capteurs





Nous avons utilisé cinq types de capteurs, qui sont résumés dans le tableau ci-dessous (Tableau 4.1).

Capteur		Description
capteur de température et d'humidité : <b>DHT11</b>		Ce module utilisé en tant que nœud d'acquisition de température et d'humidité pour notre projet
Capteur de luminosité: <b>LM393</b>		Un capteur luminosité fournit les valeurs en numérique 1 ou 0. On peut régler le seuil avec le potentiomètre.
Capteur d'humidité du sol		Capteur sensible à l'humidité ambiante et détecte la teneur en humidité du sol. module de sortie AO et AD analogique connecté par l'intermédiaire du convertisseur AD, vous pouvez obtenir des valeurs plus précises de l'humidité du sol.
Capteur de gaz MQ		capteurs physicochimiques permettant de détecter une grande variété des gaz, polluants et fumées dans l'atmosphère. Dans notre projet, nous avons utilisé un capteur MQ-7 Capteur Sensible à Monoxide de carbone (CO).
Capteur de niveau d'eau		un capteur de reconnaissance de niveau de l'eau. Fournit un signal analogique lu directement par la carte Arduino

**Tableau 4.1:** Capteurs utilisés

### 3.2.4. Actionneurs

Nous avons utilisé les actionneurs qui sont résumés dans le tableau ci-dessous (Tableau 4.2).

Capteur		Description
Vanne		Peut être décrit comme compact et pratique, facilement installé et entretenu. Consommation mécanique sans consommation électrique, réglable en continu. La vanne de régulation de pression (valve à débit constant) fonctionne comme un interrupteur de débit d'eau
pompe		Le rôle de la pompe à eau est de remplir le réservoir , et nous avons choisi une pompe électrique pour le contrôle à distance.
Ventilateur		ventilateur de 20 cm * 13 cm qui correspond à la taille de la serre que nous avons fabriquée. La fonction du ventilateur est d'assurer la ventilation dans la serre.
lampe		Nous avons utilisé une simple lampe néon de 220 V pour éclairer la serre.

**Tableau 4.2:** Actionneurs utilisés

### 3.3. Environnement logiciel et langage

#### Langage C pour Arduino

le langage utilisé pour la programmation de Arduino est basé sur les langages C/C++. Un programme Arduino est constitué principalement d'une entête faisant appel aux dépendances du programme, d'une fonction 'setup' qui initialise les variables impliquées, ainsi que d'une boucle 'loop' qui exécute en permanence les instructions de notre programme.

#### IDE Arduino

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateforme, servant d'éditeur de code et de compilateur, qui peut transférer le programme dit sketch à travers une liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler et uploader les programmes via l'interface en ligne de commande. Le langage de programmation utilisé est le

C++, compilé avec avr-g++ 3, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard enrichie le développement de programmes sur les plateformes Arduino, et le rend plus intéressant.

### **adafruit\_DHT**

Cette bibliothèque assure une lecture correcte de l'humidité et de la chaleur. Elle fournit les primitives de base permettant la lecture de ces valeur par un simple instruction.

## **4. Application java : Système de contrôle local**

### **4.1. Environnement matériel**

Pour développer l'application Java, nous avons utilisé un ordinateur portable présentant les caractéristiques suivantes:

- Processeur Intel(R) Core(TM) i5-2450M CPU @ 2.50GHz RAM 4GO
- Système d'exploitation 64 bits

### **4.2. Langages et environnement de programmation et bibliothèques**

#### **JAVA**

Java est un langage de programmation orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems, avec le soutien de Bill Joy (cofondateur de Sun Microsystems en 1982), présenté officiellement le 23 mai 1995 au SunWorld.

La société Sun a été ensuite rachetée en 2009 par la société Oracle qui détient et maintient désormais Java.

La particularité et l'objectif central de Java est que les logiciels écrits dans ce langage doivent être très facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que Unix, Windows, Mac OS ou GNU/Linux, avec peu ou pas de modifications, mais qui ont l'inconvénient d'être plus lourd à l'exécution (en mémoire et en temps processeur) à cause de sa machine virtuelle. Pour cela, divers plateformes et frameworks associés visent à guider, sinon garantir, cette portabilité des applications développées en Java.

