

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique
Spécialité : Automatique

Présenté par: M. SOUIER Bidad et M. REHAIL Aymen

Thème

**IoT au Service de l'Arrosage
Automatique Intelligent**

Soutenu publiquement, le 19 / 09 /2024 , devant le jury composé de :

Dr. BRAHAMI Mustapha	MCA	ESSA. Tlemcen	Président
Dr. MEGNAFI Hicham	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Dr. CHELLAL Arezki-Abderrahim	Docteur	CeDRI/IPB - Bragança – Portugal	Co- Directeur de mémoire
Dr. MOKHTARI Reda	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Dr. ARICHI Faycel	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2
Dr. BENNEKROUF Mohammed	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 3
LASSOUANI Brahim		Partenaire socio- économique	Invité 1

Année universitaire : 2023 /2024



IoT au Service de l'Arrosage Automatique Intelligent

SOUIER Bidjad

REHAIL Aymen

École Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen
Ingénieur en Automatique, Spécialité : Automatique

2023 - 2024

Dédicace

À nos chers parents,

Votre soutien inconditionnel, vos conseils avisés et votre amour sans faille ont été nos piliers tout au long de ce parcours académique. Votre confiance en nous nous a donné la force d'aller de l'avant et de surmonter les défis. Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait et pour avoir rendu possible la réalisation de cette thèse.

À nos frères bien-aimés,

À travers les rires partagés, les encouragements constants et les moments précieux que nous avons vécus ensemble, vous avez été une source inépuisable de soutien. Votre présence et vos encouragements ont été des inspirations constantes. Merci pour votre soutien indéfectible et pour avoir été à nos côtés dans ce chemin vers l'accomplissement de nos objectifs académiques.

À nos amis,

Votre amitié sincère, vos mots d'encouragement et votre soutien inébranlable ont illuminé chaque étape de ce voyage académique. À travers les discussions enrichissantes et les moments de détente partagés, vous avez été une source de motivation et de réconfort. Merci pour votre présence constante et pour avoir enrichi cette expérience avec vos idées et votre enthousiasme.

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier infiniment est notre encadreur, **M. MEGNAFI Hicham**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen, pour tous ses efforts, son aide constante, et la confiance qu'il nous accorde au quotidien. Sans lui, ce travail n'aurait pas pu être mené à bien. Il a toujours été présent pour nous prodiguer de bons conseils. Votre bonne humeur est une source de motivation indéniable, et travailler avec vous a été un réel plaisir.

Nos vifs remerciements vont également à **M. BRAHAMI Mustapha**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen, pour avoir bien voulu accepter de présider le jury. Nous remercions également les membres du jury, **M. ARRICHI Fayssal**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen, **M. Mokhatari Reda**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen et **M. BENNEKROUF Mohammed**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude, pour avoir accepté d'examiner notre travail, et pour l'avoir enrichi de leurs propositions.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à notre co-encadrant **M. CHELLAL Arezki Abderrahim**, Chercheur au CeDRI (Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics) et doctorant à l'UTAD, pour les efforts considérables qu'il a fournis et pour sa disponibilité constante à nous prodiguer des conseils avisés. Son soutien et son expertise ont été inestimables tout au long de ce projet.

Nous tenons également à remercier **M. ADJIM Ramzeeddine**, ingénieur en génie mécanique pour tous les conseils prodigués et pour toutes les propositions mécaniques apportées. Sans son expertise, nous aurions été confrontés à de nombreux problèmes. Son soutien technique a été essentiel pour la réussite de notre projet.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous nos amis et camarades de la promotion Automatique : 2021-2024, qui nous ont apporté leur soutien tout au long de notre cursus.

Résumé

L'objectif de ce travail est de concevoir un système d'arrosage automatique et autonome qui intègre différentes fonctionnalités axées sur l'agriculture intelligente, telles que la surveillance, la détection par les captures d'humidité du sol et de température solaire. Il est nécessaire de réaliser cette tâche en utilisant un microcontrôleur (Arduino Uno wifi) qui permettra d'envoyer toutes les informations provenant des différents capteurs, relatives à l'environnement de notre plante, vers la plateforme IoT ThingSpeak.

Mots clés : système d'arrosage, captures, microcontrôleur, IoT.

Abstract

The aim of this work is to design an automatic and autonomous watering system that integrates various functionalities based on intelligent agriculture, such as monitoring, detection by soil moisture and solar temperature sensors. This task will be carried out using a microcontroller (Arduino Uno wifi) that will send all the information from the various sensors relating to our plant's environment to the ThingSpeak IoT platform.

Keywords: watering system, captures, microcontroller , IoT.

الملخص

المهدف من هذا العمل هو تصميم نظام ري أوتوماتيكي ومستقل يدمج وظائف مختلفة تعتمد على الزراعة الذكية، مثل المراقبة والحشون عن طريق أجهزة استشعار رطوبة التربة ودرجة الحرارة الشمسية. سيتم تنفيذ هذه المصمة باستخدام متحكم دقيق (Arduino Uno wifi) الذي سيرسل جميع المعلومات من مختلف أجهزة الاستشعار المتعلقة ببيئة النبات إلى منصة ThingSpeak لإنترنت الأشياء.

الكلمات المفتاحية: نظام الري، متحكم دقيق، الحساسات، إنترنت الأشياء.

Table des matières

1	État De L'art	3
1.1	Introduction	3
1.2	Définition	4
1.2.1	Internet	4
1.2.2	Objet	4
1.3	Historique sur l'IoT	4
1.4	Caractéristiques d'un système d'IoT	4
1.5	Architecture d'un système IoT	5
1.5.1	Couche de Perception	6
1.5.2	Couche de Transmission	6
1.5.3	Couche Application	6
1.6	Les technologies du réseau	7
1.6.1	Courte portée	7
1.6.2	Moyenne portée	8
1.6.3	Longue portée	9
1.6.4	Réseaux radio bas-débit	9
1.7	Protocoles de Communication Utilisés dans IoT	10
1.7.1	MQTT	10
1.7.2	HTTP/HTTPS	11
1.7.3	CoAP	11
1.7.4	XMPP	11
1.7.5	AMQP	11
1.8	Plateformes IoT	11
1.8.1	ThingSpeak	12
1.8.2	Ubidots	13
1.8.3	Blynk	13
1.9	Domaines d'application de l'IoT	14
1.9.1	Société intelligente	14
1.9.2	Transport intelligent	15
1.9.3	Environnement intelligent	16

1.9.4	La conservation des aliments	16
1.9.5	Irrigation intelligente	16
1.9.6	La médecine intelligente	16
1.10	IoT en Agriculture	17
1.10.1	Importance de l' IOT en Agriculture	18
1.10.2	Applications IoT agricoles intelligent	18
1.11	Analyse des systèmes d'irrigation avec IoT préexistants	19
1.12	Conclusion	22
2	Conception du système	23
2.1	Introduction	23
2.2	Description du système	23
2.2.1	Description du sous-système	24
2.2.2	Carte PCB	26
2.2.3	Machine de découpe laser	33
2.3	Principe de fonctionnement	34
2.3.1	Les modes de fonctionnement du système	36
2.4	Conclusion	39
3	Réalisation et Application de l'IoT sur le système	40
3.1	Introduction	40
3.2	Réalisation prototype	40
3.3	Logiciels utilisés	41
3.3.1	Arduino IDE	41
3.3.2	RDWorksV8	42
3.3.3	SOLIDWORKS	42
3.4	Utilisation de l'internet des objets	43
3.5	Conclusion	46
	Conclusion générale	46

Table des figures

1.1	Internet des objets [1].	3
1.2	Architecture en couches de l'IoT [6].	7
1.3	Interface de la plateforme ThingSpeak [20]	12
1.4	Domaines d'application de l'IoT [1].	14
1.5	L'IoT et Smart city [24].	15
1.6	L'IoT dans le domaine médical [7].	17
1.7	L'Iot dans le domaine d'agriculture Intelligente [25]	19
1.8	Système d'arrossage intelligent propose par Harishankar et al [29].	20
1.9	Système propose par KHALDI.O[24].	21
1.10	Système proposé par Mohamed.I et Mohamed.A [30].	22
2.1	Le sous-système vu de face	25
2.2	Le sous-système vu dessus	25
2.3	1er Étage	26
2.4	Carte PCB	27
2.5	Arduino Uno WIFI	28
2.6	Sheild relais	29
2.7	Capteur de température DHT11	30
2.8	Capteur d'humidité de sol	31
2.9	Afficheur LCD	32
2.10	Clavier numérique	33
2.11	Machine de découpe laser	34
2.12	schéma bloc du système	35
2.13	Mode manuel	36
2.14	Mode automatique	37
2.15	Mode affichage	38
3.1	Prototype (a) Vu de face (b) vu dessus (c) Vu de gauche	41
3.2	Ma chaîne privée a été créée sur thingSpeak	43
3.3	Résultats en ligne du capteur de Température	44

<i>TABLE DES FIGURES</i>	11
3.4 Résultats en ligne du capteur humidité du sol	45
3.5 Interface d'affichage de nos données en ligne	45

Listes des abréviations

IoT	Internet des objets
Wi-Fi	Wireless Fidelity
BLE	Bluetooth Low Energy
4G	4ème génération
5G	5ème génération
GSM	Global System for Mobile Communications
LTE	Long-Term Evolution
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LoraWAN	Long Range Wide Area Network
MIT	Massachusetts Institute of Technology
FAI	fournisseurs d'accès Internet
UHF	Ultra Hautes Fréquences
NFC	Communication en Champ Proche
CoAP	Constrained Application Protocol
IETF	Task Force Internet Engineering
REST	Transfert de État Représentatif
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
XML	EXtensible Markup Language
HTTP/HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure
M2M	Machine-to-Machine
LCD	Liquid Crystal Display
PCB	Printed Circuit Board
TLS	Transport Layer Security
IDE	Integrated Development Environment
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer

Introduction général

L'agriculture était parmi les principales occupations de notre pays depuis des lustres. Mais maintenant, en raison de la migration des personnes des zones rurales vers les zones urbaines, il y a des obstacles à l'agriculture. Plusieurs solutions peuvent être utilisées pour surmonter ce problème, notamment, opter pour des techniques d'agriculture intelligente utilisant l'IoT afin de minimiser la main d'œuvre requise.

En incorporant des technologies avancées comme des capteurs d'humidité du sol, des prévisions météorologiques et des commandes à distance, l'IoT a révolutionné l'arrosage automatique. Ces dispositifs, installés au sol, surveillent en direct le niveau d'humidité et communiquent des informations au système central. Les informations sont analysées par le système et l'arrosage est ajusté afin d'éviter le sur-arrosage ou le manque d'eau. Les prévisions météorologiques offrent la possibilité de prévoir les besoins en eau en fonction des conditions météorologiques futures. Des applications mobiles permettent aux utilisateurs de gérer et de programmer le système, ce qui permet une gestion précise et économe en eau. L'IoT permet de rendre l'arrosage automatique plus intelligent, d'améliorer la santé des plantes et d'optimiser la consommation d'eau et les sels minéraux, ce qui contribue à une gestion durable des ressources en eau. Ce mémoire sera composé de trois chapitres : Un premier chapitre portant sur l'état de l'art, un deuxième sur le matériel et le troisième pour le montage et l'utilisation de l'IoT.

Chapitre 1

État De L'art

1.1 Introduction

L'Internet des objets (IoT) est un secteur en pleine expansion qui regroupe différentes applications. Il étudie comment les objets peuvent utiliser la connectivité, les capteurs et les données pour recueillir et échanger des informations en temps réel. L'IoT présente de multiples bénéfices en termes d'efficacité et de possibilités commerciales, mais il pose également des défis en termes de sécurité, de confidentialité et d'éthique. Ce chapitre vise à approfondir notre compréhension de l'influence potentielle de l'IoT sur la technologie et la société.



FIGURE 1.1 – Internet des objets [1].

1.2 Définition

1.2.1 Internet

Internet est un réseau mondial de réseaux informatiques inter-connectés, connu sous le nom inter connected networks. Cet ensemble de protocoles de communication standardisés est un réseau décentralisé qui relie des millions d'ordinateurs, de serveurs, de dispositifs et d'autres réseaux à travers le monde. Internet offre la possibilité de transmettre et d'échanger des données sous diverses formes : texte, images, vidéos, fichiers, courriers, sites web, etc. Le modèle client-serveur est utilisé dans Internet, où les utilisateurs peuvent accéder aux ressources disponibles sur des serveurs à partir de leurs appareils clients, comme des ordinateurs, des smart phones, des tablettes, etc. Il est accessible par des FAI qui permettent aux utilisateurs de se connecter à Internet.

1.2.2 Objet

Le terme "objet connecté" désigne un dispositif capable de se connecter à Internet et de communiquer avec d'autres dispositifs grâce à une connexion réseau. Il peut prendre diverses formes et est utilisé dans de nombreux secteurs pour améliorer l'efficacité et la commodité. Cependant, l'utilisation des objets connectés soulève également des préoccupations en matière de sécurité et de confidentialité des données.

1.3 Historique sur l'IoT

Le terme "Iot" a été créé en 1999 par le chercheur britannique Kevin Ashton au centre MIT. Les étiquettes "Radio Frequency Identification" ont été mises en avant par son équipe afin de permettre une connectivité ouverte de tous les objets. Des domaines tels que l'industrie aéronautique prennent rapidement conscience du concept d'IoT et contribuent à la recherche grâce à l'émergence du nouveau protocole IPv6. En 2007, ce concept a pris de l'ampleur et est devenu répandu partout [1].

1.4 Caractéristiques d'un système d'IoT

Les caractéristiques fondamentales de l'IoT sont les suivantes [2] :

- **Interconnectivité** Il peut s'agir de tout ce qui est interconnecté avec l'infrastructure mondiale de l'information et de la communication d'internet des objets et blockchain,
- **Services liés aux objets** L'IoT est capable de fournir des services liés à des choses telles que la protection de la vie privée et la cohérence sémantique entre les objets physiques et les objets virtuels qui leur sont associés. Afin de fournir des choses liées aux services dans les limites des choses,
- **Hétérogénéité** Les appareils de l'IoT sont hétérogènes car ils sont basés sur des plates-formes matérielles et des réseaux différents,
- **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 [3],
- **Gestion des Données des Périphériques Connectés** 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 12 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 [4].
- **Sécurité** Comme on tire des avantages de l'IoT, on ne doit pas oublier la sécurité. En tant que créateurs et utilisateurs de l'IoT, on doit concevoir des mécanismes garantissant la sécurité. Cela inclut la protection de nos données personnelles ainsi que la sécurité de notre bien-être physique. Sécuriser les points de terminaison, les réseaux et les données qui y circulent implique la création d'un paradigme de sécurité en constante évolution. [4],
- **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 [5].

