

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

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



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par :

BENHADOUGA Hamza

HEMARID Imene

Thème

Etude d'un système intelligent d'éclairage

Urbain

Soutenu publiquement, le 15/09 / 2022, devant le jury composé de :

Mr ABDELLAOUI Ghouti	MCB	ESSA - Tlemcen	Président
Mme BOUSMAHA Imen Souhila	MCB	ESSA - Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr MEGNAFI Hicham	MCA	ESSA - Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
Mr CHEMIDI Abdelkrim	MCA	ESSA - Tlemcen	Examineur 1
Mr DRISS Younes	Docteur	Univ -Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2021 /2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Nous remercions Dieu ALLAH tous puissant qui nous a donné le courage de confronter ce nouveau domaine, et la force de terminer ce mémoire.

*Nous tenant à remercier sincèrement **Mme. BOUSMAHA Imen Souhila** en tant que*

Encadreur, qui a toujours montre à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

*Nous remercions notre Co-encadrant **Mr. MEGNAFI Hichem** pour son soutien, ses orientations et son encouragement prodigué durant toute l'année universitaire.*

Nous remercions aussi les membres de jury de nous avoir fait l'honneur par leur présence et d'avoir accepté d'évaluer ce travail qui nous l'espérons, répondra à leurs attentes.

*Nous remercions également les responsables de la société **ERMESO** en particulier **Mr. BENHBIB Djelloul** pour son aide durant toute la période du stage.*

*Un grand merci de l'entreprise **SADEG** pour l'accomplissement de ce projet.*

*Sans oublier, nous remercions **Mr. ADJIM Ramz Eddine Abderrazak** responsable de **FABLAB** de nous avoir aidé durant la réalisation de notre projet.*

*Nous tenons à remercier **Oussama** et **Cherifa** qui nous ont aidés dans notre projet.*

Enfin nous exprimons nos profondes gratitude à nos parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A mon cher père, source de joie et de bonheur, Aucune dédicace ne peut vous exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez accomplis pour mon éducation et mon bien-être.

A la source de mes efforts ma mère, je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu m'as donné depuis mon enfance et j'espère que ta grâce m'accompagnera toujours.

*A mes chères sœurs **Kheira, Saada, Naima, Malika et Fatiha**, mes frères **Mohamed et Bilal**, mes nièces **Ibtissem, Aya, Anfal, Alaa, Aboubakre, Anes et Siradj** pour leur amour, conseils, aides et encouragements.*

*A toutes les personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, mes amis proches **Fatima, Manal, Amina, Houda** pour les encouragements et le soutien moral que vous m'avez apportés.*

*A mon binôme **Hamza** pour son soutien, sa compréhension tout au long de ce projet, je le souhaite beaucoup de réussite dans sa vie.*

A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail, à tous ceux que j'ai omis de citer.

Imene

Dédicace

*Je dédie ce travail à la super femme, l'enseignante vertueuse et la mère réussie, **ma mère Halima BENHADOUGA**, Sans votre amour et vos sacrifices, je ne serais jamais ici.*

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à mes sœurs, mon père, mon binôme et tous mes proches et amis, qui m'ont accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Hamza

Résumé

Bien que des directives claires qui incitent à l'usage des énergies renouvelables et encouragent à une modération accrue de la consommation énergétique pour un éclairage public adapté et performant en Algérie, il faut dire que sur le terrain les progrès dans ce sens restent mitigés. Toutefois la motivation essentielle de ce mémoire s'adresse plutôt aux services des collectivités locales en charge de l'éclairage public, notamment pour les aider à mieux intégrer les aspects d'efficacité énergétique, le contrôle intelligent et électricité solaire dans le domaine.

Le système réalisé est un prototype d'éclairage intelligent des rues dans le domaine public. La gestion et le pilotage du système se fait par l'installation de différents capteurs connectés au réseau de communication grâce à la technologies internet des objets. La solution repose sur la conversion du rayonnement solaire durant la journée, en énergie électrique par des panneaux photovoltaïques installés sur chaque support d'éclairage, l'énergie stockée est restituée durant la nuit pour assurer un éclairage efficace adapté au flux du trafic.

Un contrôle de l'éclairage par détecteur automatique de mouvement, combiné avec un détecteur de luminosité empêchant le fonctionnement de jour ou lorsque la lumière naturelle est suffisante, permet en effet d'augmenter l'efficacité énergétique en faisant varier l'intensité lumineuse d'une lampe selon le besoin réel des usagers.

Mots Clé : Éclairage intelligent, variation de l'intensité lumineuse, capteur de lumière, capteur de mouvements, réseau de communication, internet des objets, contrôle de l'éclairage, flux du trafic.

Abstract

Although clear guidelines that encourage the use of renewable energy and encourage increased moderation of energy consumption for a suitable and efficient public lighting in Algeria, it must be said that on the ground progress in this direction remains mixed. However, the main motivation of this paper is to help local authorities in charge of public lighting to better integrate energy efficiency aspects, intelligent control and solar electricity in the field. The realized system is a prototype of intelligent street lighting in the public domain. The management and piloting of the system is done by the installation of different sensors connected to the communication network through the Internet of Things technologies. The solution is based on the conversion of solar radiation during the day into electrical energy by photovoltaic panels installed on each lighting support. The stored energy is restored during the night to ensure efficient lighting adapted to the traffic flow. A lighting control system using an automatic motion detector, combined with a luminosity detector that prevents operation during the day or when there is sufficient natural light, makes it possible to increase energy efficiency by varying the light intensity of a lamp according to the traffic flow. the light intensity of a lamp according to the real needs of the users.

Key words : Intelligent lighting, light intensity variation, light sensor, motion sensor, communication network, internet of things, lighting control, traffic flow .

ملخص

على الرغم من وجود مبادئ توجيهية واضحة تشجع على استخدام الطاقات المتجددة وتشجع على زيادة الاعتدال في استهلاك الطاقة من أجل الإضاءة العامة المناسبة والفعالة في الجزائر، يجب القول إن التقدم على أرض الواقع في هذا الاتجاه لا يزال مختلطاً. ومع ذلك، فإن الدافع الرئيسي لهذه الأطروحة يهدف بشكل أكبر إلى خدمات السلطات المحلية المسؤولة عن الإضاءة العامة، ولا سيما لمساعدتهم على دمج جوانب كفاءة الطاقة والتحكم الذكي والكهرباء الشمسية في هذا المجال بشكل أفضل.

النظام المنتج هو نموذج أولي لإضاءة الشوارع الذكية في المجال العام. تتم إدارة النظام والتحكم فيه عن طريق تثبيت أجهزة استشعار مختلفة متصلة بشبكة الاتصالات باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء. يعتمد الحل على تحويل الإشعاع الشمسي أثناء النهار إلى طاقة كهربائية عن طريق الألواح الكهروضوئية المثبتة على كل دعم للإضاءة، ويتم استعادة الطاقة المخزنة أثناء الليل لضمان إضاءة فعالة تتكيف مع تدفق حركة المرور.

يتيح التحكم في الإضاءة بواسطة مستشعر الحركة الأوتوماتيكي، جنباً إلى جنب مع مستشعر الضوء الذي يمنع التشغيل أثناء النهار أو عندما يكون الضوء الطبيعي كافياً، زيادة كفاءة الطاقة عن طريق تغيير شدة الضوء من الصباح وفقاً للاحتياجات الفعلية للمستخدمين.

الكلمات الرئيسية: الإضاءة الذكية، التعتيم، مستشعر الضوء، مستشعر الحركة، شبكة الاتصالات، إنترنت الأشياء، التحكم في الإضاءة، تدفق حركة المرور.

Table des matières

Résumé	vi
Introduction générale	1
1 Généralité sur l'éclairage public intelligent	3
1.1 Introduction	3
1.2 Éclairage intelligent	3
1.3 Objectifs de l'éclairage public intelligent	4
1.4 Avantages de l'éclairage connecté	5
1.5 Possibilités d'économie d'énergie	5
1.6 Nouvelles technologies LED utilisés dans les systèmes d'éclairage public	6
1.6.1 Lumière blanche à base de LED RGB	6
1.6.2 LED bleue, phosphore et synthèse de la lumière blanche	7
1.6.3 LED SMD ou (mid-power)	7
1.6.4 LED haute puissance (High Power)	8
1.6.5 LED COB (Chip on Board)	9
1.7 Concept d'efficacité lumineuse	9
1.8 Stratégies de contrôle de luminosité de l'éclairage	10
1.9 Gestion centralisée des éclairage publics intelligents	11
1.10 Transition vers l'éclairage public solaire	11
1.11 Fondements de l'éclairage solaire	12
1.12 Structures des lampadaires solaires	13
1.12.1 structure de lampadaires solaire All in one	13
1.12.2 Structure de lampadaires solaire All-in two	13

1.12.3	Structure de lampadaires solaire All-in three	14
1.13	Orientation et inclinaisons des panneaux solaires	15
1.14	Contrôle de luminosité	15
1.15	Stratégies de contrôle de luminosité	16
1.16	Systèmes de communication de l'éclairage public	17
1.17	Éléments de conception de l'éclairage solaire	18
1.18	Commandes d'éclairage intelligents	19
1.19	De la LED à la LED intelligente	20
1.19.1	Amélioration des performances	20
1.19.2	Efficacité opérationnelle de la LED intelligente	21
1.20	Pilotage d'éclairage intelligent	21
1.21	Changements que l'éclairage intelligent apportera à l'éclairage urbain	22
1.22	Bénéfices du Smart Lighting	22
1.23	Nouveaux services permis par l'éclairage public intelligent	23
1.24	Recherches récentes	24
1.25	Autres recherches et solutions de l'éclairage public intelligent	24
1.26	conclusion	26
2	Réseau de communication d'éclairage public	27
2.1	Introduction	27
2.2	Objet connecté (OC)	27
2.3	Internet des objet (internet of things)	28
2.3.1	Définition	28
2.3.2	Fonctionnement de l'internet des objets IoT	28
2.3.3	Défis	29
2.3.4	Étapes et technologies dans l'écosystème de l'ido	29
2.3.5	Avantages et inconvénients des systèmes d'IoT	30
2.4	Communication M2M	30
2.4.1	Définition	30
2.4.2	Fonctionnement et architecture du M2M	30
2.4.3	Avantages du M2M	32
2.5	Protocoles de communication des réseaux M2M/IoT	32
2.5.1	Réseau personnel sans fil (WPAN)	32
2.5.2	Réseau local sans fil (WLAN)	33

2.5.3	Réseaux étendus sans fil (WWAN)	34
2.6	Domaines d'applications	34
2.7	Sécurité dans internet des objets	36
2.8	IoT au coeur du smart public lighting »	37
2.9	IoT, LED et efficacité énergétique	37
2.10	Éclairage connecté et communicant :VLC et LiFi	38
2.11	Conclusion	39
3	Réalisation de prototype	40
3.1	Introduction	40
3.2	Partie électronique	40
3.2.1	NodeMCU ESP8266	40
3.2.2	Capteurs	41
3.2.3	Afficheur LCD 4*20 BLEU avec I2C	43
3.2.4	LED	44
3.2.5	Panneau solaire	44
3.2.6	Batterie	45
3.2.7	Circuit de charge de batterie	45
3.2.8	Régulateur	46
3.3	Partie informatique	47
3.3.1	Logiciel Arduino	47
3.3.2	Logiciel ISIS Proteus	47
3.3.3	Logiciel Fretzing	48
3.3.4	Organigramme de l'application proposé	50
3.4	Partie mécanique	50
3.4.1	Logiciel SolidWorks	50
3.4.2	Imprimante 3D	51
3.5	Étapes de la réalisation de l'éclairage public intelligent	52
3.5.1	Base de la maquette	52
3.5.2	Montage des supports	52
3.5.3	Installation des pièces électroniques sur les supports	53
3.5.4	Positionnement des supports sur la maquette	53
3.5.5	Fonctionnement du prototype	53
3.6	Conclusion	54

Table des figures

1.1	Éclairage intelligent	4
1.2	LED RGB [6]	7
1.3	LED bleue	7
1.4	LED SMD	8
1.5	LED haute puissance	9
1.6	LED COB	9
1.7	Avantages de l'éclairage à LED [5]	12
1.8	Constitution du lampadaire All-in-one [6]	13
1.9	Constitution du lampadaire All-in-two [6]	14
1.10	Constitution du lampadaire All-in-three [6]	14
1.11	Angle d'inclinaison des panneaux solaires [6]	15
1.12	Illustration des deux modes d'éclairage public : (a)- Non dimmable / (b)- Dimmable	16
1.13	Profil d'éclairage avec trois niveaux de luminosité	16
1.14	Contrôle de l'éclairage par détecteur de présence	17
1.15	Système centralisé [12]	17
1.16	Système décentralisé [12]	18
2.1	Internet of things	28
2.2	Internet des Objets dans les villes intelligentes [27]	29
2.3	L'architecture fonctionnelle de M2M [34]	31
2.4	Logo de Bluetooth [34]	32
2.5	Logo de Zigbee [36]	33
2.6	Carte RFID [37]	33
2.7	Logo du Wi-Fi [34]	34

3.1	NodeMCU ESP8266	41
3.2	Capteur de lumière (LDR) [49]	42
3.3	Détecteur de mouvement PIR	42
3.4	Afficheur LCD 4*20 BLEU avec I2C	44
3.5	LED	44
3.6	Panneau Solaire	44
3.7	Batterie	45
3.8	Circuit de charge de batterie	45
3.9	Différents étapes de charge CC-CV [54]	46
3.10	Régulateur	46
3.11	Simulation du régulateur	48
3.12	Schéma électronique support EP 3	48
3.13	Schéma électronique support EP 2	49
3.14	Schéma électronique support EP 1	49
3.15	Organigramme de fonctionnement du prototype	50
3.16	Modèle de support EP	51
3.17	Impression 3D	51
3.18	Pièces imprimées en 3D	52
3.19	prototype d'éclairage public intelligent	54

Liste des tableaux

2.1	Étapes de l'ido	29
3.1	les composants de régulateur	47

Liste des abréviations

2G 2ème Génération de téléphonie mobile

3G 3ème Génération de téléphonie mobile

4G 4ème Génération de téléphonie mobile

5G 4ème Génération de téléphonie mobile

ADEME Agence De L'environnement et De La Maîtrise De L'énergie

AH Ampère-heure

API Application Programming Interface

AS Serveur Application

CLF Lampe fluorescente compacte

CLO Constant Light Output

CNR (Compagnie Nationale du Rhône

DSM Gestion De La Demande

EI Éclairage intelligent

EP Éclairage Public

FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum

GPRS General Packet Radio Service

GPS Global Positioning System

GSM Global System for Mobile Communications

HID) ampes à Diodes à Haute Emissivité

HPS Sodium Haute Pression

IDE integrated development environment

IdO Internet des Objets

IEEE L'Institute of Electrical and Electronics Engineers

IOT Internet Of think

ISO International Standardization Organization

LCD liquid crystal display

LDR Light Dépendent Résistor

LED diode électroluminescente

LPS Sodium basse pression

LSSM Lighting supply side Management

LTE Long Term Evolution

M2M Machine 2 Machine

MAC Media Access Control

MH Halogénure Métallique

MOSEFT Transistor à effet de champ à grille métal-oxyde

MV Vapeur De Mercure

NFC Near-field Communication

OC Objet Connecté

OCE Objet Connecté Enrichi

PC Personnel Computer

PIR Détecteur De Mouvement

RFID (Radio Frequency Identificatio

SMS Short Message Service

TIC Technologies de l'Information et de la Communication

UMTS Universal Mobile Telecommunications System

USB Universal Serial Bus

WAN Wide Area Network

Wi-Fi Wireless Fidelity

WiMax Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN Wireless Local Area Network

WPAN Wireless Personal Area Network

WWAN Wireless Wide Area Network

Introduction générale

Selon la Commission de la Régulation de l'Energie (CRE), l'éclairage public est aujourd'hui devenu un « gouffre énergétique » : il représente le premier poste de consommation d'électricité d'une commune, et selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), cette sur représentation est principalement due à la vétusté du réseau, qui entraîne une surconsommation et un surcoût de l'entretien.

Plutôt que de maintenir des infrastructures de plus en plus vétustes et énergivores, il est recommandé aux collectivités de rénover leurs réseaux d'éclairage urbain. L'éclairage public intelligent s'adapte aux mouvements des piétons et des véhicules. Il s'atténue lorsqu'il n'y a pas d'activité et s'allume lorsqu'un mouvement est détecté, ce qui permet de fournir un éclairage adapté à n'importe quelle zone urbaine. En effet, selon le contexte et la technologie utilisée, des économies de consommation d'énergie et donc de dépenses pour les collectivités, peuvent être importantes.