## **RXTX**

RXTX est une bibliothèque conçue pour gérer la communication série entre un ordinateur et périphérique USB. Nous avons utilisé cette bibliothèque pour faire communiquer l'application java de contrôle local avec Arduino.

En outre, RxTx dispose d'un algorithme de correspondance de modèle pour identifier les noms de périphériques série "valides". Cela casse souvent les choses lorsque l'on souhaite utiliser des périphériques non standard, tels que des convertisseurs USB/série. Ce mécanisme peut être remplacé par les propriétés du système.

## **Eclipse**

Eclipse est un projet, décliné et organisé en un ensemble de sous-projets de développements logiciels, de la fondation Eclipse visant à développer un environnement de production de logiciels libre qui soit extensible, universel et polyvalent, en s'appuyant principalement sur Java.

## **Visual Paradigm Online Express**

Nous avons utilisé un outil en ligne pour dessiner des diagrammes UML de manière simple et rapide. Visual Paradigm Online Express Edition est gratuit pour une utilisation non commerciale. Il supporte UML, ER Diagram et Org.

### **4.3. Interface graphique**

Dans cette section nous présentons l'interface graphique de l'application java (système local de contrôle).

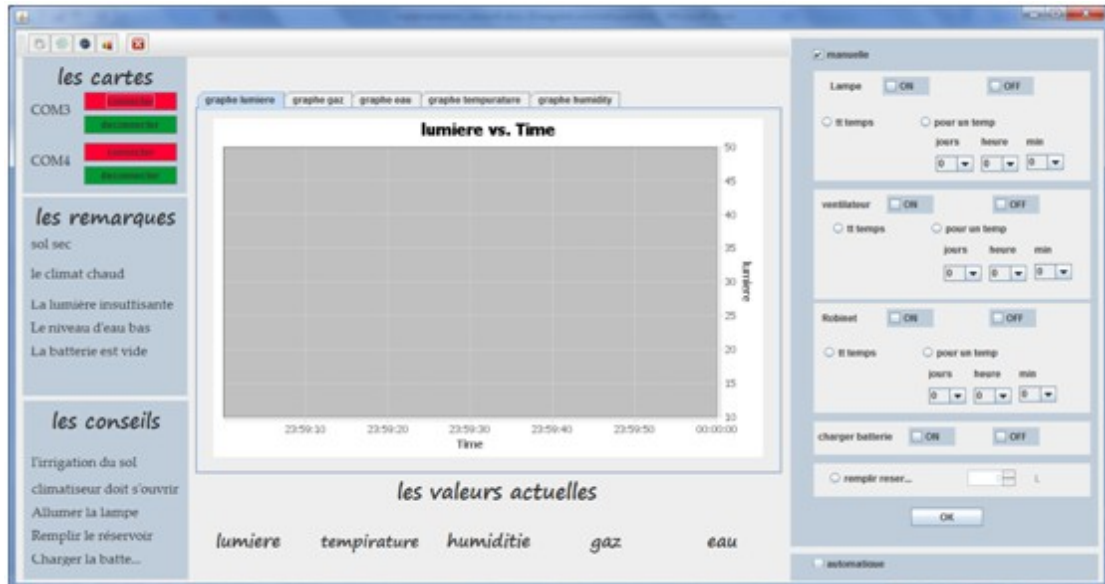
D'abord et avant tout, il faut connecter les ports COM3 pour connecter l'interface physique de capture et COM4 pour connecter l'interface physique d'actionnement.

Une fois les ports sont connectés, le système commence à afficher en temps réel les courbes graphiques de la température, l'humidité de l'air, l'humidité du sol, l'intensité lumineuse et enfin la densité de gaz. Toutes ces valeurs sont extraites des capteurs de la serre.

De plus, dans le mode manuel, le propriétaire du système peut exécuter un ensemble d'actions (allumer et éteindre la lampe, allumer et éteindre le ventilateur, ouvrir et fermer la vanne, remplir le réservoir).

Dans le panel des remarques, l'ensemble des situations qui décrivent la serre s'affiche. Ces situations sont fournis par le réseau Neurones artificiels.

