

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université AMO de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département Génie Electrique

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

Mohammedi mohamed abd elfetah

Et

Ziane mohamed islam

Thème

Étude et réalisation d'un système d'arrosage automatique basé sur l'énergie photovoltaïque

Soutenu le : 02/06/2023

Devant le Jury composé de :

Mr :	YASSA NASIRA	M.C.A Univ. Bouira	Encadreur
	OUADFEL GHANIA	M.A.B Univ. USTHB	Président
	ISSAOUNI SALIM	M.A.A Univ. Bouira	Examineur

Dédicaces

Certains mots ne suffisent pas à exprimer pleinement ma gratitude, mon amour, mon respect et ma reconnaissance. C'est avec humilité que je dédie cette thèse de Master à :

À mes chers parents, dont aucun hommage ne peut véritablement exprimer mon profond respect, mon amour éternel et ma reconnaissance pour les sacrifices consentis pour mon éducation et mon bien-être. Je vous remercie du fond du cœur pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez accordés depuis mon enfance.

À mes chers frères, pour leur soutien inébranlable et leurs encouragements.

À mon cher binôme "AbdElfetah".

À tous mes amis et camarades de promotion.

À toute ma famille, qui m'a soutenu tout au long de mon parcours universitaire.

À tous mes enseignants, depuis mes premières années d'études.

À tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de mentionner.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

- Mes chers parents, pour leur amour, leur soutien et les sacrifices consentis pour mon éducation
et mon bien-être.

- Mes chers frères, pour leur soutien et leurs encouragements constants.

- À toute ma famille, pour leur soutien tout au long de mes études universitaires.

- À mes amis et à tous ceux qui me connaissent, pour leur amitié et leur présence précieuse dans
ma vie.

- À toutes les personnes qui m'ont aidé à accomplir ce travail, je leur exprime ma profonde
gratitude.

- Enfin, à mes professeurs qui m'ont guidé depuis le début de mes études, je leur suis
reconnaisant pour leur enseignement et leur soutien.

Mohammedi mohamed abdefetah

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Département des Sciences et des Sciences appliquées de
l'Université de Bouira.

Je tiens à remercier, en premier lieu, la Dr Nassera Yassa, directrice de ce mémoire, pour son aide
constante, ses conseils judicieux et ses remarques objectives.

Nous remercions également les membres du jury qui ont eu l'honneur d'accepter d'évaluer notre
travail, la Dr BENSMAIL et le Dr ISSAOUNI, qui ont contribué à sa réalisation.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers tous les enseignants du département de génie électrique
pour toutes les connaissances théoriques et pratiques ainsi que l'accompagnement qu'ils m'ont
apportés tout au long de mon cursus universitaire.

Je n'oublie pas mes camarades de promotion pour ces années passées ensemble dans la joie et la
bonne humeur.

Résumé

Ce projet vise à développer un système d'irrigation intelligent qui utilise une technologie avancée pour arroser les plantes efficacement et sans intervention humaine fréquente. Le système repose sur la mesure de l'humidité du sol et l'activation de la pompe selon les besoins des plantes. Cela est réalisé à l'aide d'un capteur d'humidité du sol qui fournit des lectures précises. La surveillance et le contrôle du système sont effectués à l'aide d'un Arduino Uno, et les données sont partagées avec l'utilisateur via une application sur un téléphone portable ou un ordinateur à l'aide d'un ESP32. L'énergie solaire est utilisée pour alimenter la batterie responsable du fonctionnement du système. L'objectif de ce système est d'atteindre une irrigation intelligente et de réduire la consommation d'eau en ajustant la quantité d'eau utilisée et en programmant l'irrigation selon les besoins des plantes. Le système offre également confort et flexibilité aux agriculteurs, leur permettant de surveiller et de gérer le système à distance, garantissant ainsi un arrosage efficace et durable de leurs cultures.

Mots-clés : Irrigation intelligente, IdO, l'effet photovoltaïque, Rayonnement solaire, Le MQTT

Table des Matières

Remerciements	I
Résumé	II
Table des Matières	III
Liste des Figures.....	VII
Liste des Tableaux.....	VIII
Listes des Acronymes et Symboles.....	VIII

Introduction Générale1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes l'arrosage

I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition	3
I.2.1 l'eau et la plante	3
I.2.2 la relation eau et sol et plante.	3
I.2.3 L'arrosage	3
I.3 Différents Méthodes d'arrosages	4
I.3.1 L'irrigation de surface ou gravitaire	4
I.3.1.1 Irrigation par bassins.....	4
I.3.1.2 L'irrigation par sillons / à la raie	5
I.3.1.3 L'irrigation par planches.....	5
I.3.1.4 Les avantages et les inconvénients de la méthode de surface.	6
I.3.2 L'irrigation par aspersion.....	7
I.3.3 L'irrigation goutte à goutte	8
I.4 Irrigation intelligente	9
I.4.1 Les Avantages de l'irrigation intelligente.....	10
I.4.2 Les inconvénients de l'irrigation intelligente	10
I.4.3 Les obstacles de l'irrigation intelligente.....	11
I.5 Les facteurs de choix des systèmes d'irrigation	11
I.6 Conclusion	12

Chapitre II : L'énergie photovoltaïque

II.1 Introduction	13
II.2 Rayonnement solaire	13
II.2.1 Définition.....	13
II.2.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire.....	13
II.2.3 Masse d'air	14
II.3 La cellule photovoltaïque	15
II.3.1 Définition.....	15
II.3.2 l'effet photovoltaïque.....	15
II.3.3 Principe de fonctionnement	16
II.3.4 Les caractéristiques électriques	17
II.4 Les différents types de cellules photovoltaïques	19
II.5 Système photovoltaïque.....	20
II.6 Composante de système PV autonome.....	22
II.6.1 Générateur PV	22
II.6.2 Système de régulation.....	24
II.6.3 Système de stockage	24
II.6.3.1 La batterie au plomb ouvert.....	25
II.6.3.2 La batterie AGM.....	25
II.6.3.3 La batterie Gel	25
II.6.3.4 La batterie en Lithium	25
II.6.4 Système de conversion	26
II.6.4.1 Onduleurs	26
II.6.4.2 Régulateurs de charge.....	26
II.6.4.3 Convertisseurs de tension	26
II.6.4.4 Convertisseurs de fréquence	27
II.6.5 La Charge	27
II.7 Conclusion	28

Chapitre III: Internet des objets « IoT »

III.1 Introduction	29
III.2 Définition	29

III.2.1 Internet	29
III.2.2 Objet	29
III.3 Domaines d'application.....	29
III.3.1 La domotique.....	30
III.3.2 Le transport	30
III.3.3 Agriculture Intelligente	31
III.3.4 La médecine intelligente	31
III.4 Architecture de l'Internet des Objets.....	32
III.5 Les technologies du réseau.....	33
III.5.1 Les technologies de courte portée	33
III.5.2 Les technologies de moyenne portée	34
III.5.3 Les technologies de longue portée	34
III.5.3.1 Réseaux cellulaires mobiles	35
III.5.3.2 Réseaux radio bas-débit	35
III.6 Protocoles de fonctionnement de L'IOT	36
III.6.1 Le CoAP (Constrained Application Protocol).....	37
III.6.2 Le MQTT (Message Queue Telemetry Transport)	38
III.6.3 XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol).....	38
III.6.4 AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)	38
III.7 Les modèles de communication d'Internet des objets	38
III.7.1 Périphérique à périphérique	38
III.7.2 Périphérique à Cloud	38
III.7.3 Périphérique vers passerelle	39
III.7.4 Modèle de partage de données principal	39
III.8 Conclusion	40

Chapitre IV : La réalisation du système d'irrigation intelligent

IV.1 Introduction.....	41
IV.2 Présentation du cahier des charges.....	41
IV.3 Les Matériels utilisés	41
IV.3.1 ESP 32 DEVKIT_CH340	41

IV.3.2 Capteur d'humidité du sol	42
IV.3.3 Le capteur HC-SR04.....	43
IV.3.4 Une pompe 5V	43
IV.3.5 Module relais à un canal 5V.....	44
IV.3.6 Capteur de niveau d'eau ST045.....	45
IV.3.7 Panneau solaire 5V.....	45
IV.3.8 Servomoteur SG90.....	46
IV.3.9 La Photorésistance LDR	46
IV.3.10 BMS2S	47
IV.3.11 Arduino uno	47
IV.3.12 Batterie lithium rechargeable	48
IV.4 les Logiciel utilise	49
IV.4.1 Plateforme IDE	49
IV.4.2 Blynk.....	50
IV.5 Etapes de réalisation.....	50
IV.5.1 Le schéma de câblage	50
IV.5.2 Principe de fonctionnement.....	51
IV.6 Mise en marche	51
IV.6.1Blynk.....	51
IV.6.2 Système	53
IV.7 Conclusion	54
Conclusion Générale	55
Références	56
Annexe	60

Liste des Figures

Figure I.1 : Irrigation par bassins	4
Figure I.2 : L'irrigation à la raie	5
Figure I.3 : L'irrigation par planches	6
Figure I.4 : Irrigation par aspersion.....	8
Figure I.5 : Irrigation goutte à goutte	9
Figure II.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	14
Figure II.2 : Le rayonnement solaire et le nombre d'air masse.....	14
Figure II.3 : l'effet photovoltaïque	16
Figure II.4 : Le principe de fonctionnement de cellule PV	17
Figure II.5 : Puissance maximale (Pm) sur une caractéristique courant-tension	18
Figure II.6 : Structure d'un système autonome.....	21
Figure II.7 : Structure d'un système PV connecté au réseau.....	21
Figure II.8 : Les Composants des panneaux solaires	22
Figure II.9 : Explique le principe de la mise en série de plusieurs cellules	23
Figure II.10 : Explique le principe de la mise en parallèle de plusieurs cellules	23
Figure III.1 : Les domaines d'application de l'Internet des Objets (IdO)	30
Figure III.2 : L'Internet des objets et la domotique	30
Figure III.3 : L'internet des objets dans le domaine d'agriculture Intelligente.....	31
Figure III.4 : L'internet des objets dans le domaine médical.....	32
Figure III.5 : L'architecture cinq couches	32
Figure III.6 : Protocole CoAP	37
Figure III.7 : MQTT dans un réseau IoT.....	37
Figure III.8 : Communication des objets à Cloud via passerelle locale	38
Figure III.9 : Modèle de partage de données back-end	40
Figure IV.1 : esp 32 devkit_ch340	42
Figure IV.2 : Capteur d'humidité du sol.....	42
Figure IV.3 : Le capteur HC-SR04	43
Figure IV.4 : Une pompe 5V.....	44
Figure IV.5 : Module relais à un canal 5V	44
Figure IV.6 : Capteur de niveau d'eau ST045	45
Figure IV.7 : Panneau solaire 5V	45
Figure IV.8 : Servomoteur SG90	46
Figure IV.10 : La photorésistance LDR	47
Figure IV.11 : BMS 2S	47
Figure IV.12 : Arduino Uno.....	48
Figure IV.13 : batterie Li-Ion rechargeable 18650.....	49
Figure IV.14 : Plateforme IDE.....	49
Figure IV.15 : Interface de la plateforme Blynk	50
Figure IV.16 : Schémas de câblage du système d'irrigation intelligent	50
Figure IV.17 : Créer un projet dans Blynk.....	52
Figure IV.18 : l'interface d'application.....	53
Figure IV.19 : Test pratique	56

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'irrigation de surface	6
Tableau I.2 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'irrigation de surface	8
Tableau I.3 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'irrigation de surface	9
Tableau II.1 : Le tableau présente les différents types de cellules photovoltaïques	20
Tableau II.2 : les avantages et les inconvénients des différents types de batteries utilisées	26

Listes des Acronymes et Symboles

• Acronymes

CO ₂	Dioxyde de carbone
PV	Photovoltaïque
SI	Silicium
CDTE	Tellure de cadmium
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol
COAP	Constrained Application Protocol
UDP	User Datagram Protocol
GSM	Global System for Mobile Communications
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
IoT	Internet of Things
SOA	Service-Oriented Architecture
CdTe	Cadmium Telluride
ZnS	Zinc Sulfide
GaAs	Gallium Arsenide
CIGS	Copper Indium Gallium Selenide
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
PWM	Pulse Width Modulation
MPPT	Maximum Power Point Tracking
AGM	Absorbent Glass Mat
BMS	Battery Management System

➤ Symboles

E_v	Valence Band Energy	eV
E_c	Conduction Band Energy	eV
E_g	Energy Gap	eV
p	Pression atmosphérique du site considéré	mb
ρ	Résistivité des conducteurs	$\Omega \cdot \text{cm}$

Introduction générale

L'arrosage automatique est devenu un moyen incontournable pour garantir une irrigation efficace et durable des espaces verts, que ce soit pour les jardins domestiques, les parcs publics, les terrains de sport ou les plantes d'intérieur [1]. Les systèmes d'arrosage automatique utilisent des technologies avancées pour gérer l'irrigation de manière intelligente, en prenant en compte divers facteurs tels que la teneur en eau dans le sol, les conditions météorologiques, les besoins spécifiques des plantes et les préférences des utilisateurs.

Un des défis majeurs de l'arrosage manuel traditionnel est la difficulté à maintenir un équilibre entre l'apport en eau adéquat pour les plantes et la conservation de l'eau, en évitant le gaspillage d'eau inutile. Les systèmes d'arrosage automatique résolvent ce problème en utilisant des capteurs pour mesurer la teneur en eau du sol et en programmant des cycles d'arrosage appropriés en fonction des données recueillies. Cela permet d'éviter l'arrosage excessif ou insuffisant, ce qui peut entraîner des pertes de plantes et un gaspillage d'eau. Une autre caractéristique clé des systèmes d'arrosage automatique est leur capacité à être programmés pour répondre aux besoins spécifiques des plantes et des utilisateurs [1][2].

Les différentes plantes ont des besoins en eau spécifiques en fonction de leur type, de leur stade de croissance, de la saison et d'autres facteurs [1]. Les systèmes d'arrosage automatique offrent donc la possibilité de personnaliser les programmes d'arrosage en fonction de ces besoins, ce qui permet de garantir une irrigation optimale pour la croissance et la santé des plantes, de plus, les systèmes d'arrosage automatique peuvent être intégrés à des systèmes de gestion centralisée, tels que des applications mobiles ou des plateformes en ligne, ce qui permet aux utilisateurs de surveiller et de contrôler leur système d'arrosage à distance. Cela offre une flexibilité et une commodité accrues, permettant aux utilisateurs de gérer leur irrigation même en étant absents, et de réagir rapidement aux changements de conditions météorologiques ou aux besoins des plantes [3].

L'adoption de l'Internet des objets (IoT) dans les systèmes d'arrosage automatique ouvre la voie à des possibilités encore plus avancées. Les capteurs connectés peuvent collecter et analyser des données en temps réel sur la teneur en eau du sol, la météo, la croissance des plantes et d'autres paramètres, ce qui permet d'optimiser les programmes d'arrosage en fonction de ces données. Les systèmes d'arrosage automatique peuvent également interagir avec d'autres dispositifs ou systèmes, tels que les systèmes météorologiques, les stations de contrôle de l'eau ou les prévisions météorologiques, pour ajuster automatiquement les cycles d'arrosage en fonction des conditions en temps réel.

Dans le contexte du développement des systèmes d'irrigation, on constate que la plupart des fermes se trouvent en zones rurales, loin des centres d'énergie. La fourniture d'électricité traditionnelle via le réseau électrique est très coûteuse, et l'utilisation de combustibles fossiles comme source d'énergie est nocive pour l'environnement en raison des émissions de gaz à effet de serre et de leurs impacts négatifs sur l'environnement. C'est pourquoi nous avons opté pour l'utilisation de l'énergie photovoltaïque, qui est la meilleure alternative car elle dépend de l'énergie solaire, disponible de manière durable et renouvelable dans de nombreuses régions du monde. L'énergie solaire n'est pas épuisable et ne génère pas d'émissions nocives pour l'environnement, ce qui en fait un choix écologique et durable [1][2][3].

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres encadrés par une introduction générale, une conclusion et des perspectives :

1er chapitre : Généralités sur les systèmes d'arrosage : Ce chapitre nous permet de nous familiariser avec les différents systèmes d'irrigation qui existent dans le milieu de l'agriculture.

2ème chapitre : L'énergie photovoltaïque : Nous présenterons la définition de l'énergie solaire et ses sources, ainsi qu'une étude générale sur le principe de fonctionnement et les différentes caractéristiques des cellules solaires. Enfin, nous donnerons un aperçu des composants du système photovoltaïque et des méthodes d'installation.

3ème chapitre : Vue générale sur l'Internet des Objets (IoT) : Nous donnerons une vue générale sur l'Internet des Objets, incluant la définition, les composantes, l'importance, les domaines d'applications, les objets connectés, etc.