Notre projet de fin d'étude consiste à la réalisation d'un prototype d'éclairage public intelligent pour assurer d'une manière efficace l'éclairage des rues. Ce mémoire comporte trois chapitres :

Le premier chapitre se consacre pour donner des notions sur l'éclairage public intelligent à savoir, définition et objectifs du smart lighting, nouvelles technologies LED utilisés dans les systèmes d'éclairage public, concept d'efficacité lumineuse, stratégies de contrôle de luminosité de l'éclairage, la gestion centralisée des EPs intelligents. Nous discutons ensuite les fondements de l'éclairage solaire, les différentes structures des lampadaires solaires, orientation des panneaux photovoltaïques, les éléments de conception de l'éclairage, et les critères de choix des systèmes d'éclairage solaire.

Le deuxième chapitre se focalisera sur le réseau de communication servant à doter le réseaux d'éclairage public par l'outil d'intelligence et de communication. Dans ce chapitre nous parlerons de l'internet des objets, la communication M2M citant ainsi son mode de fonctionnement, son architecture et ses avantages, nous discutons ensuite sur les protocoles de communication et leurs domaines d'application.

Le troisième chapitre sera consacré pour l'enchaînement de la réalisation de notre prototype, il se compose de trois parties, d'abord la partie électronique qui présente tous les composants électroniques utilisés dans notre maquette, ensuite la partie informatique traitant la programmation par les logiciels Isis Proteus et Arduino Ide et finalement la partie mécanique qui explique l'impression 3D des différents éléments du modèle conçu après avoir fait la conception par le biais du logiciel SolidWorks.

Enfin, notre thèse sera clôturée par une conclusion générale et des perspectives.

Généralité sur l'éclairage public intelligent

1.1 Introduction

L'éclairage public est un dispositif technique et spatial de la ville, sa particularité réside dans le service discontinu : afin de rendre la ville pratique pendant la nuit, l'espace public pendant le jour est inutilement encombré. Contrairement à d'autres réseaux, il fonctionne à temps partiel, ouvrant et fermant au gré des saisons selon un horaire variable, jouant un rôle puissant dans la production du paysage urbain et il assure un service de nuit aux usagers potentiels [1].

L'éclairage intelligent contribue une nouvelle technologie d'éclairage visant l'efficacité énergétique, le confort et la sécurité. Il peut comprendre des luminaires à haute efficacité et des commandes automatisées qui ajustent l'éclairage en fonction de critères comme le taux d'occupation ou la lumière du jour. Dans ce chapitre, nous allons exposer un état de l'art sur l'éclairage intelligent et les bénéfices que va apporter l'éclairage urbain.

1.2 Éclairage intelligent

Il est plus facile de commencer un voyage dans une ville intelligente avec des lampadaires intelligents. L'éclairage public est l'un des meilleurs réseaux de distribution d'électricité, distribué dans les villes du monde entier. C'est le système nerveux d'une ville, connectant plus de 360 millions de lampadaires à travers le monde, qui peuvent être alimentés 24h/24 et 7j/7. Par conséquent, les lampadaires sont des endroits idéaux pour installer des systèmes de ville intelligente. Par exemple, des caméras de sécurité, des capteurs environnementaux, des compteurs de trafic ou des chargeurs de véhicules électriques peuvent être installés sur des poteaux d'éclairage public, à condition que les lampadaires connectés restent éteints pendant la journée et que l'électricité circule toujours dans la rue.

L'éclairage intelligent peut nous faire économiser de l'argent dès le premier jour. En plus de réduire

les factures d'énergie et les dépenses d'exploitation, ils offrent également d'excellentes opportunités de génération de revenus[2].



FIGURE 1.1: Éclairage intelligent

1.3 Objectifs de l'éclairage public intelligent

L'éclairage intelligent est système conçu pour atteindre objectifs suivants [3] :

- Économiser de l'énergie en atténuant ou en éteignant l'éclairage selon des horaires de fonctionnement précis et flexibles.
- Exploiter la lumière du jour pour économiser de l'énergie grâce au contrôle dynamique de l'éclairage basé sur la détection de mouvement et les capteurs de lumière.
- Prolonger la durée de vie des équipements d'éclairage en optimisant la durée de fonctionnement et les niveaux d'éclairage des luminaires.
- Réduire les coûts d'entretien en surveillant l'état de l'équipement d'éclairage et les pannes de courant des bureaux, réduisant ainsi les inspections régulières sur place.
- Planifier les tâches de maintenance préventive en fonction des rapports/données de surveillance de l'équipement d'éclairage plutôt que d'avoir à effectuer des tâches de maintenance corrective non planifiées.
- Renforcer la sécurité, les lumières sont connectées et les niveaux d'éclairage peuvent être facilement ajustés avec des dérogations (automatiques) en cas d'urgence.
- Réduire la pollution lumineuse et prévenir les nuisances pour les personnes, les plantes et les animaux.

1.4 Avantages de l'éclairage connecté

L'éclairage connecté a voulu pour devenir plus convivial que jamais, parmi ces avantages on peut citer :

1. Entretien plus efficace parce que les luminaires intelligents signalent automatiquement les défaillances .
2. Suivi de la consommation réelle à tout moment .
3. Gestion d'actifs automatique avec réduction de la marge d'erreur.
4. Modifier le schéma de gradation pour économiser ou réduire d'avantage la pollution lumineuse .
5. Possibilité de régler à distance l'intensité lumineuse lors d'événements ou en cas d'accident.
6. Consommation réelle précise [4].

1.5 Possibilités d'économie d'énergie

Il existe de nombreuses activités et mesures pour réaliser des économies d'énergie dans le domaine de l'éclairage public, voici quelques possibilités en termes d'utilisation et de contrôle du système [5].

1/ Remplacer les lampes moins efficaces et installer des lampes à faible puissance et à haut rendement en conséquence.

2/ Réduire le nombre de luminaires : Cette possibilité peut être obtenue de deux manières :

- Le nombre de lampes a été réduit tout en obtenant un niveau d'éclairage approprié selon les normes internationales, le reste des lampes a été supprimé.
- Réduction du nombre de luminaires à certaines heures de la nuit.

3/ Choix des sources d'énergie pour les systèmes d'éclairage et options technico-économiques.

4/ Pour améliorer et utiliser un contrôle efficace en installant des contrôles d'éclairage plus précis, il existe plusieurs types :

- Allumer ou éteindre la lumière par la photocellule pour détecter la quantité de lumière dans la zone.
- Modernisation de la gestion du temps, car les heures de coucher et de lever du soleil varient tout au long de l'année.
- La généralisation du contrôle intelligent de l'éclairage public repose sur des systèmes programmables qui réagissent automatiquement aux facteurs externes, tels que les conditions météoro-

logiques, la densité du trafic et les conditions routières. Ces nouvelles technologies sont très efficaces et économes en énergie et donc rentables .

1.6 Nouvelles technologies LED utilisés dans les systèmes d'éclairage public

Le phénomène de l'électroluminescence était connu depuis le début du siècle dernier, mais ce n'est que bien plus tard, en utilisant divers matériaux semi-conducteurs, qu'a été mise au point la première diode électroluminescente à boîtier DIP émettant une couleur rouge, avant de voir apparaître celles rayonnant une lumière orange, jaune et enfin verte peu après. Quant à la LED bleue, longtemps attendue comme un maillon important dans la synthèse de la lumière blanche, elle n'est apparue qu'en 1991 et a été à l'origine de l'attribution d'un prix Nobel aux trois chercheurs qui ont contribué à son invention [6].

1.6.1 Lumière blanche à base de LED RGB

RVB signifie Rouge Vert Bleu. Ce dernier utilise les couleurs primaires à savoir le rouge, le vert et le bleu, pour reproduire une large gamme de couleurs existantes. Bien que très présente dans les appareils modernes, cette technologie utilisant des sources lumineuses à base de LEDs RVB, est restée concentrée sur des applications destinées à mettre en valeur les espaces publics et les édifices de nuit, par un éclairage dynamique et coloré. Ces applications concernent à la fois certains besoins du monde de l'éclairage professionnel, comme le composant avec trois LED RVB distinctes placées dans un seul boîtier sous une lentille de protection transparente, et un large public auquel sont destinés plusieurs produits finaux comme les rubans de LED RVB utilisés pour l'éclairage décoratif, ou certaines lampes spéciales pour l'éclairage intérieur. Devant ce constat, c'est un procédé plus simple, qui associe essentiellement une diode bleue et un produit phosphorescent, qui a finalement conduit à l'incursion prodigieuse des LED dans le domaine de l'éclairage en général, surtout ces dix dernières années, sous la pression de l'efficacité lumineuse, inscrite à l'agenda de la transition énergétique en cours dans le monde.



FIGURE 1.2: LED RGB [6]

1.6.2 LED bleue, phosphore et synthèse de la lumière blanche

Les premières LED blanches recouvrant une puce en nitrure de gallium et d'indium (InGaN) émettant de la lumière bleue d'une fine couche de phosphore jaune. La lumière bleue de courte longueur d'onde (440 à 475 nm) émise par la LED est partiellement absorbée par la couche de phosphore jaune et réémise sous forme de lumière jaune à large spectre . Au final, cette dernière se mélange à la lumière bleue restante pour donner une lumière blanche , dont les différentes propriétés spectrales, telles que la température de couleur et l'indice de rendu des couleurs (IRC), sont définies par la qualité de la couche de phosphore, qui constitue donc un élément fonctionnel de grande importance.



FIGURE 1.3: LED bleue

1.6.3 LED SMD ou (mid-power)

L'expérience acquise grâce aux développements prodigieux des LED comme support d'affichage pour la visualisation des couleurs, dans certaines catégories de téléviseurs en particulier, a largement favorisé leur passage à des applications de série comme moteur de l'éclairage artificiel dans toutes

ses formes. Ainsi, des solutions performantes d'adaptation, notamment en termes de conditionnement supportant les nouveaux profils de contraintes thermiques et d'implantation, ont rapidement fait leur apparition. La première a consisté à tirer parti de la technologie mature des circuits montés en surface (CMS), en privilégiant des LED de faible puissance unitaire ($<1\text{ W}$), mais néanmoins qualifiées de moyenne ou "mid-power", compte tenu des dimensions très réduites de l'ensemble, dont l'indication est même intégrée dans la désignation commerciale de celles-ci. En faisant cela, les deux premiers et les deux derniers chiffres des quatre nombres qui accompagnent généralement la dénomination indiquent les dimensions physiques de la forme carrée de la LED SMD, dont l'épaisseur est d'environ 1 mm.



FIGURE 1.4: LED SMD

1.6.4 LED haute puissance (High Power)

Les LED (High Power), se matérialisent sous la forme d'un boîtier qui peut contenir une ou plusieurs LED SMD, installées sur un substrat céramique et hébergées sous une lentille optique en dôme de silicium, afin de favoriser la collecte de la lumière produite. L'ensemble procure ainsi une lumière de haute intensité et une très bonne efficacité, avec toutefois un angle d'émission très réduit qui favorise les applications exigeant un éclairage directionnel (spots...), d'où un champ d'utilisation beaucoup plus restreint que les LED SMD.

Les LED haute puissance sont disponibles dans une variété de températures de lumière blanche et de couleur et sont disponibles seules ou montées sur un circuit imprimé à âme métallique (MCPCB). En raison de la forte concentration du faisceau lumineux des LED haute puissance avec la structure de boîtier présentée, elles sont principalement utilisées dans les spots et les projecteurs pour des applications ciblées.



FIGURE 1.5: LED haute puissance

1.6.5 LED COB (Chip on Board)

La technologie COB (Chip-On-Board) est le dernier développement à satisfaire cette volonté, également orientée par le désir d'efficacité énergétique. En reprenant ainsi pratiquement le même principe de conditionnement de la LED blanche en faisant associer puce bleue et luminophore, l'objectif de la technologie COB a été de gagner sur les espaces que nécessite le déploiement des LED SMD avec leur conditionnement personnalisé, en les associant pour mutualiser leurs émissions lumineuses en un seul faisceau d'intensité suffisante pour une application d'éclairage donnée.

Les COB LEDs ainsi réalisées, identifiables par leur pellicule jaune très visible, présentent alors des puissances unitaires importantes, allant jusqu'à 100 W pour les plus courantes actuellement alors que des modèles de 600 W sont proposés.



FIGURE 1.6: LED COB

1.7 Concept d'efficacité lumineuse

La performance lumineuse la plus élevée qui peut être théoriquement obtenue à 555 nm, c'est à dire pour une lumière verte à caractère monochromatique, est équivalente en théorie à 683 lm/W. Dans ce cadre, les évaluations actuelles effectuées avec des photomètres photosensibles, basés sur la partie centrale du spectre visible, négligent complètement la contribution de la vision macroscopique, car les baguettes sont beaucoup plus sensibles à la lumière bleue. Cette constatation, nous permet de préciser

que l'efficacité lumineuse d'une lampe dont le spectre de la lumière émise tend vers les grandes longueurs d'onde (jaune, rouge.) du champ visible (lampe à sodium), est surévaluée comparée à celle d'une lampe contenant du bleu (lumière froide). Or, on sait que les LED ont spécifiquement cette propriété de pouvoir émettre aussi dans le bleu, très sensible à la vision scotopique, ce qui explique, par exemple, la constatation générale qu'une LED éclaire beaucoup plus qu'une lampe à sodium avec la même intensité lumineuse en lumens. Enfin, c'est autour de ce point que les chercheurs et les professionnels du monde de l'éclairage artificiel, convergent de plus en plus vers l'introduction d'un facteur de correction dans l'évaluation de l'intensité lumineuse de toute lampe. Ainsi, l'utilisation de ce rapport S/P comme facteur multiplicatif du flux lumineux (en lumens), tel qu'il est affiché actuellement pour diverses lampes, permet de mieux évaluer la luminosité que le corps perçoit pour différentes couleurs de lumière et participe ainsi à la réduction de la consommation d'énergie, sans altérer la puissance visuelle utile [6].

1.8 Stratégies de contrôle de luminosité de l'éclairage

La gestion de l'éclairage au sens le plus large désigne les moyens de maîtriser les luminaires d'une pièce. Elle peut être effectuée de manière manuelle, semi-automatique ou entièrement automatisée [7] :

Allumage/extinction manuel : est le moyen le plus facile de gérer les lumières. Il consiste à éclairer ou éteindre (en contrôlant le circuit électrique) les lampes selon les besoins au moyen d'interrupteurs.

Gradation ; à savoir le réglage continu de l'éclairage artificiel, revient à contrôler le flux lumineux de la lampe en fonction des contributions extérieures et des demandes des utilisateurs.

Gestion du temps : fait appel à une horloge pour intervenir sur les lampes. Les interventions peuvent être effectuées soit aux heures programmées (horloge) soit après un certain temps d'allumage (timer) et servent à déclencher l'éclairage, le plus souvent, mais elles consistent aussi à allumer ou à varier l'intensité lumineuse des lampes.

Détection de présence : utilise un capteur qui détecte la présence (ou l'absence) d'un individu dans un endroit précis. Cette action sur les lampes qui peut être de trois types : l'allumage, l'extinction ou, dans certains cas plus rares, la gradation.

Gestion locale : dans une configuration locale, chaque dispositif d'actionnement local (interrupteur) agit sur un ou plusieurs luminaires sans recourir à un dispositif de contrôle central ; dans une coordination généralisée, tous les équipements sont connectés en parallèle sur le même bus de communication, chaque lampe et chaque interrupteur ayant sa propre adresse informatique.

Contrôle de la puissance : les systèmes de gestion centralisée offrent la possibilité de contrôler les

lampes de façon à ce que le volume d'éclairage soit maintenu en permanence à la valeur requise. Par conséquent, la consommation d'énergie est limitée au strict nécessaire, malgré le surdimensionnement de l'installation d'éclairage nécessaire pour maintenir les niveaux d'éclairage requis pendant toute la durée d'utilisation du luminaire.

1.9 Gestion centralisée des éclairage publics intelligents

Dans une municipalité, le coût de l'éclairage public représentait 40 % des dépenses totales, y compris les frais d'entretien. En outre, le client supportait des coûts de plus en plus élevés de maintenance, et les habitants se sont régulièrement plaints du manque de service.

Les principaux objectifs visés avec le système de gestion intelligente de l'éclairage public étaient les suivants[8] :

- Améliorer l'efficacité énergétique de l'éclairage public.
- Améliorer la maintenance et les économies qui y sont associées.
- Assurer une gestion globale de l'éclairage et une plus grande efficacité dans la résolution des incidents.