1.5 Architecture d'un système IoT

L'architecture d'un système IoT se divise en trois couches principales :

1.5.1 Couche de Perception

La couche de perception (également connue sous les noms de "couche de périphérique", "couche sensorielle" ou "couche de reconnaissance") est la couche la plus basse de l'architecture IoT, qui est chargée de recueillir les informations du monde réel et de les représenter en format visuel. Elle englobe les technologies employées pour détecter (recueillir des informations de l'environnement), identifier (identifier des objets), activer (réaliser des données détectées) et communiquer (établir une connexion entre différents appareils intelligents) avec un minimum d'interaction humaine. Cette couche peut être subdivisée en deux sous-couches en fonction des fonctionnalités qu'elle offre : les nœuds de perception (ou nœuds sensoriels) et le réseau de perception (comme le réseau des capteurs) [6].

1.5.2 Couche de Transmission

Les données collectées par les nœuds de perception sont transmises à l'unité de traitement de l'information (ou unités de prise de décision de haut niveau) par la couche de transmission (également connue sous le nom de "couche de transport" ou "couche réseau ") à travers un réseau ou une interconnexion de réseaux. Grâce à cette couche, il est possible d'intégrer divers réseaux, technologies et protocoles variés [6].

On peut subdiviser cette couche en trois sous-couches distinctes : le réseau d'accès, le réseau central et le réseau local et étendu.

1.5.3 Couche Application

L'utilisateur final peut observer la couche la plus élevée de l'architecture IoT. L'objectif de la couche application est de gérer et de proposer des applications globales en se basant sur les données recueillies par la couche de sens. Ces services personnalisés sur le réseau sont accessibles aux utilisateurs finaux grâce à l'utilisation de différents appareils mobiles et équipements terminaux. On peut subdiviser cette couche en deux sous-couches distinctes : la couche de support d'application et les applications Iot [7].

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

FIGURE 1.2 – Architecture en couches de l'IoT [6].

1.6 Les technologies du réseau

Les technologies du réseau jouent un rôle crucial dans l'IoT, car elles permettent la connectivité et la communication entre les objets connectés. Voici quelques-unes des principales technologies de réseau utilisées dans l'IoT :

1.6.1 Courte portée

La communication sans fil entre des dispositifs situés à proximité les uns des autres est assurée par des technologies de courte portée, généralement dans un rayon de quelques dizaines de mètres. Elles conviennent parfaitement aux applications de l'IoT qui requièrent une communication à proximité et une consommation énergétique réduite. Quelques exemples de technologies de courte portée sont :

Bluetooth

Cette technologie, utilisant des ondes radio UHF, offre la possibilité de connecter plusieurs périphériques et d'échanger des données et des fichiers en bidirectionnel sur une distance très courte [8].

Zigbee

C'est un système de communication sans fil à faible consommation d'énergie, développé pour faciliter la communication entre divers appareils intelligents (objets connectés) aux distances réduites.

Le Z-Wave

Le Z-Wave est un protocole de communication sans fil, principalement utilisé dans le domaine de la domotique. Les dispositifs de santé connectés, les capteurs de domotique, les accessoires pour les appareils mobiles et d'autres applications similaires sont fréquemment employés [9].

NFC

La technologie NFC est une méthode de communication sans fil à courte distance qui permet de transmettre des informations entre deux appareils compatibles NFC lorsqu'ils sont proches, habituellement à quelques centimètres [10].

1.6.2 Moyenne portée

Wi-Fi

Le Wi-Fi est une infrastructure de communication sans fil qui facilite la diffusion de données sur des distances de courte à moyenne portée. La connectivité sans fil des dispositifs électroniques, comme les ordinateurs, les smartphones, les tablettes, les objets connectés, les routeurs, les points d'accès, etc., est largement exploitée grâce au Wi-Fi. Il sert à accéder à Internet sans fil, à partager des fichiers, à diffuser des médias en continu, à la domotique, et bien d'autres usages [11].

BLE

La longue portée du Bluetooth Même si le Bluetooth est généralement perçu comme une technologie de courte portée, il existe une version appelée (BLE) qui offre une portée plus élevée, allant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres, voire plus dans certaines conditions. Les dispositifs IoT, comme les capteurs, les trackers d'objets, les dispositifs médicaux, etc., utilisent fréquemment le BLE, car ils requièrent une consommation d'énergie réduite et une portée plus longue par rapport au Bluetooth traditionnel [12].

1.6.3 Longue portée

Les technologies de longue portée sont des technologies sans fil qui permettent de transmettre des données sur des distances étendues, parfois de plusieurs kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres. Voici quelques exemples de technologies de longue distance employées dans le cadre de l'IoT.

2G

La 2G, également appelée réseau GSM, était la première génération de réseaux cellulaires mobiles qui permettait la communication vocale et textuelle. Elle proposait des taux de transfert de données plutôt faibles[13].

3G

La 3G est une version améliorée de la 2G, permettant des transferts de données plus rapides et la navigation en ligne depuis les appareils mobiles. Grâce à elle, des applications plus avancées ont pu être développées, telles que la diffusion de vidéos en streaming et les services basés sur la localisation.

4G

La 4G, aussi appelée réseau LTE, propose des vitesses de transmission de données bien supérieures à celles de la 3G, offrant ainsi la possibilité d'utiliser des applications à haut débit, de diffuser des vidéos de haute qualité et d'autres services de données avancés.

5G

La 5G représente la nouvelle ère des réseaux cellulaires mobiles, offrant des vitesses de transmission de données ultra-rapides, une latence réduite et une capacité réseau renforcée. Les véhicules autonomes, la télémédecine, la réalité augmentée et virtuelle, et bien d'autres applications et cas d'utilisation de l'IoT sont ouverts grâce à la 5G.

1.6.4 Réseaux radio bas-débit

Les réseaux radio bas-débit, ou LPWAN, sont des réseaux sans fil conçus pour les applications de l'IoT qui requièrent une consommation d'énergie faible, une portée de communication élevée et une transmission de données à faible débit. Ces réseaux sont spécialement conçus pour les appareils IoT

qui envoient régulièrement de petites quantités de données, comme les capteurs de température, d'humidité, de pression, de niveau, et d'autres types de capteurs. Différentes technologies de réseaux radio bas-débit sont employées dans le domaine de l'IoT :

LoraWAN

Il s'agit d'une technique de réseau radio à faible débit. Elle offre la possibilité de communiquer sans fil à longue distance, afin de connecter des appareils IoT à travers de vastes régions géographiques [14].

SigFox

Le réseau Sigfox repose sur une structure en étoile, où les appareils IoT envoient leurs informations à des stations de base Sigfox, qui les transfèrent ensuite vers un cloud central pour son traitement et sa gestion. Pour transmettre leurs données sur les fréquences radio sous licence, les dispositifs IoT utilisent la modulation d'amplitude, ce qui assure une communication fiable et sécurisée [15].

L'une des principales caractéristiques de Sigfox réside dans son débit de données limité à 100 bits par seconde, ce qui est adéquat pour des applications IoT basiques comme le suivi de localisation, la gestion de l'énergie, la gestion des actifs, et d'autres situations d'utilisation nécessitant une transmission sporadique de données [15].

1.7 Protocoles de Communication Utilisés dans IoT

De nombreux protocoles de communication sont employés dans IoT afin de garantir la connexion entre les appareils et les serveurs ou les plateformes cloud. Il est possible de trouver :

1.7.1 MQTT

Est un protocole de communication léger, conçu pour le transfert de messages entre appareils à faible bande passante ou à ressources limitées. Il est couramment utilisé dans les applications IoT pour permettre la communication entre capteurs, appareils et serveurs via un modèle de publication/abonnement, assurant une transmission de données efficace et fiable, même avec une faible connectivité [16].

1.7.2 HTTP/HTTPS

HTTP/HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) est le protocole standard pour la communication web, avec HTTPS étant la version sécurisée d'HTTP. Il est utilisé pour échanger des requêtes et des réponses entre les dispositifs IoT et les serveurs web. Par exemple, HTTP/HTTPS sert à envoyer des données de capteurs aux serveurs web, accéder à des API RESTful, et récupérer des mises à jour de firmware [16].

1.7.3 CoAP

CoAP est un protocole conçu pour les dispositifs contraints, offrant une alternative plus légère à HTTP. Il est utilisé pour la communication M2M dans des environnements avec des ressources limitées, comme les réseaux de capteurs et les systèmes domotiques [17].

1.7.4 XMPP

Le protocole XMPP est un protocole de communication utilisant le standard XML pour la messagerie instantanée, la présence en ligne et d'autres applications de communication en mouvement. Malgré son utilisation fréquente pour la messagerie instantanée et les applications de chat, le XMPP peut également servir à la communication M2M dans le cadre de l'IoT [18].

1.7.5 AMQP

L'AMQP est un protocole de communication qui assure une communication fiable et efficace entre des applications. Son objectif est de simplifier la communication entre les applications distribuées et il est employé dans différentes applications, telles que l'IoT, les systèmes de messagerie, les applications de finance, ainsi que dans d'autres domaines qui requièrent une communication asynchrone et fiable [19].

1.8 Plateformes IoT

Les plateformes IoT ou services IoT cloud sont des ensembles de logiciels et de matériel conçus pour simplifier le développement, le déploiement, la gestion et la sécurité des appareils IoT. Elles offrent une infrastructure qui facilite la connexion, la collecte, le stockage, l'analyse et la gestion des données provenant des dispositifs IoT, ainsi que l'interaction en temps réel avec

ces dispositifs. Les plateformes IoT rendent les processus complexes indispensables à la création et à la gestion de solutions IoT complètes et évolutives plus simples.

1.8.1 ThingSpeak

ThingSpeak est une plateforme IoT qui permet la collecte, le stockage, la visualisation et l'analyse de données en temps réel provenant de capteurs ou d'appareils connectés. Grâce à ses fonctionnalités, ThingSpeak permet aux utilisateurs de créer des applications IoT en exploitant des outils de traitement comme MATLAB pour effectuer des analyses sur les données collectées et pour visualiser ces données à travers des graphiques, le tout accessible via une interface web [20].

Caractéristiques :

- Visualisation des données en temps réel.
- Analyse et traitement des données avec MATLAB intégré,
- Support de protocoles comme HTTP, MQTT et MQTT TLS,
- Création de notifications et de déclencheurs basés sur les données.

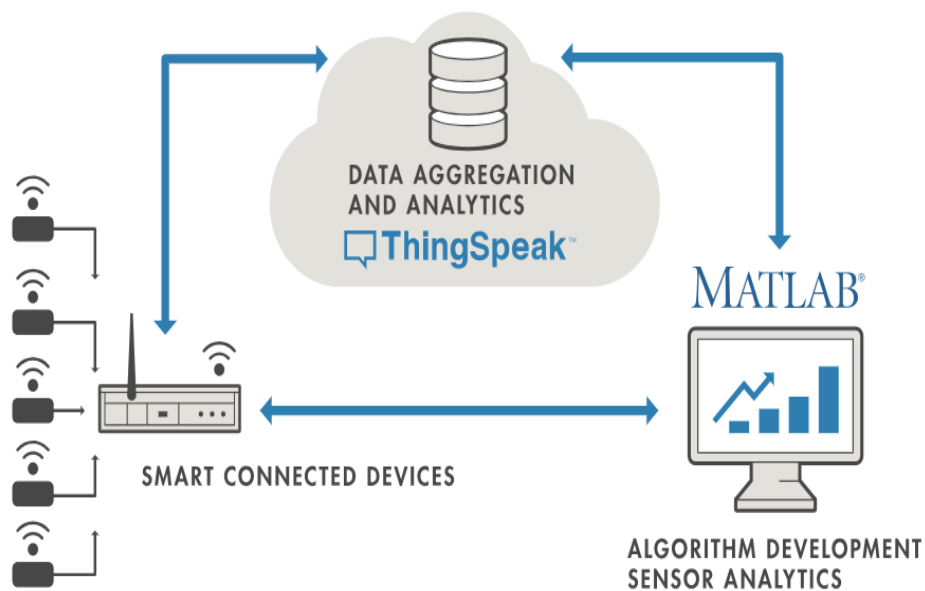


FIGURE 1.3 – Interface de la plateforme ThingSpeak [20]

1.8.2 Ubidots

Ubidots est une plateforme IoT qui permet de collecter, visualiser et analyser des données en temps réel provenant de capteurs connectés. Elle offre des outils simples pour développer des applications IoT sans nécessiter une expertise approfondie en programmation. Grâce à ses tableaux de bord personnalisables, Ubidots permet de surveiller et de contrôler des dispositifs à distance, facilitant la création de solutions IoT dans des domaines variés comme l'industrie, la santé, et l'agriculture [21].

Caractéristiques :

- Visualisation des données avec des tableaux de bord interactifs,
- Création de règles et d'alertes basées sur les données,
- Support de protocoles comme HTTP, MQTT, et TCP/UDP,
- API facile à utiliser pour l'intégration avec d'autres systèmes.

1.8.3 Blynk

Blynk est une plateforme IoT conçue pour permettre le développement d'applications connectées, facilitant la gestion et le contrôle à distance d'appareils embarqués. Elle offre une interface mobile et web intuitive pour surveiller et contrôler des capteurs et actionneurs à partir de n'importe quel endroit. Blynk prend en charge divers microcontrôleurs tels qu'Arduino, ESP8266, et Raspberry Pi, et permet de créer des tableaux de bord personnalisés pour la visualisation des données en temps réel, ainsi que l'automatisation des actions [22].

Caractéristiques :

- Blynk propose une application mobile et web intuitive qui permet de créer des tableaux de bord personnalisés pour visualiser et contrôler des appareils IoT à distance,
- compatible avec divers microcontrôleurs, comme Arduino, ESP8266 et Raspberry Pi, ce qui facilite l'intégration des projets IoT,
- permet de configurer des automatisations basées sur des événements et d'envoyer des notifications en temps réel pour surveiller les appareils.