4ème chapitre : La réalisation du système d'irrigation intelligent : Le quatrième chapitre illustre le matériel et les logiciels utilisés pour la réalisation de notre système. La dernière partie de ce chapitre est réservée à la conception et à la réalisation du système.

La mémoire se termine par une conclusion générale, des perspectives et des références bibliographiques.

Chapitre I :

Généralités sur les systèmes d'arrosage

I.1 Introduction :

La rareté de l'eau et l'augmentation constante des besoins en eau pour l'agriculture, combinées aux conflits d'utilisation avec d'autres secteurs tels que l'industrie et la consommation d'eau potable, nous obligent à réfléchir constamment aux économies d'eau. Cela implique inévitablement une gestion efficace de l'irrigation et la maîtrise de l'utilisation et du choix des systèmes d'irrigation.

I.2 Définition :

I.2.1 l'eau et la plante :

L'eau est un élément essentiel à la vie des plantes. L'optimisation de l'apport en eau à l'aide d'un système d'irrigation adapté vise à atteindre plusieurs objectifs importants : satisfaire les besoins en eau des plantes, éviter les déséquilibres hydriques qui favorisent le développement de maladies et de parasites, ainsi que prévenir le gaspillage d'eau.

I.2.2 la relation eau et sol et plante :

La relation entre l'eau, le sol et les plantes est interconnectée et cruciale pour leur croissance et leur santé. Les racines des plantes absorbent l'eau du sol par osmose, essentiel pour maintenir leur turgescence, favoriser la photosynthèse et transporter les nutriments. La disponibilité de l'eau dans le sol dépend de sa texture, de sa structure et de sa capacité de rétention d'eau. Le mouvement de l'eau dans le sol est influencé par la texture du sol, la pente du terrain, la profondeur des racines et la disponibilité de l'eau. Les besoins en eau des plantes varient en fonction de leur stade de croissance, de leur espèce, de leur environnement et des conditions climatiques. Un apport en eau adéquat est essentiel pour favoriser leur croissance. Cependant, un manque d'eau peut causer un stress hydrique chez les plantes, entraînant flétrissement, jaunissement des feuilles et diminution de la croissance. Un excès d'eau peut causer la pourriture des racines et le développement de maladies fongiques. Comprendre cette relation complexe est crucial pour optimiser l'irrigation et assurer la croissance saine des plantes.

I.2.3 L'arrosage :

L'irrigation est le processus d'ajout d'eau aux plantes, que ce soit par des moyens naturels tels que la pluie ou par des moyens artificiels tels que l'utilisation de tuyaux d'irrigation, de canaux ou de systèmes d'irrigation automatisés. L'irrigation vise à maintenir un niveau d'humidité adéquat pour les plantes afin qu'elles puissent pousser et se développer correctement.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes d'arrosage

L'irrigation peut être un élément très important dans la gestion des cultures en agriculture, et elle peut être nocive si la quantité d'eau dépasse les besoins de la plante, car elle s'infiltre sous la zone racinaire, emportant avec elle des engrais, de sorte que la plante ne bénéficie pas.

I.3 Différentes Méthodes d'arrosages :

Les systèmes d'irrigation peuvent être divisés en trois groupes principaux: l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation à la goutte à goutte.

I.3.1 L'irrigation de surface ou gravitaire :

L'irrigation de surface est une technique qui consiste à apporter de l'eau au point le plus élevé du terrain et à la laisser s'écouler naturellement par gravité. Ensuite, l'eau est répartie dans le champ en utilisant diverses méthodes :

I.3.1.1 Irrigation par bassins :

L'irrigation par bassins est une méthode d'irrigation de surface dans laquelle de petites parcelles de terrain sont entourées de digues peu élevées pour créer des bassins peu profonds. Les bassins sont ensuite remplis d'eau, qui est absorbée par le sol et les racines des plantes.

Cette méthode est souvent utilisée dans les régions où l'eau est abondante et les sols sont perméables, et elle est particulièrement adaptée aux cultures telles que le riz, les légumes et les fruits. Elle peut également être utilisée pour réduire l'érosion du sol et pour reconstituer les nappes phréatiques.



Figure I.1 : Irrigation par bassins [28].

I.3.1.2 L'irrigation par sillons / à la raie :

Est une méthode d'irrigation de surface qui consiste à creuser des sillons peu profonds entre les rangées de plantes pour y distribuer de l'eau. Cette technique est souvent utilisée dans les régions où l'eau est rare et les sols sont perméables, notamment pour des cultures telles que le maïs, le soja et le coton. Cependant, l'irrigation par sillons peut nécessiter une main-d'œuvre importante pour préparer les sillons et peut entraîner une répartition inégale de l'eau si les sillons ne sont pas entretenus correctement. De plus, elle peut être limitée par la capacité du sol à absorber l'eau et la gestion efficace de l'eau disponible



Figure I.2 : L'irrigation à la raie [29].

I.3.1.3 L'irrigation par planches :

L'irrigation par planches est une méthode d'irrigation de surface où l'eau est distribuée sur une surface plate et horizontale, comme une planche d'arrosage. L'eau est ensuite absorbée par le sol et les racines des plantes.

Cette technique est souvent utilisée dans les régions où l'eau est abondante et les sols sont perméables, et elle est particulièrement adaptée aux cultures telles que le riz, les légumes et les fruits. Elle peut également être utilisée pour réduire l'érosion du sol et pour reconstituer les nappes phréatiques.



Figure I.3: L'irrigation par planches [30].

I.3.1.4 Les avantages et les inconvénients de la méthode de surface :

Malgré la diversité des systèmes d'irrigation de surface, chaque type présente des avantages et des inconvénients qui sont détaillés dans le tableau suivant :

Méthode d'irrigation	Avantages	Inconvénients
Irrigation par bassins	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation efficace de l'eau - Réduction de l'érosion du sol - Adaptée aux cultures telles que le riz, les légumes et les fruits 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'une main-d'œuvre importante pour la préparation des bassins - Distribution inégale de l'eau si les bassins ne sont pas entretenus correctement
Irrigation par sillons / à la raie	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation efficace de l'eau Adaptée aux cultures telles que le maïs, le soja et le coton 	<p>Nécessite une main-d'œuvre pour la préparation des sillons</p> <p>Distribution inégale de l'eau si les sillons ne sont pas entretenus correctement</p> <p>Peut être limitée par la</p>

Chapitre I : Généralités sur les systèmes d'arrosage

		capacité du sol à absorber l'eau
Irrigation par planches	<ul style="list-style-type: none">- Utilisation efficace de l'eau- Réduction de l'érosion du sol- Adaptée aux cultures telles que le riz, les légumes et les fruits	<ul style="list-style-type: none">- Besoin d'une main-d'œuvre pour la préparation des planches- Distribution inégale de l'eau si les planches ne sont pas entretenues correctement

Tableau I.1: Les avantages et les inconvénients des méthodes d'irrigation de surface [1]

I.3.2 L'irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion est une méthode d'irrigation agricole qui implique la pulvérisation d'eau sur les plantes à l'aide de pulvérisateurs qui dispersent de fines gouttelettes d'eau dans l'air. Cette méthode est largement utilisée dans l'agriculture, notamment dans les cultures à grande échelle telles que les céréales, les légumes, les fruits, etc.

Le système d'irrigation par aspersion se compose d'une source d'eau, d'une pompe, de tuyaux, de pulvérisateurs et de dispositifs de contrôle. L'eau est pompée à partir de la source et transportée à travers les tuyaux jusqu'aux pulvérisateurs qui pulvérisent les gouttelettes d'eau sur les plantes. Les dispositifs de contrôle permettent de régler le débit et la pression pour assurer une distribution uniforme de l'eau sur toutes les plantes.



Figure I.4 : Irrigation par aspersion [31]

Ce tableau qui présente les avantages et les inconvénients du système d'irrigation par aspersion :

Les avantages	Les inconvénients :
<ul style="list-style-type: none">- Couverture de grandes surfaces- Installation facile- Adaptabilité- Gestion précise- Réduction des maladies	<ul style="list-style-type: none">- Perte d'eau par évaporation Coût élevé- Sensibilité au vent- Érosion du sol- Gaspillage d'eau

Tableau I.2 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'irrigation de surface

I.3.3L'irrigation goutte à goutte :

L'irrigation par goutte à goutte est considérée comme le système le plus efficace pour fournir de l'eau et des nutriments aux cultures en croissance. elle permet de délivrer l'eau et les nutriments directement à la zone racinaire des plantes, en quantité adéquate et au bon moment, pour une croissance optimale en utilisant des tuyaux et des émetteurs de gouttelettes d'eau. Cette méthode d'irrigation permet aux agriculteurs d'obtenir de meilleurs rendements tout en économisant de l'eau, des engrais, de l'énergie et même des produits phytosanitaires.



Figure I.5 : Irrigation goutte à goutte [32]

Dans ce tableau, nous présenterons les avantages et les inconvénients du système l'irrigation goutte à goutte :

Les avantages	Les inconvénients :
<ul style="list-style-type: none">- Économie d'eau- Économie d'engrais- Réduction des mauvaises herbes- Meilleure croissance des plantes- Respectueuse de l'environnement	<ul style="list-style-type: none">- Coût initial élevé- Maintenance régulière- Gestion précise- Sensibilité aux conditions météorologiques- Durée de vie limitée

Tableau I.3 : Les avantages et les inconvénients des méthodes d'irrigation de surface

I.4 Irrigation intelligente :

L'irrigation intelligente est une approche de l'irrigation qui utilise des technologies avancées pour optimiser l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. Elle repose sur l'utilisation de capteurs, de systèmes de communication et d'algorithmes pour mesurer et contrôler l'irrigation en temps réel en fonction des besoins des cultures et des conditions environnementales.

Les systèmes d'irrigation intelligente utilisent des capteurs pour mesurer la teneur en eau du sol, la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et d'autres paramètres liés à

l'environnement. Ces capteurs fournissent des informations en temps réel sur l'état des cultures et de l'environnement, qui sont utilisées par des algorithmes pour déterminer le moment et la quantité d'eau nécessaire pour irriguer les cultures.

Les systèmes d'irrigation intelligente sont souvent connectés à des systèmes de gestion des données en temps réel, qui permettent aux agriculteurs de surveiller l'irrigation à distance et de recevoir des alertes en cas de besoin. Certains systèmes d'irrigation intelligente sont également équipés de dispositifs de contrôle automatisés qui peuvent activer et désactiver l'irrigation en temps réel en fonction des besoins des cultures [1].

I.4.1 Les Avantages de l'irrigation intelligente :

L'irrigation intelligente est une approche de l'irrigation qui utilise des technologies avancées pour optimiser l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. Elle offre plusieurs avantages, notamment :

- Utilisation efficace de l'eau
- Augmentation de la productivité
- Réduction des coûts énergétiques
- Réduction de l'impact environnemental
- Amélioration de la qualité des cultures
- Gestion plus efficace des ressources en eau

I.4.2 Les inconvénients de l'irrigation intelligente :

Bien que l'irrigation intelligente présente de nombreux avantages, elle peut également présenter certains inconvénients, tels que :

- Coûts initiaux élevés
- Besoin de compétences techniques
- Complexité du système
- Risque de défaillance technique
- Dépendance à l'électricité

Il est important de prendre en compte ces inconvénients lors de la mise en place de systèmes d'irrigation intelligente et de trouver des solutions pour les atténuer afin d'optimiser les avantages de cette technologie.

I.4.3 Les obstacles de d'irrigation intelligente :

Les obstacles courants aux systèmes d'irrigation intelligente peuvent inclure :

- Manque de formation et de compétences
- Accès limité à l'eau et à l'électricité
- Faible prise de conscience

Ces obstacles peuvent être surmontés par une collaboration entre les gouvernements, les organisations non gouvernementales, les chercheurs et les agriculteurs pour développer des stratégies adaptées à chaque situation et encourager l'adoption de systèmes d'irrigation intelligente.

I.5 Les facteurs de choix des systèmes d'irrigation [3] :

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de plusieurs facteurs, notamment :

Type de culture : Le type de culture que vous cultivez peut influencer le choix du système d'irrigation. Certaines cultures ont des besoins en eau spécifiques, et certains systèmes d'irrigation sont plus adaptés à certains types de cultures.

Conditions climatiques : Le climat de la région où se trouve votre culture est un facteur important dans le choix du système d'irrigation. Les précipitations, l'humidité relative, la température et les vents peuvent tous affecter les besoins en eau de vos cultures et, par conséquent, le choix du système d'irrigation approprié. Par exemple, dans les régions chaudes et arides, un système d'irrigation efficace et économe en eau comme l'irrigation goutte à goutte peut être préféré.

Disponibilité de l'eau : La disponibilité de l'eau est un autre facteur clé dans le choix du système d'irrigation. Si l'eau est limitée, vous devrez choisir un système d'irrigation qui utilise l'eau de manière efficace et économique, comme l'irrigation localisée ou l'irrigation par goutte-à-goutte. Si l'eau est abondante, vous pouvez opter pour des systèmes d'irrigation par aspersion ou par inondation.

Topographie du terrain : La topographie du terrain peut également influencer le choix du système d'irrigation. Les terrains plats peuvent être bien adaptés à l'irrigation par aspersion ou par inondation, tandis que les terrains en pente peuvent nécessiter des systèmes d'irrigation localisée ou par contour pour éviter l'érosion du sol.

Taille de la parcelle : La taille de la parcelle à irriguer peut également jouer un rôle dans le choix du système d'irrigation. Les petites parcelles peuvent être irriguées efficacement avec des

systèmes d'irrigation localisée ou par goutte-à-goutte, tandis que les grandes parcelles peuvent nécessiter des systèmes d'irrigation par aspersion ou par inondation.

Coûts d'installation et de fonctionnement : Les coûts d'installation et de fonctionnement du système d'irrigation sont également des facteurs importants à prendre en compte, certains systèmes d'irrigation peuvent être plus coûteux à installer ou à entretenir que d'autres. Il est important de prendre en compte les coûts à long terme, y compris les coûts d'énergie, de maintenance, d'approvisionnement en eau et d'entretien, lors du choix du système d'irrigation.

Niveau de technicité : Le niveau de technicité et d'expertise de l'opérateur ou de l'agriculteur peut également influencer le choix du système d'irrigation, certains systèmes d'irrigation nécessitent une formation technique et une gestion plus avancée.

I.6 conclusion :

Le système d'arrosage est une solution moderne et pratique pour l'irrigation des plantes. Il offre de nombreux avantages, tels que la gestion efficace de l'apport en eau, l'optimisation de la croissance des plantes, l'économie d'eau et le gain de temps. Cependant, il est important de l'utiliser de manière responsable en ajustant les réglages en fonction des besoins spécifiques des plantes, des conditions locales et des réglementations sur l'utilisation de l'eau.

La surveillance régulière du fonctionnement du système et la pratique d'une gestion responsable de l'eau sont essentielles pour assurer son bon fonctionnement et éviter le gaspillage d'eau. Il est également important de ne pas négliger d'autres méthodes d'arrosage appropriées et de respecter les restrictions locales en vigueur. En somme, le système d'arrosage est un outil utile pour faciliter l'irrigation des plantes, mais son utilisation doit être réfléchie et responsable pour garantir une utilisation efficace et durable des ressources en eau.

Chapitre II :

L'énergie photovoltaïque

II.1 Introduction :

L'énergie est l'une des ressources les plus importantes de notre époque, elle est utilisée pour alimenter nos maisons, nos voitures, nos usines et nos appareils électroniques, cependant, la production et la consommation d'énergie ont un impact significatif sur notre environnement, notamment en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre et le changement climatique.

C'est pourquoi de plus en plus de gens cherchent des sources d'énergie renouvelable, l'énergie solaire est l'une de ces sources d'énergie renouvelable, et elle est de plus en plus utilisée dans le monde entier pour produire de l'électricité.

L'énergie électro-solaire, est une technologie qui permet de convertir directement la lumière du soleil en électricité, grâce à des cellules photovoltaïques.

Dans ce qui suit, une étude sur le procédé de conversion solaire en électricité sera présentée, depuis la source primaire que constitue le rayonnement solaire jusqu'à la production d'électricité à grande échelle dans les centrales solaires photovoltaïques.

II.2 Rayonnement solaire :

II.2.1 Définition :

Le rayonnement solaire est l'énergie électromagnétique émise par le soleil. Cette énergie est essentielle pour maintenir la vie sur terre car elle fournit la lumière et la chaleur nécessaires à la photosynthèse et au cycle de l'eau. Le rayonnement solaire est composé de différents types d'ondes électromagnétiques, qui ont des longueurs d'onde et des fréquences différentes. La majorité de l'énergie du rayonnement solaire se trouve dans le spectre visible, qui comprend les couleurs de l'arc-en-ciel. Cependant, il y a également des ondes infrarouges et ultraviolettes. Le rayonnement solaire est la source d'énergie pour de nombreuses technologies solaires, telles que les panneaux solaires photovoltaïques et les chauffe-eaux solaires.