1.10 Transition vers l'éclairage public solaire

L'éclairage artificiel, dont dépendent aujourd'hui de nombreux aspects de l'activité humaine, a constitué l'une des premières applications de l'électricité, tandis que la production de cette énergie à partir de l'énergie solaire photovoltaïque accroît encore son utilisation, en la rendant disponible et autonome dans des endroits où elle était rare, peu abordable ou tout simplement non existante. Ainsi, contrairement aux lampadaires classiques, qui utilisent généralement le réseau de distribution électrique basse tension (230 V, 50 Hz) comme source centralisée d'énergie en courant alternatif (CA), ceux qui sont conçus pour être alimentés par de l'électricité renouvelable, en particulier l'énergie solaire photovoltaïque, sont complètement autonomes et très simples à déployer. En effet, il n'est pas nécessaire d'installer le câble d'alimentation à partir d'une armoire de commande centralisée, car l'énergie peut être produite localement dans la bonne mesure et de façon totalement indépendante à chaque lampadaire. L'électricité solaire permet donc de fournir un éclairage de qualité à un prix accessible dans de nombreux endroits, y des endroits éloignés où il était autrefois coûteux ou peu pratique. De plus, étant initialement produite sous forme de courant continu (CC), elle peut être directement utilisée, sans aucune conversion intermédiaire (CC-CA), par de nombreux types de lampes, parfaitement adaptées à cet aspect de l'alimentation et dont le principe même de génération

de lumière, nécessite au final un courant continu. Le lampadaire solaire photovoltaïque investit donc progressivement le champ de l'éclairage public après l'apparition des lampes LED, économes en énergie, et s'il n'est pas encore destiné à remplacer les lampadaires existants raccordés au réseau, il amorce néanmoins l'intégration de zones urbaines de plus en plus denses alors qu'il était initialement destiné aux zones rurales éloignées du réseau électrique où les coûts de raccordement sont parfois considérés comme prohibitifs.

1.11 Fondements de l'éclairage solaire

L'utilisation efficace de l'énergie dans les systèmes d'éclairage routier comprend l'utilisation d'une technologie de lampe efficace, de bons systèmes de contrôle et une alimentation par des sources renouvelables.

Du côté de l'électricité, les économies et l'impact local peuvent être améliorés et accrus si les systèmes d'éclairage public à LED sont combinés à la production photovoltaïque distribuée à petite échelle, le solaire photovoltaïque est choisi en raison de sa disponibilité, il présente de nombreux avantages tels que l'absence de pollution, de larges perspectives, et un entretien facile [9]. Les lumières LED sont 80 % plus efficaces que l'éclairage conventionnel comme les lampes fluorescentes et à incandescence, 95% de l'énergie des LED étant convertie en lumière et seulement 5 % étant gaspillée en chaleur. Les LED consomment également beaucoup moins d'énergie que l'éclairage traditionnel [6].

La figure (1.7) montre les nombreux avantages d'éclairage de la technologie LED, tels qu'une intensité lumineuse élevée, une faible consommation d'énergie et une longue durée de vie. Elles sont 10 fois plus efficaces que les lampes à incandescence traditionnelles à l'ancienne. D'autre part, le coût initial élevé est le principal inconvénient de cette technologie [10, 11].

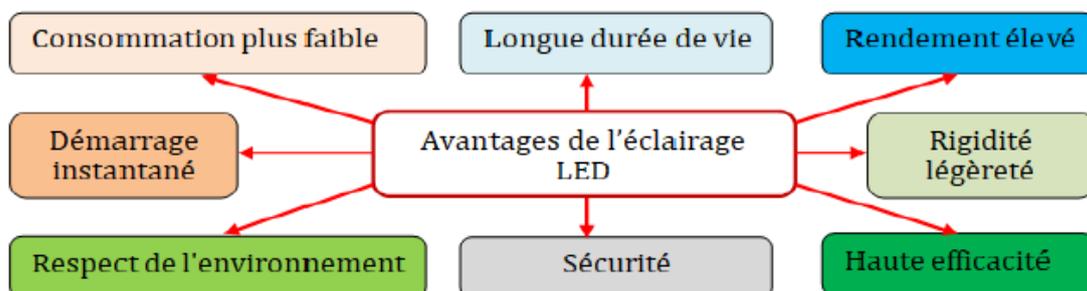


FIGURE 1.7: Avantages de l'éclairage à LED [5]

1.12 Structures des lampadaires solaires

Le lampadaire solaire fonctionnera en mode éclairage économique, puis passera en éclairage optimal lorsqu'une présence sera détectée par le détecteur de mouvement intelligent.

Trois structures sont envisagées [6].

1.12.1 structure de lampadaires solaire All in one

L'ensemble des équipements électriques constituant un lampadaire solaire est proposé sous la forme d'un seul tout-en-un disponible commercialement sous le même label exprimé en anglais (All in One) comme le montre dans la figure (1.8).

L'aspect très compact du lampadaire solaire tout-en-un et la facilité d'installation due au fait qu'il est livré entièrement prêt à l'emploi, ne doivent pas cacher des inconvénients majeurs. En effet, outre le fait qu'il est évidemment destiné à des applications d'éclairage peu exigeantes en termes de puissance et d'autonomie, compte tenu du poids et de la taille nécessairement réduits des composants impliqués, en particulier le panneau photovoltaïque et la batterie, il présente également une limite critique en termes d'optimisation du rayonnement solaire perçu. Ceci est précisément dû au couplage rigide imposé par cette structure (tout en un) entre l'orientation du panneau solaire et celle du faisceau lumineux généré par le luminaire à LED.

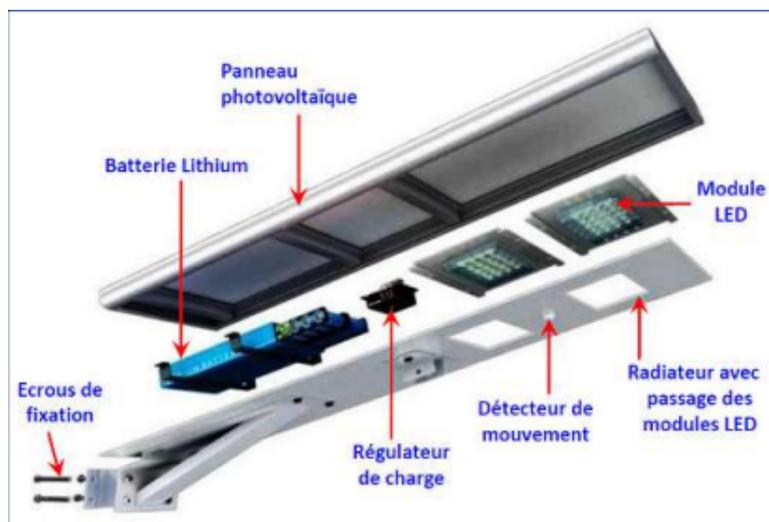


FIGURE 1.8: Constitution du lampadaire All-in-one [6]

1.12.2 Structure de lampadaires solaire All-in two

Vu l'augmentation notable de la puissance massique des batteries, notamment celles au lithium, leur intégration à la structure fait recours à un caisson étanche indépendant. Ceci reste tout de même

applicable seulement dans le cas où l'encombrement et le poids de la batterie restent au-dessous de certains seuils permettant son association de manière appropriée à l'un des deux principaux composants que sont le module ou le luminaire. La structure résultante se résume alors à seulement deux blocs physiquement séparés, regroupant l'ensemble des équipements électriques, d'où sa caractérisation comme étant du type All in two.



FIGURE 1.9: Constitution du lampadaire All-in-two [6]

1.12.3 Structure de lampadaires solaire All-in three

Tout l'équipement électrique du lampadaire solaire ainsi constitué, serait physiquement divisé en trois blocs (panneau, luminaire LED et boîte étanche pour la batterie et l'équipement auxiliaire).

Les positions varient en fonction du poids de la batterie fixée au lampadaire solaire. Il existe donc différents types de positions de la batterie, comme le montre la figure (1.10).

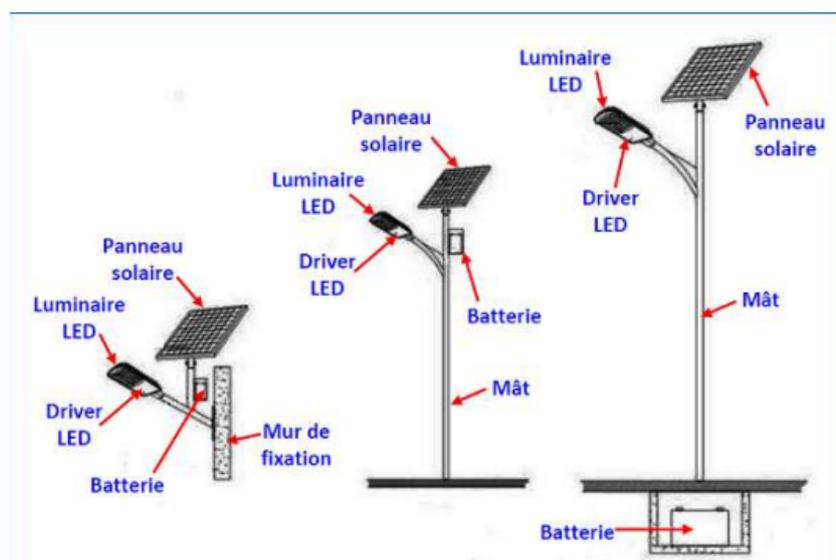


FIGURE 1.10: Constitution du lampadaire All-in-three [6]

1.13 Orientation et inclinaisons des panneaux solaires

Afin de maximiser la production d'électricité d'une installation photovoltaïque, il convient d'orienter les modules de façon à capter le plus possible d'énergie solaire dans la journée. Sachant que la direction du soleil varie non seulement dans la journée mais également en fonction des saisons Figure(1.11), il y a lieu d'opter pour une orientation du panneau photovoltaïque, supposée figée le long de l'année dans la direction initialement fixée, pouvant assurer au mieux le besoin journalier d'énergie dans le cas le plus défavorable.

Vu sa position géographique (hémisphère nord), la direction optimale dans ce sens pour l'Algérie, correspond à une orientation plein sud du panneau photovoltaïque avec une inclinaison pouvant atteindre 55° durant l'hiver et descendre à 10° l'été, en passant par environ 32° aux équinoxes de l'automne et du printemps. C'est pratiquement cette dernière valeur qui constitue de fait le meilleur compromis en termes de choix de l'inclinaison optimale à donner aux capteurs solaires fixes qui y sont déployés tout en veillant à une orientation plein sud [6].

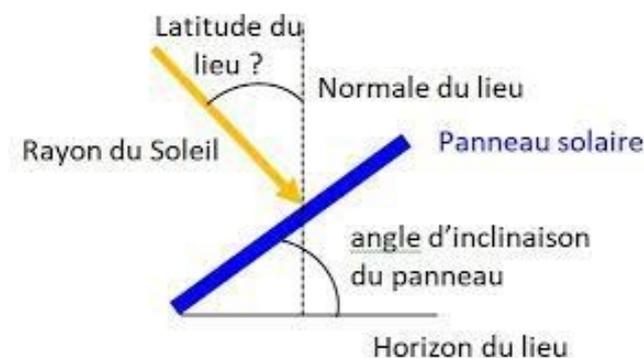


FIGURE 1.11: Angle d'inclinaison des panneaux solaires [6]

1.14 Contrôle de luminosité

Le contrôle du flux lumineux de l'éclairage solaire vise initialement au dimensionnement mené avec un luminaire LED non dimmable avec un flux lumineux maintenu constant et égal à sa valeur nominale (Figure 1.12 a), avant de passer au cas dimmable avec une intensité lumineuse variable selon un profil simple comme illustré dans la Figure(1.12b). En effet, un gain significatif de l'énergie consommée peut être enregistré.

Le contrôle de ce dernier permettant d'ajuster au mieux la demande instantanée aux besoins réels, notamment en intensité et durée de maintien.

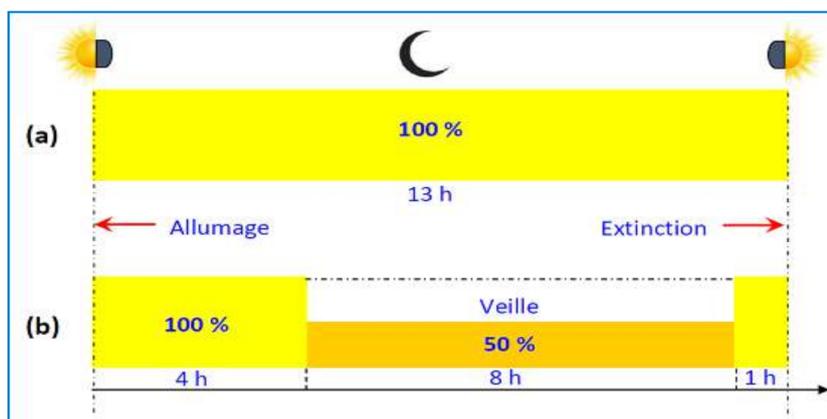


FIGURE 1.12: Illustration des deux modes d'éclairage public :(a)- Non dimmable / (b)- Dimmable

1.15 Stratégies de contrôle de luminosité

Plusieurs modes de réglage applicables aux systèmes d'éclairage public en général, dont certains sont techniquement bien appropriés pour les dispositifs à LED. Ainsi, le flux lumineux émis par le luminaire à LED, peut osciller entre 100 % de sa valeur nominale et des seuils très bas (dont éventuellement l'extinction totale). Cela étant en passant par plusieurs paliers de luminosité adaptés aux besoins minimums de certains usages, comme celui de réduire les lumières (exemple : de 100% à 70%) après la fermeture des commerces, avant de les réduire encore plus (exemple à 40%) ou carrément les éteindre après l'horaire tardif. Ils peuvent également être rallumés plus tard, soit à titre d'exemple une heure avant la levée du jour pour accompagner les activités très matinales (Figure 1.13).

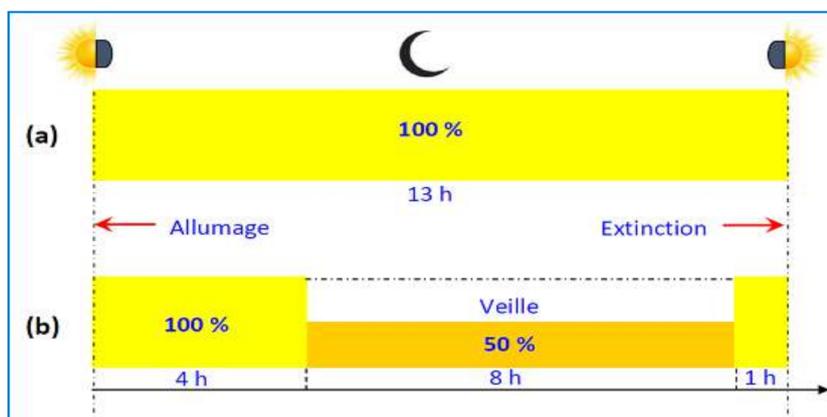


FIGURE 1.13: Profil d'éclairage avec trois niveaux de luminosité

La meilleure solution applicable dans beaucoup de cas, notamment ceux caractérisés par une densité réduite de circulation, serait à l'évidence d'opter carrément pour un contrôle de l'éclairage par détecteur automatique de présence Figure (1.14). Ce dernier, combiné avec un détecteur de luminosité ou autre dispositif (horloge astronomique) empêchant le fonctionnement de jour ou lorsque la lumière naturelle est suffisante, permet en effet de caler au mieux l'entrée en action d'un tel éclairage artificiel

avec le besoin réel.

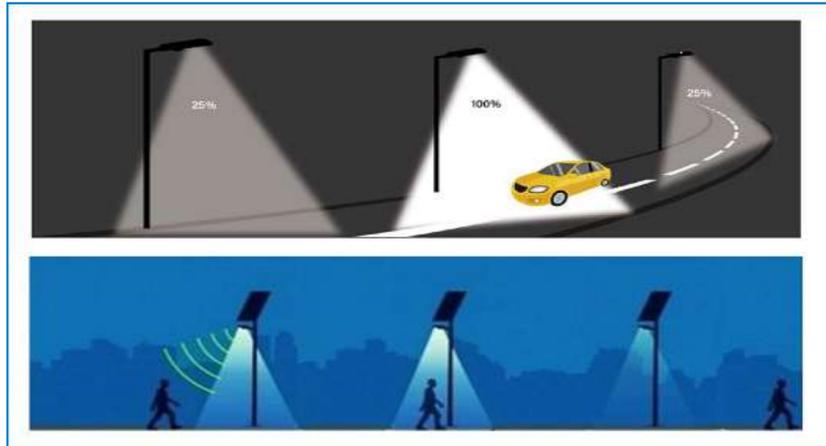


FIGURE 1.14: Contrôle de l'éclairage par détecteur de présence

Le luminaire est livré avec un système de détection de mouvement intégré qui régule automatiquement la source de lumière à partir de la pleine lumineuse (100%) au mode faible (25%) pour augmenter l'autonomie de la batterie.