1.9 Domaines d'application de l'IoT

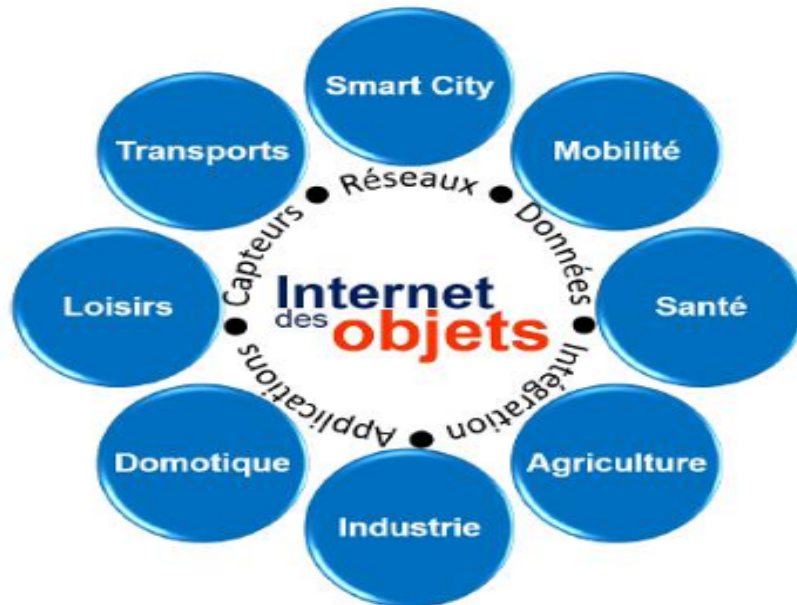


FIGURE 1.4 – Domaines d'application de l'IoT [1].

1.9.1 Société intelligente

- Automatisation de la maison Différents appareils électroniques et systèmes, tels que des lumières, des ventilateurs, des fours à micro-ondes, des réfrigérateurs, des radiateurs et des climatiseurs, sont équipés de capteurs et d'actionneurs afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie, de surveiller et de contrôler la quantité de chauffage, de refroidissement et le niveau de lumière. Les lumières de la pièce détectent la présence d'individus et s'allument lorsque vous entrez, ainsi que la fumée et le carbone sans fil [23].
- Domotique intelligente L'IoT est employé pour automatiser la gestion des appareils et des systèmes domestiques, tels que l'éclairage, le chauffage, la ventilation, la sécurité et la gestion de l'énergie, afin d'optimiser la consommation d'énergie, d'améliorer la sécurité et le confort dans les bâtiments résidentiels et commerciaux. la figure 1.5 montre un exemple de domotique intelligente [1].
- Ville intelligente Les technologies de l'IoT peuvent servir à améliorer l'efficacité des villes à plus grande échelle. L'objectif des villes intelligentes est d'exploiter l'IoT afin d'améliorer la qualité de vie des rési-

dents en améliorant la gestion du trafic, en surveillant la disponibilité des parkings, en évaluant la qualité de l'air et même en envoyant des notifications lorsque les poubelles sont pleines [1].



FIGURE 1.5 – L'IoT et Smart city [24].

1.9.2 Transport intelligent

Aujourd'hui, dans les centres des villes, la gestion du trafic représente un défi majeur. Il est presque impossible de les gérer manuellement maintenant. L'utilisation de l'IoT pour la gestion du trafic peut apporter une solution à ce problème. Ce système de surveillance du trafic intelligent recueille des informations brutes sur le trafic grâce à des capteurs.

Les emplacements de stationnement seront équipés de capteurs de stationnement intelligents afin de déterminer si une place est disponible ou non. Les conducteurs pourront stationner leurs véhicules en utilisant l'application, qui affiche des informations sur les emplacements de stationnement disponibles et les coûts de stationnement en fonction des données collectées et analysées par ces capteurs intelligents. Cela leur permettra d'économiser du temps et du carburant. Par conséquent, on fait des économies d'argent et de ressources naturelles [25].

1.9.3 Environnement intelligent

L'IoT joue un rôle essentiel dans la détection des polluants et des catastrophes naturelles. Afin d'atténuer la pollution de l'air, il est possible de surveiller les émissions provenant des usines et des véhicules. De cette manière, il est essentiel de surveiller les rejets de substances chimiques dangereuses et de déchets dans les rivières et la mer afin d'éviter toute contamination et de garantir la qualité de l'eau potable [25].

1.9.4 La conservation des aliments

Les aliments consommés doivent passer par plusieurs étapes du cycle alimentaire, y compris la culture, la récolte, le transport et la distribution. Des capteurs sont utilisés pour détecter le contexte tel que la température, l'humidité, la lumière, la chaleur, etc., ce qui notifie Automatisation et gestion à distance d'un système agricole intelligent avec précision la variation et alerte les parties concernées pour éviter la détérioration des aliments [25].

1.9.5 Irrigation intelligente

La surveillance et la gestion de l'eau en réseau et à l'aide de capteurs permettent de diminuer le gaspillage d'eau, de préserver la santé des cultures et d'accroître les rendements. Les données et l'analyse des capteurs permettent aux agriculteurs de contrôler l'irrigation afin de satisfaire la demande tout en préservant les ressources naturelles. à la fois pour satisfaire la demande et pour préserver les ressources naturelles. Avec le temps, les approches durables permettent d'accroître les bénéfices tout en préservant l'eau [26].

1.9.6 La médecine intelligente

La médecine connectée ou médecine intelligente est un secteur de IoT, qui cherche à améliorer les soins de santé en utilisant des technologies avancées et des dispositifs connectés. Son utilisation permet de recueillir, d'analyser et de partager des données médicales en temps réel afin de soutenir la prise de décision médicale, d'améliorer les diagnostics, d'optimiser les traitements et de proposer des soins sur mesure. Les capteurs, les dispositifs portables, les applications mobiles, les plateformes de télémédecine et d'autres technologies sont utilisés dans la médecine intelligente afin de surveiller les signes vitaux des patients, de suivre l'efficacité des traitements, de faciliter la communication entre les professionnels de santé et les patients, et de promouvoir la

prévention et le bien-être et un accès plus facile aux soins médicaux. Cependant, elle pose également des problèmes en ce qui concerne la préservation des données de santé, la sécurité et l'éthique, qui exigent une approche éthique et réglementaire adéquate afin d'assurer la confidentialité et la sécurité des patients. En bref, Les soins de santé sont améliorés grâce à l'IoT, qui permet de collecter et d'analyser les données médicales en temps réel afin de prendre des décisions éclairées et de proposer des soins personnalisés aux patients[7]. Cela est représenté dans la figure 1.6.

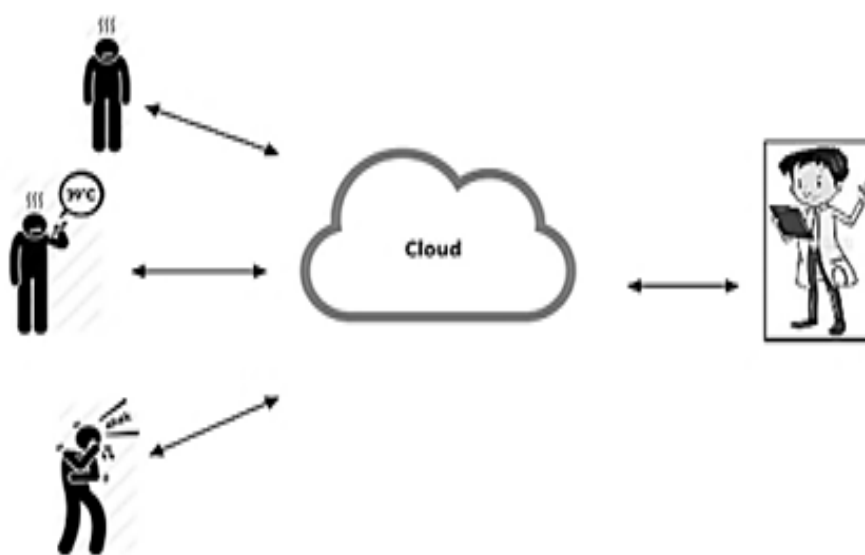


FIGURE 1.6 – L'IoT dans le domaine médical [7].

1.10 IoT en Agriculture

Plusieurs études et essais ont été réalisés pour mettre en œuvre la technologie d'IoT dans les zones agricoles. L'IoT a déjà entraîné des bouleversements majeurs dans le domaine de l'agriculture. Dans ce domaine, il existe de nombreux défis tels que le coût élevé des investissements, la limitation des terres, le manque de sensibilisation des agriculteurs à de meilleures méthodes de culture, l'utilisation déséquilibrée des engrais, le manque de semences de qualité, la faible productivité et la productivité, ainsi que le manque de connaissances adéquates en matière de stockage, et bien d'autres encore. L'IoT permet aux agriculteurs, tout comme aux industriels, de relever les nombreux défis auxquels ils sont confrontés.

1.10.1 Importance de l' IOT en Agriculture

L'utilisation de l'IoT dans le domaine de l'agriculture offre de nombreux bénéfices, dont certains sont mentionnés ci-dessous.

- Conserver l'eau.
- Augmenter la production,
- Améliorer la qualité de la production,
- Réduire les coûts d'exploitation,
- Réduire les coûts d'exploitation,
- Améliorer l'élevage,
- Données en temps réel et vision de la production,
- Surveillance et contrôle à distance.

1.10.2 Applications IoT agricoles intelligent

L'agriculture de précision, dont la conception intègre les techniques IoT pour l'agriculture urbaine et l'agronomie de précision dans les villes intelligentes, est l'une des utilisations les plus courantes des technologies IoT dans l'agriculture comme les drones agricoles. Les drones équipés de capteurs puissants et relativement peu coûteux offrent aux agriculteurs de nouvelles opportunités pour augmenter les rendements et réduire les dommages aux cultures, entre autres [25].

Une autre utilisation des technologies IoT est l'agriculture verticale, qui offre aux utilisateurs la possibilité de gérer l'humidité du sol et la quantité d'eau à l'aide d'ordinateurs ou d'appareils mobiles tels que des tablettes et des smartphones [27].

Enfin, il y a des applications qui combinent l'IoT et l'IA, telles que Malthouse[28], un système d'intelligence artificielle qui permet de définir des paramètres et des horaires dans le domaine de l'agriculture de précision et de la production alimentaire.

De plus en plus courantes dans les zones urbaines, les serres intelligentes offrent la possibilité de surveiller de nombreux paramètres des solutions nutritives, ainsi que d'améliorer la croissance, le rendement et la qualité des plantes.

Les villes intelligentes bénéficient de ces progrès pour développer des infrastructures qui facilitent l'automatisation, l'optimisation et le développement de l'agriculture urbaine et de l'agronomie de précision [25]. La figure 1.7 offre des exemples sur l'agriculture Intelligente.

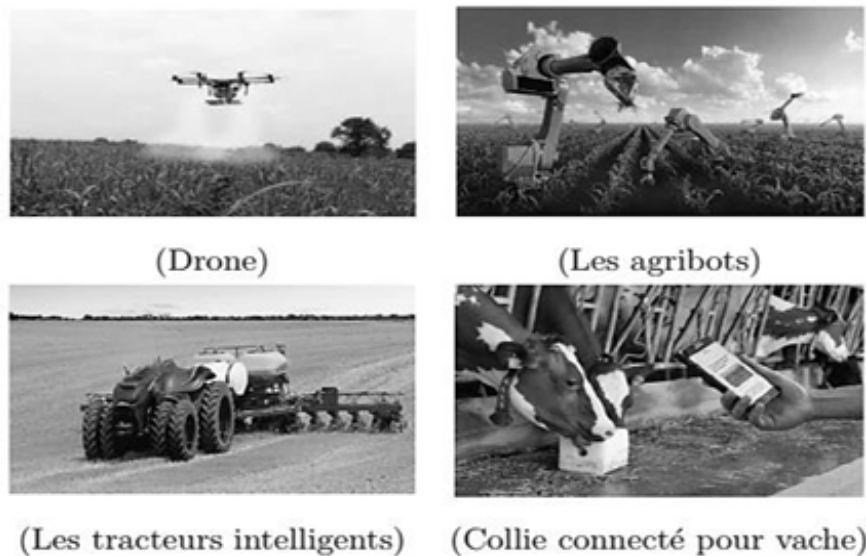


FIGURE 1.7 – L'Iot dans le domaine d'agriculture Intelligente [25]

1.11 Analyse des systèmes d'irrigation avec IoT préexistants

Ce système basé sur une carte Arduino connectée à certains capteurs et actionneurs qui sont contrôlés à distance par un système intelligent basé sur une carte esp et un téléphone intelligent utilisant un site html ou une application Android [29]. Ce système conçu par S. Harishankar, R. Satish Kumar, Sudharsan KP, U. Vignesh et T. Viveknath utilise l'énergie solaire pour pomper l'eau du forage dans un réservoir de stockage, offrant ainsi une alternative durable aux techniques conventionnelles [29]. Par ailleurs, le réseau de détection sans fil basé sur la technologie ZigBee surveille l'humidité de l'air, l'humidité du sol et la température, et contrôle l'irrigation en conséquence. Ce système intègre des capteurs spécialisés ainsi que des composants tels que des pompes à eau et des ventilateurs pour optimiser les conditions environnementales des cultures. Figure 1.8 montre ce système d'arrosage intelligent

1.11. ANALYSE DES SYSTÈMES D'IRRIGATION AVEC IOT PRÉEXISTANTS20



FIGURE 1.8 – Système d’arrosage intelligent propose par Harishankar et al [29].

Un autre système de l’irrigation base sur l’IoT définie dans la figure 1.9, A pour objectif la surveillance en temps réel des paramètres climatique et le suivi avec une option d’arrosage automatique du sol. Le fonctionnement du système dépende sur les mesure des différents paramètres, qui sont obtenues en temps réel de grâce à deux capteurs (capture de l’humidité de sol et capture de niveau d’eau). Une carte Arduino joue le rôle de l’unité qui se charge de traiter les données délivrées par les capteurs utilisées. Au début on a essayé de relier le système de mesure au support d’affichage (PC) par un câble USB pour assurer le bon fonctionnement des capteurs. Le programme écrit sur IDE Arduino permet d’afficher les résultats sur le moniteur série. La deuxième partie de ce travail consiste à faire un système d’irrigation avec l’acquisition des données en ligne a travers le module GSM. Toutes ces valeurs de capteur sont envoyées à ThingSpeak.com qui fournit un très bon outil pour les projets Arduino basés sur IoT. Le site nous permet de suivre nos données en ligne en temps réel [24].