II.2.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire [6] :

Le rayonnement solaire est constitué d'une gamme de longueurs d'ondes différentes, allant des rayons gamma aux ondes radio. La répartition spectrale du rayonnement solaire, également appelée spectre solaire, représente la quantité d'énergie solaire émise dans chaque plage de longueurs d'ondes.

Le spectre solaire est généralement divisé en trois régions principales : l'ultraviolet (UV), la lumière visible et l'infrarouge (IR). L'ultraviolet comprend des longueurs d'onde plus courtes que la lumière visible, tandis que l'infrarouge comprend des longueurs d'onde plus longues.

➤9% dans la bande des ultraviolets (<0,4 μm)

➤47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm)

➤44% dans la bande des infrarouges (>0,8 μm)

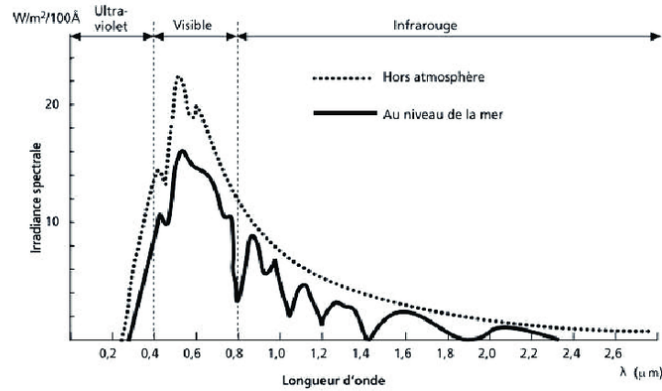


Figure II.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire

II.2.3 Masse d'air :

La masse d'air est la longueur du trajet que la lumière parcourt à travers l'atmosphère normalisée par rapport à la longueur de trajet la plus courte possible (c'est-à-dire lorsque le soleil est directement au-dessus). La masse d'air quantifie la réduction de la puissance de la lumière lorsqu'elle traverse l'atmosphère et est absorbée par l'air et la poussière. La masse d'air est définie comme suit [9].

A l'aide des points O, A et M et l'angle h, la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère :

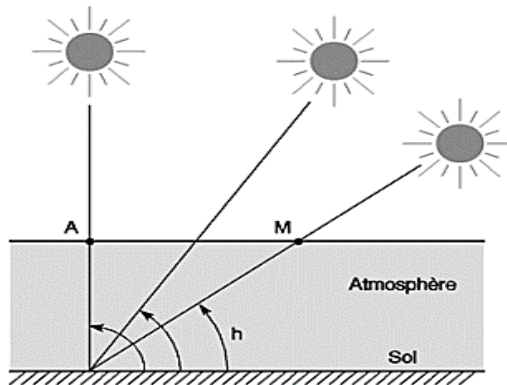


Figure II.2 : Le rayonnement solaire et le nombre d'air masse [37]

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \quad \text{Donc l'air mass} \quad \frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin h}$$

Pour un site quelconque :

$$AMX = \frac{1}{\sin h} \times \frac{p}{1013}$$

p : Pression atmosphérique du site considéré (mb)

AM1 lorsque le soleil est au zénith, AM2 lorsqu'on a une inclinaison de 30°.

Et on dit qu'on a les conditions :

- AM1 lorsque le soleil est au zénith.
- AM2 lorsqu'on a une inclinaison de 30°.
- AM0 Hors atmosphère à haute altitude.

II.3 La cellule photovoltaïque :

II.3.1 Définition :

La cellule photovoltaïque (PV) est l'élément central d'un module photovoltaïque. Elle est composée d'une mince couche de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium. Cette couche permet de générer un courant électrique lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil, convertissant ainsi l'énergie solaire en énergie électrique utilisable pour alimenter des appareils électroniques. Les cellules photovoltaïques sont largement utilisées dans les applications d'énergie solaire et d'autres sources d'énergie renouvelable. La structure de la cellule comprend deux couches de semi-conducteurs : une couche positive (type P) qui contient des trous et une couche négative qui contient des électrons. Entre ces deux couches se trouve une couche de transition n-p[13].

II.3.2 l'effet photovoltaïque :

Est un phénomène physique qui se produit lorsque la lumière (photons) est absorbée par un matériau, créant ainsi un courant électrique. Plus précisément, l'effet photovoltaïque se produit lorsqu'un matériau, tel que le silicium, est exposé à la lumière et que les photons frappent les électrons dans le matériau, leur fournissant suffisamment d'énergie pour se libérer de leurs atomes d'origine et se déplacer librement.

Ces électrons libérés peuvent être collectés par des électrodes placées de chaque côté du matériau, créant ainsi un courant électrique continu. C'est le principe de base de la technologie des cellules solaires photovoltaïques, qui sont utilisées pour produire de l'électricité à partir de la lumière du soleil [18].

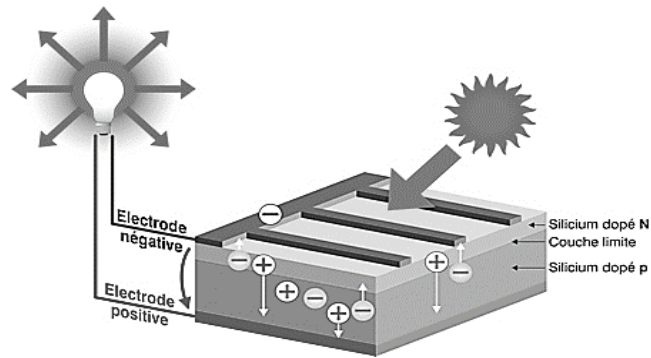


Figure II.3 : L'effet photovoltaïque [38]

II.3.3 Principe de fonctionnement :

Quand un semi-conducteur absorbe la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant ainsi un "trou" dans la structure cristalline. En règle générale, l'électron libéré par le photon trouve rapidement un trou voisin pour se combler, dissipant ainsi l'énergie apportée par le photon. Toutefois, le principe d'une cellule photovoltaïque consiste à forcer les électrons et les trous à se déplacer dans des directions opposées, créant ainsi une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces du matériau.

Pour réaliser cela, on utilise une jonction PN, créée entre deux couches dopées respectivement P et N, afin de générer un champ électrique permanent. La couche supérieure de la cellule est constituée de silicium dopé N, contenant une quantité d'électrons libres supérieure à celle d'une couche de silicium pur. La couche inférieure de la cellule est constituée de silicium dopé P, contenant en moyenne une quantité d'électrons libres inférieure à celle d'une couche de silicium pur. Lors de la création de la jonction P-N, les électrons libres de la région N pénètrent dans la couche P et se recombinent avec les trous de la région P, créant ainsi une charge positive dans la région N au bord de la jonction et une charge négative dans la région P au bord de la jonction, formant ainsi la Zone de Charge d'Espace (ZCE) avec un champ électrique entre les deux régions, de N vers P.

Ce champ électrique transforme la ZCE en une diode qui ne permet le passage du courant que dans un sens : les électrons peuvent passer de la région P vers la région N, tandis que les trous peuvent passer de la région N vers la région P. Lorsqu'un photon arrache un électron à la matrice, créant un électron libre et un trou, sous l'effet de ce champ électrique, les électrons et les trous sont dirigés dans des directions opposées : les électrons s'accumulent dans la région N (qui devient le pôle "-"), tandis que les trous s'accumulent dans la couche dopée P (qui devient le pôle "+").

Ce phénomène est plus efficace dans la ZCE, où il n'y a pratiquement plus de porteurs de charges (électrons ou trous) puisqu'ils se sont annulés, ou à proximité immédiate de la ZCE. Lorsqu'un photon y crée une paire électron-trou, ils se séparent et ont peu de chance de se

recombinaison, contrairement à une paire créée loin de la jonction, où l'électron et le trou ont plus de chance de se recombiner avant d'atteindre la zone N ou la zone P. Toutefois, la ZCE est très mince, il n'est donc pas nécessaire de donner une grande épaisseur à la cellule.

Il est à noter que la production d'électricité par les cellules photovoltaïques dépend de plusieurs facteurs tels que l'intensité lumineuse, la température, l'orientation et l'inclinaison de la surface des cellules, etc. De plus, les cellules photovoltaïques ont un rendement relativement faible, généralement inférieur à 25%, ce qui signifie qu'une grande partie de l'énergie solaire reçue est perdue sous forme de chaleur. Cependant, les avancées technologiques ont permis d'améliorer les performances des cellules photovoltaïques et de réduire leur coût de production, ce qui a contribué à leur développement et leur utilisation de plus en plus répandue dans la production d'électricité solaire [19].

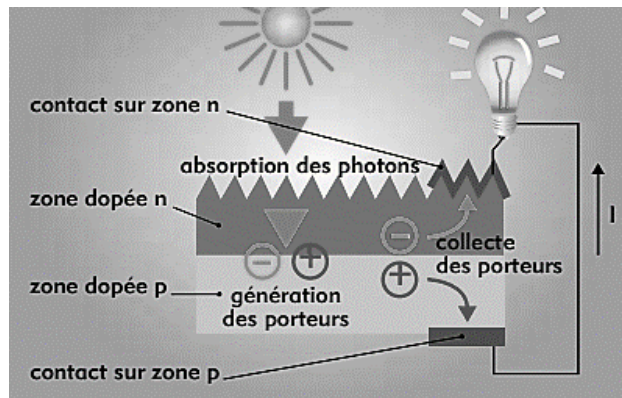


Figure II.4 : Le principe de fonctionnement de cellule PV [19]

II.3.4 Les caractéristiques électriques [24] :

Les paramètres les plus importants des cellules photovoltaïques sont :

a) Point de puissance maximale $p_m(W)$

Le point de puissance maximale (PPM) est le point de fonctionnement d'un module solaire photovoltaïque (PV) où la puissance de sortie est maximale. Cette courbe est obtenue en mesurant la tension et le courant de sortie du module à différentes charges électriques.

Le PPM est important car il permet de déterminer l'efficacité d'un module solaire PV. le PPM varie en fonction de différents facteurs tels que les conditions d'ensoleillement, la température, l'orientation et l'inclinaison du module. Par conséquent, les fabricants de modules solaires PV fournissent généralement des données de performances pour différentes conditions de test afin d'aider les installateurs à choisir le module le mieux adapté à leur application.

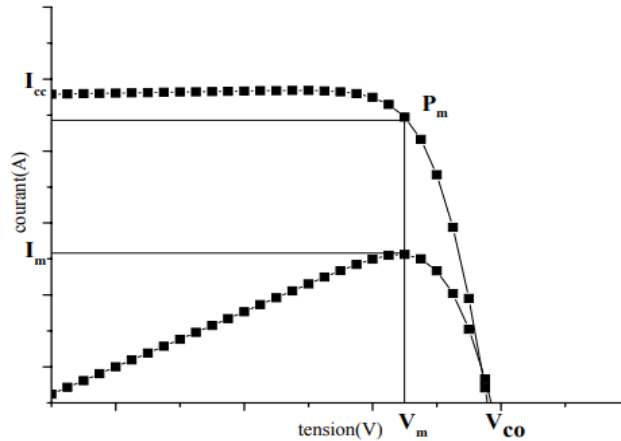


Figure II.5 : Puissance maximale (P_m) sur une caractéristique courant-tension [22]

b) Tension de circuit ouvert V_{oc}

C'est la tension pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul

c) Courant de court-circuit I_{cc}

Le courant de court-circuit I_{cc} est la valeur de courant lorsque la tension est nul ($V = 0$).

d) Le facteur de forme [20]

Le facteur de forme (FF) est défini comme le rapport de la puissance de sortie maximale d'un module (P_{max}) à son produit de tension à circuit ouvert (V_{OC}) et de courant de court-circuit (I_{CC}), soit :

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{CC} V_{OC}}$$

Le FF représente la qualité de fabrication d'un module solaire PV et sa capacité à convertir efficacement l'énergie solaire en électricité.

Généralement le facteur de forme prend des valeurs entre 0.6 et 0.85.

e) Le rendement [22]

Le rendement énergétique (η) d'une cellule solaire est défini comme le rapport entre la puissance maximale (P_m) produite par la cellule solaire et la puissance du rayonnement solaire (E) qui arrive sur sa surface (S).

En d'autres termes, le rendement énergétique mesure l'efficacité de conversion de la lumière solaire en électricité par la cellule solaire. Mathématiquement, cela peut être exprimé comme suit :

$$\eta = \frac{P_m}{S \times E}$$

II.4 Les différents types de cellules photovoltaïques

Le domaine des cellules solaires a connu une évolution majeure dans le but de rechercher une efficacité et des rendements plus élevés, ainsi qu'un coût approprié pour leur production. Cette évolution a conduit à la création de nombreux types de cellules solaires différents.

Dans ce tableau, nous examinerons les types les plus importants, qui peuvent être classés en trois générations selon l'évolution des matériaux et des technologies utilisés dans leur fabrication [27].

Technologie	Génération	Description
Cellule en silicium monocristallin	Première	Sont fabriquées à partir d'un unique cristal de silicium pur, obtenu par fusion de silicium de grande pureté le rendement entre 14% et 16%.
Cellule en silicium poly cristallin		Sont fabriquées à partir de structures cristallines multiples, ce qui leur confère une apparence moins uniforme avec un aspect caractéristique de "grain".
Cellule amorphe	Deuxième	Les cellules amorphes sont fabriquées en déposant du silicium sur un matériau de support, comme le verre. Bien qu'elles nécessitent une faible quantité de silicium, elles affichent un rendement plus faible, situé entre 6 % et 8 %.
Cellule au tellure de cadmium (CdTe)		Cette technologie prometteuse offre des rendements convenables, atteignant 16,5 % en laboratoire. Une couche de seulement 2 µm est nécessaire pour obtenir un matériau très opaque qui absorbe une grande partie du spectre solaire. Cependant, la toxicité du cadmium limite son déploiement à grande échelle.
Cellule au cuivre indium sélénium (CIS) / cuivre indium gallium sélénium (CIGS)		Ces technologies présentent un fort potentiel de développement, avec des rendements allant jusqu'à 20 % en laboratoire. Cependant, la disponibilité des matériaux nécessaires à leur fabrication reste limitée.
Cellule organique	Troisième	Ces cellules utilisent des matériaux organiques

		(généralement des polymères organiques ou des molécules organiques) dans la couche active pour absorber la lumière et la convertir en courant électrique.
--	--	---

Tableau II.1: Le tableau présente les différents types de cellules photovoltaïques. [27].

II.5 Système photovoltaïque [21] :

Un système photovoltaïque est un l'ensemble d'une installation électrique alimenté aux panneaux photovoltaïques, les panneaux solaires captent le rayonnement solaire et la lumière naturelle. Au contact de ces derniers, les électrons du silicium cristallin dans le panneau s'activent et c'est ce phénomène qui va produire de l'électricité.

Il existe deux types d'installations PV :

a) Système photovoltaïque autonome (isolé) :

le système PV autonome est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autres sources d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Ce système comporte deux types .

➤ Les systèmes au fil du soleil :

sont des systèmes sans stockage. Ils exploitent directement l'énergie solaire sans aucune source d'appoint. Ces systèmes sont classés, selon la nature de la charge à alimenter, Ces systèmes utilisent, en général, un autre moyen de stockage tel que les réservoirs d'eau pour le pompage PV.

➤ Les systèmes avec stockage :

sont des systèmes qui intègrent des dispositifs de stockage. Un système de stockage permet d'alimenter les charges en périodes de faible ensoleillement (par exemple en cas de passage nuageux) ou pendant les périodes d'absence totale d'ensoleillement (la nuit). Le système de stockage permet de stocker l'énergie excédentaire produite par les panneaux photovoltaïques et de la restituer lors des périodes où la production d'énergie est insuffisante. Un exemple d'application est l'alimentation en électricité de maisons situées dans des zones isolées.