Le lampadaire solaire fonctionnera en mode éclairage économique, puis passera en éclairage optimal lorsqu'une présence sera détectée par le détecteur de mouvement intelligent.

1.16 Systèmes de communication de l'éclairage public

1- Système centralisé : envoie toutes les informations à un point central qui analyse la situation et renvoie les commandes d'éclairage. Si le système fonctionne sur quelques points lumineux, s'il fonctionne à l'échelle d'un village ou d'une ville, il va vite se bloquer. De plus, en cas de défaillance de la communication ou du point central, il échoue immédiatement [12] .

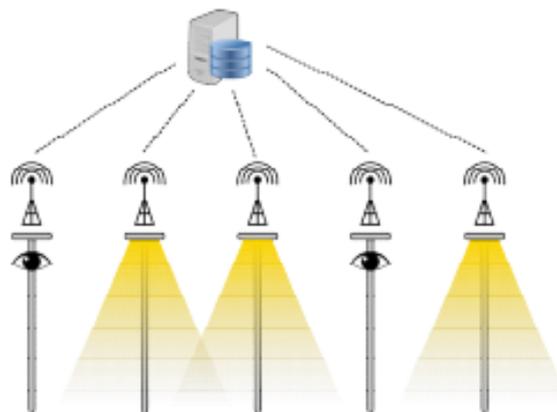


FIGURE 1.15: Système centralisé [12]

2-Système décentralisé : L'intelligence du système est répartie sur chaque module de contrôle. Grâce à leurs conversations et au partage des informations qu'ils détiennent, leurs algorithmes peuvent déduire l'état de leur environnement avec une grande précision. Cette architecture offre naturellement une grande robustesse aux pannes et modifications, comme l'ajout de lumières [12].

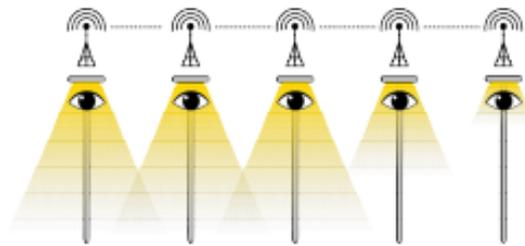


FIGURE 1.16: Système décentralisé [12]

3-Module de contrôle : Chaque luminaire est contrôlé de manière unique, un module de contrôle est placé sur chaque luminaire, qui détermine une commande d'éclairage. Cette commande est ensuite transmise au "transformateur" électrique présent dans chaque lampe, qui régule la puissance délivrée aux LED.

Chacun de ces modules de contrôle est équipé de capteurs, d'appareils de communication et de micro-ordinateurs. Cela permet à l'intelligence décentralisée et aux algorithmes de déterminer l'éclairage local requis. Les capteurs utilisent deux technologies différentes : l'infrarouge passif et le radar Doppler. Cela permet de gérer efficacement une variété d'utilisateurs, des piétons aux camions [12].

1.17 Éléments de conception de l'éclairage solaire

Lors de la conception d'une installation photovoltaïque, un grand nombre de paramètres doivent être pris en compte afin d'ajuster au mieux la production d'énergie nécessaire à la demande réelle sans modifier la qualité requise des équipements fournis. Il est à noter que, dans ce cas, tout surdimensionnement au-delà d'un seuil raisonnable pourrait s'avérer d'un coût prohibitif, totalement inutile, voire entraîner des effets néfastes, comme impacter négativement la durée de vie de certains composants importants.

Le photovoltaïque autonome comprend principalement la détermination des besoins énergétiques d'une application qui peut être définie par l'utilisateur final de manière assez précise. Dans ce cas, en tant qu'éclairage solaire autonome, les données de base peuvent être résumées comme suit [6] :

- 1- Puissance de la source lumineuse (établie selon les besoins d'éclairage).
- 2- Qualité de la lumière (Température, IRC, Spectre. ...).
- 3- Durée quotidienne de son utilisation .
- 4- Radiations solaires caractéristiques du lieu de déploiement.
- 5- Autonomie exigée en journées sans ensoleillement .

1.18 Commandes d'éclairage intelligents

L'éclairage des rues et des espaces publics dans les villes du monde entier est l'une des plus grosses dépenses des collectivités locales. La commande sans fils permet d'activer des systèmes d'éclairage public intelligents qui surveillent et gèrent à distance les paramètres électriques pertinents et contrôlent l'éclairage de diverses manières, de la variation de l'intensité lumineuse pendant les heures de pointe à la définition de programmes permettant d'allumer et d'éteindre des groupes de lampes à des heures précises pour économiser l'énergie. Grâce à l'intelligence de la lampe, ces systèmes peuvent également envoyer des alertes lorsque quelque chose ne va pas. Il n'est donc plus nécessaire d'inspecter physiquement le système à intervalles réguliers, ce qui réduit considérablement les coûts de maintenance .La commande d'éclairage public permet de [13] :

Optimiser la sûreté et la sécurité

La connexion des équipements d'éclairage à travers une zone métropolitaine permet aux villes de surveiller l'état des lampes sur les routes, les parcs, les stations de transit et autres zones publiques.

Réduction des coûts d'exploitation

En permettant la communication et le contrôle centralisé des lumières, les villes peuvent réduire la consommation d'énergie, améliorer la maintenance et diminuer les émissions de CO2.

Maintenance prédictive

Grâce à l'intelligence au niveau des lampes, les services de maintenance peuvent programmer les ressources de maintenance de manière plus efficace.

1.19 De la LED à la LED intelligente

Les concepteurs lumière ont désormais une expérience significative de la technologie LED en éclairage public. Déployée depuis une dizaine d'années, la LED conquiert encore marginalement nos villes, mais elle est désormais la seule alternative sérieuse pour la rénovation de tout parc d'éclairage public [14].

1.19.1 Amélioration des performances

L'éclairage à base de LED offre la première solution pour décarboner l'éclairage public de 50 %. Le caractère numérique des ballasts qui contrôlent la puissance de l'éclairage LED permet d'aller plus loin en ajustant l'intensité de l'éclairage à l'environnement. Avec une connexion réseau bidirectionnelle de chaque luminaire au serveur, la puissance du flux lumineux peut être optimisée en fonction des besoins réels et instantanés, tels que le lieu, la date, l'heure, le volume de trafic, la présence de véhicules ou de piétons. Pour créer la connexion au serveur, l'infrastructure des luminaires LED est équipée de contrôleurs "ad hoc" dont la fonction est de créer un réseau sans fil omniprésent de type IoT qui relie toutes les artères et la canopée de la ville.

Ce réseau de communication, tissant une toile sur la ville, peut émettre des commandes spécifiques pour chaque lumière. Ces commandes peuvent inclure l'éclairage selon des profils de puissance, en fonction de l'heure et du jour de la semaine. Il existe deux types de solutions. Dans le premier type de solution, plus adapté à l'éclairage routier, la densité horaire du trafic est généralement connue à l'avance. Ainsi, la puissance peut être réduite, par exemple à 20% de la puissance nominale, pendant certaines heures creuses où le trafic est très faible la nuit. Cette première stratégie de gradation selon la courbe temporelle permet typiquement de réduire la puissance moyenne de l'éclairage LED de 30% à 40%. En termes de puissance cumulée, cette solution LED intelligente permet d'économiser en moyenne 70 % d'énergie lors du remplacement des dernières solutions de lampes au sodium.

Dans la deuxième solution, plus adaptée aux zones résidentielles, une stratégie d'abaissement dynamique est utilisée. Par défaut, très peu d'éclairage est fourni ici, environ 10% de la puissance nominale. Le contrôleur est équipé de détecteurs de mouvement, qui permettent de contrôler l'augmentation de la puissance optique en fonction de l'entrée de piétons ou de véhicules dans la zone de détection. Un réseau de communication existe au-dessus de l'auvent qui peut alerter les luminaires adjacents pour créer des chemins lumineux qui assurent le guidage sûr des piétons. Dans la plupart des villes où nous déployons cette stratégie, les LED intelligentes permettent des économies d'énergie substantielles de l'ordre de 80 %.

Enfin, les deux solutions ont une stratégie hybride, parfois appelée réduction de volume, qui consiste

à déployer des compteurs de trafic sur des tronçons de route. On peut alors abaisser l'éclairage, sans connaissance a priori du trafic, mais selon des algorithmes d'adaptation au trafic récent moyen.

Le réglage fin de la puissance lumineuse grâce à l'éclairage LED intelligent permet ainsi de contribuer à une diminution de 70 à 80 % de l'éclairage traditionnel à base de lampes à décharge de sodium. Pour les éléments anciens de ses infrastructures qui contiennent encore des lampes à mercure, le remplacement de ces lampes permet des économies encore plus spectaculaires.

1.19.2 Efficacité opérationnelle de la LED intelligente

En plus de ces économies très importantes, la visibilité en temps réel de l'état de l'infrastructure, des contrôleurs et des ballasts permet de notifier avec précision les réclamations et les défaillances. Cet état connu et continu de l'infrastructure et de l'inventaire offre aux concepteurs d'éclairage des possibilités sans précédent de simplifier la maintenance. Certaines opérations nécessitant des camions nacelles, des chauffeurs et des techniciens d'éclairage sont réduites à un clic de souris sur une interface d'application avec la cartographie du réseau d'éclairage public. Ainsi, outre la longue durée de vie des lampes LED de 15 à 20 ans et donc un remplacement beaucoup moins fréquent que les anciennes lampes à décharge, il existe des avantages opérationnels et de maintenance très importants.

Les LED intelligentes peuvent donc jouer un rôle sur deux aspects, environ 70% d'économies d'énergie et des économies opérationnelles, plus difficiles à quantifier car elles dépendent du contenu des contrats de maintenance précédents. En pratique, il n'est pas rare d'espérer une économie de 20 à 50% sur les coûts de maintenance.

Alors qu'il y a encore deux ans, de nombreux projets en Suisse se contentaient de déployer une technologie LED simple en raison de sa facilité d'installation, la question du déploiement ou non de LED intelligentes se pose désormais. Face aux gains énergétiques supplémentaires des smart LED, ces dernières sont désormais indispensables devant les gains de maintenance et les services supplémentaires des logiciels.

1.20 Pilotage d'éclairage intelligent

La mise en place du réseau d'éclairage public est plus facile avec un système de gestion informatisé . Entre autres fonctions, ce système permet normalement [15] :

- Un re-paramétrage simple et vite de tout ou partie du réseau, par exemple lors d'événements extraordinaires qui nécessitent une mise au point temporaire de la durée d'éclairage dans une zone de la Commune.

- Une détection précise des coupures et des défaillances au niveau des points lumineux et des armoires électriques.

- Suivi de la consommation d'énergie du réseau d'éclairage.

- Mise en corrélation du pilotage du réseau avec les conditions climatiques et l'intensité du trafic.

- La gestion des ressources matérielles et humaines liées à la maintenance du réseau.

Un réseau de ce type permet d'avoir des contrôleurs intégrés dans les armoires électriques en liaison avec les points lumineux ou des contacteurs individuels qui s'intègrent dans les points lumineux eux-mêmes. Les contrôleurs communiquent avec le poste de télégestion (un ordinateur, une tablette ou un smartphone) via un réseau sans fil, par exemple WIFI ou radio.

1.21 Changements que l'éclairage intelligent apportera à l'éclairage urbain

L'éclairage public traditionnel s'allume et s'éteint à une heure précise. La puissance est toujours la même, quelle que soit l'intensité de la lumière du jour ou les besoins du moment. Avec l'éclairage intelligent et la technologie LED, tout peut être ajusté en fonction de nombreux facteurs. Quelques exemples d'applications [16] :

- Variation de l'intensité : l'éclairage intelligent, grâce à un capteur de lumière, peut réguler l'intensité de l'éclairage LED. En fonction de la lumière du jour pour obtenir un éclairage uniforme, quelles que soient les conditions météorologiques.

- Éclairage intelligent : En utilisant un capteur de mouvement, l'éclairage intelligent peut éteindre la lumière lorsqu'elle n'est pas nécessaire. Par exemple, dans une allée peu fréquentée ou sur une route déserte.

- Analyse des flux : En plus des capteurs d'éclairage intelligents qui peuvent influencer l'éclairage, les systèmes prédictifs sont capables d'analyser les besoins futurs en éclairage et de prendre les décisions appropriées en fonction des flux de circulation (humains et automobiles).

1.22 Bénéfices du Smart Lighting

L'éclairage public intelligent répond à tous les enjeux de l'éclairage public pour les intervenants [17].

Économies d'énergie significatives : Le passage d'un équipement traditionnel à un équipement moins énergivore, comme les lampes LED, génère des gains d'énergie même en présence d'un

éclairage soutenu.

Avec un système Smart Lighting, les collectivités ont la possibilité de faire passer leur efficacité énergétique au niveau supérieur. Grâce au contrôle intelligent de l'éclairage public, seule l'énergie nécessaire est réellement consommée.

Économies budgétaires : La réduction de la consommation d'électricité a un impact direct sur le budget de la collectivité. L'éclairage intelligent se situerait précisément au confluent de ces deux enjeux. En plus de faire baisser la facture énergétique, l'éclairage intelligent diminue le coût de la gestion des dispositifs d'ep.

Alors que la maintenance exigeait jusque-là l'intervention d'employés de la municipalité ou d'entreprises spécialisées, elle peut être faite à distance, avec une meilleure maîtrise des coûts.

De plus, un système d'éclairage intelligent facilite la détection des défaillances des équipements et, grâce à l'analyse des données, la détection des erreurs de facturation, qui sont également sources d'économies.

Plus de confort pour les usagers de l'espace public L'éclairage intelligent répond également à des enjeux sociaux. En intervenant indépendamment et automatiquement sur des équipements il contribue à une expérience urbaine optimisée pour les résidents, les usagers des espaces publics et les touristes.

Ses avantages dans ce domaine sont multiples : - Amélioration de la sécurité dans les espaces publics.

- Faciliter la circulation pour tous les modes de transport urbain.
- Mettre en lumière les monuments et les attractions touristiques.
- Faciliter l'activité des travailleurs de nuit.

1.23 Nouveaux services permis par l'éclairage public intelligent

Les réseaux d'éclairage public représentent un réseau dense d'infrastructures publiques qui ont la capacité de devenir le support de nouveaux usages pour les utilisateurs, tels que [15] :

- La connectivité Internet en Li-Fi (transmission d'informations par ondes lumineuses), ou le très haut débit (THD) en 5G en utilisant les lampadaires comme support de " Small Cells ".
- Une meilleure surveillance de la qualité de l'air en plaçant des capteurs sur les candélabres.
- La possibilité de recharger les véhicules électriques sur des bornes de consommation en utilisant l'alimentation des lampadaires.
- Une sécurisation accrue de la ville par le déploiement d'un réseau de caméras et de systèmes d'alerte plus performants.

- Une meilleure organisation de la circulation et du parcage en ville, etc. grâce aux capteurs installés sur les poteaux.

Ainsi, la diminution des coûts, la préservation de l'environnement et de l'attractivité de la ville constituent des objectifs pour lesquels l'éclairage public intelligent pourra être un des vecteurs en offrant une porte ouverte à la création des Smart Territoires de demain.

1.24 Recherches récentes

Les récentes recherches technologiques en matière de l'éclairage public ont contribué à créer un nouveau paradigme de réseau EP.

1-Éclairage public solaire avec suivi du soleil automatique, par téléphone, par présence, contrôlé par GPS, avec d'autres options intégrées IOT[18].

2-Éclairage de petites passerelles avec technologie à diodes électroluminescentes (DEL) et modules de communication mais sans gestion décentralisée[19].

3-Étude Pratique et Dimensionnement d'un Système d'éclairage public photovoltaïque Autonome cas d'étude. Unité de recherche d'Adrar :Présente une méthode simplifiée a été appliquée pratiquement en choisissant l'Unité de recherche en énergies Renouvelables en Milieu Saharien comme cas d'étude. Les kits d'éclairage ont été évalués financièrement dans le but de faire une comparaison avec les systèmes conventionnels[20].

4-Commande de l'éclairage public et mesure de la température à base de PIC18F4550 : la méthode est de réaliser un système de commande dépend de microcontrôleur PIC18F4550 ce dernier va gérer tous les processus dans le circuit et contrôle l'éclairage[21].