FIGURE 1.9 – Système propose par KHALDI.O[24].

Un autre prototype présente un système d'arrosage automatique, divisé en trois parties principales pour son fonctionnement : La première partie concerne l'irrigation. Un dispositif Arduino est utilisé comme unité de contrôle, auquel sont connectés quatre capteurs et un relais. Le premier capteur est un capteur de distance placé au-dessus du réservoir, qui mesure la hauteur de l'eau et la convertit en pourcentage pour indiquer le niveau de remplissage du réservoir. Le deuxième capteur est un capteur d'humidité du sol, qui mesure le taux d'humidité et envoie les données à l'Arduino. Le troisième capteur est un capteur de pluie qui détecte la présence de pluie. Enfin, un relais contrôle la mise en marche et l'arrêt de la pompe en fonction des lectures des capteurs. La pompe est activée si le taux d'humidité du sol est inférieur à 40 La deuxième partie du système concerne l'alimentation, qui est basée sur l'énergie solaire. La troisième partie est le système de surveillance. La technologie IoT est utilisée pour partager les données des capteurs (niveau d'eau et humidité du sol) avec l'utilisateur. Les données sont transférées de l'Arduino vers l'ESP32 via le protocole UART, puis transmises pour affichage sur la plateforme Blynk [30]. La Figure 1.10 présente système.

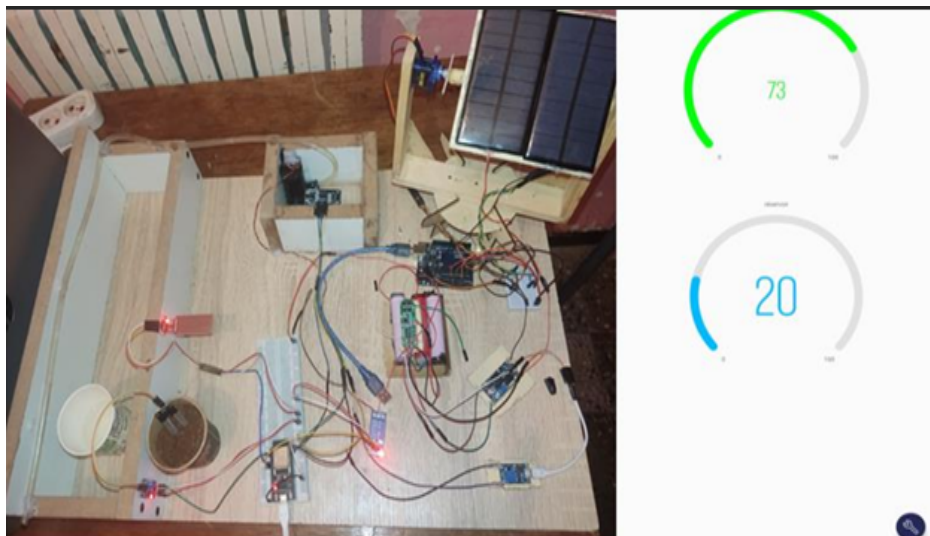


FIGURE 1.10 – Système proposé par Mohamed.I et Mohamed.A [30].

1.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble de l'agriculture intelligente et de l'IoT, en explorant ses différentes plateformes et protocoles, ainsi que les technologies réseau associées, en soulignant les bénéfices de chaque technologie, ainsi que leur importance et leur domaine d'application. Comme on l'a mentionné, la liaison et la relation entre les deux ont été établies. Cette étude a pour objectif de créer un prototype qui repousse les limites actuelles de l'irrigation. Ce prototype est capable de communiquer et d'être contrôlé à distance grâce à l'utilisation de l'IoT.

Les systèmes d'arrosage basés sur l'IoT, abordés dans ce chapitre, utilisent divers capteurs pour surveiller la croissance des plantes. Parmi les capteurs les plus courants, on trouve ceux de température et d'humidité, entre autres. L'électrovanne est l'unique actionneur employé. Ces systèmes sont généralement composés de microcontrôleurs Arduino, ainsi que des capteurs et actionneurs mentionnés précédemment.

Chapitre 2

Conception du système

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de fournir une description complète du système conçu. Il débute par une présentation exhaustive de tous les composants électroniques intégrés, tels que les capteurs, les actionneurs, la carte Arduino, et les modules de communication. Chaque composant sera décrit en termes de caractéristiques techniques, de rôle fonctionnel dans le système, et de son intégration dans le schéma global.

Ensuite, les modes de fonctionnement du système seront détaillés. Dans un premier temps, le mode automatique sera expliqué, illustrant comment le système gère de manière autonome les processus tels que la détection des paramètres environnementaux, le contrôle de l'irrigation et l'ajustement des nutriments. Le chapitre abordera également le mode manuel, qui permet à l'utilisateur d'intervenir directement dans la gestion des opérations via une interface dédiée. Les différentes étapes de transition entre ces deux modes et les algorithmes utilisés pour prendre les décisions seront également discutés.

Enfin, l'analyse fonctionnelle du système sera complétée par une évaluation des performances et des interactions entre les différents composants dans les différents modes de fonctionnement.

2.2 Description du système

Le système est composé de quatre principales parties : un sous-système chargé de gérer l'arrosage en fonction des données collectées par les capteurs d'humidité et de température, un réseau de tuyaux pour acheminer l'eau à travers la zone agricole, des caméras pour la surveillance visuelle de l'état des plantes, et un espace dédié à l'affichage de toutes les données reçues.

2.2.1 Description du sous-système

- Premier étage : Débitmètre et électrovannes ce niveau est centré sur la gestion du flux du mélange d'eau et de nutriments à travers le système. Le débitmètre joue un rôle crucial en mesurant en temps réel le volume du liquide traversant les tuyaux. Grâce à cette information, l'utilisateur peut surveiller et ajuster le débit en fonction des besoins des plantes. Les deux électrovannes associées permettent une gestion plus fine : l'une peut diriger l'eau vers une seule zone spécifique d'irrigation tandis que l'autre permet d'arroser deux zones simultanément. Cette flexibilité optimise l'utilisation de l'eau et des ressources, tout en permettant d'adapter l'arrosage en fonction des exigences de différentes parcelles ou types de cultures.
- Deuxième étage : Carte PCB (Printed Circuit Board) contient une carte Arduino, capteurs d'humidité et de température : La carte Arduino, étant le cerveau du système, reçoit les données des capteurs d'humidité et de température installés dans le sol. Ces capteurs sont essentiels pour collecter des informations en temps réel sur l'état du sol. L'humidité du sol permet de déterminer si les plantes ont besoin d'eau, tandis que la température aide à surveiller les conditions environnementales. Sur la base de ces données, l'Arduino peut ajuster automatiquement les électrovannes pour optimiser l'irrigation. Par exemple, si un capteur détecte que le sol est suffisamment humide, l'irrigation dans cette zone peut être arrêtée pour économiser l'eau.
- Troisième étage : Afficheur et clavier numérique Cet étage est l'interface utilisateur du système. L'afficheur permet à l'utilisateur de visualiser les données recueillies par les capteurs, telles que le niveau d'humidité du sol, la température et le débit d'eau. Il peut également afficher les différents paramètres de configuration du système. Le clavier numérique, quant à lui, permet à l'utilisateur de naviguer entre les différents modes de fonctionnement : automatique ou manuel. En mode manuel, l'utilisateur peut intervenir pour contrôler directement les électrovannes ou ajuster le débit d'eau. Cela offre une flexibilité supplémentaire pour les utilisateurs qui souhaitent gérer l'irrigation en fonction de conditions spécifiques ou imprévues.

L'ensemble de la structure a été conçu avec le logiciel SOLIDWORKS et réalisé à l'aide d'une machine de découpe laser et Le logiciel RDWorks v8, les figures 2.1 et 2.2 illustrent la structure du système.

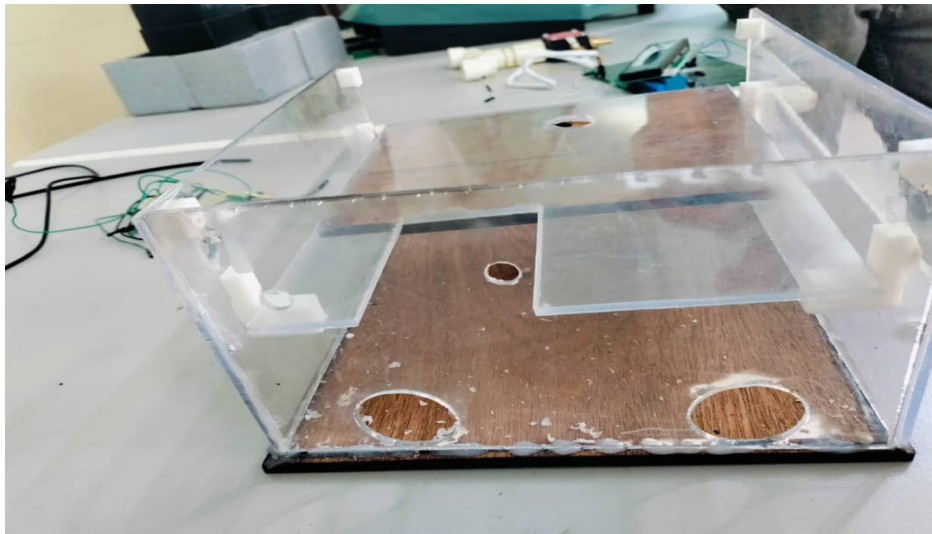


FIGURE 2.1 – Le sous-système vu de face

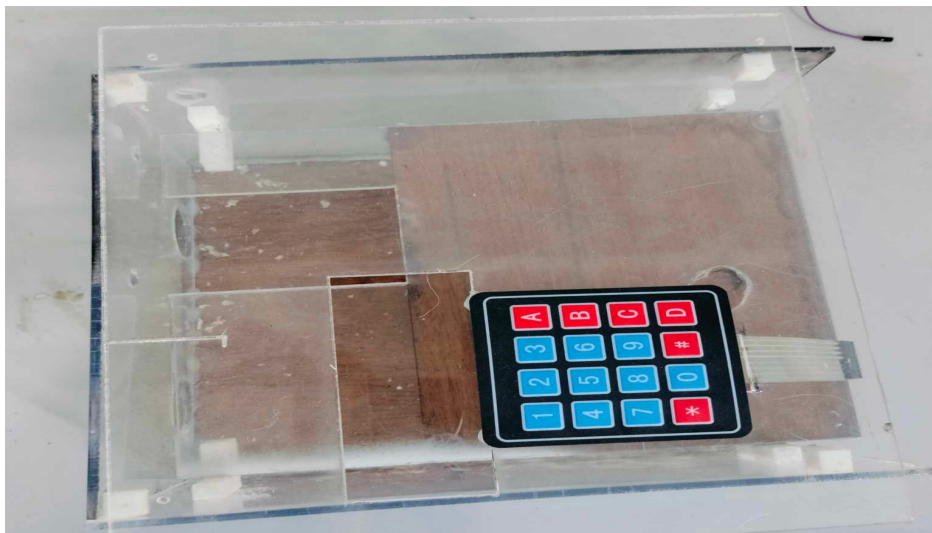


FIGURE 2.2 – Le sous-système vu dessus

Électrovannes et débitmètre a effet hall

Deux électrovannes ont été installées en parallèle afin d'offrir à l'utilisateur une flexibilité dans les choix d'irrigation. Il peut ainsi choisir d'arroser une seule zone ou les deux simultanément. Ce contrôle est réalisé à l'aide d'un shield relais commandé par la carte carte Arduino.

Un débitmètre a été installé juste avant les électrovannes afin de mesurer

le débit d'eau. Son principe de fonctionnement repose sur une roue équipée d'un aimant, exploitant l'effet Hall. Lorsque l'eau circule à travers le capteur, elle entraîne la rotation de la roue. À chaque rotation, l'aimant intégré dans la roue passe devant un capteur à effet Hall, qui génère des impulsions électriques. Ces impulsions sont ensuite captées et comptées par l'arduino, permettant ainsi de calculer précisément le débit d'eau en fonction du nombre de rotations par unité de temps. Ce type de capteur est particulièrement adapté aux applications nécessitant une surveillance continue du débit, telles que les systèmes d'irrigation automatisés. la figure 2.3 montre l'installation des composants .

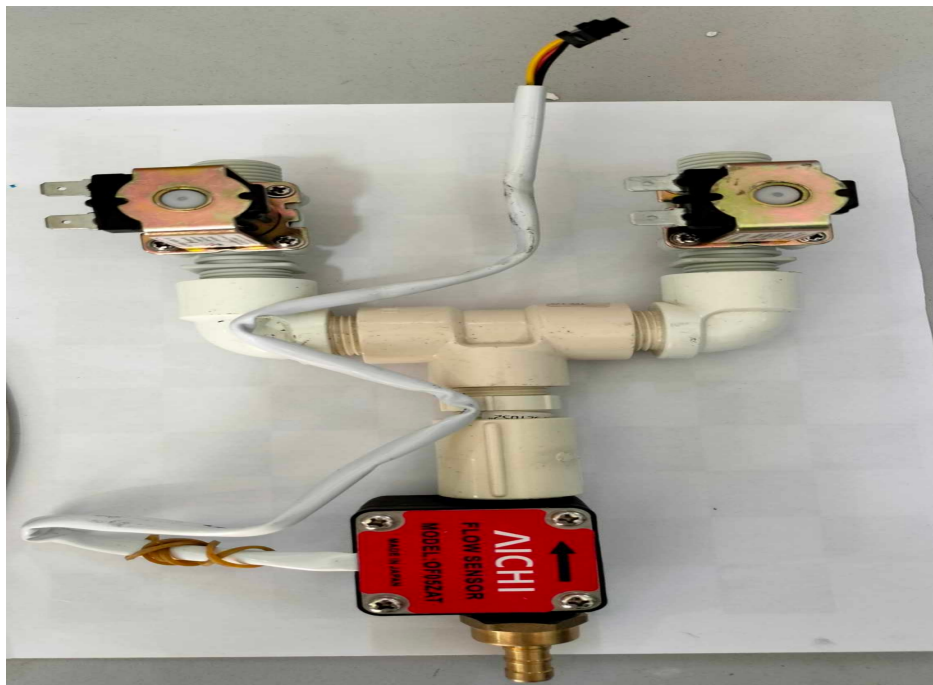


FIGURE 2.3 – 1er Étage

2.2.2 Carte PCB

L'utilisation d'une carte PCB est cruciale pour optimiser la conception et le fonctionnement des systèmes électroniques, notamment dans les projets complexes. En remplaçant les connexions filaires traditionnelles par des pistes en cuivre imprimées directement sur la carte, le PCB permet de minimiser la surface occupée par les composants, réduisant ainsi l'encombrement et améliorant l'organisation du montage. Cela est particulièrement utile dans des projets à plusieurs niveaux, comme un système d'irrigation automatisé avec

des capteurs, relais et modules de communication, où un câblage désordonné pourrait entraîner des erreurs ou des courts-circuits.