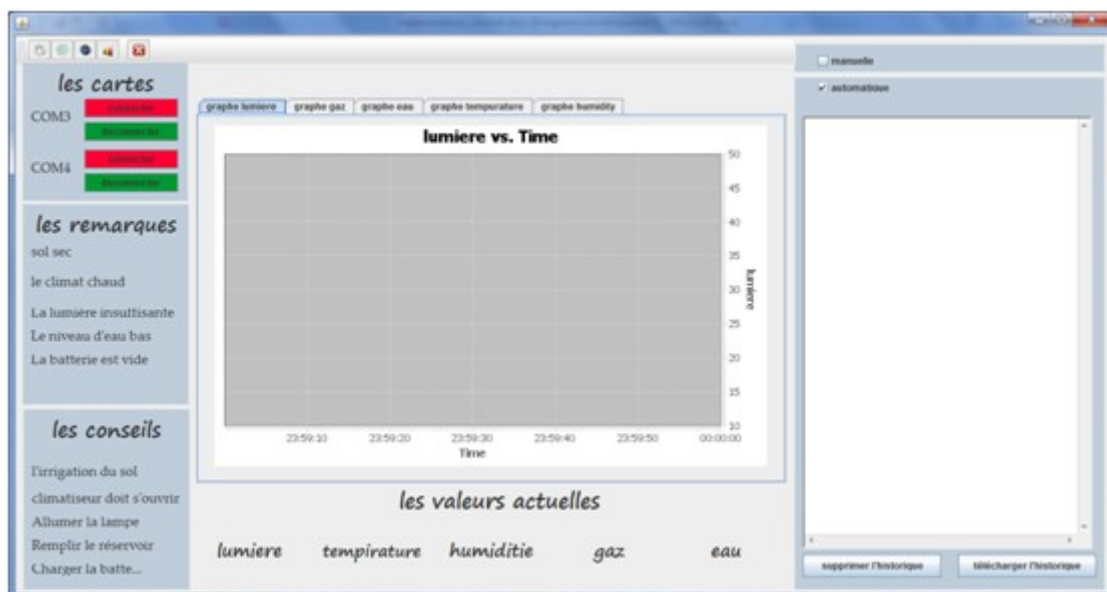
Dans le panel des conseils, se trouvent tous les conseils permettant d'améliorer l'effet de serre et de prévenir les problèmes et les dangers. Ces conseils sont fournis par notre arbre de décision.



**Figure 4.6:** Control manuel

La figure suivante concerne le cas du "control automatique". Elle affiche la séquence des actions entreprises par le système et également les remarques et les conseils.

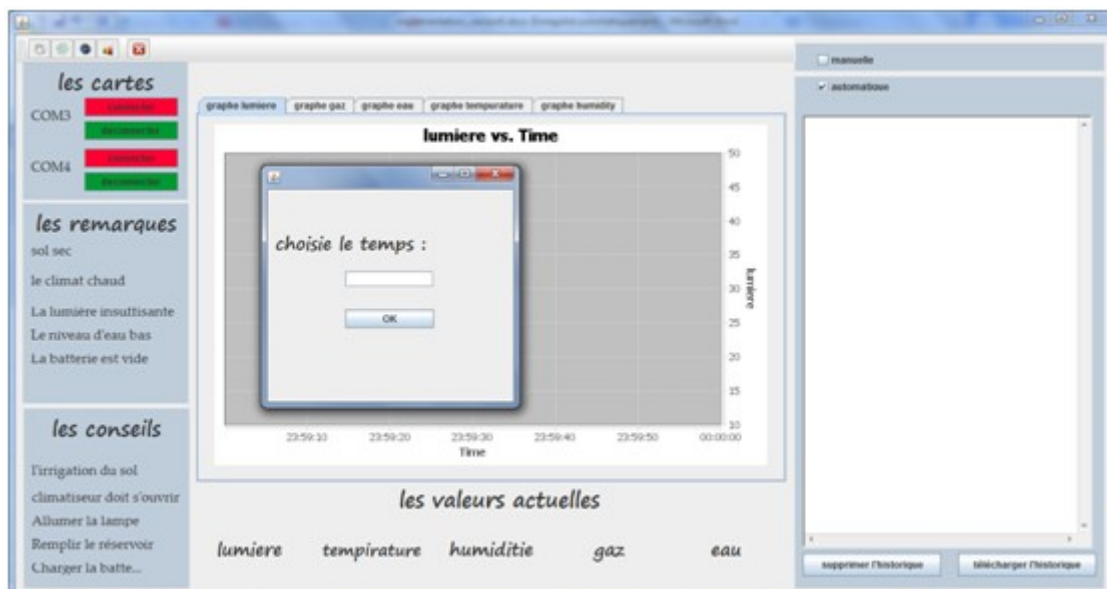
la date : situation de la serre ==> condition(donnee de capteur) ==> decision