5-Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage publique et surveillance de quelques paramètres atmosphériques :consiste à la réalisation d'une carte permettant la commande automatique de l'éclairage publique pour assurée une commande optimale de l'éclairage [22].

1.25 Autres recherches et solutions de l'éclairage public intelligent

1-Les villes intelligentes nécessitent non seulement la capacité de prendre en charge divers capteurs et les données qu'ils collectent, mais également des solutions qui répondent aux besoins des citoyens. Pour fournir la base de ce soutien. VantagePoint Lighting Control est une solution intelligente qui

fournit un contrôle et une automatisation améliorés de l'éclairage à l'aide de modules de contrôle, de logiciels et d'un réseau de communication Flex Net. Ces modules conviennent aussi bien à l'éclairage LED qu'à l'éclairage conventionnel, et ils permettent de profiter de coûts de maintenance réduits sans passer à la technologie LED.

2- PROJET GEPPADI : initié par la SPI (agence de développement pour la Province de Liège, Belgium) Fabriquer des mâts et des lampes à l'aide de matériaux durables, optimiser la valeur de l'éclairage, affiner les besoins d'éclairage et créer des technologies permettant un contrôle dynamique de l'éclairage[12].

3- la bulle de lumière : Créer une bulle lumineuse qui accompagne les usagers des espaces publics. La lumière s'allume avant son passage et s'éteint après. Les bulles sont symétriques pour les piétons plutôt que pour les véhicules. Cela permet également de respecter rigoureusement les normes d'éclairage en vigueur. En dehors de cette bulle, pouvez l'éteindre complètement ou la réduire au minimum [12].

4-Un système d'éclairage public sans fil : le contrôle sans fil de l'éclairage public peut réduire de moitié les coûts et la surveillance à distance peut détecter instantanément les lumières cassées afin que les équipes de maintenance puissent être envoyées avant la tombée de la nuit[12].

5-Alimentation électronique intelligente avec flux lumineux constant (CLO) : La fonction Constant Light Output (CLO) élimine ce sur-éclairage, synonyme de gaspillage d'énergie, et compense automatiquement la dépréciation du flux lumineux.

6- Le système Owllet est une gamme de solutions de contrôle intelligentes du groupe Schneider. Grâce à Owllet, les collectivités peuvent réduire jusqu'à 85% leurs factures d'énergie, gérer plus efficacement leurs factures d'éclairage, améliorer le fonctionnement de leurs installations et garantir une plus grande sécurité dans les espaces publics. .Il s'agit d'une solution autonome, chaque luminaire fonctionne indépendamment avec sa propre unité de contrôle. Cette solution est recommandée pour l'éclairage intelligent de base. Convient aux espaces avec des activités dispersées telles que les zones piétonnes, les parcs, les parkings, les entrepôts, etc. Il utilise les composants suivants [23] :

- Des détecteurs de mouvement (infrarouge ou ondes) : détectent la présence de personnes ou de véhicules. En plus d'importantes économies d'énergie, cette fonctionnalité d'éclairage à la demande contribue également à la sécurité des lieux.

- Cellule photovoltaïque : intégrée placée au-dessus du luminaire l'allume ou l'éteint en fonction de la luminosité ambiante. Chaque luminaire fonctionne indépendamment. L'installation de la photocellule est très simple et peut être mise en service immédiatement sans aucune intervention. Par conséquent, il est facile d'ajouter des photocellules aux luminaires installés sur le terrain.

- Horloge astronomique :Le chronomètre intégré permet un réglage continu de la courbe d'intensité

en fonction des saisons. Cela garantit que l'éclairage est ajusté en fonction des besoins réels au quotidien.

1.26 conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un état de l'art sur l'éclairage public intelligent dont nous avons cité ces objectifs et ces avantages, nous avons exposé ensuite les nouvelles technologies LED, le concept d'efficacité énergétique, et les stratégies de contrôle de luminosité de l'éclairage.

Nous avons discuté par la suite l'éclairage solaire et les différentes structures de lampadaires solaires. Au final, nous avons donné un aperçu sur les recherches récentes réalisées et les solutions développées pour l'éclairage intelligent.

En ce qui suit nous allons parler des réseaux de communications adoptés par l'éclairage public, ce qui fera l'objet du chapitre suivant.

Réseau de communication d'éclairage public

2.1 Introduction

Les réseaux d'éclairage intelligents nécessitent différentes solutions de communication, aujourd'hui, les villes se tournent vers la technologie de l'Internet des objets (IoT) pour faire passer ces avantages au niveau supérieur.

Les appareils au cœur de services d'éclairage public flexibles, fournissant une communication bidirectionnelle basée sur Internet. Ils permettent l'automatisation des commandes d'éclairage de base telles que l'allumage / extinction basé sur un horaire programmable, la gradation, la détection de panne et la surveillance de l'état et de la consommation des lampes (par exemple : tension, courant et facteur de puissance).

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu sur les réseaux et les protocoles de communication, nous avons ensuite expliquer la notion des objets connectés et leurs dotation d'internet, les interactions au sein de leur environnement pour les échanges d'informations capables de faciliter la compréhension de toutes les infrastructures énergétiques.

2.2 Objet connecté (OC)

Avant de définir les concepts d'Ido, il est important de définir l'objet connecté qui est un dispositif dont la finalité première n'est pas d'être un système informatique ni une interface d'accès au web, exemple, un objet tel qu'une machine à café ou une serrure était conçue sans intégration de systèmes informatiques ni connexion à Internet. L'intégration d'une connexion Internet a un OC permet de l'enrichir en termes de fonctionnalité, d'interaction avec son environnement, il devient un OC Enrichi (OCE) [24].

2.3 Internet des objet (internet of things)

2.3.1 Définition

Une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global à des capacités d'auto configuration basée sur des standards et des protocoles de communication inter-opérable. Dans ce réseau, les objets physiques et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des personnalités virtuels et les interfaces intelligents, et ils sont intégrés au réseau d'une façon transparente.

Cette définition montre les deux aspects de l'ido : temporel et spatiale qui permettent aux personnes de se connecter de n'importe ou a n'importe quel moment a travers des objets connectes. L'ido doit être pensé pour un usage facile et une manipulation sécurisée pour éviter des menaces et risques potentiels. Tout en masquant la complexité technologique sous-jacente.

L'évolution rapide de cet « internet des objets » bouleverse les frontières entre l'ordinateur et les produits du quotidien, cela est dû à deux facteurs :la généralisation des ressources informatiques et l'appropriation des services Web par les utilisateurs [25, 26].



FIGURE 2.1: Internet of things

2.3.2 Fonctionnement de l'internet des objets IoT

Chaque objet contrôlable à distance possède sa propre carte d'identité, ce qui le rend unique et identifiable. C'est ce numéro d'identification numérique qui peut trouver l'objet et lui donner des instructions à partir d'un ordinateur ou d'un autre appareil.

Les commandes envoyées sont transmises aux objets concernés via le canal de communication : Wi-Fi, Bluetooth, 4G etc [27].



FIGURE 2.2: Internet des Objets dans les villes intelligentes [27]

2.3.3 Défis

L'IdO est toujours confronté à des défis. Le premier défi concerne l'interopérabilité pour que les objets se reconnaissent et communiquent à travers un langage commun. La standardisation des protocoles de communication et de sécurité d'accès est un moyen important pour développer toute l'intelligence de l'IoT. Ainsi, l'agrégation des données collectées à grande échelle permet des services d'efficacité énergétique [27].

2.3.4 Étapes et technologies dans l'écosystème de l'ido

Les OC sont au cœur de l'ido, mais il est important de pouvoir connecter l'ensemble de ces objets, les faire échanger des informations et interagir, au sein d'un même environnement. La mise en place de l'ido passe par les étapes suivantes : l'identification, l'installation de capteurs, la connexion des objets entre eux, intégration et la connexion au réseau. Le tableau (2.1) présente les étapes et les protocoles éventuels [28].

TABLE 2.1: Étapes de l'ido

Identifier	Capter	Connecter	Intégrer	Mettre en réseau
Rendre possible l'identification de chaque élément connecté	Mise en place de dispositifs nous rapprochant du monde réel. Les fonctions de base des objets (le capteur de température pour le thermomètre)	Établir une connexion entre tous les objets afin qu'ils puissent dialoguer et s'échanger des données	Disposer d'un moyen de communication rattachant les objets au monde virtuel	Relier les objets et leurs données au monde informatique via un réseau (internet)
IPv4, IPv6, 6LoWPAN	MEMS, RF MEMS, NEMS	SigFox, LoRa	RFID, NFC, Bluetooth LE, ZigBee, WiFi, réseau cellulaires	CoAP, MQTT, AllJoyn, REST, HTTP

2.3.5 Avantages et inconvénients des systèmes d'IoT

Les objets connectés offrent de nombreux avantages aux utilisateurs, principalement le confort au quotidien. En particulier, dans certains domaines, comme la santé par exemple, les patients peuvent éviter certains déplacements vers des établissements médicaux en utilisant des objets connectés pour transmettre des éléments permettant de diagnostiquer leur état.

En domotique, les objets connectés améliorent significativement la sécurité et le contrôle de l'habitat, notamment en multipliant le nombre de détecteurs d'anomalies dans une zone et en envoyant automatiquement des alertes aux autorités en cas d'intrusion. Par conséquent, la principale préoccupation des utilisateurs d'objets de connexion reste les questions de sécurité des informations (appelées objets de connexion, ce qui signifie que l'échange d'informations « protège les données personnelles confidentielles »), et il existe donc un risque d'interception ou de détournement. On peut aussi dire que les objets connectés nous rendent paresseux, l'appréhension de l'information est un peu difficile, et les éditeurs et designers continuent de concentrer leurs efforts et leurs innovations[29].

2.4 Communication M2M

2.4.1 Définition

Selon [30],La communication machine à machine (M2M) est une communication entre des appareils intelligents avec ou sans d'intervention humaine. Il fait référence à une solution qui permet la communication entre des appareils d'une même application spécifique sur un réseau de communication filaire ou sans fil [31].Il existe diverses applications pour la communication M2M, telles que (santé, industrie, énergie, sécurité, domotique, etc).

2.4.2 Fonctionnement et architecture du M2M

Fonctionnement

L'objectif principal de la communication M2M est de collecter des données et de les transmettre sur le réseau. Les séquences d'événements de communication de machine à machine permettent d'effectuer automatiquement certaines actions. Cette utilisation de la technologie M2M est étroitement liée à l'intelligence artificielle et constitue la base de l'internet des objets [32].

Architecture d'un réseau M2M

L'architecture générale d'un réseau M2M définit les fonctions de base capables d'échanger des données entre objets et serveurs. L'architecture est basée sur un ensemble de fonctionnalités logicielles déployées dans le framework. Le but de ce cadre est de décrire les services qui permettent de gérer les objets : enregistrement, authentification, méthodes périodiques ou de réveil pour restaurer les données, accessibilité des objets, localisation, types de réseaux supportés[33].

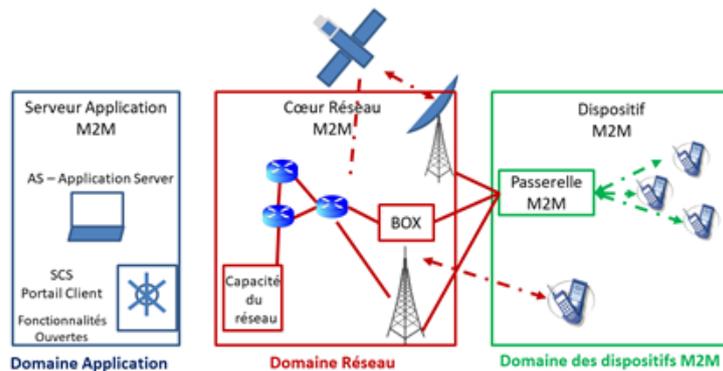


FIGURE 2.3: L'architecture fonctionnelle de M2M [34]

Le domaine d'appareils contient la passerelle M2M qui traite et simplifie les données, utilise tous les appareils liés au M2M et gère leur configuration. De plus, il garantit l'interaction des appareils M2M avec le réseau de communication. Les domaines de réseau gèrent la collectivité des objets. Cela comprend l'enregistrement des objets, la gestion des plans d'expédition (création de tunnels pour les données), la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service et la facturation. Le domaine des réseaux est divisé en trois parties [34] :

- Réseau d'accès : Il s'agit d'une connexion tout IP via un support cuivre, un support optique, une liaison cellulaire (GPRS, 4G, WiMax), une liaison satellite ou une connexion non IP via le réseau GSM.

- Core Network : Il fournit des fonctions telles que la connectivité (IP ou SMS), les fonctions de contrôle du réseau (Quality of Service) et l'autorisation des services demandés.

- Capacités de service M2M : il fournit des fonctions M2M fournies au serveur d'application client via l'interface ouverte (API) via des interfaces standardisées (Gx, Gi) basées sur les fonctions du réseau central. La portée comprend :

- Serveur d'application client (AS).

- Un portail client qui fournit des fonctionnalités aux clients et implique l'enregistrement d'objets via l'interface https.

2.4.3 Avantages du M2M

Outre des voies de transmission plus rapides et la possibilité de programmer le transfert de données, la communication machine à machine offre de nombreux avantages. Parmi ceux-ci, notamment le contrôle à distance des équipements, la réduction des besoins de maintenance, la prévention des pannes et les économies de coûts qui en découlent. De plus, la communication de machine à machine ouvre de nouveaux domaines d'activité pour les services informatiques et optimise les services de maintenance et d'assistance client dans les domaines d'activité existants [32].

2.5 Protocoles de communication des réseaux M2M/IoT

2.5.1 Réseau personnel sans fil (WPAN)

Ce type de réseau est généralement utilisé pour connecter des appareils, on trouve : Bluetooth, ZigBee, Z-wave, NFC, RFID [35].

Bluetooth

Bluetooth (standard IEEE 802.15.1) est un protocole de communication sans fil pour les appareils électroniques fonctionnant dans la bande de fréquence libre 2,4 GHz et basé sur le Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) [34].

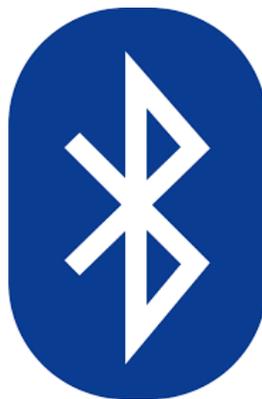


FIGURE 2.4: Logo de Bluetooth [34]

Zigbee

Le réseau Zigbee définit un ensemble de spécifications pour créer des réseaux sans fil de grande portée et de faible puissance. Ces dernières seront utilisées dans les bandes de fréquences 868/915 MHz et 2,4 GHz. Le grand avantage de Zigbee est la possibilité de transmettre des données sur de

très longues distances, il a défini un débit maximal de 250 Kbits/s dans la bande de fréquences de 2,4 GHz, ce qui est adapté aux transmissions de données d'un capteur ou d'un autre appareil [36].



FIGURE 2.5: Logo de Zigbee [36]

RFID

Les protocoles RFID (Radio Frequency Identification) et les cartes à puce stockent des données sur des supports de données électroniques (transpondeurs) au cours du même processus. Cependant, contrairement aux cartes à puce, l'alimentation du dispositif porteur de données et l'échange de données entre celui-ci et le lecteur sont assurés par des champs magnétiques ou électromagnétiques plutôt que par des contacts galvaniques [37].



FIGURE 2.6: Carte RFID [37]

2.5.2 Réseau local sans fil (WLAN)

WIFI

Le Wi-Fi est une technologie sans fil locale qui fonctionne dans les bandes de fréquences suivantes 2,4 GHz et 5 GHz. Il est basé sur la norme IEEE 802.11 qui définit les couches Physique et MAC. Les appareils Wi-Fi utilisant la norme 802.11g ont un débit de 54 Mbit/s et les appareils utilisant la norme 802.11n ont un débit allant jusqu'à 600 Mbit/s.

Plusieurs appareils utilisent des connexions Wi-Fi (comme un ordinateur PC, smartphone, tablette) connecté à Internet via un hotspot. Cependant, les connexions Wi-Fi utilisent des bandes de

haute fréquence, qui ne convient pas aux réseaux contenant des capteurs et des actionneurs, mais La connexion de ces appareils à Internet nécessite une connexion Wi-Fi [38].



FIGURE 2.7: Logo du Wi-Fi [34]

2.5.3 Réseaux étendus sans fil (WWAN)

WWAN est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Ce sont les réseaux sans fil les plus répandus car tous les téléphones portables se connectent à des réseaux sans fil étendus. Les principales technologies sont : (1G), GSM (2G), UMTS (3G), 4G, 5G .