Le PCB garantit également une meilleure fiabilité en évitant les mauvais câblages manuels, susceptibles de provoquer des erreurs de connexion. Grâce à une conception soignée, les composants sont solidement connectés et positionnés de manière optimale, ce qui réduit le risque de défaillance. De plus, l'utilisation d'un PCB dans un système à deux étages permet de séparer les différentes fonctions (par exemple, alimentation et contrôle) tout en maintenant une interconnexion claire et efficace entre les composants, améliorant ainsi la maintenance, la durabilité et la performance globale du système. la figure 2.4 présente l'emplacement des composants sur la carte

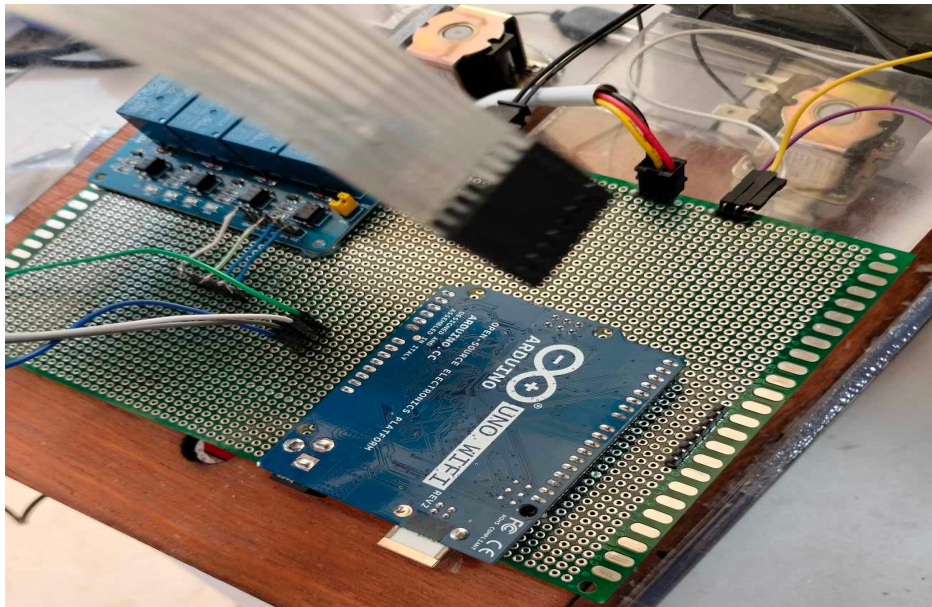


FIGURE 2.4 – Carte PCB

Arduino Uno WIFI

L'Arduino Uno WiFi est une version de la célèbre carte Arduino Uno, intégrée avec un module WiFi, permettant une communication sans fil aisée. Cette fonctionnalité est particulièrement utile dans des projets nécessitant un contrôle ou une surveillance à distance, notamment dans les systèmes connectés de l'IoT. L'intégration du WiFi dans cette carte permet de connecter facilement des capteurs ou des systèmes à un réseau local ou à Internet, sans avoir recours à des modules supplémentaires comme l'ESP8266 ou l'ESP32.

En utilisant l'Arduino Uno WiFi dans des projets tels qu'un système d'irrigation automatique ou une application domotique, on bénéficie d'une solution complète et simplifiée pour la gestion en temps réel à distance. Sa capacité à échanger des données via le cloud ou des serveurs locaux facilite la surveillance et le contrôle des dispositifs, ce qui en fait un choix adapté pour des applications nécessitant une interaction continue avec l'environnement externe. la figure 2.5 représente l'arduino wifi.

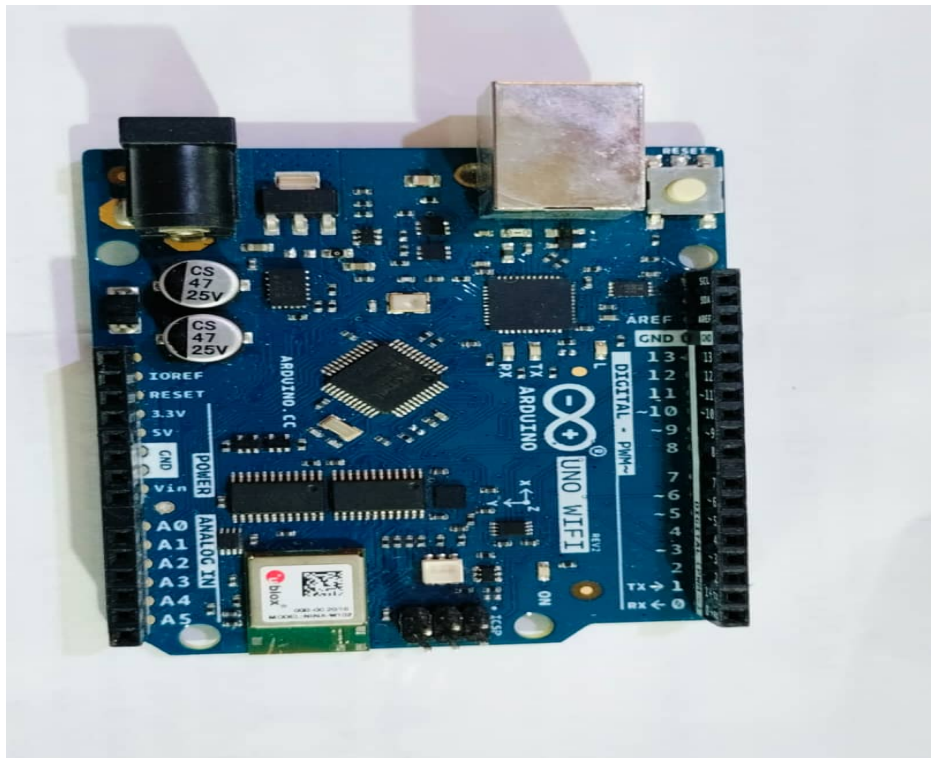


FIGURE 2.5 – Arduino Uno WIFI

Shield relais

Le shield relais est un composant essentiel dans les projets d'automatisation, permettant de contrôler des dispositifs électriques à haute puissance, tels que des électrovannes, à partir de signaux de faible puissance provenant d'un microcontrôleur comme l'Arduino. Chaque relais agit comme un interrupteur commandé électroniquement, isolant le circuit de commande du circuit d'alimentation des dispositifs connectés. Dans un système d'irrigation automatique, par exemple, un shield relais permet de gérer plusieurs électrovannes qui contrôlent l'ouverture et la fermeture des conduites d'eau.

Grâce à ce shield, chaque électrovanne peut être activée indépendamment en fonction des besoins, permettant une distribution précise de l'eau et des nutriments. Ce dispositif offre ainsi une grande flexibilité et robustesse dans la gestion des systèmes électriques complexes, tout en assurant la sécurité du circuit de commande, la figure 2.6 montre le shield relais utilisé dans le système



FIGURE 2.6 – Shield relais

Capteur de température DHT11

Le capteur de température et d'humidité DHT11 est un dispositif largement utilisé dans les projets électroniques pour mesurer les conditions environnementales de manière fiable et économique. Ce capteur combine un thermistor pour la mesure de la température et un capteur capacitif pour l'humidité, fournissant ainsi des lectures précises de ces deux paramètres, sous forme numérique via un seul fil de communication. Cela simplifie considérablement son intégration dans des projets basés sur des microcontrôleurs comme l'Arduino, Raspberry Pi, ou ESP32, en limitant les besoins en câblage et en réduisant les erreurs de transmission de données. Le DHT11 peut mesurer des températures dans une plage allant de 0 à 70°C avec une précision de $\pm 2^\circ\text{C}$, Bien que ses plages de mesure et sa précision soient modestes

comparées à d'autres capteurs, il reste un choix idéal pour des projets d'automatisation simples, tels que la surveillance des conditions climatiques dans une serre, la gestion d'un système d'irrigation automatique, ou le contrôle de l'environnement intérieur pour optimiser le confort. De plus, sa faible consommation d'énergie et son coût abordable en font une solution idéale pour des projets nécessitant une surveillance continue et à faible coût sur de longues périodes, la figure 2.7 met en scène le capteur utilisé [31].

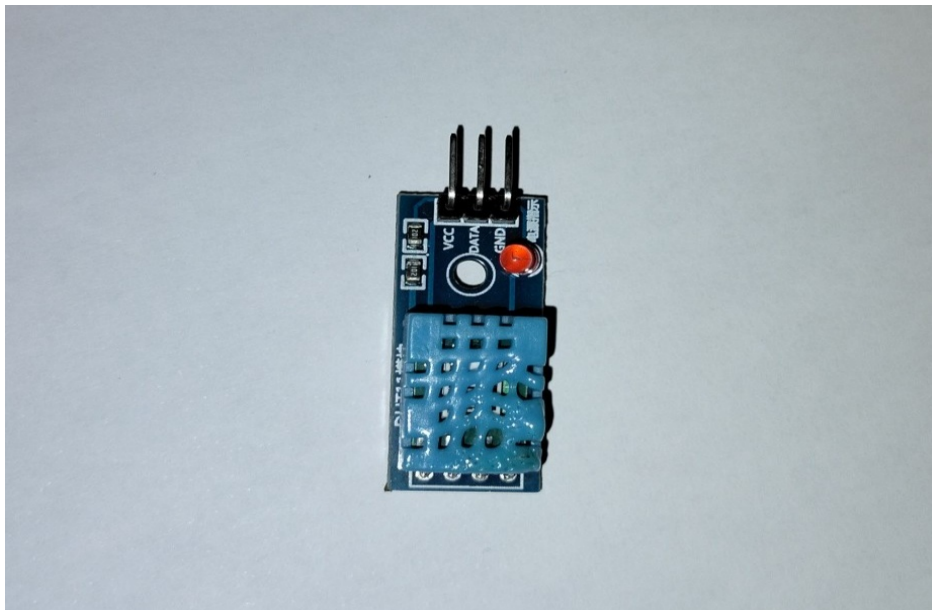


FIGURE 2.7 – Capteur de température DHT11

Capteur d'humidité de sol

Le capteur d'humidité de sol est un composant essentiel dans les systèmes d'irrigation automatique et les projets agricoles connectés. Ce capteur permet de mesurer le niveau d'humidité présent dans le sol, fournissant des données cruciales pour optimiser l'arrosage des plantes. Fonctionnant généralement sur le principe de la conductivité électrique, il détecte les variations de résistance entre deux électrodes en fonction de l'humidité du sol. En l'intégrant avec un microcontrôleur comme l'Arduino, il est possible de contrôler automatiquement l'irrigation en fonction des besoins réels des plantes, évitant ainsi le sur- ou sous-arrosage. Le capteur d'humidité de sol est particulièrement utile dans des systèmes d'agriculture intelligente, où la gestion précise de l'eau est essentielle pour maximiser les rendements tout en minimisant la consommation de ressources [32].

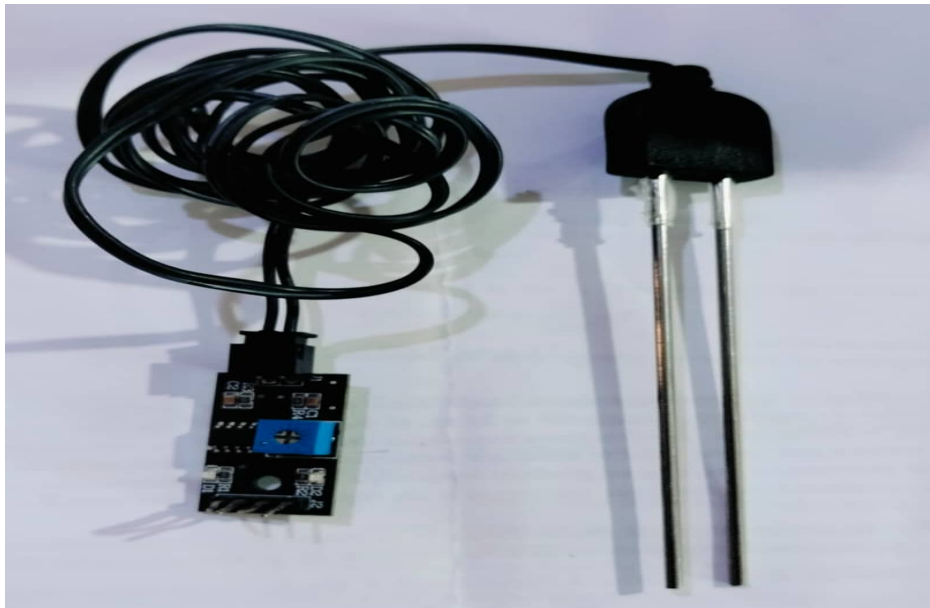


FIGURE 2.8 – Capteur d’humidité de sol

Afficheur LCD

L’afficheur LCD (Liquid Crystal Display) est un dispositif largement utilisé pour afficher des informations visuelles dans divers projets électroniques. Il fonctionne en utilisant des cristaux liquides qui se réorientent sous l’influence d’un courant électrique pour moduler la lumière, permettant ainsi l’affichage de caractères, chiffres ou symboles. Les afficheurs LCD, tels que les modèles 16x2 ou 20x4, sont particulièrement populaires dans les projets Arduino en raison de leur capacité à afficher plusieurs lignes de texte, ce qui les rend utiles pour fournir des informations en temps réel, comme des relevés de capteurs ou des états de système.