**Figure 4.7:** Control automatique

L'utilisateur a d'autres options à faire. Premièrement, il peut choisir la période de récupération des données à partir des capteurs (figure 4.8).



**Figure 4.8:** changement de la durée

Deuxièmement, il peut envoyer la moyenne du température et de l'humidité de l'atmosphère et même la moyenne de l'humidité du sol et l'intensité de la lumière et des quantités de gaz de la dernière période de 24 heures.

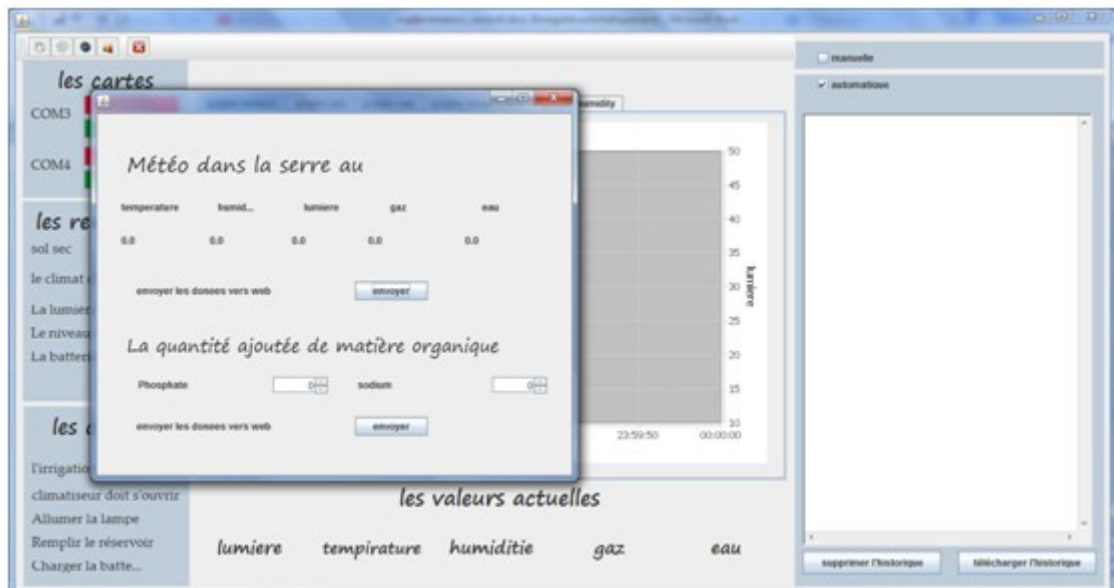


Figure 4.9: envoyer les données vers le web

Troisièmement, l'utilisateur peut visualiser le journal de ses opérations antérieures