Dans notre introduction, nous nous intéressons particulièrement à la 4G et à la 5G, nous allons donc définir ces technologies [35, 39].

4ème génération (4G)

La 4G est la norme de téléphonie mobile de quatrième génération correspondant au LTE (Long Term Evolution). La technologie LTE ou 4G est basée sur la transmission de paquets IP commutés. Il ne fournit pas de mode de routage pour un mode autre que VoIP, contrairement à la 3G mais à la technologie vocale en mode circuit[40, 41].

5ème génération (5G)

La 5G est l'internet du futur. La technologie comprendra un réseau d'accès radio et un réseau central convergé combinant l'accès fixe et mobile. Il s'agit d'augmenter la vitesse et la capacité du réseau et de se préparer à un événement « Internet des objets »[34].

2.6 Domaines d'applications

Les applications de l'ido touchent pratiquement aujourd'hui toute la vie quotidienne [42, 43] :

- la santé et les systèmes de télésurveillance pour aider les personnes.
- l'agriculture connectée pour optimiser l'usage de l'eau.

- les véhicules connectés aident à optimiser la gestion du trafic urbain.
- les appareils électroménagers connectés aident à optimiser la consommation et la distribution de l'énergie électrique.
- les arts numériques.
- les montres connectées pour le bien-être et le sport.

Ces exemples d'applications montrent que l'ido est intégré dans notre quotidienne de plus, il améliore la qualité de vie des personnes.

Il engendre un nouveau marché en créant de nouveaux emplois et métiers. Il aide également à la croissance pour les entreprises, et donne un élan pour la compétitivité[24].

Industrie

La technologie IoT surveillera l'ensemble du produit, de la chaîne de production à la chaîne logistique et de distribution, en surveillant la situation de l'approvisionnement. Cette traçabilité de bout en bout permet à leurs usines d'exploitation d'optimiser la production et d'améliorer les performances des employés[44].

(Smart Home)

Les gens sont curieux de connaître cette fonctionnalité et espèrent que leur maison pourra être transformée en une maison intelligente pour avoir une vie plus confortable et plus pratique. Produits SMARTHOME conçus pour économiser du temps, de l'argent et de l'énergie, la maison intelligente sera une caractéristique commune [44].

santé (Smart Health)

Dans le domaine de la santé, l'IoT permettra le déploiement de réseaux personnels pour contrôler et surveiller les symptômes cliniques, notamment pour les personnes âgées, les objets connectés pourront surveiller la tension artérielle, le rythme cardiaque, la qualité respiratoire ou encore la masse grasse. Télésurveillance des patients et solutions pour l'autonomie des personnes à mobilité réduite [44, 45].

Smart city

Une ville intelligente est une ville qui utilise les technologies de l'information et de la communication pour améliorer la qualité, l'efficacité et la compétitivité économique d'une ville, ou réduire son coût [44].

Agriculture

La demande de nourriture augmente, avec l'augmentation de la population mondiale, les sujets Internet ont développé certaines techniques agricoles pour augmenter la nourriture, telles que l'utilisation de capteurs pour collecter des informations utiles sur l'état du sol, l'humidité, le pourcentage de sels minéraux, etc. Et envoyez ces informations aux agriculteurs afin qu'ils puissent prendre les mesures nécessaires pour assurer une bonne production[44, 45].

Transport

Des véhicules connectés ou autonomes aux systèmes de transport/logistique intelligents, l'IoT peut sauver des vies, réduire le trafic et minimiser l'impact des véhicules sur l'environnement [44].

2.7 Sécurité dans internet des objets

La sécurité informatique en général permet de garantir que les équipements et les logiciels d'une organisation ne sont utilisés que comme prévu. Elle a pour but de garantir plusieurs objectifs, dont les cinq principaux sont : L'authentification, la confidentialité , l'intégrité, la disponibilité et la non-répudiation [46].

Authentification

L'authentification est la procédure qui permet de prouver l'identité d'une personne. La confidentialité, l'intégrité des données et la répudiation dépendent toutes de l'authentification ,de la confidentialité appropriée. Un système sans cette fonctionnalité ne pourrait pas satisfaire les objectifs de sécurité mentionnés.

Confidentialité

Tout dispositif qui permet à une communication de données de garder son caractère privé entre un donneur et un receveur. Le cryptage des données est la seule solution efficace pour obtenir la confidentialité des données.

Intégrité

L'intégrité peut être considérée comme un ensemble de mesures visant à assurer la protection des données contre les modifications et altérations non autorisées. L'objectif d'une attaque d'intégrité est de modifier, d'ajouter ou de supprimer des informations ou des ressources

Disponibilité

La disponibilité est un contrat de service réseau qui assure aux organismes autorisés de pouvoir consulter les différentes ressources du réseau avec une qualité de service suffisante. L'objectif des actions visant la disponibilité est de faire en sorte que le système soit inutilisable ou inexploitable.

Non-répudiation

Mécanisme par lequel on peut garantir qu'un message a été envoyé par un émetteur et reçu par un récepteur, c'est-à-dire qu'aucun des correspondants ne peut contester l'envoi ou la réception du message.

2.8 IoT au coeur du smart public lighting »

La modernisation des réseaux d'éclairage public grâce aux solutions IoT permet d'amorcer un projet plus large de ville intelligente (ou smart city). Rendre "intelligent" le parc d'éclairage public d'une collectivité, consiste à intégrer aux différentes installations un grand nombre de capteurs conçus pour relever [7] :

- La luminosité ambiante .
- La présence ou l'absence d'usagers .
- Ou encore l'état des équipements pour prévenir les opérations de maintenance ou signaler les pannes.

Ces capteurs transmettent leurs données à une plateforme applicative dédiée, capable de les analyser et d'engendrer une réponse adaptée automatique et instantanée. Un simple capteur installé sur un luminaire, le transforme ainsi en objet connecté et l'introduit dans le monde de l'internet des objets. Il devient capable de participer à l'optimisation de l'éclairage en temps réel, en fonction de la présence d'utilisateurs et selon la luminosité ambiante. Ce réseau de luminaires connectés tisse la toile d'un parc d'éclairage public intelligent. L'expertise d'une plateforme IoT de type Requa, garantit la sécurité et l'optimisation de l'ensemble des données collectées (data), pour une gestion durable, automatisée et réactive des réseaux d'éclairage public.

2.9 IoT, LED et efficacité énergétique

Aujourd'hui, la rénovation du parc d'éclairage public s'oriente majoritairement vers les diodes électroluminescentes notamment parce qu'elles ont une efficacité énergétique bien supérieure, aux

lampes sodium et parce qu'elles ont une durée de vie dix fois plus longue (jusqu'à 100 000 heures). Les technologies LED permettent également de réguler l'intensité lumineuse et sont donc particulièrement adaptées à un couplage avec des technologies IoT de type détecteur de présence.

La présence d'un automobiliste, d'un piéton ou d'un cycliste peut ainsi déclencher l'éclairage ou l'augmentation de son intensité. Un réseau intelligent de luminaires connectés peut ainsi créer un train lumineux qui suit le déplacement d'un véhicule ou d'une personne. Par ailleurs, les lampes étant constituées de plusieurs LED accolées de différentes couleurs, il est également possible de choisir la température de couleur la mieux adaptée à l'environnement.

Enfin, si l'électricité nécessaire à l'éclairage public est encore majoritairement produite par le nucléaire, certaines zones fonctionnent déjà à l'énergie solaire photovoltaïque. Dans la région Auvergne Rhône Alpes, des lampadaires solaires autonomes ont été installés pour l'éclairage des parkings sur le site du barrage de la CNR (Compagnie Nationale du Rhône), au sud de Lyon. Grâce à l'IoT, chaque luminaire peut à la fois être énergétiquement autonome et fonctionner en réseau, c'est-à-dire être piloté de façon centralisée par une plateforme IoT unique[7, 14].

2.10 Éclairage connecté et communicant :VLC et LiFi

Nous parlons de la transmission de données par l'éclairage. L'éclairage devient communicant [47] :

Communication par lumière visible VLC (Visible light communication)- utilise la lumière visible entre 450 et 760 nm. La VLC est une technologie optique de communication sans fil.

Principale illustration (LiFi - Light Fidelity). Le LiFi permet de transmettre, par la lumière émise par une source LED, un contenu multimédia à une tablette ou un smartphone.

Une installation LiFi combine :

- Un ou plusieurs luminaires à LED câblés en réseau Ethernet et équipés d'un émetteur/récepteur.
- Un dispositif de routage qui alimente le système en énergie et en données.
- Un décodeur connecté au smartphone qui assure la fonction d'émetteur/récepteur.
- Une interface dédiée à l'installation et à l'utilisation.

Comme toute nouvelle technologie, le LiFi présente certains avantages mais aussi certaines limites. Ses applications sont encore confidentielles mais laissent présager des installations aux applications variées.

Ses principaux avantages sont [15] :

- Économique : grâce à une éventuelle centralisation des coûts et à une baisse du nombre de relais Wi-Fi nécessaires, le Li-Fi serait moins coûteux que le Wi-Fi.

- Sécurité : Le Li-Fi ne recourt pas aux ondes radio, il ne comporte donc aucun risque pour la santé

des utilisateurs , de surcroît, le risque de piratage est beaucoup plus limité du fait du cloisonnement spatial des données (le Li-Fi ne traverse pas les murs).

- les services : Le débit du Li-Fi est 10 fois plus élevé que le Wi-Fi actuel ; comme il ne dégage pas d'ondes électromagnétiques, il est tout à fait adapté à une utilisation dans les hôpitaux ou les avions ; enfin, il permet une meilleure géolocalisation des services.

2.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les principes fondamentaux des réseaux M2M et IoT, sa définition, les avantages et leurs domaine d'application.nous avons notamment précisé les réseaux et protocoles les plus importants dans ces technologies, parmi ces réseaux et protocoles, par exemple Bluetooth, Zigbee, WIFI, 4G, 5G, etc, qui constituent une solution pour la simplification des communications M2M/IoT.Ces connaissances théoriques sont essentiels pour la suite de notre travail.

3.1 Introduction

L'éclairage public solaire est une alternative économique et durable à la solution d'éclairage public conventionnel, indépendant du réseau électrique. Le lampadaire autonome alimenté par un panneau photovoltaïque fonctionne uniquement grâce à l'énergie du soleil stockée dans une batterie assurant ainsi une certaine autonomie même en dehors des jours ensoleillés.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les étapes nécessaires pour la conception et la réalisation du prototype d'éclairage routier, Pour ce faire nous avons entamé d'abord la partie électronique contenant les différents capteurs et matériels d'électronique de puissance, ensuite la partie mécanique rassemblant les différentes pièces des supports d'éclairage et au final la partie informatique nécessaire pour le contrôle, la gestion et le pilotage de notre prototype.

3.2 Partie électronique

Dans cette partie, nous allons exposer les différentes pièces électroniques nécessaires pour notre réalisation à savoir :

3.2.1 NodeMCU ESP8266

Carte de développement basé sur un ESP8266 compatible avec Arduino IDE et permettant la réalisation d'objets connectés grâce à son interface Wifi embarquée et contrôler des systèmes à distance.



FIGURE 3.1: NodeMCU ESP8266

Les principales caractéristiques de la carte sont décrites comme suit :

- Microcontrôleur : ESP8266 (monté sur puce ESP12E)
- Microprocesseur : Tensilica Xtensa 32-bit LX106 RISC
- Fréquence d'horloge : 80 ou 160 MHz (réglable)
- Mémoire Flash : 4MB
- RAM : 128 KB
- Tension de fonctionnement : 3.3V
- Alimentation : 5 à 9V
- Entrées/sorties digitales : 9 GPIO pins
- Entrées analogiques : 1
- Courant par broche E/S : 12 mA
- Pilote : CH340
- Dimensions 58 x 31 x 13 mm

3.2.2 Capteurs

Les capteurs convertissent des grandeurs physiques en grandeurs standard, généralement électriques, qui peuvent être interprétées par des dispositifs de contrôle-commande [48].

Les capteurs peuvent être caractérisés selon deux critères : selon le nombre de mesures, on parlera de capteurs de température, lumière, humidité, etc et selon le caractère de l'information délivrée, on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

Ensuite, nous pouvons diviser les capteurs en deux catégories : les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité.

Principales caractéristiques des capteurs

Plage de mesure : C'est la différence entre le plus petit et le plus grand signal détecté perceptiblement grand sans risque d'endommager le capteur.

La Sensibilité : C'est le plus petit changement d'une grandeur physique qui peut être détecté un capteur.

La rapidité : C'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et le moment où l'information considérée par la partie commande.

La Précision : C'est la capacité d'une information à être répétable, rapide[22].

Capteurs utilisés

Nous avons utilisé dans notre projet deux capteurs qu'ils sont :

3.2.2.1 Capteur de lumière (LDR)

Une photorésistance est un composant électronique dont la résistivité est basée sur la quantité de lumière incidente. Aussi connu sous le nom de photorésistance (Résistance LDR dépendante de la lumière) ou cellule photoconductrice [49].



FIGURE 3.2: Capteur de lumière (LDR) [49]

3.2.2.2 Détecteur de mouvement

Le détecteur est intégré dans un système de protection contre les intrusions, qui fait partie de la technologie utilisée en domotique pour détecter la présence d'anomalies dans l'environnement, ce qui semble avoir un effet de sécurité [50].



FIGURE 3.3: Détecteur de mouvement PIR

Les caractéristiques de capteur sont décrites comme suit :

- Compatible de l'interface Grove
- Alimentation : 3V - 5V
- Angle de détection : 120°
- Portée de détection : 6m
- Temps de réponse : de 0.3s à 25s
- Dimension : 20 mm x 40mm
- Précision : 1,5°C

Solutions de détection de mouvement

Les lumières LED combinées à un ou plusieurs détecteurs de mouvement nous permettent d'ajuster l'éclairage selon les besoins de l'utilisateur. Ils économisent plus d'énergie que les systèmes écoénergétiques traditionnels tout en assurant la sécurité des utilisateurs.

Maintient l'uniformité de l'éclairage en mode réduit, l'utilisateur ne remarque la gradation que lorsqu'il est allumé 100 %.

En absence détection, la puissance de l'éclairage LED est réduite à 20 %.

En présence de détection, la puissance de l'éclairage LED remonte à 100 %.

3.2.3 Afficheur LCD 4*20 BLEU avec I2C

Un écran LCD rétroéclairé de 4 x 20 caractères est connecté à un microcontrôleur (comme un Arduino ou un Raspberry Pi) via le bus I2C.

Le module se connecte à une carte compatible, Arduino ou Raspberry Pi via 4 pins au dos de l'écran [51].

Description

- Alimentation : 5 Vcc
- Interface I2C (adresse 0x27)
- Caractères blancs sur fond bleu
- Contraste ajustable via potentiomètre
- Dimensions : 98 x 60 x 20 mm



FIGURE 3.4: Afficheur LCD 4*20 BLEU avec I2C

3.2.4 LED

Une LED (en français : DEL : Diode Electroluminescente) est un composant électronique et optique qui émet une lumière d'intensité diffuse lorsqu'un courant électrique le traverse. Les LED consomment moins d'énergie [52].

La LED que nous avons utilisée est de puissance 1w de flux lumineux 130lm.



FIGURE 3.5: LED

3.2.5 Panneau solaire

Mini panneau solaire Silicium Polycristallin, de 6V tension de sortie et 1W de puissance .



FIGURE 3.6: Panneau Solaire

3.2.6 Batterie

Nous avons utilisé une batterie Lithium rechargeable voir la figure (3.7).

Capacité : 3000mAh, Voltage : 4.08V



FIGURE 3.7: Batterie

3.2.7 Circuit de charge de batterie

Ce module utilise le contrôleur de charge "Li-Ion TP4056" et un circuit de protection séparé, qui ensemble voir la figure (3.8), fournissent les fonctions de protection suivantes [53] :

- Gérer la charge de courant constant à tension constante d'une batterie au lithium connectée.
- Protection contre les décharges excessives (protège la batterie contre les décharges inférieures à 2,4 V).
- Protection contre la surcharge (le module chargera la batterie en toute sécurité jusqu'à 4,2 V).
- Protection contre les surintensités et les courts-circuits (le module coupe la sortie de la batterie si le taux de décharge dépasse 3A ou si un court-circuit se produit).