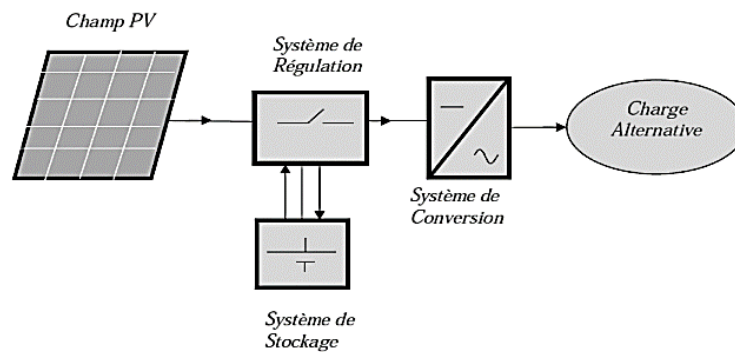


Figure II.6 : Structure d'un système autonome [21]

b) Système photovoltaïque connecté au réseau :

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement, L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Il ya un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif au travers d'un onduleur et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Car il doit respecter des normes sur sa qualité « sinusoïdale ». Ces systèmes ne sont pas des alimentations de secours en cas de coupure du réseau, car ils ne comportent aucune réserve d'énergie. Dans certains cas, on ajoute au système une batterie de secours pour les coupures de courte durée

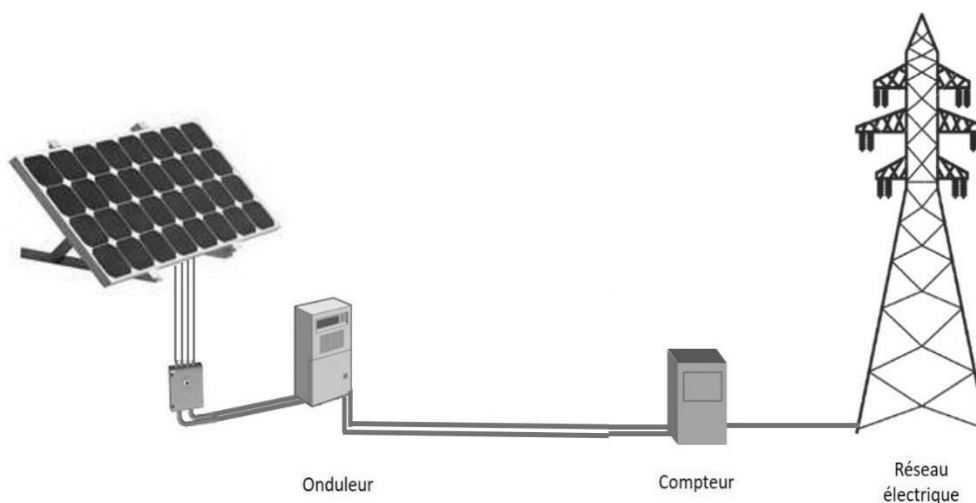


Figure II.7 : Structure d'un système PV connecté au réseau

II.6 Composante de système PV autonome :

En général des installations divisées à Cinq éléments (systèmes) :

II.6.1 Générateur PV :

Le générateur dans un système photovoltaïque (PV) est l'ensemble de panneaux solaires photovoltaïques qui convertissent l'énergie solaire en électricité. Les panneaux solaires sont généralement connectés en série ou en parallèle pour augmenter la tension et la puissance du système. Le générateur PV est l'un des composants clés d'un système PV et sa taille dépend des besoins en énergie électrique du système.

Les Composants des panneaux solaires :

Les panneaux solaires sont constitués de différents composants entourant les cellules photovoltaïques :

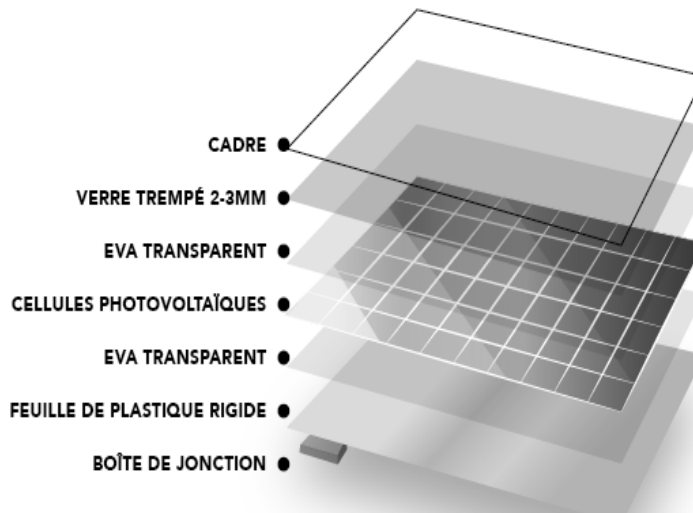


Figure II.8 : Les Composants des panneaux solaires [44]

- Cadre en aluminium : c'est le cadre métallique qui entoure les cellules solaires et qui les protège.
- Le verre avant : c'est un verre transparent qui recouvre les cellules solaires et qui aide à diriger la lumière du soleil vers les cellules.
- L'encapsulation EVA (éthylène-acétate de vinyle) : L'encapsulation EVA protège les cellules solaires contre les dommages physiques, les chocs thermiques et les rayons UV, tout en aidant à augmenter l'efficacité de conversion de la lumière solaire en électricité.
- Les cellules solaires : ce sont les composants principaux de la plaque solaire, qui convertissent l'énergie solaire en électricité.
- La feuille arrière : c'est une feuille qui recouvre les cellules solaires du côté arrière de la plaque et les protège.

- Les fils et les connecteurs : ils sont utilisés pour connecter les cellules solaires au convertisseur de puissance, qui transforme l'énergie électrique générée par les cellules solaires en courant électrique utilisable dans les appareils électriques.
- La boîte de jonction solaire : tient une place essentielle dans votre système solaire. Elle permet la connexion en parallèle des modules photovoltaïques, connecte l'énergie générée par les cellules solaires aux lignes externes et conduit le courant généré par les modules photovoltaïques.

a) Mise en série :

La mise en série des cellules solaires est une technique utilisée pour augmenter la tension électrique de sortie d'un panneau solaire.

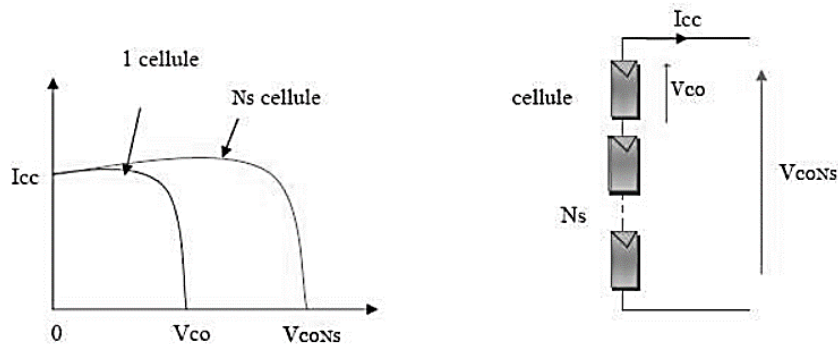


Figure II.9 : Explique le principe de la mise en série de plusieurs cellules [20]

b) Mise en parallèle :

La mise en parallèle des cellules solaires est une autre technique utilisée dans la fabrication de panneaux solaires pour augmenter la capacité de courant de sortie du panneau solaire.

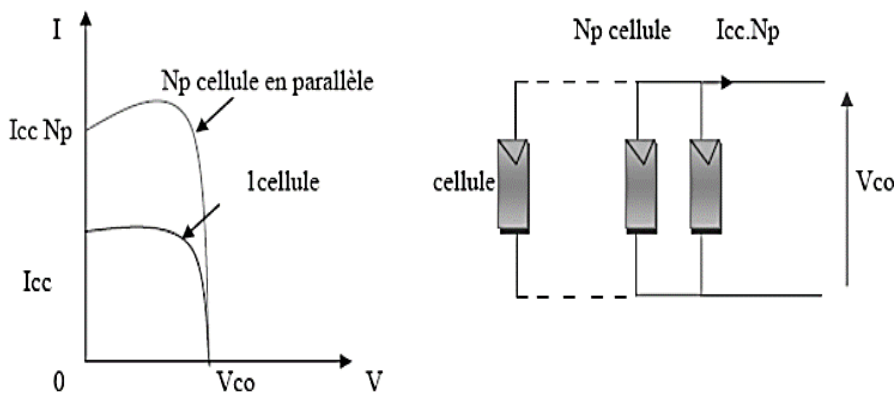


Figure II.10 : Explique le principe de la mise en parallèle de plusieurs cellules [20]

II.6.2 Système de régulation :

Les systèmes de régulation de charge font partie intégrante d'un système photovoltaïque. Ils sont utilisés pour réguler la charge de la batterie en connectant les panneaux solaires à la batterie. La régulation de charge est nécessaire pour protéger la batterie contre une charge excessive ou une décharge excessive, ce qui peut endommager la batterie ou réduire sa durée de vie.

Il existe plusieurs types de régulateurs :

➤ Régulateur de charge PWM (Pulse Width Modulation) : Ce type de régulateur de charge contrôle le courant de charge en modifiant la largeur d'impulsion des signaux PWM. Il est relativement simple, peu coûteux et efficace pour les systèmes de petite à moyenne taille.

➤ Régulateur de charge MPPT (Maximum Power Point Tracking) : Ce type de régulateur de charge suit le point de puissance maximale des panneaux solaires et ajuste le courant de charge en conséquence. Il est plus coûteux que le régulateur de charge PWM, mais il peut être plus efficace pour les systèmes de grande taille et dans des conditions de faible éclairage.

➤ Régulateur de charge à seuil de tension : Ce type de régulateur de charge coupe la charge de la batterie lorsque la tension de la batterie atteint un seuil prédéfini. Il est moins courant que les régulateurs PWM et MPPT, mais il peut être utile pour les systèmes de petite taille et pour les applications où la charge de la batterie est intermittente.

➤ Régulateur de charge à commutation : Ce type de régulateur de charge utilise des interrupteurs électroniques pour réguler le courant de charge. Il est plus complexe que les régulateurs PWM et MPPT, mais il peut être plus efficace pour les systèmes de grande taille et pour les applications à haute tension.

Le choix du type de régulateur de charge dépendra des caractéristiques de votre système photovoltaïque, de la taille de votre système, du budget disponible et de vos besoins spécifiques en matière de charge de la batterie.

II.6.3 Système de stockage :

Les systèmes de stockage d'énergie solaire sont conçus pour stocker l'énergie produite par les panneaux solaires lorsqu'elle est disponible en excès et la restituer lorsque l'énergie solaire n'est pas directement disponible, comme la nuit ou les jours nuageux. Ils permettent ainsi de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire et d'assurer une alimentation électrique continue. Exemples de systèmes de stockage d'énergie solaire.

II.6.3.1 La batterie au plomb ouvert :

La batterie au plomb ouvert est une batterie au plomb-acide qui utilise un design de cellule ouverte, ce qui signifie que les électrodes sont exposées à l'air et à l'environnement extérieur. Elle est généralement utilisée pour des applications de démarrage de moteur, de secours d'urgence, d'éclairage de secours et d'autres applications similaires qui ne nécessitent pas de stockage d'énergie à long terme.

II.6.3.2 La batterie AGM :

La batterie AGM (Absorbent Glass Mat) est un type de batterie au plomb-acide scellée utilisée pour le stockage d'énergie, y compris dans les systèmes de stockage d'énergie solaire. Elle est conçue pour être sans entretien et offre plusieurs avantages par rapport aux batteries au plomb ouvert.

II.6.3.3 La batterie Gel :

La batterie gel est un autre type de batterie utilisée pour le stockage de l'énergie solaire dans les systèmes photovoltaïques. Elle est également scellée et sans entretien, et offre plusieurs avantages spécifiques.

II.6.3.4 La batterie en Lithium :

Est un autre type de batterie utilisé est devenue de plus en plus populaire en raison de ses caractéristiques avancées et de ses avantages par rapport aux batteries traditionnelles au plomb-acide.

Voici un tableau qui résumé les avantages et les inconvénients des différents types de batteries utilisées dans les systèmes de stockage d'énergie solaire :

Type de batterie	les avantages	les inconvénients
Batterie au plomb ouvert	Utilisée pour des applications de démarrage de moteur, de secours d'urgence, d'éclairage de secours, etc.	-Durée de vie plus courte que d'autres types de batteries - Entretien régulier requis - Efficacité de charge et de décharge plus faible - Risque de fuite d'acide
Batterie AGM	- Étanchéité, pas d'entretien régulier requis- Coûts initiaux plus élevés	-Coûts initiaux plus élevés que les batteries au plomb

	<ul style="list-style-type: none"> que les batteries au plomb ouvert - Haute efficacité de charge et de décharge - Durée de vie plus longue - Faible autodécharge - Flexibilité d'installation 	ouvert
Batterie Gel	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie de gel pour une meilleure stabilité - Longue durée de vie - Haute efficacité de charge et de décharge - Faible autodécharge - Sécurité accrue - Flexibilité d'installation 	-Coûts initiaux plus élevés que les batteries au plomb ouvert
Batterie au Lithium	<ul style="list-style-type: none"> - Haute densité d'énergie - Longue durée de vie - Efficacité élevée de charge et de décharge - Légèreté et compacité - Recharge rapide - Gestion avancée de la batterie - Faible entretien 	<ul style="list-style-type: none"> - Exigences de sécurité spécifiques - Sensibilité aux températures élevées

Tableau II.2 : les avantages et les inconvénients des différents types de batteries utilisées

II.6.4 Système de conversion :

Les systèmes de conversion sont des éléments clés des systèmes photovoltaïques qui permettent de convertir l'énergie solaire captée par les panneaux solaires en une forme d'énergie utilisable pour alimenter les charges électriques. Voici quelques types courants de systèmes de conversion utilisés dans les systèmes photovoltaïques.

II.6.4.1 Onduleurs :

Les onduleurs sont utilisés pour convertir le courant continu (DC) produit par les panneaux solaires en courant alternatif (AC) utilisé pour alimenter les charges électriques du réseau électrique ou des appareils électriques dans les bâtiments. Il existe différents types d'onduleurs, notamment les

onduleurs string, les onduleurs centralisés et les micro-onduleurs, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients en termes de rendement, de flexibilité d'installation et de coûts.

II.6.4.2 Régulateurs de charge :

Les régulateurs de charge sont utilisés pour contrôler la charge des batteries dans les systèmes de stockage d'énergie solaire. Ils régulent la quantité d'énergie solaire qui est chargée dans les batteries pour éviter la surcharge ou la décharge excessive, ce qui peut endommager les batteries. Les régulateurs de charge sont généralement utilisés dans les systèmes de stockage d'énergie solaire avec des batteries au plomb-acide, des batteries AGM, des batteries gel ou des batteries au lithium.

II.6.4.3 Convertisseurs de tension :

Les convertisseurs de tension sont utilisés pour convertir la tension DC produite par les panneaux solaires en une tension appropriée pour alimenter les charges électriques spécifiques. Par exemple, si la tension produite par les panneaux solaires est différente de la tension requise pour alimenter les appareils électriques, un convertisseur de tension est utilisé pour adapter la tension de sortie des panneaux solaires à la tension requise par les charges électriques.

II.6.4.4 Convertisseurs de fréquence :

Les convertisseurs de fréquence sont utilisés dans les systèmes photovoltaïques pour adapter la fréquence de sortie du courant alternatif (AC) produit par les panneaux solaires à la fréquence du réseau électrique local, si nécessaire. Cela permet de synchroniser la production d'énergie solaire avec le réseau électrique pour une alimentation stable et efficace des charges électriques.

Il est important de choisir les systèmes de conversion appropriés en fonction des spécificités du système photovoltaïque, tels que la configuration des panneaux solaires, les types de batteries utilisées, les charges électriques à alimenter et les exigences du réseau électrique local, pour assurer une performance optimale et une intégration efficace du système photovoltaïque dans l'ensemble du système d'énergie solaire.

II.6.5 La Charge :

La charge dans les systèmes photovoltaïques est l'énergie électrique utilisée par les appareils électriques connectés au système. Les panneaux solaires produisent de l'énergie solaire pour alimenter ces charges, comme les appareils électroménagers, les éclairages, les pompes, etc. Les charges peuvent être de différentes natures et varier en termes de puissance et de durée. Les systèmes photovoltaïques sont conçus pour répondre aux besoins spécifiques de charge. Les systèmes de conversion, tels que les onduleurs et les régulateurs de charge, adaptent l'énergie solaire aux exigences de charge du système pour assurer une alimentation électrique stable et efficace. Le dimensionnement et la configuration appropriés de ces systèmes de conversion sont essentiels pour garantir une performance optimale du système photovoltaïque.

II.7 Conclusion :

Nous avons étudié dans ce chapitre l'énergie solaire, y compris le rayonnement solaire et les cellules solaires. Nous avons discuté des systèmes photovoltaïques et également expliqué les composants clés de ces systèmes, tels que les panneaux solaires et les batteries. Ce chapitre a approfondi notre compréhension de l'énergie solaire et des systèmes photovoltaïques. C'est une ressource précieuse pour élargir nos connaissances sur la technologie solaire et ses applications.

Chapitre III :

Internet des objets

III.1 Introduction :

Le chapitre se concentre sur l'Internet des objets (IoT), un domaine en plein essor qui englobe diverses applications. Il explore l'utilisation de la connectivité, des capteurs et des données pour permettre aux objets de collecter et d'échanger des informations en temps réel. L'IoT offre de nombreux avantages en termes d'efficacité et d'opportunités commerciales, mais il présente également des défis en matière de sécurité, de confidentialité et d'éthique. En explorant ce chapitre, nous pourrions mieux comprendre l'impact potentiel de l'IoT sur la technologie et la société.