Facile à utiliser, l’afficheur LCD peut être contrôlé via une interface parallèle (nécessitant plusieurs broches d’un microcontrôleur) ou une interface I2C (réduisant le nombre de connexions). Il est souvent utilisé dans des systèmes d’automatisation, comme les systèmes d’irrigation ou de domotique, pour afficher les valeurs mesurées (température, humidité, etc.), des messages d’erreur, ou des informations sur l’état des processus en cours. En raison de sa faible consommation d’énergie et de sa lisibilité, même en conditions de faible éclairage, l’afficheur LCD reste un composant clé dans de nombreux dispositifs interactifs. la figure 2.9 présente l’afficheur utilisé

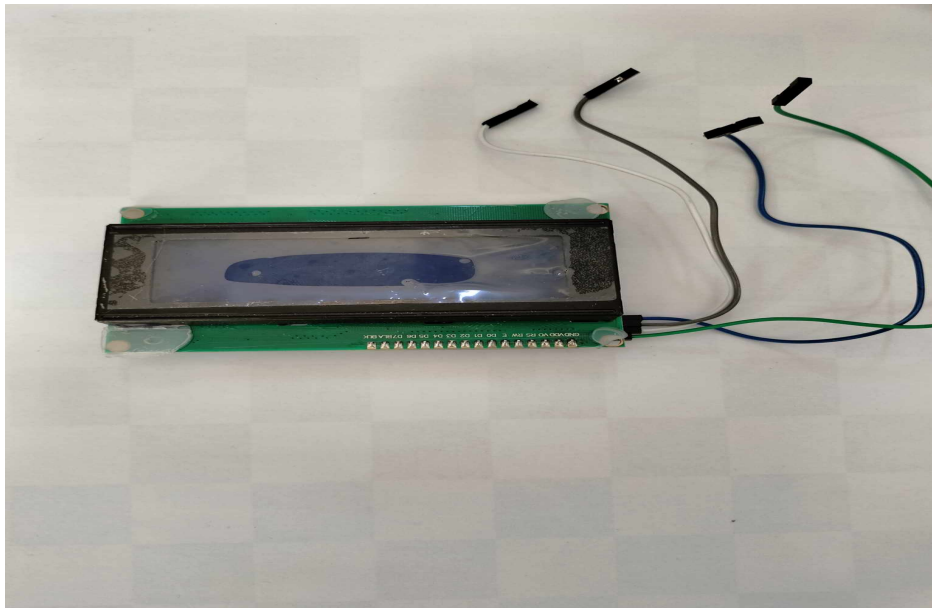


FIGURE 2.9 – Afficheur LCD

Clavier numérique

Le clavier numérique, souvent sous forme de pavé matriciel (comme un modèle 4x4 ou 3x4), est un dispositif d'entrée essentiel dans de nombreux projets électroniques pour permettre à l'utilisateur d'interagir directement avec un système. Dans un système d'automatisation, comme une irrigation intelligente, un clavier numérique peut être utilisé pour changer entre différents modes de fonctionnement, tels que le mode manuel et le mode automatique. Chaque touche du clavier est associée à une commande spécifique, permettant à l'utilisateur de naviguer dans les options, de sélectionner des paramètres ou de configurer le système selon les besoins.

Facile à intégrer avec des microcontrôleurs comme l'Arduino, ce type de clavier est souvent utilisé en combinaison avec un afficheur LCD pour fournir un retour visuel sur les choix effectués. Par exemple, l'utilisateur peut entrer un code spécifique pour activer un mode manuel et prendre le contrôle des électrovannes, ou encore pour modifier les seuils de déclenchement basés sur les relevés des capteurs (humidité, température, etc.). Le clavier numérique offre ainsi une interface simple et efficace pour contrôler et ajuster un système sans avoir recours à un ordinateur ou à des interfaces complexes, tout en assurant une gestion flexible et personnalisée. la figure 2.10 mettre en scène le clavier numérique.

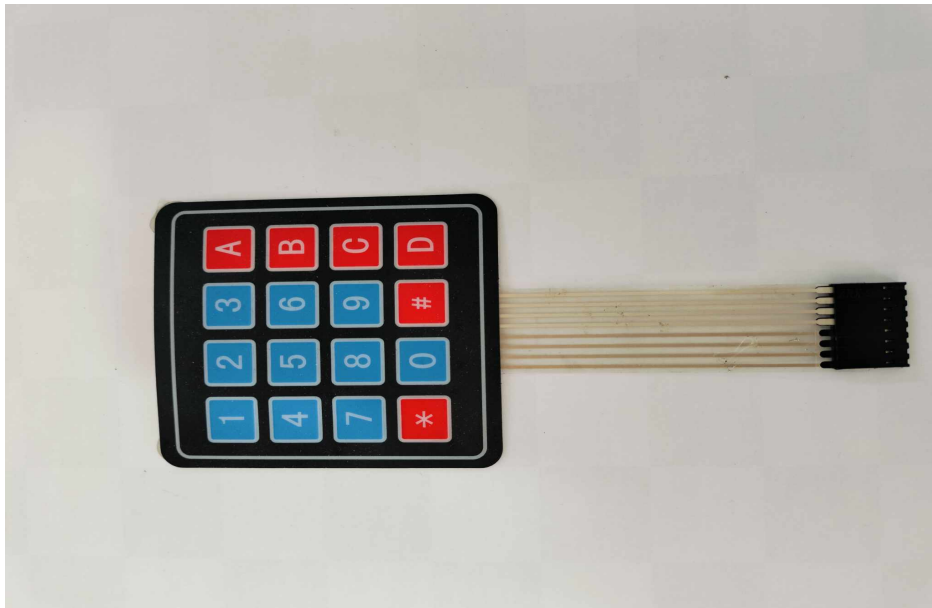


FIGURE 2.10 – Clavier numérique

2.2.3 Machine de découpe laser

La machine de découpe laser CNC, couplée au logiciel RDWorksV8, représente une avancée importante dans la fabrication assistée par ordinateur. Utilisant un faisceau laser ou une broche de fraisage, elle découpe ou grave avec précision divers matériaux (bois, métal, plastique, etc.). Le logiciel RDWorksV8 facilite l'importation, la modification et la préparation de fichiers de conception dans différents formats, permettant d'ajuster les paramètres de coupe en fonction du matériau. Cette combinaison assure une automatisation efficace, une optimisation des opérations et une production de haute qualité avec une précision et une flexibilité exceptionnelles. La figure montre la machine de découpe



FIGURE 2.11 – Machine de découpe laser

2.3 Principe de fonctionnement

Dans ce système, plusieurs capteurs, tels que le capteur d'humidité du sol et le capteur DHT11, sont reliés aux broches d'entrée du microcontrôleur Arduino Uno avec Wi-Fi. Ce dernier joue le rôle de cerveau du système, coordonnant et contrôlant l'ensemble des opérations.

Les valeurs mesurées par les capteurs sont affichées sur un écran LCD I2C et transmises aux actionneurs pour déclencher les actions appropriées. Si une valeur dépasse les seuils prédéfinis dans le programme, les électrovannes seront automatiquement activées ou désactivées via un relais, qui est connecté à un circuit de commande permettant de gérer la commutation de tension. L'Arduino avec Wi-Fi envoie également les données d'humidité du sol et la consommation d'eau sur le cloud Thingspeak, grâce à la configuration du module Wi-Fi.

Pour rendre le système connecté et contrôlable à distance, nous avons le choix d'utiliser soit une carte Wi-Fi pour Arduino, soit un module Bluetooth.

La carte de commande sera chargée de recevoir les instructions, de les exécuter, puis de transmettre l'état des différents capteurs et actionneurs.

Cette carte assure :

- Le contrôle de l'arrosage.
- Le bon fonctionnement des électrovannes.
- La lecture des données reçues à partir des capteurs d'humidité de sol

et DHT11.

En alimentant le système en 12V, nous contrôlons le courant nécessaire au pilotage de l'électrovanne à l'aide d'un relais.

Un clavier Arduino permet de changer les modes de fonctionnement du système d'arrosage et de contrôler manuellement l'ouverture ou la fermeture des électrovannes, tandis qu'un débitmètre calcule le volume d'eau provenant de l'unité de mélange.

La figure 2.12 illustre le schéma de principe du projet ainsi que les différentes connexions entre le cœur du système, représenté par l'Arduino UNO avec Wi-Fi, et les autres composants.

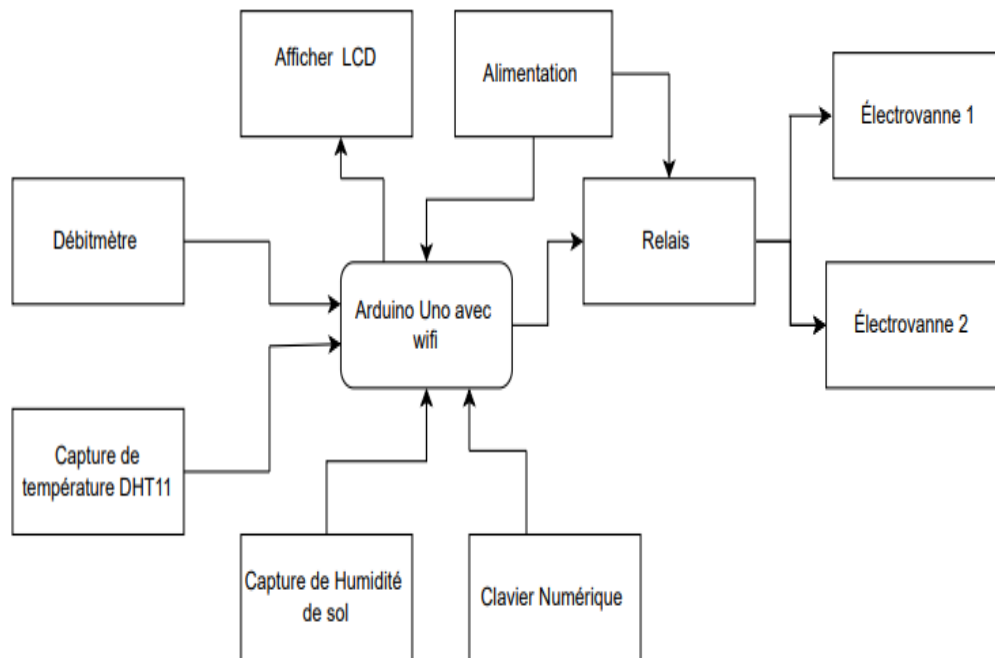


FIGURE 2.12 – schéma bloc du système

2.3.1 Les modes de fonctionnement du système

Notre système d'arrosage est principalement caractérisé par trois modes : automatique, manuelle, affichage, on change les modes a travers le clavier numérique.

Mode manuel

Le mode manuel permet à l'utilisateur d'arroser facilement un bloc de plantes. Dans ce mode, il est possible d'activer ou de désactiver les électrovannes via un clavier numérique pour démarrer ou arrêter l'arrosage, ainsi que pour passer à un autre mode. L'organigramme équivalent est présenté dans la figure 2.13 .

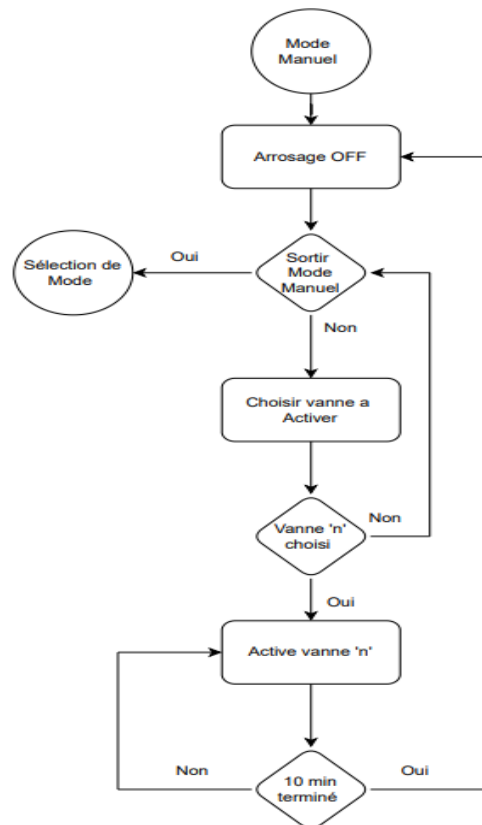


FIGURE 2.13 – Mode manuel

Mode automatique

Ce mode effectue une vérification continue et simultanée de la température et de l'humidité du sol pour chaque capteur. En cas de dépassement du seuil critique d'une des valeurs d'un des capteurs d'humidité, le microcontrôleur déclenchera l'électrovanne correspondante. Après quelques instants, le programme vérifiera la valeur de l'humidité du sol. Si elle atteint un niveau satisfaisant, le microcontrôleur désactivera l'électrovanne, sinon il la laissera active et entrera dans une boucle. La figure 2.14 résume le cheminement des différentes étapes

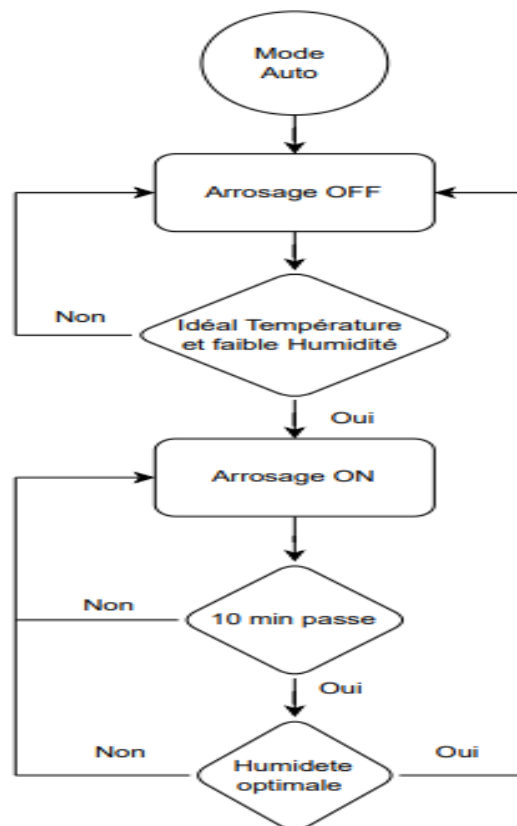


FIGURE 2.14 – Mode automatique

Mode affichage

Ce mode permet de visualiser les états des capteurs et des actionneurs de l'unité d'arrosage à l'aide du clavier numérique et de l'écran LCD.