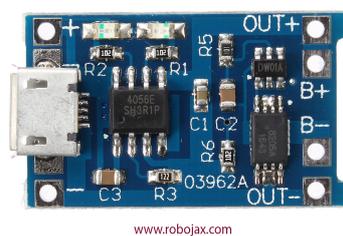


FIGURE 3.8: Circuit de charge de batterie

Méthode de charge CC-CV

La manière standard de charger les batteries Li-ion consiste en deux phases principales. La batterie est initialement chargée à un courant constant jusqu'à ce que sa tension atteigne la limite prédéterminée (4,1 ou 4,2 V). une charge à tension constante jusqu'à ce que le courant diminue jusqu'à une valeur basse

prédéterminée. Cette méthode est appelée courant constant - tension constante (CC-CV). Ce protocole est nécessaire, en particulier la deuxième phase, pour éviter la surcharge qui peut être très critique et dangereuse dans les batteries Li-ion [54].

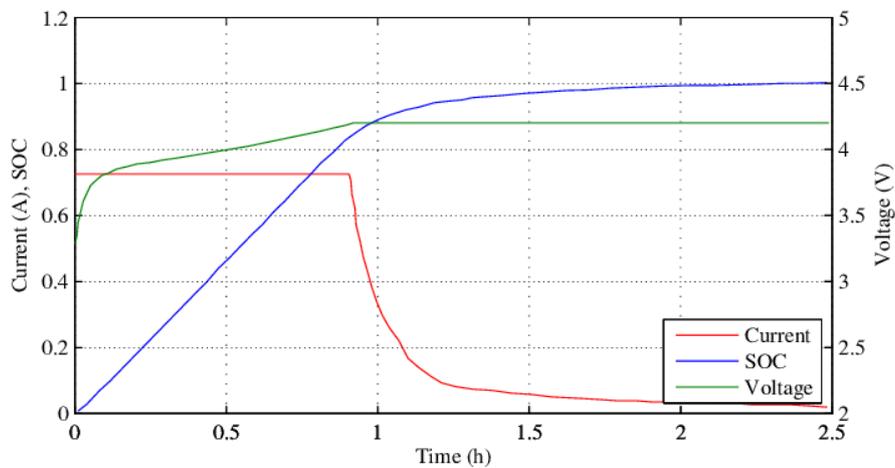


FIGURE 3.9: Différents étapes de charge CC-CV [54]

3.2.8 Régulateur

Le PV fournit une tension variable en fonction de l'irradiation solaire, pour assurer une tension constante, nous avons réalisé un circuit de régulation en utilisant le LM317T (régulateur de tension variable), deux condensateurs (pour faire le lissage de la tension) et une potentiomètre qui fait varier la tension de sortie. Nous avons d'abord fait la simulation avec le logiciel ISIS proteus, après nous avons réalisé le circuit sur plaque d'essai comme montré dans la figure (3.10) suivante :

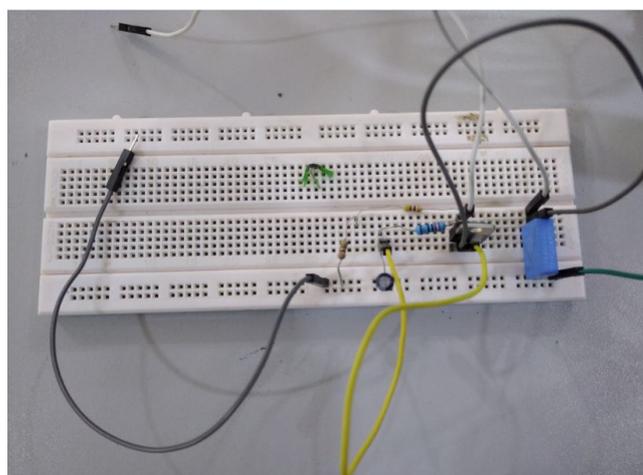


FIGURE 3.10: Régulateur

Nous avons trois circuit de régulation ,chaque circuit se compose par des composants montré dans le tableau (3.1) :

TABLE 3.1: les composants de régulateur

Composants	références
Condensateur	X2 100nF/275V
Condensateur électrolytique	1uf 50V
LM317T	1.5A, A-220, 3 broches
Résistances	720 Ω , 240 Ω

3.3 Partie informatique

Différents logiciels et outils de programmation ont été utilisés pour la réalisation de ce prototype, cette section offre une brève description pour chacun eux.

3.3.1 Logiciel Arduino

Ce logiciel permet de programmer la carte Arduino, qui offre une variété de fonctions. Le langage Arduino s'inspire de nombreux langages et impose une structure spécifique typique de l'informatique embarquée.

Le programme est lu par le microcontrôleur de haut en bas.

Les variables doivent être déclarées avant d'être utilisées par les fonctions.

La structure minimale comprend :

- En haut : déclarations de variables, constantes, instructions d'utilisation de la bibliothèque.
- Setup (initialiser) cette partie est lue une seule fois, elle inclut la fonction au démarrage (en utilisant la broche comme entrée ou sortie, régler marche du midi, port série pour I2C, etc...).
- Boucle : Cette partie joue en boucle ! C'est là que la fonction est exécutée.

En plus de cette structure minimale, on peut ajouter :

- "Subroutines" ou "routines" qui peuvent être appelées à tout moment dans une boucle, utiles pour créer des sections de code répétitives.
- les "callbacks", ce sont des fonctions qui sont automatiquement rappelées depuis la bibliothèque [55].

3.3.2 Logiciel ISIS Proteus

Isis est un éditeur de schémas avec un simulateur analogique/logique ou hybride intégré. Toutes les opérations sont effectuées dans cet environnement, pour simuler la configuration, on peut afficher des courbes ou des mesures par ces opérations [21].

Schéma électronique par ISIS Proteus

La figure (3.11) représente le schéma électronique de régulateur que nous avons réalisé pour le but de stabiliser la tension .

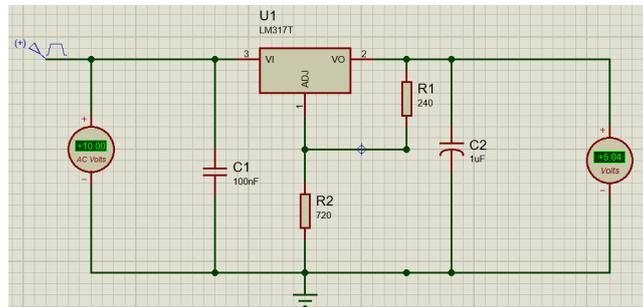


FIGURE 3.11: Simulation du régulateur

3.3.3 Logiciel Fretzing

Fretzing est un logiciel de conception électronique (EDA) focalisé sur la transition entre les prototypes simples (basés sur une planche à pain) et les cartes de circuits imprimés destinées à être envoyées en production.

Schéma électronique par Logiciel Fretzing

Ces schémas (3.12)(3.13)(3.14) sont réalisés par le logiciel Fretzing. :

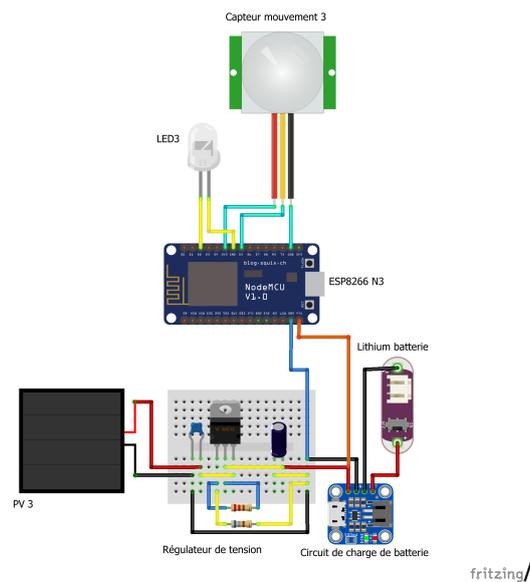


FIGURE 3.12: Schéma électronique support EP 3

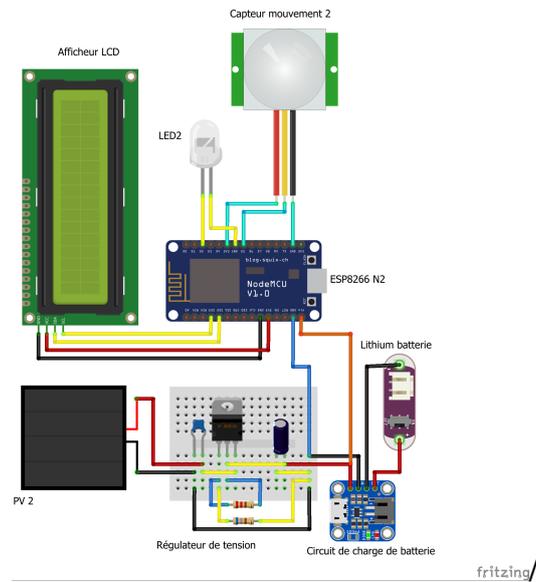


FIGURE 3.13: Schéma électronique support EP 2

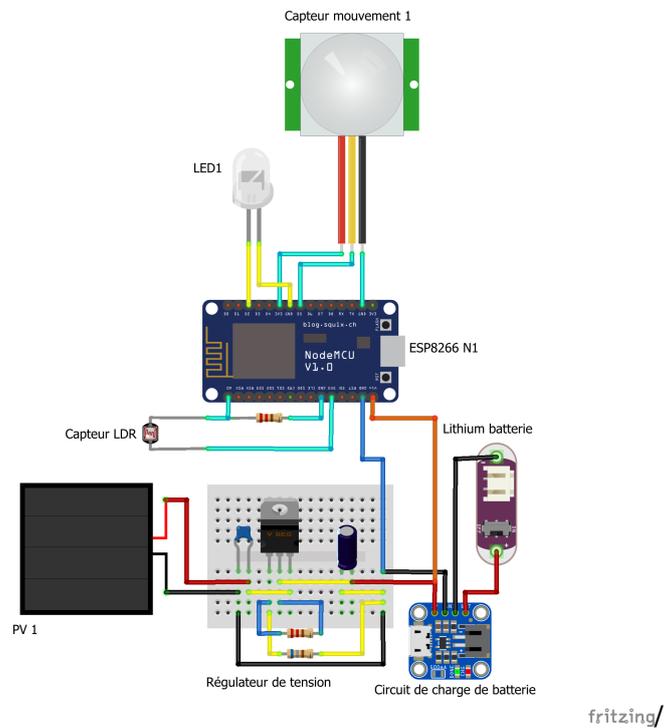


FIGURE 3.14: Schéma électronique support EP 1

Chaque support EP est constitué de :

Panneaux solaire photovoltaïque qui convertit l'énergie solaire en électricité assurant ainsi le chargement de la batterie durant la journée.

Capteur de mouvement et de lumière afin de déclencher automatiquement l'allumage ou l'extinction de l'éclairage.

Régulateur de tension conçu par nos soins, pour contrôler la charge de la batterie.

Batterie assurant l'alimentation de la lampe durant les périodes d'obscurité.

Un afficheur LCD est intégré sur la maquette pour transmettre les informations utiles du système à l'utilisateur.

Le tout est connecté par un réseau WI-FI via les cartes NodeMCU .

3.3.4 Organigramme de l'application proposé

Pour chaque support nous avons fait un programme Arduino expliqué sous un organigramme dans la figure suivante :

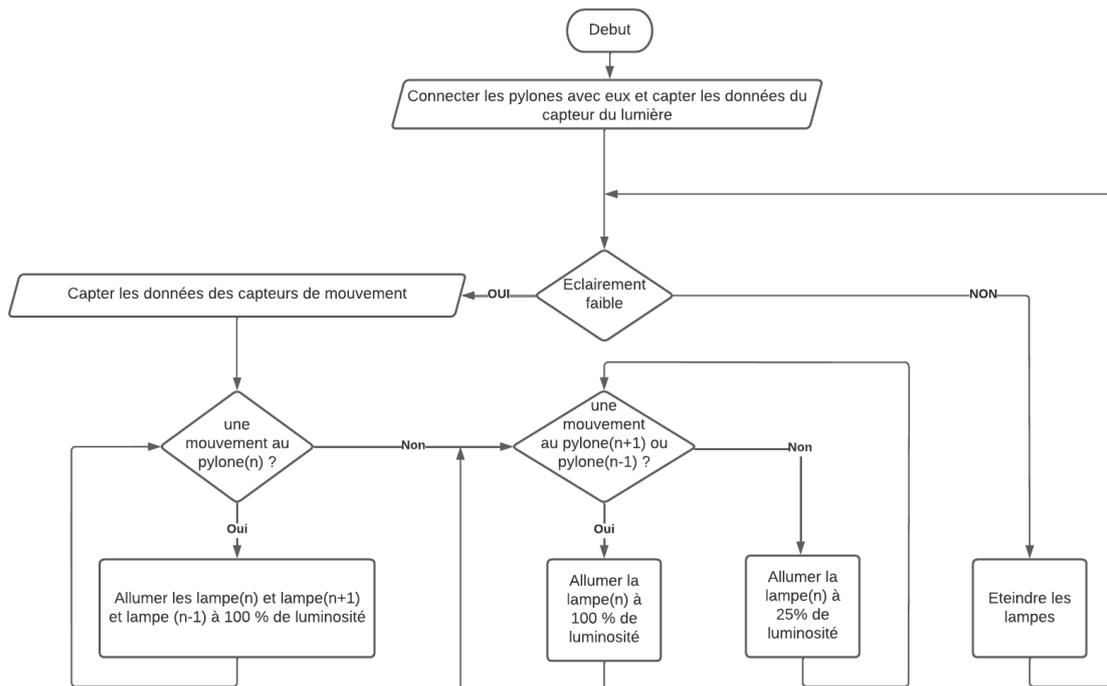


FIGURE 3.15: Organigramme de fonctionnement du prototype

3.4 Partie mécanique

3.4.1 Logiciel SolidWorks

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctionnalités et des dimensions pour produire des modèles et des dessins précis [56].

concept

Les pièces sont les blocs de construction du logiciel SolidWorks. Les assemblages contiennent des pièces ou d'autres assemblages, appelés sous-assemblages. Un modèle SolidWorks se compose d'une

géométrie 3D qui définit ses arêtes, ses faces et ses surfaces. Le logiciel SolidWorks vous permet de concevoir rapidement des modèles précis. Les modèles SolidWorks sont [56] :

- Basé sur la modélisation 3D.
- Basé sur les composants

Nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour concevoir les pièces nécessaires de notre projet.

Après l'assemblage, on a la pièce complète dans la figure (3.16) :

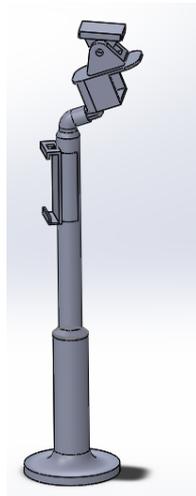


FIGURE 3.16: Modèle de support EP

3.4.2 Imprimante 3D

La fabrication additive, communément appelée impression 3D, regroupe toutes les technologies permettant de fabriquer des objets à partir de modèles numériques en ajoutant de la matière couche par couche.

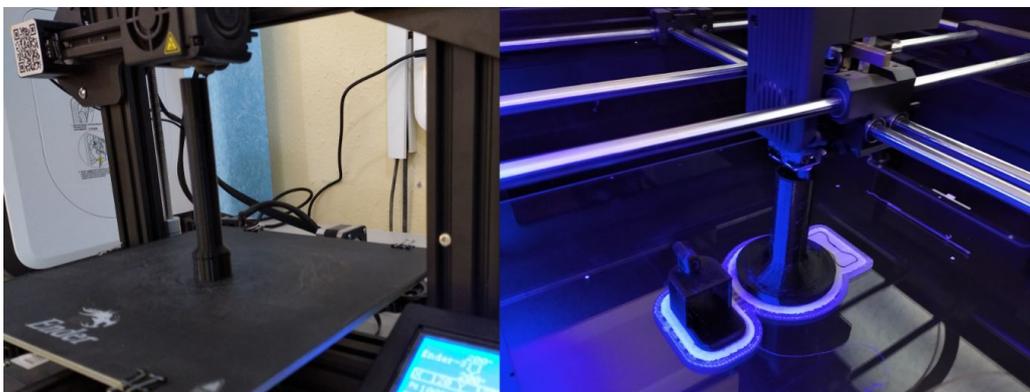


FIGURE 3.17: Impression 3D

La première étape de la fabrication additive consiste à modéliser numériquement l'objet. Le fichier est ensuite analysé et découpé virtuellement en fines couches. Une fois le fichier converti dans un

format compatible avec l'imprimante 3D, cette dernière procédera à la fabrication de la première couche selon le plan (xy) puis les autres couches selon l'axe (z) jusqu'à obtenir le modèle souhaité. Certaines techniques nécessitent un traitement post-presse.