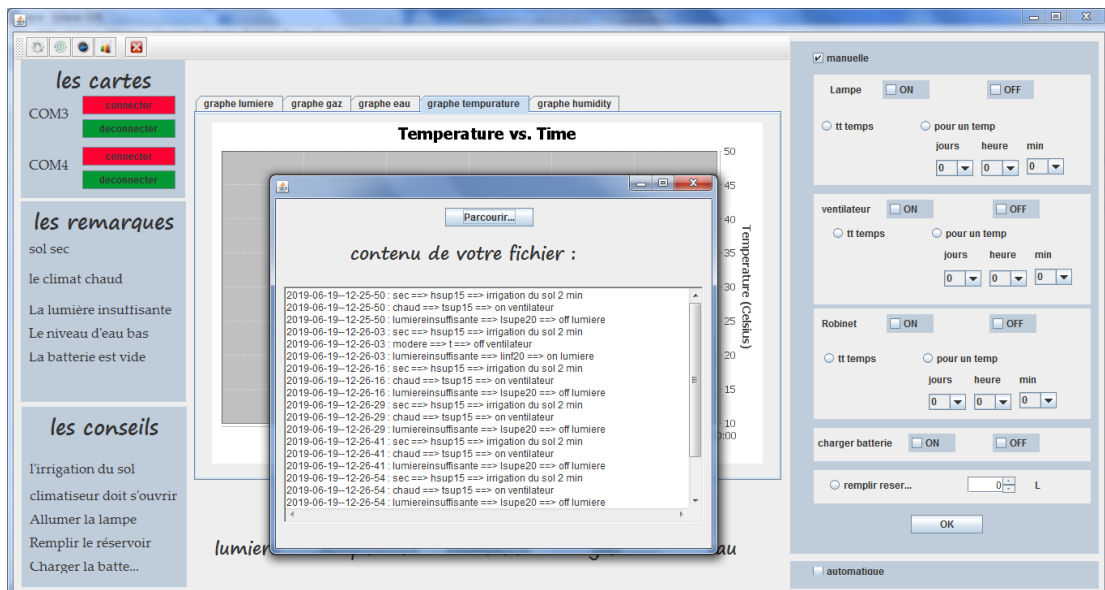


Figure 4.10: affichage du journal

Quatrièmement, l'utilisateur peut visualiser des statistiques pour voir si le sol est sec beaucoup plus ou non sec, climat chaud ou modère....., dans les périodes précédentes.

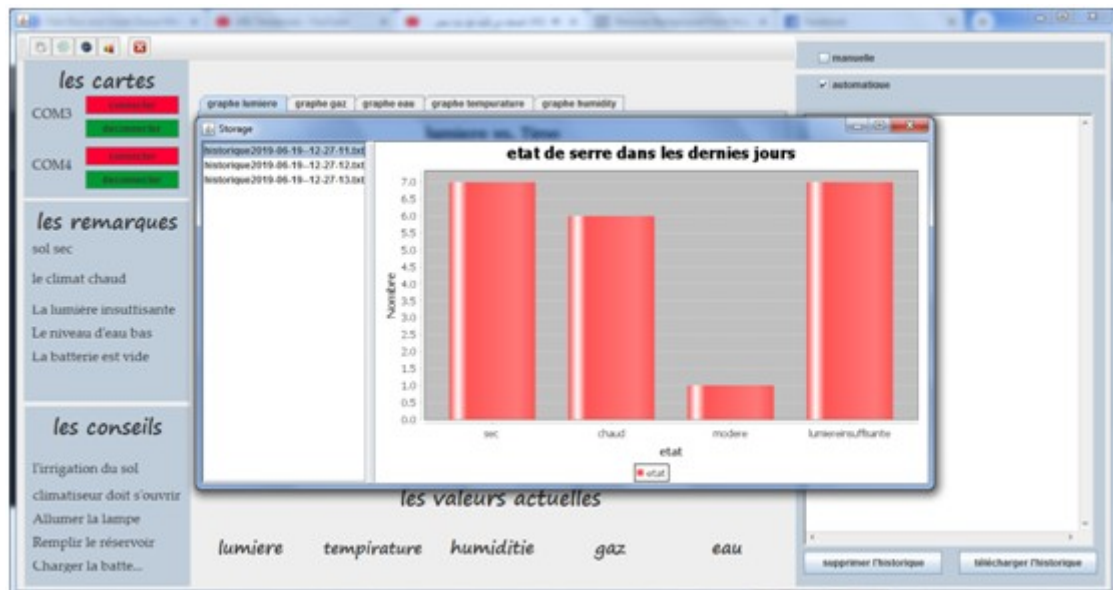


Figure 4.11: statistiques

## 5. Site Web

Dans cette section nous présentons les outils et environnements logiciels utilisés pour développer notre site web.

### 5.1. Langages et environnements de programmation et bibliothèques

#### PHP

PHP, préprocesseur hypertexte est l'un des langages de script côté serveur les plus puissants créés pour le développement Web. La version 7.2 est la dernière version de PHP et elle est maintenant livrée officiellement avec de nouvelles caractéristiques, fonctions et divers changements de petite essence. PHP 7.2 a maintenant de nouveaux repères de type, élargissement de type et diverses autres mises à jour

#### SQL

Le langage SQL (Structured Query Language) est un langage informatique utilisé pour exploiter des bases de données. Il permet de façon générale la définition, la manipulation et le contrôle de sécurité de données.