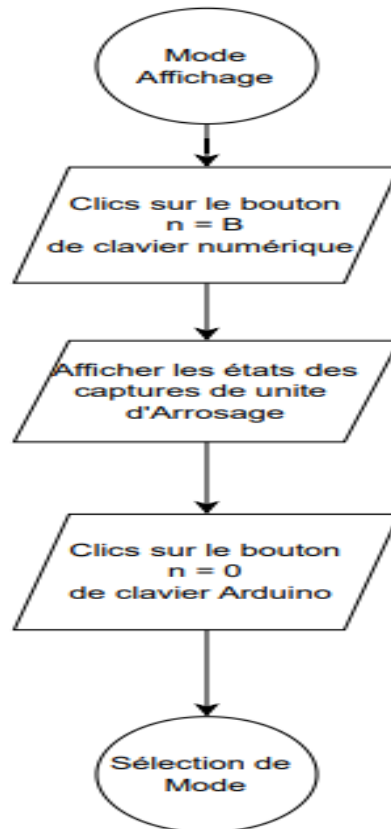


FIGURE 2.15 – Mode affichage

2.4 Conclusion

Pour conclure, le développement de systèmes embarqués dans le cadre de projets IoT repose sur une synergie entre les éléments matériels et logiciels. L'intégration de capteurs, de microcontrôleurs, et d'interfaces de communication avec des logiciels optimisés permet de créer des systèmes autonomes, interconnectés et capables de répondre à une large variété de besoins spécifiques. Notre analyse a permis d'explorer les différentes composantes nécessaires pour concevoir des systèmes robustes, tout en tenant compte des contraintes liées à l'IoT, telles que l'efficacité énergétique, la sécurité des données et la flexibilité d'intégration dans différents environnements. Ainsi, notre projet démontre l'importance de la conception d'un système modulaire et évolutif, capable de s'adapter aux innovations technologiques futures et aux exigences spécifiques des utilisateurs. Ce cadre théorique et pratique ouvre la voie à de nombreuses applications dans divers secteurs, notamment l'agriculture, la santé, la domotique et l'industrie.

Chapitre 3

Réalisation et Application de l'IoT sur le système

3.1 Introduction

Une fois que on a identifié les éléments indispensables et les divers éléments de notre système. On procédera maintenant à la mise en œuvre concrète de notre projet.

D'abord, on procédera à l'assemblage de système afin d'obtenir le prototype final. Ensuite, on exploitera l'IoT via la plateforme ThingSpeak pour surveiller en temps réel le système, en se basant sur les données collectées par les capteurs de température et d'humidité du sol.

3.2 Réalisation prototype

Après l'intégration des composants sur la carte PCB, ainsi que la soudure et la connexion de toutes les broches utilisées de l'Arduino, notre système sera présenté dans les figures 3.1 le système est caractérisé par :

- Automne,
- Connectivité IoT,
- facile à utiliser,
- Économie d'eau,
- Simplicité d'installation et d'entretien.

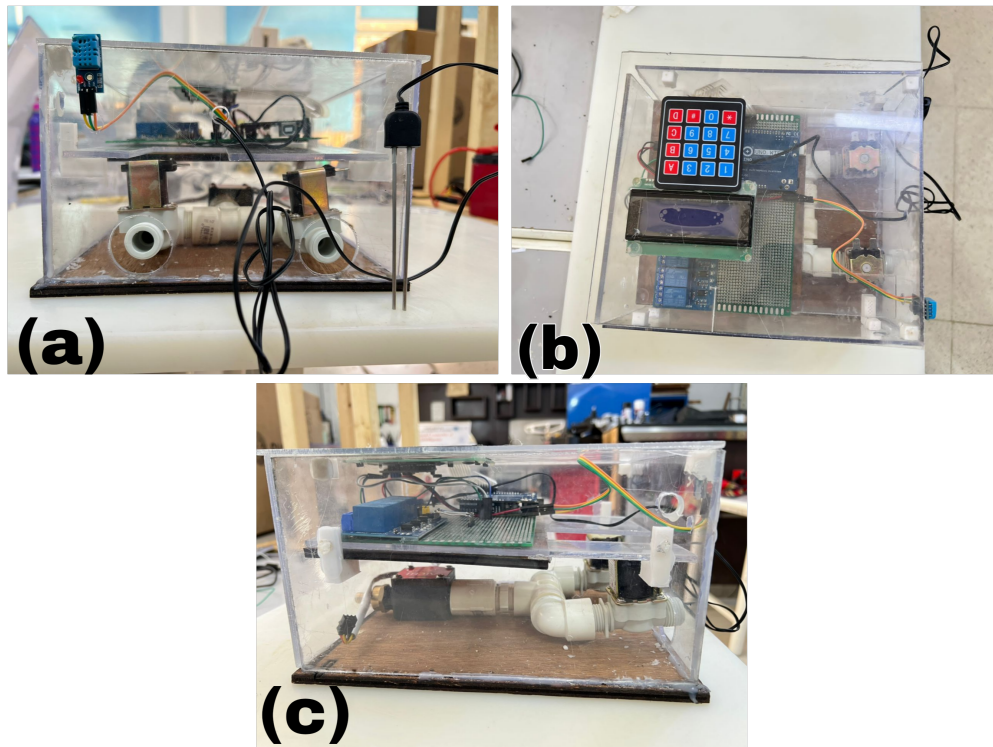


FIGURE 3.1 – Prototype (a) Vu de face (b) vu dessus (c) Vu de gauche

3.3 Logiciels utilisés

3.3.1 Arduino IDE

Le logiciel Arduino IDE est l'outil principal utilisé pour programmer et contrôler les cartes Arduino. Il fournit une interface simple et intuitive pour écrire, compiler, et téléverser du code sur la carte. Le langage de programmation utilisé dans l'IDE est basé sur le C/C++, ce qui le rend accessible aux débutants tout en offrant des fonctionnalités avancées pour les utilisateurs expérimentés. L'IDE Arduino est équipé de bibliothèques intégrées qui simplifient l'utilisation de composants comme les capteurs, afficheurs, relais, et modules de communication, ce qui permet de développer rapidement des systèmes complexes sans avoir à tout coder manuellement [31].

L'Arduino IDE est employé dans un projet d'automatisation, tel qu'un système d'irrigation automatique, afin de créer le programme qui gère le fonctionnement du système. Cela englobe l'analyse des informations provenant

des capteurs (température, humidité du sol), le contrôle des électrovannes à travers des relais, ainsi que la gestion des différentes options de fonctionnement (manuel ou automatique). L'IDE offre également la possibilité de déboguer le système en temps réel en affichant des données sur l'état des capteurs et des composants grâce à sa fonction de moniteur série. Le développement et l'optimisation du programme qui dirige l'ensemble du système sont ainsi facilités grâce à l'Arduino IDE, qui offre également un environnement accessible pour les ajustements et les améliorations futures.

3.3.2 RDWorksV8

Le logiciel RDWorksV8 est un outil essentiel pour la préparation et le contrôle des fichiers de découpe dans les machines CNC, en particulier celles équipées de lasers CO2. Il permet aux utilisateurs de concevoir, importer, et modifier des fichiers graphiques (comme des fichiers vectoriels en format DXF ou AI) avant de les envoyer à la machine de découpe. Grâce à une interface conviviale, RDWorksV8 facilite la configuration des paramètres de découpe, tels que la puissance du laser, la vitesse de déplacement, et la profondeur de gravure, offrant ainsi un contrôle précis sur la qualité et la précision des coupes.

L'utilisation de RDWorksV8 avec une machine de découpe CNC permet d'optimiser les processus de fabrication pour des matériaux variés comme le bois, l'acrylique, le cuir, et bien d'autres. Il est possible de définir plusieurs couches de découpe, permettant d'effectuer des gravures complexes avant la découpe finale. Le logiciel intègre également des outils pour ajuster la position des motifs sur le matériau, gérer les parcours de découpe, et prévenir les erreurs de superposition ou d'interférence entre les différentes couches. En utilisant RDWorksV8, les utilisateurs peuvent personnaliser leurs projets de découpe avec une grande précision, tout en réduisant les risques de gaspillage de matériaux et en améliorant l'efficacité globale du processus de production.

3.3.3 SOLIDWORKS

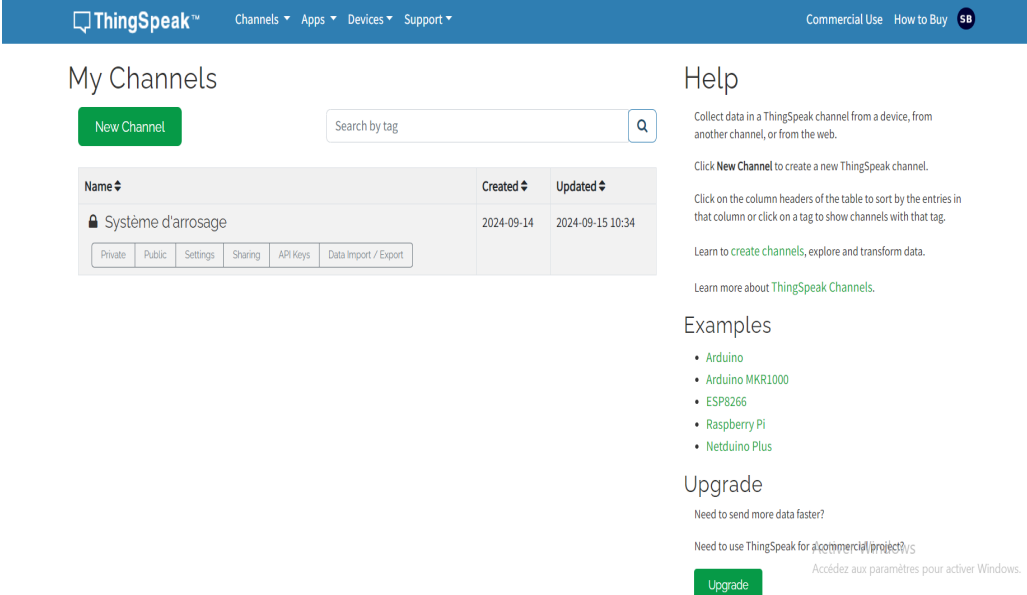
SolidWorks est un puissant logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) largement utilisé pour la modélisation 3D dans l'ingénierie et la conception de systèmes complexes. Il permet aux ingénieurs de concevoir, simuler et tester virtuellement des composants mécaniques avant leur fabrication, réduisant ainsi les erreurs et les coûts liés au prototypage physique. Grâce à ses outils avancés, SolidWorks permet de créer des pièces, des assemblages et des mises en plan détaillées, offrant une vision complète du système en cours de développement.

Dans la conception de systèmes, tels que les systèmes d'automatisation ou mécatroniques, SolidWorks permet de visualiser l'agencement et l'intégration des différentes pièces, comme les boîtiers, les supports de capteurs, et les systèmes d'entraînement. Le logiciel facilite également l'analyse de facteurs critiques tels que la résistance des matériaux, les contraintes, et les interactions entre les composants, à travers des simulations précises. Grâce à son environnement collaboratif et ses outils d'assemblage, SolidWorks aide à concevoir des systèmes plus robustes et optimisés, tout en réduisant les risques d'erreurs d'intégration lors de la fabrication finale.

3.4 Utilisation de l'internet des objets

Suite à la sélection de l'IoT pour l'affichage des résultats, le site "ThingSpeak" a été sélectionné pour l'affichage en temps réel en ligne. À présent, il est nécessaire de concevoir un projet qui permet d'envoyer les données de nos Capteurs vers ThingSpeak, en respectant les étapes suivantes :

- S'inscrire,
- Créer un Channel,
- Créer deux "Fields" dans le Channel,
- Récupérer la clé de mise à jour (API Key ; Write KEY).



The screenshot shows the ThingSpeak website interface. At the top, there is a navigation bar with the ThingSpeak logo and menu items: Channels, Apps, Devices, Support, Commercial Use, How to Buy, and SB. Below the navigation bar, the main content area is divided into two columns. The left column is titled "My Channels" and features a "New Channel" button, a search bar labeled "Search by tag", and a table of channels. The table has columns for "Name", "Created", and "Updated". A single channel is listed: "Système d'arrosage", created on 2024-09-14 and updated on 2024-09-15 10:34. Below the channel name are buttons for "Private", "Public", "Settings", "Sharing", "API Keys", and "Data Import / Export". The right column is titled "Help" and contains instructions on how to collect data, create a new channel, and sort the table. Below the help section are "Examples" (Arduino, Arduino MKR1000, ESP8266, Raspberry Pi, Netduino Plus) and an "Upgrade" section with a green "Upgrade" button.

Name	Created	Updated
🔒 Système d'arrosage	2024-09-14	2024-09-15 10:34

FIGURE 3.2 – Ma chaîne privée a été créée sur thingSpeak

Une fois la chaîne est créée nous devons insérer le programme qui nous permet d'envoyer les informations en ligne à travers notre Arduino Uno wifi.

Dans un premier temps, il est nécessaire de mettre en place le programme habituel pour collecter les données de nos capteurs (voir la figure 2.7 et 2.11), puis d'ajouter des instructions et des commandes spécifiques à Arduino Uno wifi pour qu'il puisse transférer ces données vers internet.

Il est essentiel que chaque instruction soit exécutée avec un retard d'au moins une seconde, sinon une perturbation peut survenir en raison du lancement d'une instruction avant l'autre.

À travers les graphiques, on peut constater que les informations sont correctement mesurées et transmises par l'Arduino Uno Wi-Fi vers la plateforme IoT ThingSpeak. Dans la figure 3.3, on observe que la température varie entre 26 et 28 degrés Celsius. Quant à la figure 3.3, elle montre que l'humidité du sol est dépassé 80 pourcent pendant l'arrosage et descend en dessous de 60 pourcent lorsque l'arrosage est fermé.