III.2 Définition :

III.2.1 Internet :

Internet, abréviation de "interconnected networks" (réseaux interconnectés), est un réseau mondial de réseaux informatiques interconnectés. Il s'agit d'un réseau décentralisé qui relie des millions d'ordinateurs, de serveurs, de dispositifs et d'autres réseaux à travers le monde, en utilisant un ensemble de protocoles de communication standardisés. Internet permet la transmission et l'échange de données sous différentes formes, tels que le texte, les images, les vidéos, les fichiers, les courriels, les sites web et bien d'autres.

Internet est basé sur le modèle client-serveur, où les utilisateurs accèdent aux ressources disponibles sur des serveurs à partir de leurs appareils clients, tels que des ordinateurs, des smartphones, des tablettes, etc. Il est accessible via des fournisseurs d'accès Internet (FAI) qui fournissent une connexion à Internet aux utilisateurs.

III.2.2 Objet :

Un objet connecté (OC) est un appareil qui peut se connecter à Internet et communiquer avec d'autres appareils via 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.

III.3 Domaines d'application [28] :

L'Internet des Objets (IdO ou IoT en anglais) est appliqué dans divers domaines pour améliorer l'efficacité, la commodité et la qualité de vie. Voici quelques exemples de domaines d'application de l'IdO :

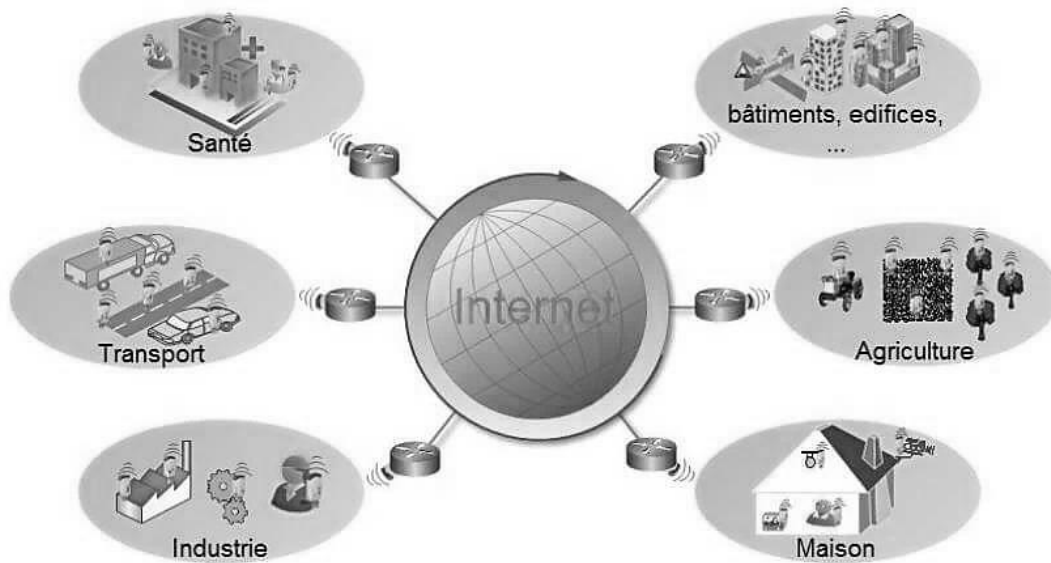


Figure III.1 : Les domaines d'application de l'Internet des Objets (IdO)

III.3.1 La domotique :

Domotique et gestion intelligente des bâtiments : L'IdO est utilisé 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, pour optimiser la consommation d'énergie, améliorer la sécurité et le confort dans les bâtiments résidentiels et commerciaux.



Figure III.2 : L'Internet des objets et la domotique

III.3.2 Le transport :

Le transport est l'un des domaines d'application clés de l'Internet des Objets (IoT). Grâce à la connectivité des objets, les véhicules, les infrastructures de transport et les systèmes de logistique peuvent être équipés de capteurs et de dispositifs de communication pour collecter, analyser et partager des données en temps réel, ce qui permet d'améliorer l'efficacité, la sécurité et la durabilité du transport.

III.3.3 Agriculture Intelligente :

L'agriculture intelligente vise à optimiser les pratiques agricoles grâce à l'utilisation de capteurs connectés et de technologies avancées. Elle permet de mesurer et de collecter en temps réel divers paramètres agricoles, tels que la température, l'humidité, la qualité de l'air, etc., afin de prendre des décisions éclairées sur les pratiques agricoles. Les avantages de l'agriculture intelligente incluent une utilisation optimisée des ressources agricoles, une meilleure gestion des conditions météorologiques, des maladies des plantes et des infestations d'insectes, ainsi qu'une contribution à la durabilité environnementale. Elle peut être appliquée à différentes cultures et types d'agriculture, en utilisant des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, les drones, la robotique et les systèmes de communication sans fil. En somme, l'agriculture intelligente utilise l'IoT pour améliorer les pratiques agricoles et contribuer à la sécurité alimentaire mondiale.

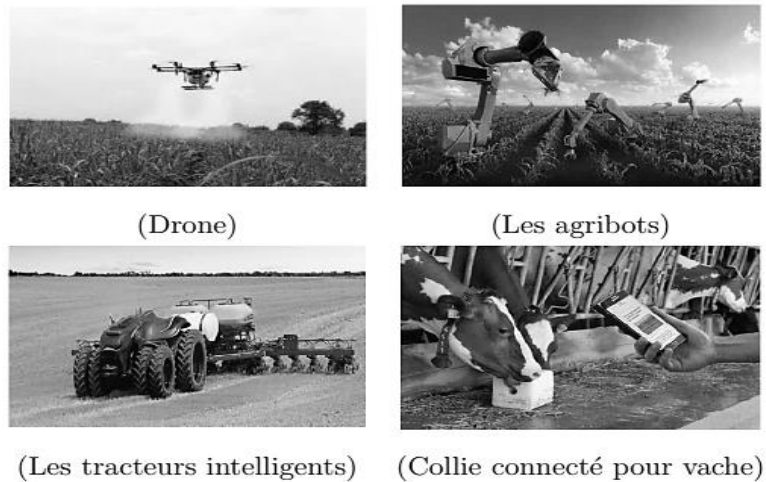


Figure III.3 : L'Internet des objets dans le domaine d'agriculture intelligente [27]

III.3.4 La médecine intelligente [27] :

La médecine intelligente, également connue sous le nom de santé connectée, est un domaine de l'Internet des objets (IoT) qui vise à améliorer les soins de santé grâce à l'utilisation de technologies avancées et de dispositifs connectés. Elle permet la collecte, l'analyse et la transmission de données médicales en temps réel pour soutenir la prise de décision médicale, améliorer les diagnostics, optimiser les traitements et offrir des soins personnalisés. La médecine intelligente utilise des capteurs, des dispositifs portables, des applications mobiles, des plateformes de télémédecine et d'autres technologies pour surveiller les signes vitaux des patients, suivre l'efficacité des traitements, faciliter la communication entre les professionnels de santé et les patients, et promouvoir la prévention et le bien-être.

Les avantages de la médecine intelligente comprennent une meilleure gestion des maladies chroniques, une réduction des erreurs médicales, une amélioration de l'efficacité des soins de santé

et une meilleure accessibilité aux services médicaux. Toutefois, elle soulève également des défis en matière de protection des données de santé, de sécurité et d'éthique, qui nécessitent une approche éthique et réglementaire appropriée pour garantir la confidentialité et la sécurité des patients. En résumé,

la médecine intelligente utilise l'IoT pour améliorer les soins de santé en collectant et en analysant les données médicales en temps réel pour prendre des décisions éclairées et offrir des soins personnalisés aux patients.

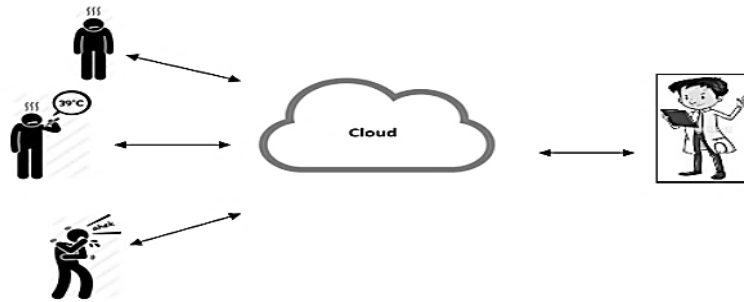


Figure III.4 : L'Internet des objets dans le domaine médical [27]

III.4 Architecture de l'Internet des Objets [29] :

L'interopérabilité entre les différents objets dans l'Internet des objets (IdO) est facilitée par le concept de « Service Oriented Architecture » (SOA). Ce modèle d'architecture organise l'IdO en cinq couches distinctes. Voici une description de chacune d'entre elles :

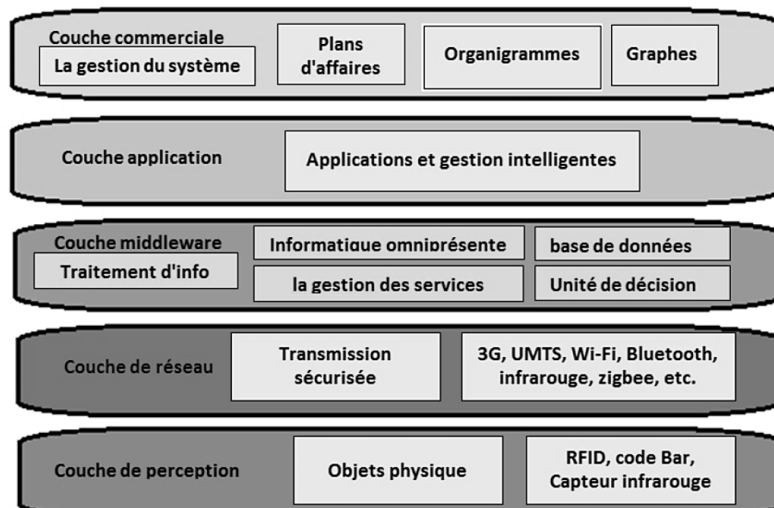


Figure III.5 : L'architecture cinq couches [29]

➤ La couche de perception :

Elle regroupe tous les objets physiques qui collectent et numérisent les données d'un environnement donné. Ces données sont ensuite transmises à la couche supérieure par le biais de canaux sécurisés.

➤ **La couche réseau :**

Son rôle est de connecter entre eux tous les équipements de l'IdO. Elle assure la communication et l'échange de données entre les objets connectés.

➤ **La couche traitement :**

Elle repose principalement sur les technologies de middleware, qui permettent de rassembler les matériels (hardware) et logiciels (software) sur une même plateforme. Elle assure la gestion et le traitement des données collectées par les objets connectés.

➤ **La couche application :**

Elle offre la possibilité d'utiliser les informations traitées par la couche de traitement et les services des objets présentés par cette dernière pour développer diverses applications de l'IdO. Ces applications sont ensuite directement utilisées par les utilisateurs finaux.

➤ **La couche Business :**

Elle gère les différentes applications de l'IdO et assure la supervision des quatre autres couches. Elle s'occupe de la gestion globale et de la surveillance des opérations de l'IdO, y compris la gestion des applications développées et leur intégration dans l'environnement commercial.

III.5 Les technologies du réseau :

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

III.5.1 Les technologies de courte portée :

Les technologies de courte portée sont utilisées pour la communication sans fil entre des dispositifs situés à proximité les uns des autres, généralement dans un rayon de quelques dizaines de mètres. Elles sont idéales pour les applications de l'Internet des Objets (IdO) nécessitant une communication de proximité et une faible consommation d'énergie.

Quelques exemples de technologies de courte portée sont :

➤ **Bluetooth :**

Cette technologie, basée sur l'utilisation d'ondes radio UHF, permet une connexion entre plusieurs périphériques et l'échange bidirectionnel de données et de fichiers sur une très courte distance [30].

➤ **Zigbee :**

Zigbee est un protocole de communication sans fil basse consommation d'énergie, conçu pour permettre la communication entre différents dispositifs intelligents (objets connectés) sur de courtes distances.

➤ **Le Z-Wave :**

Z-Wave est un protocole de communication sans fil, Ce protocole sécurisé est essentiellement employé dans la domotique.

Elles sont souvent utilisées dans des dispositifs de santé connectée, des capteurs de domotique, des accessoires pour les appareils mobiles et d'autres applications similaires [31].

➤ **NFC (Near Field Communication) :**

La technologie NFC (Near Field Communication) est une technologie de communication sans fil à courte portée qui permet l'échange d'informations entre deux dispositifs compatibles NFC lorsque ceux-ci sont à proximité l'un de l'autre, généralement à une distance de quelques centimètres [32].

III.5.2 Les technologies de moyenne portée :

Les technologies de moyenne portée sont des technologies de communication sans fil qui permettent la transmission de données sur des distances plus grandes que les technologies de courte portée, mais plus courtes que les technologies de longue portée. Voici quelques exemples de technologies de moyenne portée :

➤ **Wi-Fi :**

Le Wi-Fi (Wireless Fidelity) est une technologie de communication sans fil qui permet la transmission de données sur de courtes à moyennes distances.

Le Wi-Fi est largement utilisé pour la connectivité sans fil des dispositifs électroniques, tels que les ordinateurs, les smartphones, les tablettes, les objets connectés, les routeurs, les points d'accès, etc. Il est utilisé pour l'accès à Internet sans fil, le partage de fichiers, la diffusion en continu de médias, la domotique, et bien d'autres applications [28].

➤ **BLE :**

le Bluetooth longue portée(en anglais Bluetooth Low Energy)Bien que le Bluetooth soit généralement considéré comme une technologie de courte portée, il existe également une version appelée (BLE) qui offre une portée plus étendue allant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres, voire plus dans certaines conditions. Le BLE est largement utilisé pour les dispositifs IoT, tels que les capteurs, les trackers d'objets, les dispositifs médicaux, etc., qui nécessitent une consommation d'énergie réduite et une portée plus longue par rapport au Bluetooth classique.

III.5.3 Les technologies de longue portée :

Les technologies de longue portée sont des technologies de communication sans fil qui permettent la transmission de données sur des distances étendues, parfois de plusieurs kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres. Voici quelques exemples de technologies de longue portée utilisées dans le contexte de l'Internet des objets (IdO).

III.5.3.1 Réseaux cellulaires mobiles :

Les réseaux cellulaires mobiles sont des systèmes de communication sans fil utilisés pour la transmission de données et de voix via des dispositifs mobiles, tels que les téléphones mobiles, les tablettes et autres appareils connectés. Ils sont basés sur une infrastructure de tours de télécommunication qui forment un réseau de cellules géographiques, d'où le terme "cellulaire".

Il existe plusieurs normes de réseaux cellulaires mobiles largement utilisées à travers le monde, notamment :

➤ **2G (2ème génération) :**

Aussi connue sous le nom de réseau GSM (Global System for Mobile Communications), la 2G était la première génération de réseaux cellulaires mobiles et permettait la transmission de voix et de messages texte. Elle offrait des taux de transmission de données relativement bas.

➤ **3G (3ème génération) :**

La 3G était une amélioration de la 2G, offrant des vitesses de transmission de données plus rapides et la possibilité de surfer sur Internet depuis les appareils mobiles. Elle a permis le développement d'applications plus avancées, comme la vidéo en streaming et les services basés sur la localisation.

➤ **4G (4ème génération) :**

La 4G, également connue sous le nom de réseau LTE (Long-Term Evolution), offre des vitesses de transmission de données considérablement plus rapides que la 3G, permettant des applications haut débit, la diffusion de vidéo en haute qualité et d'autres services de données avancés.

➤ **5G (5ème génération) :**

La 5G est la dernière génération de réseaux cellulaires mobiles, qui promet des vitesses de transmission de données ultra-rapides, une faible latence et une capacité réseau accrue. La 5G ouvre la voie à de nouvelles applications et cas d'utilisation de l'IoT, comme les véhicules autonomes, la télémédecine, la réalité augmentée et virtuelle, et bien d'autres.

III.5.3.2 Réseaux radio bas-débit [28] :

Les réseaux radio bas-débit, également connus sous le nom de réseaux LPWAN (Low Power Wide Area Network), sont des technologies de communication sans fil conçues spécifiquement pour les applications de l'Internet des Objets (IdO) qui nécessitent une faible consommation d'énergie, une longue portée de communication et une transmission de données à bas débit.

Ces réseaux sont optimisés pour les dispositifs IoT qui envoient de petites quantités de données à intervalles réguliers, tels que les capteurs de température, d'humidité, de pression, de niveau, et d'autres types de capteurs.

Il existe plusieurs technologies de réseaux radio bas-débit utilisées dans l'IoT:

➤ **LoraWAN (Long Range Wide Area Network) :**

Est une technologie de réseau radio bas-débit. Elle permet la communication sans fil à longue portée, pour connecter des dispositifs IoT à travers de vastes zones géographiques.