Dans la pratique, le langage SQL est utilisé pour créer des tables, ajouter des enregistrements sous forme de lignes, interroger une base de données, la mettre à jour, ou encore gérer les droits d'utilisateurs de cette base de données. Il est bien supporté par la très grande majorité des systèmes

de gestion de base de données (SGBD). Créé au début des années 1970 par Donald D. Chamberlin et Raymond F. Boyce, tous deux chez IBM, le langage SQL est aujourd'hui reconnu comme une norme internationale.

De nombreuses bases de données s'appuient sur le langage SQL. C'est le cas de MySQL qui fait partie de la suite de logiciels libres LAMP, mais aussi des serveurs de base de données Oracle, D2B, Microsoft SQL Server, etc.

## **HTML**

L'HyperText Markup Language, généralement abrégé HTML, est le langage de balisage conçu pour représenter les pages web. C'est un langage permettant d'écrire de l'hypertexte, d'où son nom. HTML permet également de structurer sémantiquement et logiquement et de mettre en forme le contenu des pages, d'inclure des ressources multimédias dont des images, des formulaires de saisie et des programmes informatiques. Il permet de créer des documents interopérables avec des équipements très variés de manière conforme aux exigences de l'accessibilité du web. Il est souvent utilisé conjointement avec le langage de programmation JavaScript et des feuilles de style en cascade (CSS). HTML est inspiré du Standard Generalized Markup Language (SGML). Il s'agit d'un format ouvert.

## **CSS**

Les feuilles de style en cascade<sup>1</sup>, généralement appelées CSS de l'anglais Cascading Style Sheets, forment un langage informatique qui décrit la présentation des documents HTML et XML. Les standards définissant CSS sont publiés par le World Wide Web Consortium (W3C). Introduit au milieu des années 1990, CSS devient couramment utilisé dans la conception de sites web et bien pris en charge par les navigateurs web dans les années 2000.

## **Javascript**

JavaScript est un langage de programmation de scripts principalement employé dans les pages web interactives mais aussi pour les serveurs<sup>2</sup> avec l'utilisation (par exemple) de Node.js<sup>3</sup>.

Avec les technologies HTML et CSS, JavaScript est parfois considéré comme l'une des technologies cœur du World Wide Web<sup>5</sup>. Le langage JavaScript permet des pages web interactives, et à ce titre est une partie essentielle des applications web. Une grande majorité des sites web l'utilisent<sup>6</sup>, et la majorité des navigateurs web disposent d'un moteur JavaScript

dédié pour l'interpréter, indépendamment des considérations de sécurité qui peuvent se poser le cas échéant.

### **000WebHost**

000webhost.com propose un service d'hébergement gratuit et sans publicité. C'est probablement l'unique service d'hébergement sur le web s'auto finançant par un système de donations d'utilisateurs.

Pas de grande révolution pour ce qui concerne les caractéristiques et 000webhost.com fournit un service classique :

- Activation du compte instantanée
- Temps de réponse rapide
- Disponibilité 24h/24h
- Support aux utilisateurs fanatique
- Base de données MySQL
- PHP

### **EasyPhp**

EasyPHP est une plate-forme de développement Web permettant de faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP. Ce n'est pas en soi un logiciel mais un environnement comprenant deux serveurs (un serveur web Apache et un serveur de bases de données MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi qu'une administration SQL phpMyAdmin.

### **Macromedia dreamweaver**

Logiciel créé par Macromedia (et géré maintenant par Adobe) permettant la conception de sites web. Dreamweaver fonctionne en mode WYSIWYG ou en mode code et dispose d'un Client FTP permettant le transfert des pages créées sur le serveur hébergeant le site web.

## **5.2. Pages WEB**

Nous avons choisi le mot **chloromat** comme le nom de notre projet qu'il s'agit d'une abréviation de Smart chlorophyll.