Il nous faut maintenant observer l'évolution des données en ligne

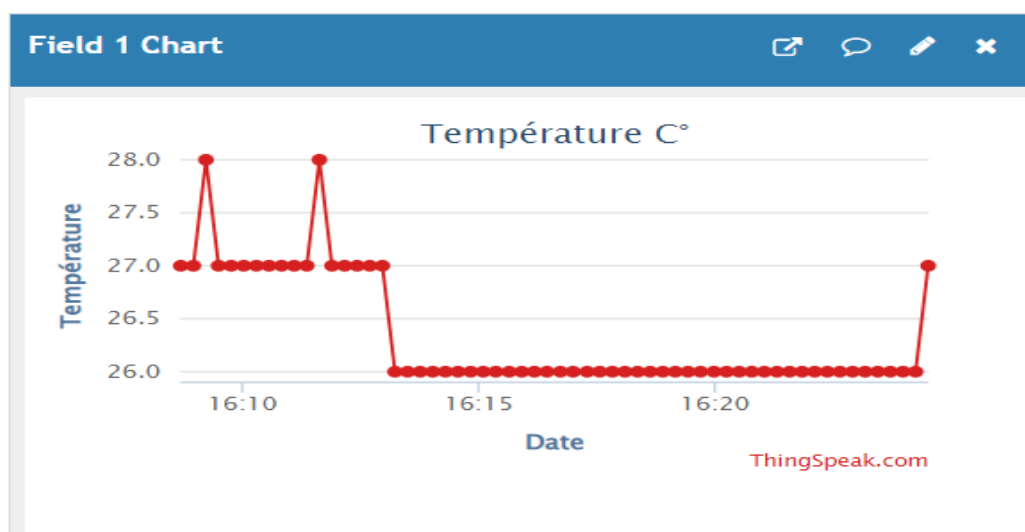


FIGURE 3.3 – Résultats en ligne du capteur de Température

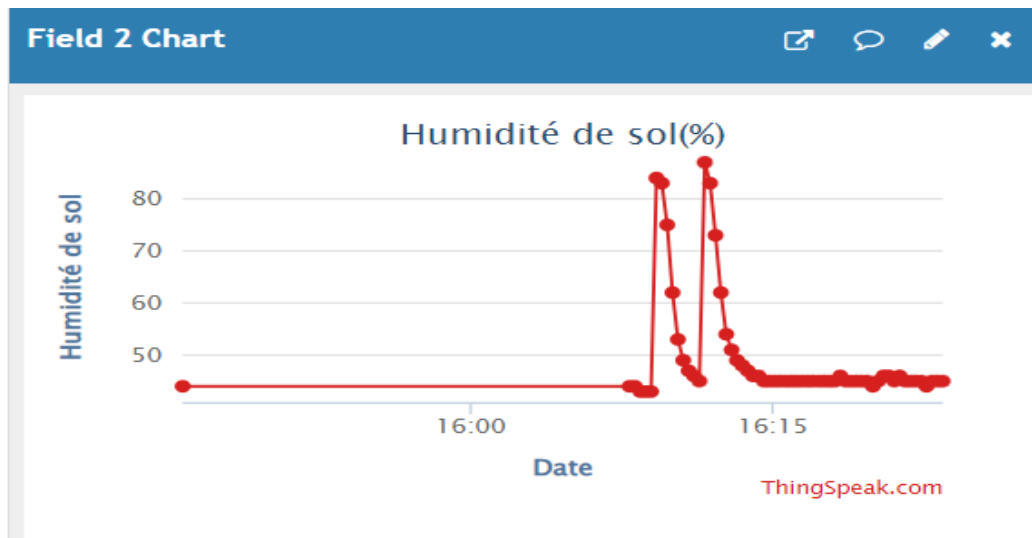


FIGURE 3.4 – Résultats en ligne du capteur humidité du sol

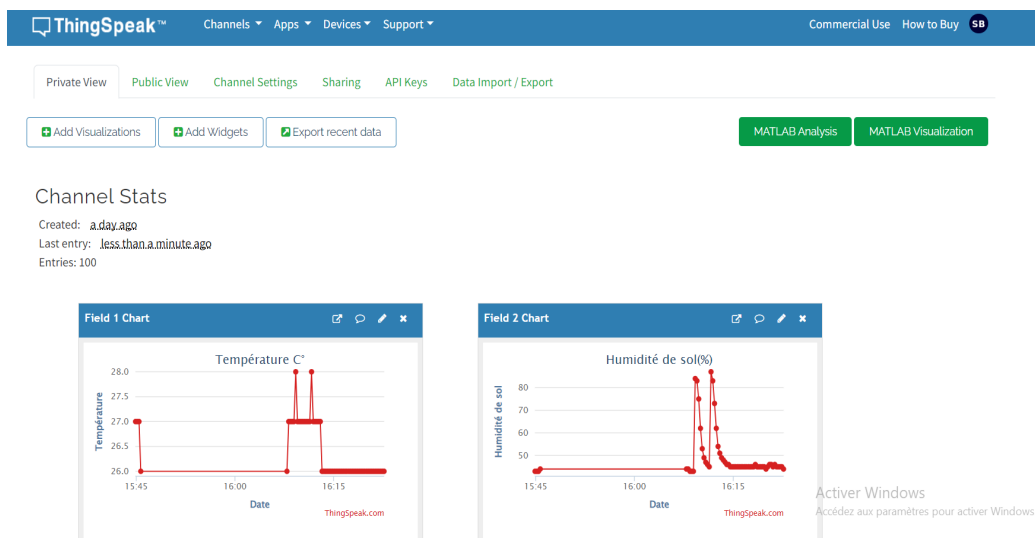


FIGURE 3.5 – Interface d’affichage de nos données en ligne

3.5 Conclusion

Ce chapitre présente en détail le prototype, en mettant en avant son évolution et ses principales caractéristiques. Le travail réalisé a permis de concevoir un système capable de gérer automatiquement l'arrosage des plantes, tout en offrant à l'utilisateur la possibilité d'intervenir manuellement si nécessaire.

Les différents logiciels et outils utilisés pour la conception, la simulation et le test de la solution ont également été examinés. Ces outils ont assuré une interaction fluide entre les composants matériels et logiciels, notamment pour la surveillance en temps réel des capteurs.

L'IoT a joué un rôle central dans ce projet, en permettant non seulement une surveillance à distance des données des capteurs, mais aussi une gestion optimisée de l'eau et des nutriments en fonction des besoins réels des plantes. Grâce à cette intégration, le système se révèle à la fois intelligent, flexible et adaptable à différents types de cultures et d'environnements.

En conclusion, ce projet a abouti au développement d'un prototype fonctionnel, innovant et économe en ressources, avec un potentiel d'amélioration pour une application à plus grande échelle dans les exploitations agricoles.

Conclusion général

L'IoT a transformé de nombreux secteurs, y compris l'agriculture, en apportant des solutions intelligentes et connectées. Dans le cadre de cette thèse, nous avons exploré l'application de l'IoT dans la gestion de l'arrosage automatique, avec un focus particulier sur l'optimisation des ressources en eau, un enjeu crucial pour l'agriculture moderne.

Ce système d'arrosage intelligent propose une approche innovante en permettant non seulement un contrôle automatisé et optimisé de l'irrigation, mais aussi une surveillance en temps réel à distance grâce à l'intégration de capteurs, d'actuateurs et de plateformes IoT. Ce système, adaptable à différents types d'exploitations agricoles, garantit une utilisation plus rationnelle de l'eau, ce qui est essentiel dans un contexte où la gestion durable des ressources naturelles est une priorité mondiale.

En comparaison avec les systèmes d'irrigation traditionnels, ce système se distingue par sa capacité à ajuster l'apport en eau en fonction de divers paramètres environnementaux tels que l'humidité du sol et les conditions climatiques, tout en offrant une interface utilisateur simplifiée pour les interventions manuelles des agriculteurs. L'automatisation ainsi obtenue contribue non seulement à une réduction des coûts de main-d'œuvre, mais aussi à une amélioration significative des rendements agricoles.

Toutefois, malgré les avantages évidents, certaines limites subsistent, notamment en termes de coûts d'implémentation et de maintenance des infrastructures IoT, ainsi que des défis liés à la cybersécurité des systèmes connectés. Ces aspects devront être approfondis dans de futurs travaux afin de garantir une adoption plus large et durable de ces technologies.

En conclusion, cette thèse met en évidence l'importance et le potentiel des solutions IoT dans l'agriculture moderne, notamment pour l'optimisation de l'irrigation. Les résultats obtenus démontrent la faisabilité et l'efficacité du système proposé, tout en soulignant la nécessité de continuer à innover et à améliorer ces technologies pour répondre aux défis agricoles de demain.

Bibliographie

- [1] M. ZOUAI, O. BADJI et Y. ENCADRE PAR SOUFI, “Automatisation et gestion à distance d’un système agricole intelligent,” thèse de doct., 2021.
- [2] F. TESTUD, “Engrais minéraux,” *EMC-Toxicologie-Pathologie*, t. 1, n° 1, p. 21-28, 2004.
- [3] Z. DAFRI, “Réalisation d’un système basé sur Internet des Objets pour le contrôle des serres intelligentes,” 2019.
- [4] T. LABBÉ, “Le droit face aux technologies disruptives : le cas de la blockchain,” thèse de doct., Université de Strasbourg, 2021.
- [5] T. HALLI et R. AMROUCHE, “Transformation d’équipements classiques télécommandés en objets connectés et intelligents,” thèse de doct., Université Mouloud Mammeri, 2020.
- [6] O. VERMESAN et P. FRIESS, *Internet of things applications-from research and innovation to market deployment*. Taylor & Francis, 2014.
- [7] Y. ABBASSI et H. BENLAHMER, “Un aperçu sur la sécurité de l’internet des objets (IOT),” in *Colloque sur les Objets et systèmes Connectés-COC’2021*, 2021.
- [8] A. M. LONZETTA, P. COPE, J. CAMPBELL, B. J. MOHD et T. HAYAJNEH, “Security vulnerabilities in Bluetooth technology as used in IoT,” *Journal of Sensor and Actuator Networks*, t. 7, n° 3, p. 28, 2018.
- [9] S. J. DANBATTÀ et A. VAROL, “Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and bluetooth wireless technologies used in home automation,” in *2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, IEEE, 2019, p. 1-5.
- [10] K. SARAUBON, P. CHINAKUL et R. CHANPEN, “Asset Management System using NFC and IoT Technologies,” in *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Software and e-Business*, 2019, p. 124-128.

- [11] B. BENMAMMAR et F. KRIEF, “La technologie agent et les réseaux sans fil,” 2004.
- [12] J. FÜRST, K. CHEN, H.-S. KIM et P. BONNET, “Evaluating Bluetooth low energy for IoT,” in *2018 IEEE Workshop on Benchmarking Cyber-Physical Networks and Systems (CPSBench)*, IEEE, 2018, p. 1-6.
- [13] H. MEGNAFI, “Frequency plan optimization based on genetic algorithms for cellular networks,” *Journal of Communications Software and Systems*, t. 16, n° 3, p. 217-223, 2020.
- [14] I. M. M. BOLIVAR, “Jamming on LoRaWAN Networks : from modelling to detection,” thèse de doct., Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, 2021.
- [15] B. VEJLGAARD, M. LAURIDSEN, H. NGUYEN, I. Z. KOVÁCS, P. MOGENSEN et M. SORENSEN, “Coverage and capacity analysis of sigfox, lora, gprs, and nb-iot,” in *2017 IEEE 85th vehicular technology conference (VTC Spring)*, IEEE, 2017, p. 1-5.
- [16] O. HERSENT, D. BOSWARTHICK et O. ELLOUMI, *The internet of things : Key applications and protocols*. John Wiley & Sons, 2011.
- [17] Z. SHELBY, K. HARTKE et C. BORMANN, “The constrained application protocol (CoAP),” rapp. tech., 2014.
- [18] H. B. REBAH, “Gateway IoT de pilotage et de surveillance des capteurs domestiques via le protocole MQTT,” in *colloque international sur les objets et systèmes connectés 2022*, 2022.
- [19] C. AKASIADIS, V. PITSILIS et C. D. SPYROPOULOS, “A multi-protocol IoT platform based on open-source frameworks,” *Sensors*, t. 19, n° 19, p. 4217, 2019.
- [20] A. BADOUCHE et S. KRIT, “Webar Application For An Air Quality System In IOT-Based Smart Environment,” *International Journal*, t. 10, n° 3, p. 190-201, 2023.
- [21] P. KANAKARAJA, P. S. SUNDAR, N. VAISHNAVI, S. G. K. REDDY et G. S. MANIKANTA, “IoT enabled advanced forest fire detecting and monitoring on Ubidots platform,” *Materials Today : Proceedings*, t. 46, p. 3907-3914, 2021.
- [22] M. A. KAMARUDIN, N. H. M. YUNUS, M. R. A. RAZAK, M. S. M. NADZIR et K. M. ALHASA, “Development of Blynk IoT platform weather information monitoring system,” in *Advanced Materials and Engineering Technologies*, Springer, 2022, p. 295-305.

- [23] F. B. E. BENABBOU, "Smart Home System Based on IoT With Video Surveillance," thèse de doct., 2021.
- [24] K. O. E. par AIT-IZEM TAREK, *Smart agriculture Monitoring Using Internet of Things*, 2021.
- [25] S. G. H. SOUMYALATHA, "Study of IoT : understanding IoT architecture, applications, issues and challenges," in *1st International Conference on Innovations in Computing & Net-working (ICICN16), CSE, RRCE. International Journal of Advanced Networking & Applications*, t. 478, 2016.
- [26] M. A. RAGAB, M. M. BADRELDEEN, A. SEDHOM et W. M. MAMDOUH, "IOT based smart irrigation system," *International Journal of Industry and Sustainable Development*, t. 3, n° 1, p. 76-86, 2022.
- [27] W. WALUYO, A. WIDURA, F. HADIATNA et D. ANUGERAH, "Comparative power and energy consumptions between scheduled and fuzzy controlling on an IoT-based vertical farming," in *2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICH-VEPS)*, IEEE, 2021, p. 278-282.
- [28] A. A. LAGHARI, K. WU, R. A. LAGHARI, M. ALI et A. A. KHAN, "A review and state of art of Internet of Things (IoT)," *Archives of Computational Methods in Engineering*, p. 1-19, 2021.
- [29] S. HARISHANKAR, R. S. KUMAR, K. SUDHARSAN, U. VIGNESH et T. VIVEKNATH, "Solar powered smart irrigation system," *Advance in electronic and electric engineering*, t. 4, n° 4, p. 341-346, 2014.
- [30] M. mohamed abd elfetah ET ZIANE MOHAMED ISLAM, *Étude et réalisation d'un système d'arrosage automatique basé sur l'énergie photovoltaïque*, 2021.
- [31] H. MEGNAFI, G. ABDELLAOUI et M. A. MR BRAHAMI, "Systèmes à Microcontrôleur," 2019.
- [32] C. A. ABDERRAHIM et A. BENHANIFIA, "Conception et Réalisation d'un Système d'Arrosage Automatique et Autonome," thèse de doct., D. MEGNAFI Hicham, 2020.