➤ **SigFox :**

Le réseau Sigfox est basé sur une architecture en étoile, où les dispositifs IoT envoient leurs données à des stations de base Sigfox, qui les transmettent ensuite à un cloud central pour le traitement et la gestion des données. Les dispositifs IoT utilisent la modulation d'amplitude pour transmettre leurs données sur les fréquences radio sous licence, ce qui garantit une communication fiable et sécurisée.

Une des caractéristiques principales de Sigfox est son faible débit de données, limité à 100 bits par seconde (bps), ce qui est suffisant pour des applications IoT simples telles que le suivi de localisation, la gestion de l'énergie, la gestion des actifs, et d'autres cas d'utilisation nécessitant une petite quantité de données à transmettre de manière sporadique.

III.6 Protocoles de fonctionnement de L'IOT [34]:

Les protocoles sont des ensembles de règles et de normes qui permettent à différents dispositifs et systèmes de communiquer et d'échanger des données de manière standardisée. Dans le contexte de l'Internet des Objets (IdO), il existe plusieurs protocoles de communication qui sont largement utilisés pour permettre la communication entre les dispositifs IoT et les applications qui les utilisent. Voici quelques exemples de protocoles couramment utilisés dans l'IdO :

III.6.1 Le CoAP (Constrained Application Protocol) :

Est un protocole de communication conçu spécifiquement pour les dispositifs IoT (Internet of Things) avec des ressources limitées, tels que la bande passante, la puissance de calcul et la mémoire. Il a été développé par l'IETF (Internet Engineering Task Force).

Le CoAP utilise le modèle de communication REST (Representational State Transfer), similaire à HTTP, et repose sur l'architecture client/serveur. Les dispositifs IoT agissent en tant que clients CoAP pour envoyer des requêtes à des serveurs CoAP, qui peuvent être des serveurs spécifiques à l'IoT ou des serveurs intégrés dans des systèmes existants. Les réponses du serveur CoAP sont renvoyées aux clients CoAP pour permettre l'échange de données.

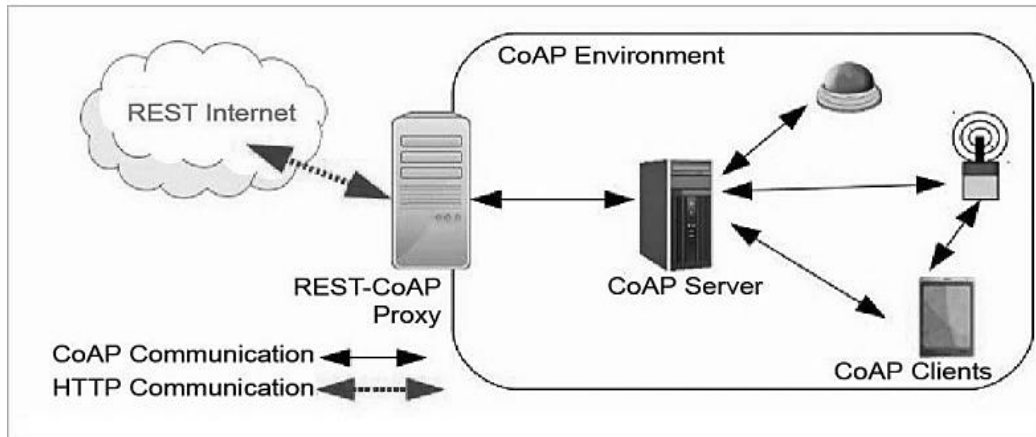


Figure III.6 : Protocole CoAP[34]

III.6.2 Le MQTT (Message Queue Telemetry Transport) :

Est un protocole de communication léger et basé sur le modèle de publication/abonnement (pub/sub) qui est largement utilisé dans les applications IoT pour permettre la communication entre les dispositifs IoT et les systèmes de gestion de données.

Le MQTT a été développé par IBM dans les années 1990 et il est devenu un standard ouvert et largement adopté par l'industrie. Il est conçu pour être simple, efficace en termes de bande passante et adapté aux environnements à faible bande passante et à faible puissance de calcul, ce qui le rend bien adapté aux dispositifs IoT avec des ressources limitées.

Le MQTT utilise un modèle de publication/abonnement, où les dispositifs IoT peuvent publier des messages sur un sujet (topic) spécifique, et les systèmes de gestion de données (ou les autres dispositifs) peuvent s'abonner à ces sujets pour recevoir les messages publiés. Cela permet une communication asynchrone et décentralisée entre les dispositifs, offrant une grande flexibilité dans la façon dont les données sont distribuées et traitées.

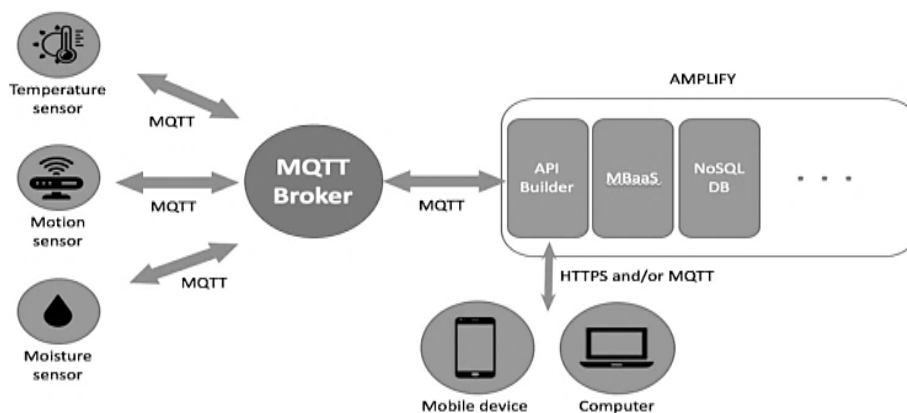


Figure III.7 : MQTT dans un réseau IoT [34]

III.6.3XMPP (Extensible Messaging and Présence Protocol) :

Le XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) est un protocole de communication basé sur le standard XML (eXtensible Markup Language) qui est utilisé pour la messagerie instantanée, la présence en ligne, ainsi que pour d'autres applications de communication en temps réel. Bien que le XMPP soit souvent associé à la messagerie instantanée et aux applications de chat, il peut également être utilisé pour la communication machine-à-machine (M2M) dans le contexte de l'Internet des Objets (IdO).

III.6.4 AMQP (Advanced Message Queuing Protocol):

L'AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) est un protocole de communication qui permet l'échange de messages entre des applications de manière fiable et efficace. Il a été développé pour faciliter la communication entre les applications distribuées et est utilisé dans diverses applications, y compris l'Internet des Objets (IdO), les systèmes de messagerie, les applications de finance, et d'autres domaines nécessitant une communication asynchrone et fiable.

III.7 Les modèles de communication d'Internet des objets :

III.7.1 Périphérique à périphérique :

La communication entre périphériques à travers l'Internet des objets (IdO), également connue sous le nom de communication de périphérique à périphérique ou P2P (de l'anglais "device-to-device"), permet aux dispositifs IdO de communiquer directement entre eux sans passer par une passerelle ou un serveur centralisé. Cette approche offre plusieurs avantages, notamment une latence réduite, une meilleure efficacité de la communication et une plus grande autonomie des dispositifs. (Par exemple, le message d'état de verrouillage de la porte ou d'allumer la commande d'éclairage) dans un script domotique.

III.7.2 Périphérique à Cloud :

La communication de périphérique à cloud est un modèle de communication dans l'Internet des objets (IdO) où les données collectées par les dispositifs IdO sont envoyées à un serveur distant dans le cloud pour traitement, stockage et gestion. Les étapes clés de la communication de périphérique à cloud comprennent la collecte des données à partir des dispositifs, la transmission des données au cloud, le traitement et le stockage des données dans le cloud, la gestion à distance des dispositifs et la sécurisation des données. Ce modèle offre des avantages tels que la centralisation de la gestion, la scalabilité et la flexibilité, mais nécessite également une planification et une conception appropriées pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité de la communication entre les dispositifs et le cloud.

III.7.3 Périphérique vers passerelle :

La communication de périphérique vers passerelle est un modèle de communication dans l'Internet des objets (IdO) où les données collectées par les dispositifs IdO sont envoyées à une passerelle pour traitement local avant d'être transmises au cloud pour stockage et gestion. Elle permet de traiter les données localement, de gérer les dispositifs à partir d'un point centralisé et de réduire la bande passante nécessaire pour envoyer les données au cloud. Cependant, elle nécessite également la gestion de la synchronisation des données entre la passerelle et le cloud, ainsi que des mesures de sécurité pour protéger les données et les dispositifs IdO.

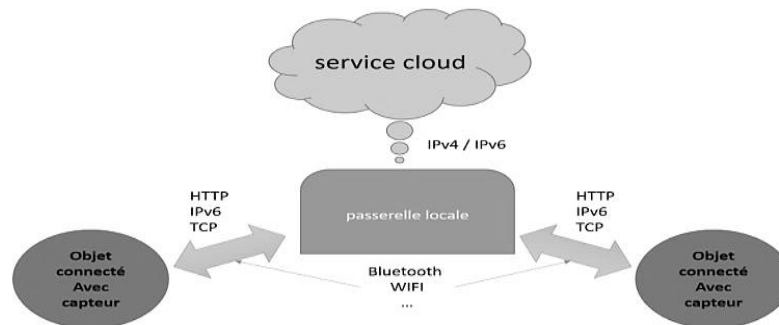


Figure III.8 : Communication des objets à Cloud via passerelle locale [34]

III.7.4 Modèle de partage de données principal :

L'architecture de communication mentionnée dans cette description fait référence à un système qui permet aux utilisateurs d'exporter et d'analyser les données provenant d'objets intelligents (dispositifs IdO) à partir d'un service cloud, tout en combinant ces données avec d'autres sources de données. Cette architecture peut être illustrée dans la Figure, où les données provenant d'objets intelligents sont agrégées et analysées conjointement avec d'autres flux de données provenant d'appareils IdO uniques.

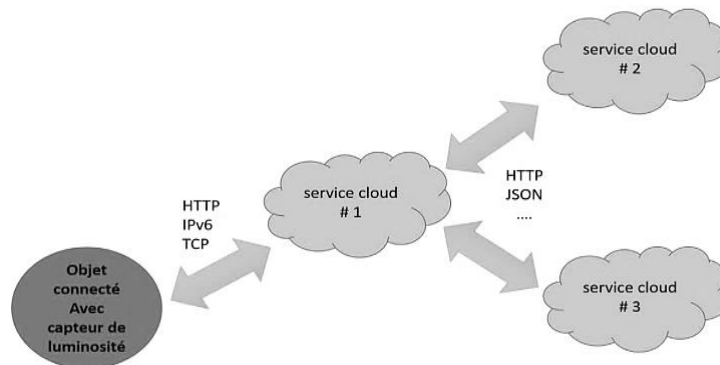


Figure III.9 : Modèle de partage de données back-end [33].

III.8 Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet d'une étude sur la technologie d'IoT. Nous avons présenté les différents concepts et composants ainsi que les architectures des systèmes d'IoT, leurs domaines d'applications et leurs caractéristiques.

L'IdO offre un potentiel énorme pour améliorer l'efficacité, optimiser les processus, développer de nouveaux produits et services, et créer de nouveaux modèles commerciaux. Cependant, cela pose également des défis en matière de sécurité, de confidentialité, de gestion des données et de réglementations. Il est important d'adopter une approche équilibrée, sécurisée et responsable pour tirer pleinement parti des avantages de l'IdO tout en minimisant les risques potentiels.

Chapitre IV :

La réalisation du système D'arrosage intelligent

IV.1 Introduction :

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

IV.2 Présentation du cahier des charges :

Le système de contrôle et de surveillance à distance que nous avons conçu comprend trois éléments principaux :

1. Le premier élément est le système d'irrigation, composé de quatre composants connectés à la carte Arduino :
 - Capteur de distance : Il est placé au-dessus du réservoir et mesure la hauteur de l'eau, affichant la valeur en pourcentage.
 - Capteur de pluie : Il arrête la pompe en cas de pluie.
 - Relais : Il contrôle l'allumage et l'arrêt de la pompe.
 - Capteur d'humidité du sol : Il mesure le taux d'humidité du sol pour allumer ou éteindre la pompe en conséquence (lorsqu'il est inférieur à 40 %, la pompe est allumée, et lorsqu'il dépasse 70 %, elle s'arrête).
2. La plateforme Blynk a été utilisée pour concevoir une interface permettant d'afficher les valeurs d'humidité et de niveau d'eau à l'utilisateur.

Les données sont envoyées depuis la carte Arduino Uno vers la carte ESP32 via l'interface UART, puis elles sont transmises de la carte ESP32 à la plateforme Blynk via le réseau Wi-Fi pour la surveillance à distance.
3. Le dernier élément est l'alimentation du système. Nous avons utilisé deux batteries lithium-ion 18650 et avons connecté quatre panneaux solaires d'une puissance de 5 volts / 1 watt chacun. Nous les avons connectés en série et en parallèle pour obtenir une sortie de 10 volts et 2 watts.

IV.3 les matériels utilisés :

IV.3.1 ESP 32 DEVKIT_CH340 :

Esp 32 est une carte de développement dédiée à l'internet des objets (IoT) et aux applications embarquées, développée par la société Espressif. Il s'agit d'un microcontrôleur abordable et facile à prendre en main, offrant de nombreuses possibilités grâce à sa similitude avec la célèbre carte Arduino.

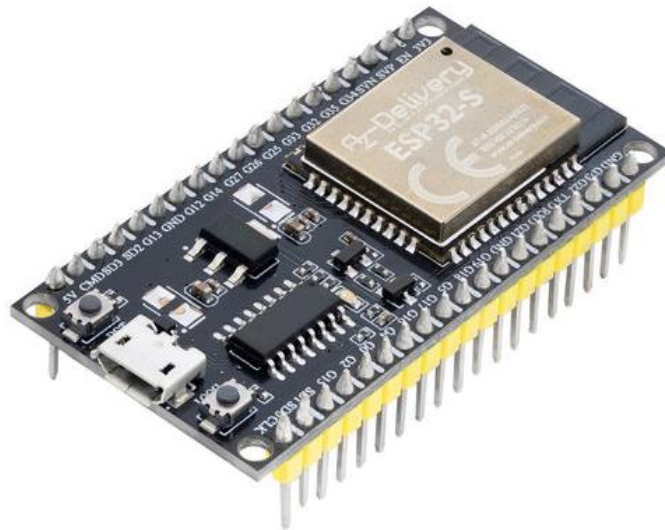


Figure IV.1 : esp 32 devkit_ch340 [45]

IV.3.2 Capteur d'humidité du sol :

Le capteur d'humidité du sol est un dispositif simple qui permet de mesurer l'humidité du sol. Il se présente sous la forme d'une carte de dérivation dotée de deux sondes. Ces sondes agissent comme une résistance variable en fonction de l'humidité du sol. Lorsque le sol est sec, la résistance entre les sondes est plus élevée, ce qui entraîne une tension de sortie plus élevée du capteur. À mesure que le sol devient plus humide, la résistance diminue, faisant baisser la tension de sortie du capteur. Ainsi, en mesurant la tension de sortie, on peut obtenir une indication précise de l'humidité du sol. Ce capteur est couramment utilisé dans des domaines tels que l'agriculture, l'horticulture et l'irrigation automatique, où il est essentiel de surveiller et de contrôler l'humidité du sol pour optimiser l'arrosage des plantes.

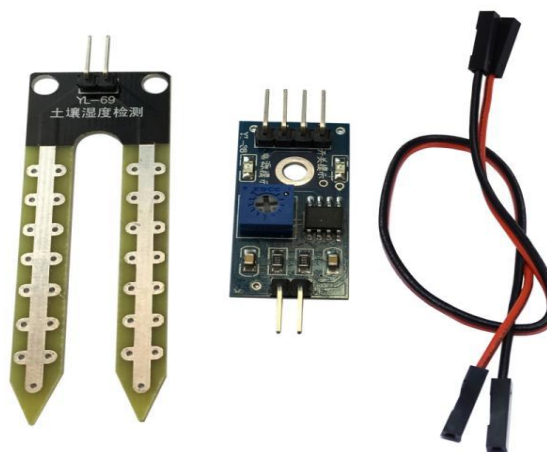


Figure IV.2 : Capteur d'humidité du sol [46]

IV.3.3 Le capteur HC-SR04 :

Le capteur HC-SR04 est un dispositif à ultrasons largement utilisé pour mesurer avec précision les distances. Il émet des signaux ultrasonores à haute fréquence qui se propagent dans l'air jusqu'à rencontrer un objet solide. Lorsque l'onde ultrasonore est réfléchiée par l'objet, elle est détectée par le capteur, qui calcule ensuite la distance entre lui-même et l'objet en fonction du temps écoulé. Ce capteur offre une plage de détection généralement comprise entre 2 cm et 4 mètres, avec une précision variable selon les conditions environnementales. Alimenté par une tension de 5 volts, il dispose d'une interface simple avec deux broches de contrôle, "Trigger" et "Echo", pour déclencher la mesure et recevoir le signal de retour. Le capteur HC-SR04 est couramment utilisé dans des domaines tels que la robotique, l'automatisation industrielle et les systèmes de détection de proximité, grâce à sa fiabilité et à sa facilité d'utilisation. Il est apprécié par les amateurs et les professionnels pour sa précision et sa compatibilité avec de nombreuses plateformes de développement électronique.