Notre site Web fournit un service de prévision de la qualité des récoltes ainsi que la visualisation de statistiques pour un ensemble de serres associées.

### 5.2.1. Page d'Accueil

La page d'accueil de notre site est illustrée par la figure 4.12



Figure 4.12: page d'Accueil

### 5.2.2. Prédiction

La prédiction est établit à la base de réseau bayésien. La figure 4.13 illustre la page de cette prédiction.



Figure 4.13: prédiction de qualité

### 5.2.3. Statistiques

La figure 4.14 illustre la page réservée pour visualiser les statistiques.



Figure 4.14: statistiques

## 6. Maquette de la serre

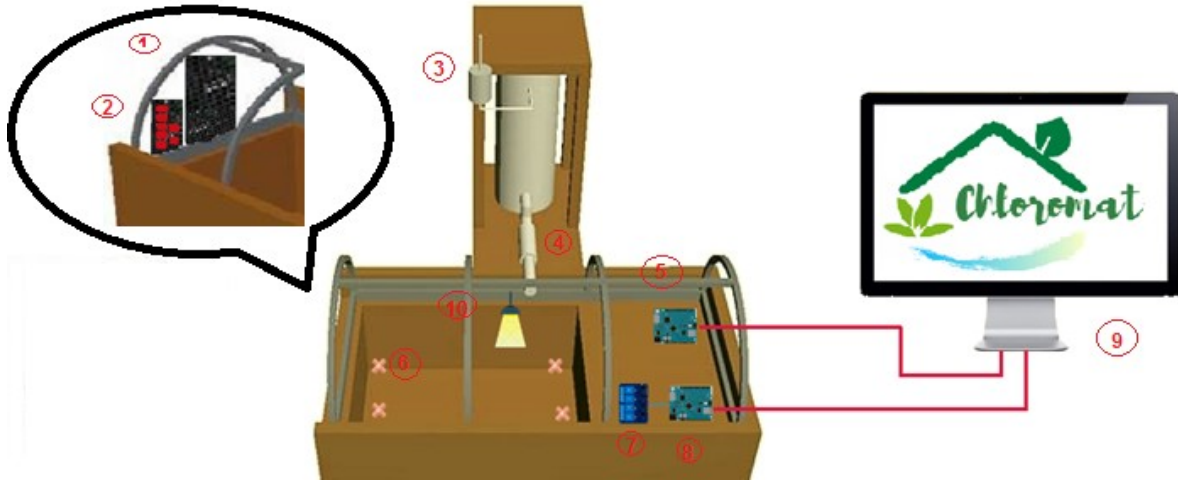
Dans la figure suivante, nous décrivons la manière dont nous mettons les composants physiques dans la serre.

Les cartes étaient connectées à l'ordinateur via deux câbles USB, bien que notre intention première était d'utiliser le module Wifi ou le module GSM afin que la connexion soit distante, Comme nous ne pouvons pas fournir ces modules, nous devons utiliser les câbles USB.

1. Ventilateur.
2. Les capteurs.
3. Pompe.
4. Vanne.
5. Carte Arduino chargée de recevoir les données des capteurs.
6. Le fond des capteurs de terre.
7. Relay.
8. Carte Arduino responsable des actions.

9. Ordinateur+ application.

10. Lampe.



**Figure 4.12:** maquette de la serre utilisée

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les détails d'implémentation de notre système. Nous avons commencé par donner une vision globale du système afin que le lecteur puisse en créer une première image sur notre système. Ensuite, nous avons cité les outils, environnement et langages de programmation. La partie physique de perception et actionnement de notre système s'est présentée également en détail et avec son schéma de raccordement incluant tous les composants.



## Conclusion et perspectives

Le projet est investi dans un cadre de l'agriculture intelligente en générale et de serres intelligentes en particulier. notre objectif général était de développer une plateforme pour le contrôle des serres intelligentes avec la possibilité de supervision et de perception des situations environnementales du sol et des situations météorologiques dans un ensemble de serres. Avec sa capacité d'actionnement, cette plateforme peut fournir d'une manière intelligente (automatique et semi automatique) des services adéquats à savoir la gestion d'irrigation et température, d'éclairage, de ventilation et de réservoir. le problème que nous avons abordé dans le projet était la reconnaissance automatique des situations de la serre au moyen des données fortes, incertaines et incomplètes fournies par les capteurs déployés dans la serre, le problème majeur étant précisément la difficulté d'intégrer de nombreuses données de capteurs simples dans la conclusion des situations prévalant dans la serre. Un autre problème que nous avons traité dans le cadre de ce travail est celui qui concerne la décision automatique et l'exploitation des données issues des capteurs pour faire de prédiction.