Figure IV.3 : Le capteur HC-SR04 [47]

IV.3.4 Une pompe 5V :

Est un dispositif qui utilise une tension d'alimentation de 3 à 5 volts pour pomper un liquide, généralement de l'eau. Elle est conçue pour fonctionner avec une alimentation basse tension, ce qui la rend compatible avec de nombreux systèmes électroniques et microcontrôleurs couramment utilisés.



Figure IV.4 : Une pompe 5V [48]

Caractéristiques :

- Alimentation : 3 à 5V
- Consommation : 100 à 200 mA
- Débit : 10 à 120 l/h

IV.3.5 Module relais à un canal 5V

Un module relais monovoie 5V est un dispositif électronique utilisé pour contrôler la commutation d'un circuit électrique à l'aide d'un signal de commande de 5 volts. Il est composé d'un relais électromécanique, d'un circuit de commande et de bornes de connexion. Le relais électromécanique permet la fermeture ou l'ouverture du circuit électrique en fonction de l'activation de sa bobine. Le circuit de commande interprète le signal de commande de 5 volts pour activer ou désactiver la bobine du relais. Les bornes de connexion facilitent la connexion des fils ou des composants du circuit électrique. Ce type de module est largement utilisé dans les projets d'automatisation et les systèmes de contrôle pour la commutation de circuits électriques à basse tension.

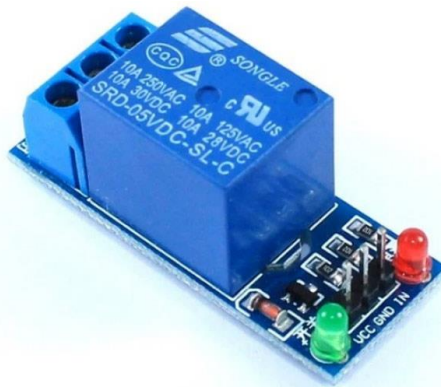


Figure IV.5 : Module relais à un canal 5V [49]

IV.3.6 Capteur de niveau d'eau ST045 :

Le capteur d'eau analogique ST045 est spécialement conçu pour détecter et mesurer le niveau d'eau dans diverses applications. Il utilise le principe de mesure de la taille des gouttelettes d'eau pour déterminer le niveau d'eau présent. Ce capteur est doté d'une série de fils parallèles exposés à l'eau, ce qui permet de simuler la conductivité électrique en fonction de la quantité d'eau présente.

Lorsque de l'eau est présente sur les fils du capteur, elle crée un chemin conducteur qui influence la résistance électrique. En mesurant la résistance électrique à travers ces fils, le capteur est capable de déterminer le niveau d'eau correspondant. Cette information est ensuite convertie en une valeur analogique de sortie, généralement exprimée en tension, qui varie en fonction du niveau d'eau détecté.

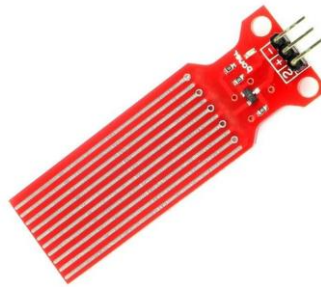


Figure IV.6 : Capteur de niveau d'eau ST045 [50]

IV.3.7 Panneau solaire 5V :

Un panneau solaire est un dispositif qui convertit l'énergie solaire en énergie électrique utilisable.

Spécification:

- Matériel : polycristallin
- Tension: 5V
- Courant: 250mA



Figure IV.7 : Panneau solaire 5V [51]

IV.3.8 Servomoteur SG90 :

Les servomoteurs, souvent abrégés en " servo " tout court par leurs utilisateurs, sont des moteurs d'un type particulier, très appréciés pour faire tourner quelque chose jusqu'à une position bien précise et capable de maintenir cette position jusqu'à l'arrivée d'une nouvelle instruction [58].

Un servomoteur est un moteur spécialisé capable de maintenir une position précise en utilisant un système de rétroaction. Il se compose d'un moteur à courant continu, d'un circuit de commande électronique et d'un mécanisme d'engrenages. Lorsqu'une commande est envoyée, le circuit de commande utilise un signal PWM pour déterminer la position souhaitée. Le moteur convertit ce signal en mouvement rotatif, tandis qu'un capteur intégré mesure la position actuelle de l'axe. En comparant cette position avec la position souhaitée, le circuit de commande ajuste le signal PWM pour maintenir l'axe dans la position désirée. Ce système de rétroaction permet au servomoteur de rester précis et stable dans sa position, offrant ainsi un contrôle précis du mouvement.

Les caractéristiques du SG90 sont les suivantes :

- Tension d'alimentation : 4.8v à 6v.
- Amplitude : de 0 à 180°.

La correspondance des fils est la suivante :

- Marron :Masse (-)
- Rouge :Alimentation (+ 5 V)
- Orange :Signal PPM



Figure IV.8 : Servomoteur SG90 [52]

IV.3.9 La photorésistance "LDR" :

LDR est l'abréviation de "Light Dependent Resistor" et est également connu sous le nom de résistance photosensible ou résistance dépendante de la lumière. C'est un composant électronique qui réagit à la lumière. Sa résistance électrique varie en fonction de l'intensité lumineuse à laquelle il est exposé. Lorsque la lumière est intense, la résistance du LDR diminue, et lorsque la lumière est faible, sa résistance augmente. Cette propriété permet d'utiliser le LDR dans de nombreuses

applications où la détection ou la mesure de la lumière est nécessaire, comme les capteurs de lumière, le contrôle de l'éclairage ou les systèmes de sécurité [59].



Figure IV.10 : La photorésistance LDR [53]

IV.3.10 BMS2S :

Le BMS 2S est un système de gestion de batterie avancé qui assure l'équilibre de charge et de décharge, tout en protégeant la batterie contre les dommages causés par une surcharge ou une décharge profonde. Il offre une protection contre les courts-circuits, prolonge la durée de vie de la batterie et améliore son efficacité globale [60].

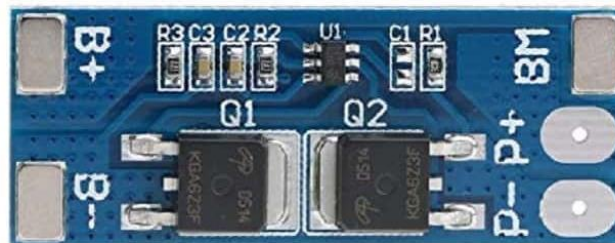


Figure IV.11: BMS 2S [55]

IV.3.11 Arduino uno :

La carte Arduino est une petite carte de contrôle conçue pour faciliter le développement de dispositifs électroniques open source. Elle est composée d'un microcontrôleur (ATmega328) et d'un ensemble de broches d'entrée/sortie numériques et analogiques qui peuvent être utilisées pour interagir avec divers composants électroniques tels que des capteurs, des moteurs, des écrans, et bien plus encore [63].

Caractéristiques :

- Microcontrôleur ATmega328
- Tension de fonctionnement 5V
- Tension d'entrée (recommandée) 7-12V

- Tension d'entrée (limites) 6-20V
- Broches E/S numériques 14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
- Broches d'entrée analogique 6
- Courant continu par broche E/S 40 mA
- Courant continu pour la broche 3.3V 50 mA
- Mémoire flash 32 Ko (ATmega328) dont 0.5 Ko utilisé par le chargeur d'amorçage
- SRAM 2 Ko (ATmega328)
- EEPROM 1 Ko (ATmega328)
- Vitesse d'horloge 16 MHz

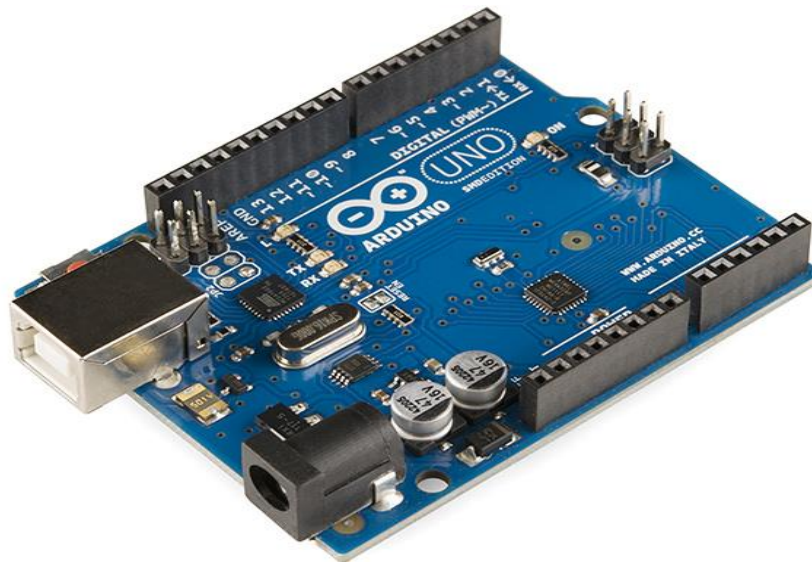


Figure IV.12 : Arduino uno [57]

IV.3.12 Batterie lithium rechargeable :

Les batteries Li-Ion 18650 sont des batteries rechargeables fabriquées à partir de lithium, de cobalt et d'oxygène. Elles se distinguent par leur efficacité élevée, leur capacité de charge répétée et leur densité énergétique élevée, ce qui les rend idéales pour une utilisation dans les appareils électroniques portables. Cependant, elles doivent être utilisées avec précaution et en suivant les consignes de sécurité appropriées en raison de leurs propriétés chimiques et électriques.



Figure IV.13 : batterie Li-Ion rechargeable 18650 [58]

IV.4 les Logiciel utilise :

IV.4.1 Plateforme IDE :

IDE Arduino fait référence à un environnement de développement open source et gratuit utilisé pour la programmation des cartes Arduino. L'IDE Arduino offre une gamme d'outils et de fonctionnalités qui permettent aux utilisateurs d'écrire, de modifier et de télécharger facilement des programmes sur les cartes Arduino. Il est téléchargé et exécuté via une interface USB. Cet environnement est un outil essentiel pour les développeurs et les amateurs souhaitant développer et expérimenter des appareils électroniques à l'aide des cartes Arduino.



Figure IV.14 : Plateforme IDE

IV.4.2 Blynk :

Blynk est une plateforme IdO qui permet de contrôler à distance des dispositifs matériels, d'afficher et de stocker les données de capteurs. Elle se compose d'une application pour créer des interfaces personnalisées, d'un serveur pour gérer les communications entre le smartphone et le matériel, et d'une bibliothèque pour la communication et le traitement des commandes. Blynk offre une solution complète et polyvalente pour les projets IdO, permettant de créer des applications innovantes et personnalisées.

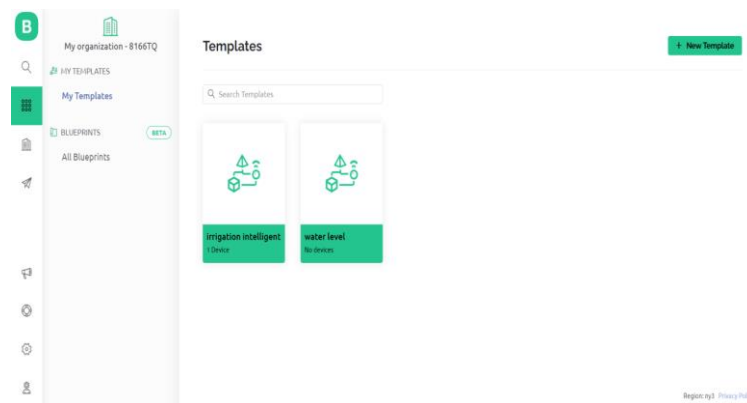


Figure IV.15 : Interface de la plateforme Blynk

IV.5 Etapes de réalisation :

Dans cette partie, nous allons découvrir comment installer le projet :

IV.5.1 Le schéma de câblage :

Voici le schéma explicatif de montage final réalisé avec Fritzing, qui montre les connexions entre les différents modules et la carte ESP32.

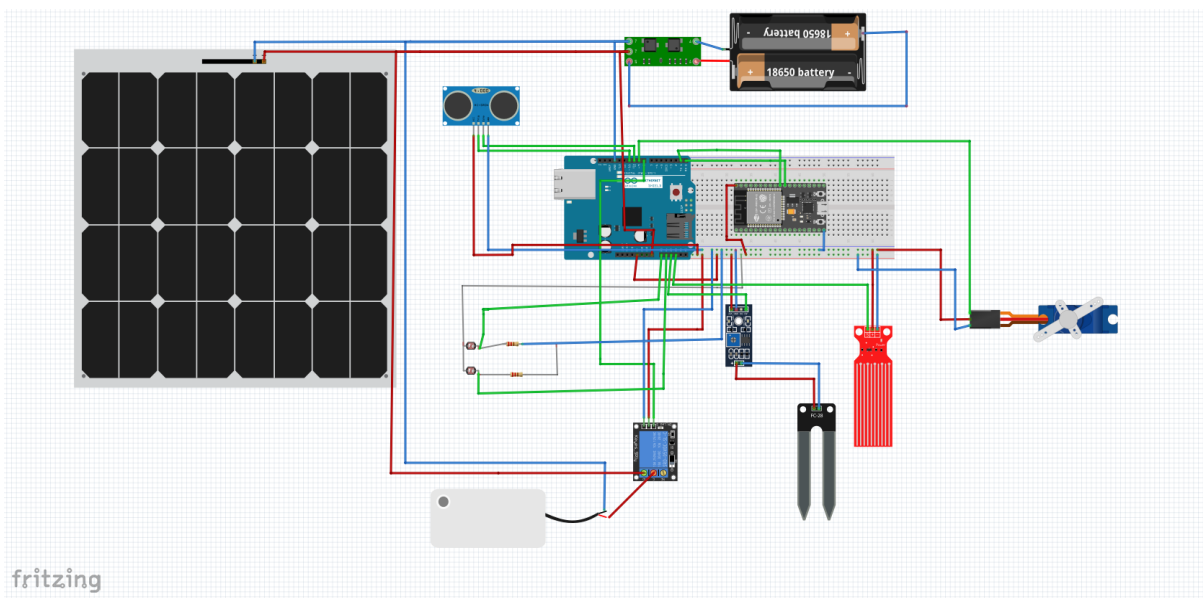


Figure IV.16 : Schémas de câblage du système d'irrigation intelligent

IV.5.2 Principe de fonctionnement :

Pour faciliter l'explication du principe de fonctionnement, le système est divisé en trois parties principales. La première partie concerne l'irrigation, où nous utilisons un dispositif Arduino comme unité de contrôle, auquel nous connectons quatre capteurs et un relais.

Le premier capteur est un capteur de distance placé au-dessus du réservoir, il mesure la hauteur de l'eau et la convertit en un pourcentage qui indique le niveau de remplissage du réservoir en eau.

Le deuxième capteur est un capteur d'humidité du sol, qui mesure le taux d'humidité et l'envoie à l'Arduino pour une utilisation ultérieure.

Le troisième capteur est un capteur de pluie qui détecte la présence de pluie.

Le dernier élément est un relais qui 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 % et arrêtée si le taux dépasse 70 % ou en cas de pluie.

La deuxième partie concerne le système d'alimentation, qui fonctionne à l'énergie solaire. La luminosité est mesurée à l'aide d'un capteur LDR, et la lecture est envoyée à l'Arduino pour faire pivoter le servomoteur dans la direction où la résistance lumineuse est supérieure de 100 unités par rapport à l'autre. Les panneaux solaires sont connectés à un régulateur de charge BMS chargé de charger les batteries lithium-ion 18650, qui alimentent le projet.

La troisième partie est le système de surveillance, où les lectures des capteurs (niveau d'eau et humidité du sol) sont partagées avec l'utilisateur. Les données sont transférées de l'Arduino vers l'ESP32 via le protocole UART, puis les données sont transmises depuis la plateforme Blynk pour être affichées.

IV.6 Mise en marche :

IV.6.1 Blynk :

Ecrire un projet sur site :

Créer un compte dans site

Chapitre IV : La réalisation du système d'irrigation intelligent

The figure consists of three screenshots from the Blynk web interface, illustrating the steps to create a project for an intelligent irrigation system.

Top Screenshot: Templates
The 'Templates' page shows a search bar and two template cards: 'irrigation intelligent' (1 Device) and 'Quickstart Template' (1 Device). A callout bubble labeled 'Ecrire' points to the '+ New Template' button in the top right corner.