Pour bien comprendre ce problème, nous avons suggéré d'utiliser le réseau Neurones comme base de la fusion et d'abstraction des données des capteurs. Afin de donner au système la possibilité de contrôler automatiquement la serre, nous avons utilisé l'arbre de décision qui prend en entrée les situations ainsi reconnues issues du réseau de neurone.

Nous avons apprécié de travailler sur ce sujet, car ce projet est une idée extraordinaire qui nous aide dans nos vies quotidiennes. Ce système ainsi développé constituera un pas pouvant contribuer à améliorer l'économie du pays grâce à une série de compensations agricoles qui évitent la dépendance, la sécurité alimentaire, etc. .

En ce qui concerne la partie physique de capture et de perception de notre projet, nous avons créé une maquette d'une serre où le système peut être testé.

### **Perspectives**

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

- Apprentissage automatique et utilisation de l'historique.
- Utilisation de la carte raspberry pour remplacer l'ordinateur de contrôle et le module wifi pour relier l'interface de capture avec cette carte.

# Webographie

- [1] [https://www.iso.org/fr/isofocus\\_122.html](https://www.iso.org/fr/isofocus_122.html)
- [2] <https://www.quora.com/What-is-smart-agriculture>
- [3] KADDOURI Hamza, ELAYDI Younes, MAGZARNI Aïmane, Une Serre Intelligente, conférence,2013
- [4] <https://www.drone-malin.com/pages/nos-prestations/pour-les-professionnels/de-l-agriculture/>
- [5] Hidjeb Ali ,implémentation d'un protocole d'élection d'un service d'authentification dans l'internet des objets, 2017
- [6] agriculture précision pour quoi pour qui commencer,2016
- [7] [http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/vet/disease\\_pre.html](http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/vet/disease_pre.html)
- [8] [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)
- [9] <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/.../Regions/.../TrucsSerre2016MichelSenecal.pdf>
- [10] ZERAIB-ALA-EDDINE, Une approche IoT pour la mise en œuvre des serres intelligentes connectées. Mémoire de fin d'étude Master, université de biskra, 2018
- [11] Jayaraman, Prem, et al. "Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt." *Sensors* 16.11 (2016): 1884.
- [12] Philippe Zwaenepoel & Jean-Michel Le Bars (1977), *L'agriculture de précision* ; Ingénieries EAT n° 12, décembre 1997, p. 67 à 79
- [13] <https://www.postscapes.com/smart-greenhouses/>
- [14] iConAwa – An intelligent context-aware system Ozgun Yılmaz , Rıza Cenk Erdur
- [15] Han, M., & Zhang, H. (2013). Business intelligence architecture based on internet of things. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 50(1), 90-95.
- [16] P.-J. Benghozi, S. Bureau, F. Massit-Folléa, C. Waroquiers, and S. Davidson, *L'internet des objets: quels enjeux pour l'Europe*, Éd. de la Maison des sciences de l'homme éd., 2009, 66 p
- [17] <http://Annales.com/ri/2010/ri-novembre-2010/Weill.pdf>
- [18] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet\\_des\\_objets](https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet_des_objets)
- [19] Christian, Fnac, blog, <http://www.fnac.com/Avec-les-objets-connectes-le-changement-cest-maintenant-MAJ-Mars-2017/cp20440/w-4>, page consultée le 04/04/2018

[20] Dr. Ovidiu Vermesan SINTEF, Norway, Dr. Peter FriessEU, Belgium, “Internet of Things– From Research and Innovation to Market Deployment”, river publishers’ series in communications, 2014.

[21] Lemoine, Frédéric. *Internet des Objets centré service autocontrôlé*. Doctoral dissertation. 2019.

[22] Gupta, B. B., and Megha Quamara. "An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols." *Concurrency and Computation: Practice and Experience* (2018): e4946.