Middle Screenshot: Datastreams
The 'Datastreams' page shows a table of 5 datastreams. A callout bubble labeled 'Définie les' points to the 'Save And Apply' button in the top right corner.

Id	Name	Alias	Color	Pin	Data Type	Min	Max	Actions
2	La météo	La meteo	Blue	V1	String	false		
3	pompes à eau	pompes	Blue	V5	Integer	false	0	1
1	Soil Moisture	Soil Moisture	Green	V0	Double	false	0	100
4	Réservoir	Reservoir	Green	V3	Double	false	0	100
5	POMPE	POMPE	Yellow	V2	Integer	false	0	1

Bottom Screenshot: Web Dashboard
The 'Web Dashboard' page shows a 'Widget Box' on the left with controls for a Switch, Slider, Number Input, and Image Button. The main dashboard area displays a 'Device name' (Online) and a 'Dashboard' with a time range selector (Last Hour, 6 Hours, 1 Day, 1 Week, 1 Month, 3 Months, Custom) and two gauges: 'soil (v0)' with a value of 71 and 'Réservoir (v3)' with a value of 82. A callout bubble labeled 'La conception de l'interface' points to the dashboard layout.

Figure IV.17 : Créer un projet dans Blynk

Chapitre IV : La réalisation du système d'irrigation intelligent

Ecrire un projet sur Appblynk :
Entre l'application avec le même compte
Appuyer sur l'icône "+".
Appuyer sur « lets'Go ».
Choisissez la carte utilise « ESP 32 /WIFI ».

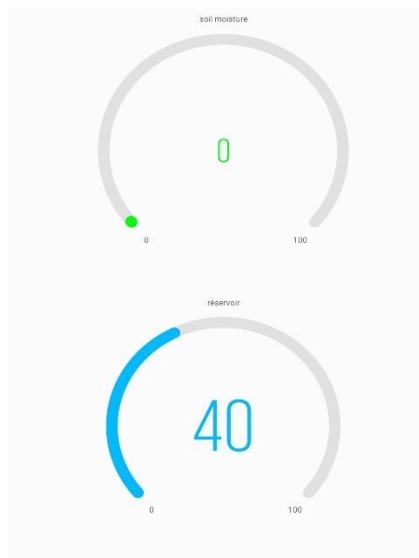


Figure IV.18 : l'interface d'application

IV.6.2 Système :

Résultats obtenus :



Figure IV.19 : test pratique

IV.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une explication détaillée de l'installation et de la connexion du système d'irrigation intelligent en utilisant l'ESP32 et l'Arduino Uno comme unités de contrôle principales. Nous avons examiné les composants utilisés dans le système, tels que le capteur d'humidité du sol et le capteur ultrasonique pour la mesure de la distance, ainsi que l'utilisation des capteurs LDR pour la mesure de la lumière, et du moteur linéaire (servomoteur) pour le mouvement des panneaux solaires. Nous avons expliqué comment connecter ces composants à l'unité principale et les programmer pour effectuer les tâches spécifiées. De plus, nous avons couvert la façon d'afficher les résultats et de contrôler le système via une interface utilisateur appropriée, ce qui permet à l'utilisateur de visualiser les lectures du capteur d'humidité du sol et des capteurs LDR, ainsi que de surveiller l'état général du système.

Conclusion Générale

Dans ce projet, nous avons développé un système d'irrigation intelligent basé sur l'Internet des objets (IoT) en utilisant l'ESP32 et l'Arduino Uno comme unités de contrôle principales. Notre objectif était de concevoir un système qui optimise l'utilisation de l'eau et de l'énergie tout en assurant une croissance saine des plantes.

Pour cela, nous avons intégré différents composants dans notre système. Nous avons utilisé un capteur d'humidité du sol pour mesurer le niveau d'humidité dans le sol, ce qui nous permet de déterminer quand et combien d'eau doit être distribuée aux plantes. De plus, nous avons utilisé un capteur ultrasonique pour mesurer le niveau d'eau dans le réservoir.

Les capteurs LDR ont également été utilisés pour mesurer l'intensité lumineuse, ce qui nous permet de contrôler le mouvement des panneaux solaires pour maximiser l'exposition au soleil. Le moteur linéaire (servomoteur) a été utilisé pour ajuster la position des panneaux solaires en fonction des lectures des capteurs LDR.

Nous avons utilisé la plateforme Blynk pour faciliter la communication et le contrôle du système. Nous avons pu créer une interface utilisateur conviviale permettant de surveiller les lectures des capteurs et de contrôler les actionneurs à distance. Cela nous a permis de visualiser les données en temps réel et de gérer le système d'irrigation intelligent de manière pratique et efficace.

En conclusion, notre projet de système d'irrigation intelligent a démontré l'efficacité de l'utilisation de l'ESP32 et de l'Arduino Uno dans la création d'un système automatisé et durable. En intégrant des capteurs et des actionneurs, nous avons pu optimiser l'utilisation de l'eau et de l'énergie, tout en assurant une croissance saine des plantes. L'ajout de l'énergie solaire à ce système renforce sa durabilité et sa capacité à fonctionner de manière autonome. Ce projet ouvre également des perspectives de développement futur en explorant de nouvelles fonctionnalités et en améliorant l'efficacité énergétique grâce à des technologies telles que le stockage d'énergie durable et l'utilisation d'autres capteurs pour une gestion encore plus précise des conditions de croissance des plantes.

Bibliographiques

- [1] ABDI Mohammed Saber et BOUMAKEL Omar Daoud, « Etude et réalisation d'un système d'irrigation automatisé avec monitoring », diplôme de Master2020, Université KasdiMerbah Ouargla.
- [2] Cheikh Talla KOUNDOUL, « Conception d'un système d'irrigation automatique », diplôme de Master informatique2020, Université Assane SECK de Ziguinchor.
- [3] Ben amor Abdelatif, GharmouliKhalidi ,Haded Kamal « Contribution à l'étude expérimentale d'humidité de sol dans l'irrigation par planches sous les conditions arides (Cas d'Ouargla)», diplôme de Master en Hydraulique 2022, Université Echahid Hamma Lakhadar D'El-Oued.
- [4] Yves JANNOT « thermique solaire », édition mars 2011.
- [5] TOUMI Nihed et KOUDA Iskandar. « ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME ». Mémoire de licence. Université Badji Mokhtar.
- [6] MISSOUM MOHAMMED. « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie ». Mémoire de magister. Université E HASSIBA BENBOUALI DE CHLE.
- [7] HelaliKamelia « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, faculté du génie électrique, UMMTO 2012.
- [8] file:///C:/Users/Hp/Downloads/scribd.vpdfs.com_rayonnement-solaire.pdf ; Consulté le: 13/04/2023.
- [9] <https://fr.scribd.com/document/394440873/Chapiter-3-Ostad> ; Consulté le: 13/04/2023.
- [10] <https://www.rts.ch/decouverte/sciences-et-environnement/terre-et-espace/les-phenomenes-atmospheriques/9060758-latmosphere.html> ; Consulté le: 13/04/2023.
- [11] <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mbg6/radiatif.htm> Consulté le: 17/04/2023.
- [12] <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass>; Consulté le: 114/04/2023.
- [13] Chirifi Oussama, Madache Hamza « Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière », Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.

- [14] TOUMI Nihed et KOUDA Iskandar. « ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME ». Mémoire de licence. Université Badji Mokhtar.
- [15] Radja Nour El Houda et Ben Salem Souhy. « Caractérisation structurale, électronique et optique des semi-conducteurs CdTe et CdS pour des applications dans les cellules photovoltaïques ». Mémoire de master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.
- [16] KARA MOHAMED Wahiba. « Les Structures de bandes électroniques et les propriétés relatives aux semi-conducteurs quasi binaires $(\text{GaP})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ». Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER DE BISKRA.
- [17] http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M05_C02/co/Contenu_04.html
Consulté le: 17/04/2023.
- [18] Zouaoui Hayet. « Impact des conditions météorologiques sur le rendement d'un panneau solaire PV ». Mémoire de master. Université Larbi ben M'hidi Oum el Bouaghi.
- [19] <https://fr.scribd.com/document/17135848/Cellule-photovoltaïque> ; Consulté le : 17/04/2023.
- [20] <https://www.edfenr.com/lexique/watt-crete/> Consulté le: 17/04/2023.
- [21] <https://www.youtube.com/watch?v=kNMBg7M1szw> ; Consulté le: 17/04/2023.
- [22] DJESSAS Zahira. « EXTRACTION DES PARAMETRES PHYSIQUES D'UNE CELLULE SOLAIRE A DEUX EXPONENTIELS PAR LA METHODE DES ALGORITHMES GENETIQUES ». Mémoire magister Université Ferhat Abbas–Setif
- [23] Yann PANKOW «Etude de l'intégration de la production décentralisé dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque», thèse doctorat de l'école national supérieur d'Arts et Métiers, 2004
- [24] KETFI Mohammed El Amin « Etude et adaptation des cellules biologiques photosensibles à des microsystèmes optoélectroniques », Thèse de magister L'université DE l'USTO ,17/05/2011.
- [25] LAKEHAL Brahim « Etude et modélisation des photopiles de troisième génération », Thèse de doctorat L'université de Batna -2, 15/03/2018
- [26] S. PETIBON «Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques», université de Toulouse, 2009.
- [27]. BOUCHELAGHEM Ahmed«Elaboration d'un programme d'aide au diagnostic pour un système photovoltaïque autonome» mémoire de master université mohamedboudiaf- m'sila, 2016.
- [28] <http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/06/2023.

- [29]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/06/2023.
- [30] <http://www.j3ea.org>; Consulté le: 12/04 /2023.
- [31]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 12/04/2023.
- [32]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [33]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [34]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [35]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [36]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [37]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [38]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [39]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [40]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [41]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [42]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [43]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [44]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [45]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [46]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [47]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [48]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [49]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [50]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.
- [51]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[52]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[53]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[54]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[55]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[56]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[57]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[58]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[59]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

[60]<http://www.j3ea.org>; Consulté le: 17/04/2023.

Annexe

Programmation de l'Arduino uno :

```
#include <Servo.h>
```

```

int lenord = A0;
int lesud = A1;
const int moistureSensorPin = A2;
const int rainPin = A3;
Servo servoMotor;
int servoposition = 180;
const int trigPin = 10;
const int echoPin = 11;
const int dryValue = 325;
const int wetValue = 1019;
const int relayPin = 8;
const int tankHeight = 9;
void setup() {
    servoMotor.attach(9);
    servoMotor.write(servoposition);
    pinMode(lenord, INPUT);
    pinMode(lesud, INPUT);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    pinMode(relayPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    servoPosition();
    waterLevel();
    humidity();
    delay(500);
}

void servoPosition() {
    int lenordValeur = analogRead(lenord);
    int lesudValeur = analogRead(lesud);
    int diff = lenordValeur - lesudValeur;

    if (diff > 100) {
        if (servoposition >= 3) {
            servoposition -= 3;
            servoMotor.write(servoposition);
            delay(20);
        }
    }

    if (diff < -100) {
        if (servoposition >= 3) {

```

```

        servoposition += 3;
        servoMotor.write(servoposition);
        delay(20);
    }
}
}

void waterLevel() {
    long duration, distance;
    int percentage;
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distance = duration * 0.034 / 2;
    percentage = map(distance, 0, tankHeight, 100, 0);
    percentage = constrain(percentage, 0, 100);
    // Serial.print("Distance: ");
    //Serial.print(distance);
    //Serial.print(" cm");
    Serial.print("Percentage: ");
    Serial.print(percentage);
    Serial.println("%");
}

void humidity() {
    int moistureValue = analogRead(moistureSensorPin);
    int invertedValue = map(moistureValue, dryValue, wetValue, 100, 0);
    int percentage = invertedValue;
    Serial.print("Niveau : ");
    Serial.print(percentage);
    Serial.println("%");
    int rainMoistureValue = analogRead(rainPin);
    if (rainMoistureValue > 550) {
        //Serial.println("il Pleut");
        digitalWrite(relayPin, HIGH);
    } else if (percentage < 40) {
        digitalWrite(relayPin, LOW);
        // Serial.println("Il n'y a pas assez de pluie");
    } else if (percentage > 70) {
        digitalWrite(relayPin, HIGH);
        // Serial.println("Il y a trop d'eau");
    }
}

```

```
}
```

Programmation de l'Arduino esp 32 :

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2LpCI-o0Y"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "irrigation intelligent"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "aQ6PCCmLJZWUhrZZQud6Tm1JfMIj86_6"

char ssid[] = "POCO";
char pass[] = "123456789";

BlynkTimer timer;
#define RXp2 16
#define TXp2 17

int humidityPercentage = 0;
int waterLevel = 0;

void sendToBlynk() {
  Blynk.virtualWrite(V0, humidityPercentage);
  Blynk.virtualWrite(V3, waterLevel);
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXp2, TXp2);
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
  timer.setInterval(50L, sendToBlynk);
}

void loop() {
  Blynk.run();
  timer.run();

  if (Serial2.available()) {
    String data = Serial2.readStringUntil('\n');
    data.trim();
    Serial.println("Received Data: " + data);

    if (data.startsWith("Percentage:")) {
      String data1 = data.substring(12);
      waterLevel = data1.toInt();
    }
  }
}
```

```

    Serial.print("Water Level: ");
    Serial.print(waterLevel);
    Serial.println("%");
}

if (data.startsWith("Niveau :")) {
    String data2 = data.substring(8);
    humidityPercentage = data2.toInt();
    Serial.print("Humidity Percentage: ");
    Serial.print(humidityPercentage);
    Serial.println("%");
}
}

}

```

ملخص

يهدف هذا المشروع إلى تطوير نظام ري ذكي يستخدم التكنولوجيا المتقدمة لري النباتات بكفاءة ودون تدخل بشري متكرر. يعتمد النظام على قياس رطوبة التربة وتنشيط المضخة حسب احتياجات النبات. يتم تحقيق ذلك باستخدام مستشعر رطوبة

التربة الذي يوفر قراءات دقيقة. تتم مراقبة النظام والتحكم فيه باستخدام Arduino Uno ، وتتم مشاركة البيانات مع المستخدم عبر تطبيق على هاتف خلوي أو كمبيوتر باستخدام ESP32. تستخدم الطاقة الشمسية لتشغيل البطارية المسؤولة عن تشغيل النظام. الهدف من هذا النظام هو تحقيق الري الذكي وتقليل استهلاك المياه عن طريق ضبط كمية المياه المستخدمة وجدولة الري وفقاً لاحتياجات النبات. يوفر النظام أيضاً الراحة والمرونة للمزارعين، مما يسمح لهم بمراقبة وإدارة النظام عن بُعد ، مما يضمن الري الفعال والمستدام لمحاصيلهم

الكلمات المفتاحية: الري الذكي ، إنترنت الأشياء ، التأثير الكهروضوئي ، الإشعاع الشمسي ، MQTT.

Résumé

Ce projet vise à développer un système d'irrigation intelligent qui utilise une technologie avancée pour arroser les plantes efficacement et sans intervention humaine fréquente. Le système repose sur la mesure de l'humidité du sol et l'activation de la pompe selon les besoins des plantes. Cela est réalisé à l'aide d'un capteur d'humidité du sol qui fournit des lectures précises. La surveillance et le contrôle du système sont effectués à l'aide d'un Arduino Uno, et les données sont partagées avec l'utilisateur via une application sur un téléphone portable ou un ordinateur à l'aide d'un ESP32. L'énergie solaire est utilisée pour alimenter la batterie responsable du fonctionnement du système. L'objectif de ce système est d'atteindre une irrigation intelligente et de réduire la consommation d'eau en ajustant la quantité d'eau utilisée et en programmant l'irrigation selon les besoins des plantes. Le système offre également confort et flexibilité aux agriculteurs, leur permettant de surveiller et de gérer le système à distance, garantissant ainsi un arrosage efficace et durable de leurs cultures.

Mots-clés : Irrigation intelligent, IdO, l'effet photovoltaïque, Rayonnement solaire, Le MQTT.

Abstract

This project aims to develop a smart irrigation system that uses advanced technology to water plants efficiently and without frequent human intervention. The system is based on measuring soil moisture and activating the pump according to plant needs. This is achieved using a soil moisture sensor that provides accurate readings. System monitoring and control is done using an Arduino Uno, and data is shared with the user via an app on a cell phone or computer using an ESP32. Solar energy is used to power the battery responsible for the operation of the system. The objective of this system is to achieve smart irrigation and reduce water consumption by adjusting the amount of water used and scheduling irrigation according to plant needs. The system also offers convenience and flexibility to farmers, allowing them to

monitor and manage the system remotely, ensuring efficient and sustainable irrigation of their crops.

Keywords: Smart irrigation, IoT, photovoltaic effect, solar radiation, MQTT