Initialement développée la technologie de prototypage dans les grands groupes industriels, l'impression 3D est accessible aux petites et moyennes entreprises grâce au développement par l'entreprise d'un parc d'imprimantes 3D [57].

Les figures (3.18) suivantes montre les pièces de l'impression 3D :



FIGURE 3.18: Pièces imprimées en 3D

3.5 Étapes de la réalisation de l'éclairage public intelligent

3.5.1 Base de la maquette

La base de la maquette représente la route qu'on veut éclairer, elle est réalisée en bois, peint en noir et blanc avec du gazon artificiel sur le côté.

3.5.2 Montage des supports

Les différentes pièces conçues par logiciel SolidWorks et imprimées en 3D, doivent être rassemblées pour obtenir le support EP. Ces supports ont une hauteur de 30cm.

3.5.3 Installation des pièces électroniques sur les supports

Tout d'abord, les batteries sont placées à l'intérieur du mât, puis les LED sont placées sous le mât dans un côté et à la direction de la rue.

Outre le détecteur de mouvement à 120° ainsi que le capteur de lumière, sans oublier le panneau solaire. Nous avons aussi le Nodemcu qui se fixe à l'aide d'un support fabriqué par l'imprimante 3D pour assurer la fonction de communication entre les supports. Toutes les pièces sont raccordés par fils électriques.

3.5.4 Positionnement des supports sur la maquette

Après l'installation des différents éléments électroniques sur les supports, ces derniers sont placés sur le prototype de la route .

3.5.5 Fonctionnement du prototype

Notre prototype de la figure (3.19) est composé de : 3 supports, dont chaque support est composé d'un capteur de mouvement, d'un capteur de lumière, d'un panneau solaire, d'une batterie, d'un luminaire LED et de Nodemcu.

Ce prototype est consacré principalement à assurer un moyen efficace d'éclairage des rues du domaine public. La gestion et le pilotage intelligent du système se fait par l'installation de différents capteurs connectés au réseau de communication grâce à la technologie Internet des objets.

Le principe est de réaliser à base de ce prototype un éclairage extérieur d'une rue par des panneaux solaires installés sur des supports. Ce panneau à pour rôle de transformer l'énergie solaire captée sous forme de rayonnement en énergie électrique. Puis, cette énergie passe par un régulateur de tension pour charger une batterie placée à l'intérieur du mât.

Un capteur de lumière est intégré dans notre modèle pour fonctionner le soir en absence d'éclairage. En vue de réduire la perte d'énergie dans la nuit, nous utilisons des capteurs de mouvement détectant le mouvement d'un piéton ou d'une voiture à distance et transmettant le signal au Nodemcu pour allumer les LEDs. La communication wi-fi entre les supports se fait par l'intermédiaire d'un Nodemcu, les LEDs s'allument de 25% du luminosité dans en cas d'absence du mouvement.

Au passage d'un véhicule devant le premier support, le capteur du premier support le détecte et le NodeMCU allume la LED 1 à 100 % et allume la LED 2 à 100% par communication wi-fi mais la LED 3 reste allumé à 25%.

Quand y a-t-il une mouvement dans le 2ème support, la LED 2 s'allume et la LED 1 et LED 3

allume aussi par wi-fi à 100%.

Lorsque le véhicule passe par le 3ème support, la LED 3 s'allumera et la LED 2 du support précédent restera allumée à 100 % et la LED du 1ère support devient à 25%.

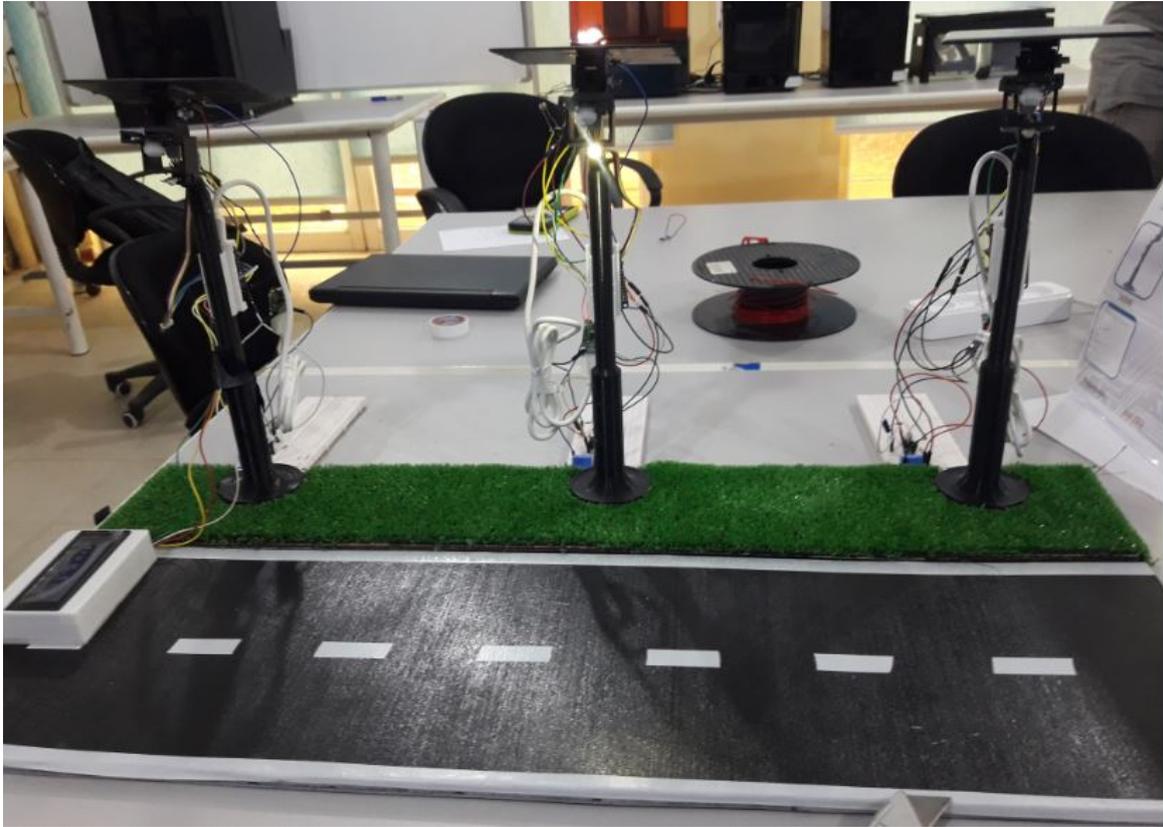


FIGURE 3.19: prototype d'éclairage public intelligent

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposés les étapes de réalisation du prototype d'éclairage public intelligent, d'abord les composants électroniques (Arduino, capteurs, afficheur LCD), les composantes solaires photovoltaïques (batterie et régulateur), les différentes pièces mécaniques constituant les supports EP (conçu par SolidWorks et imprimé en 3D) et aussi les outils de programmation (Proteus ISIS, Arduino).

L'objectif de notre projet est d'intégrer l'outil informatique dans l'éclairage public, les lampadaires connectés qui utilisent des capteurs permettent l'automatisation des commandes d'éclairage, donc ce projet vise à minimiser le gaspillage d'énergie dû à l'utilisation peu pratique des rues. Le produit utilise la technologie de détection de présence pour déterminer l'état marche/arrêt des lumières ou contrôler le niveau de luminosité de ces dernières.

Conclusion générale

L'éclairage des villes est un des facteurs principaux du confort et de la sécurité des habitants. Pourtant la grande majorité des installations d'éclairage public sont vétustes, pèsent lourdement dans les dépenses énergétiques des villes et participe pleinement à la pollution lumineuse, qui perturbe la santé humaine et les écosystèmes.

De nouvelles alternatives, sont aujourd'hui capables d'apporter des réponses satisfaisantes à la question de l'éclairage public. Se munir d'infrastructures rinnovées permet à la fois de réduire la consommation d'énergie, de fournir un niveau d'éclairage adapté et de garantir la sécurité des habitants.

L'éclairage intelligent et connecté est un instrument permettant d'interagir avec les usagés, les comportements et les exigences de ses utilisateurs, mais également avec son environnement. Notre projet de fin d'étude consiste en la réalisation d'un prototype d'éclairage public assurant de manière efficace l'éclairage des rues dont l'objectif est de réduire fortement l'électricité consommée sans impacter la qualité de l'éclairage, l'allumage et l'extinction des lampadaires se font en fonction des flux du trafic humains et automobiles, et l'alimentation en énergie des luminaires est assurée de manière autonome et isolée par la conversion photovoltaïque en électricité.

Les différentes pièces des supports EP sont réalisées par logiciel SolidWorks et imprimés via une imprimante 3D. le fonctionnement des luminaires est assuré par des capteurs de mouvements et de luminosité, et le pilotage des lampadaires par un programme sous la carte Arduino, visant ainsi à garantir l'efficacité énergétique, le confort et la sécurité des usagers.

Perspectives

À titre de perspectives nous proposons ce qui suit :

- Installation de comptage intelligent (smart metring) de suivi des consommations des EPs pour améliorer la performance énergétique de l'installation.
- Connecter les installations de lampadaires à LED au systèmes de gestion centraux.

- Intégrer des cellules photoélectriques à détection de lumière et d'autres capteurs pour un éclairage adaptatif des rues.
- Se servir comme support pour l'installation des caméras pour introduire des fonctionnalités de surveillance en temps réel.
- Se servir de l'infrastructure d'éclairage public de dorsale à un certain nombre d'applications de l'internet of everything (IoE), telles que les conditions météorologiques, la pollution et la circulation.
- Généralisation de l'éclairage intelligent reconnu comme une étape importante dans le développement des villes intelligentes.

Bibliographie

- [1] JEAN-MICHEL, D. (2009). *Éclairer la ville autrement : innovations et expérimentations en éclairage public*. PPUR Presses polytechniques.
- [2] CITYMANAGER, T. (2020). Solutions d'éclairage urbain intelligent pour villes intelligentes Renforcer l'intelligence Table des matières.
- [3] L'éclairage intelligent pour les espaces publics extérieurs et industriels. (s. d.). *Chess, paris France*.
- [4] Un éclairage extérieur public intelligent pour la ville de demain. (s. d.). *AGORIA Smart Cities, Belgique*.
- [5] HAFRAF, A. (2021). *Thèse Doctorat 3ème Cycle Contribution à la gestion de la charge des réseaux électriques selon la production d'énergie* (thèse de doct.). Université Moulay Tahar, Saida.
- [6] YASSAA, P. N. (2021). Éclairage Public en Algérie. *CEREFÉ*.
- [7] Gestion de l'éclairage public : pourquoi utiliser l'IoT? (s. d.). Récupérée 24 mai 2022, à partir de <https://www.requea.com/article-9.html/>
- [8] AMSLER, Y. (2003). Le transport collectif peut-il être traité comme un service public marchand dans le contexte africain. *Retirado em Outubro*.
- [9] F, T., KHALID, C., MOHAMED, K., ABDALLAH, S. & DOMINIQUE, B. (2017). Modeling and performance analysis of a solar PV power system under irradiation and load variations. *2017 14th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*.
- [10] DIXIT, A., PATHAK, G. & SUDHAKAR, K. (2015). Comparative study of life cycle cost of modern light sources used in domestic lighting. *International Journal of Science, Environment and Technology*.
- [11] MASOUD, M. I. (2015). Street lighting using solar powered LED light technology : Sultan Qaboos University Case Study. *8th GCC Conference & Exhibition*.

- [12] INADAPTÉ, U. É. A. (2015). L'éclairage public 2.0. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*.
- [13] Contrôle intelligent de l'éclairage - Solutions IoT | Digi International : (s. d.). Récupérée 21 juin 2022, à partir de <https://fr.digi.com/solutions/by-industry/smart-cities/intelligent-lighting-controls>.
- [14] L'éclairage public intelligent - une révolution logicielle méconnue pour la ville intelligente de demain. (s. d.). Récupérée 21 juin 2022, à partir de <https://www.novaccess.ch/smart-street-lighting-software-revolution>
- [15] AHMED, M. L. & BENHADJAR, H. L. (2021). *Eclairage public dans les autoroutes à base d'énergie renouvelable Soutenu*. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- [16] AYMEN, N. S. M., INES, K. M. & SEDIK, C. M. (2021). *Un Système multi-agents basé flou pour le controle d'un smart street lighting*. Université de Larbi Ben M'hidi-Oum Oum El Bouaghi.
- [17] Smart Lighting : comment optimiser la gestion de votre éclairage public ? (s. d.). Récupérée 4 septembre 2022, à partir de <https://energisme.com/smart-lighting-comment-optimiser-la-gestion-de-votre-eclairage-public/>
- [18] Éclairage public basé sur l'énergie solaire avec suiveur de soleil commandé automatique, par téléphone, par présence et GPS téléphonique avec autres options intégrées dans l'IOT : (s. d.). Récupérée 24 mai 2022, à partir de <http://smartrobotique.blogspot.com/2018/01/projet-iot-et-energetique-smart-city.html/>
- [19] JACQUES, M. & PHILIPPE, M. (2017). Rapport d'information.
- [20] FAGROUD, F. Z., BENLAHMAR, E. H., ELFILALI, S. & TOUMI, H. (2019). IOT et Cloud Computing : état de l'art. *Colloque sur les Objets et systèmes Connectés*.
- [21] SOUFIANE, S. (2013). *Commande de l'éclairage public et mesure de la température à base de PIC18F4550*. Mémoire de Master , Université Mohamed Kheider de Biskra.
- [22] NOURELHOUDA, M. (2018). *Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage publique et surveillance de quelques paramètres atmosphériques*. Université Oum El Bouaghi.
- [23] ABDERRAHMEN, R. & SOFIA, K. (2018). Développement d'un système d'IoT (Internet of Things) pour le smart lighting sous la plateforme IBM.
- [24] IMAD, S. (2018). Internet des Objets (IdO) : Concepts, enjeux, défis et perspectives. *Revue Internet des objets*.
- [25] FATIMA ZAHRA, F., SANAA, E., TOUMI, H. et al. (2019). IOT et Cloud Computing : état de l'art. *Colloque sur les Objets et systèmes Connectés*.

- [26] GHOUTH, A., HICHAM, M. & FETHI TARIK, B. (2020). A novel model using Reo for IoT self-configuration systems. *2020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*.
- [27] MEHTARI, M. & BILLAMI, C. (2021). *Régulation et gestion de l'énergie électrique dans un micro-réseau intelligent* (thèse de doct.). ESSAT , Tlemcen , Directeur : Dr. BOUSMAHA ImenSouhila/Co-Directeur : Mr. ATTOU Nasr Eddine.
- [28] IOAN, R. & AYMERIC, B. (2017). Ecosystème de l'Internet des Objets.
- [29] MARTINE, F. (2021). Le livre blanc du smart retailing-La transformation phygitale : vers le meilleur des deux mondes.
- [30] Lawrence Berkeley National Laboratory Lawrence Berkeley National Laboratory. (2010). (July).
- [31] JAN, V., HÖLLERAND TSIATSI, MULLIGAN, C., KARNOUSKOS, S., AVESAND, S. & BOYLE, D. (2014). *From Machine-to-Machine to the Internet of Things : Introduction to a New Age of Intelligence*. <http://www.amazon.com/From-Machine---Machine-Internet-Things/dp/012407684X/>
- [32] La communication Machine to Machine (M2M) : (s. d.). Récupérée 13 juin 2022, à partir de <https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/definition-communication-machine-to-machine-m2m/>
- [33] MAAZA, H. & AMINA, B. (2021). *Conception d'une maison intelligente avec les réseaux M2M/IoT*. Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [34] TINHINANE, B. (2021). *Sécurisation d'une Smart Home par Reconnaissance Vocale et Faciale*. (mém. de mast.). Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [35] BENZIOUCHE, N. (2019). *Etude et Application d'un Système de Communication M2M*. Mémoire de master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [36] DJEHAICHE, R. & AIDEL, S. (s. d.). *Application of M2M Communication based on ZigBee to Control Smart home automation*. Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [37] FINKENZELLER, K. (2008). *Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. Wiley.
- [38] ALAMI, M. O. (2016). *La Conception d'une prise connectée basée sur la technologie d'IoT (Internet of Things)*. Diplôme ingénieur d'état en système électronique et télécommunication Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques Fès.

- [39] MEGNAFI, H., HADDOUCHE, K. & KARAOUZENE, Z. (2022). Creation of an application under MapBasic for the drive test reports automation in cellular networks. *2022 7th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*.
- [40] BOUGUEN, Y., HARDOUIN, E. & WOLFF, F.-X. (2012). *LTE pour les reseaux 4G*. Editions Eyrolles.
- [41] MEGNAFI, H. (2020). Frequency plan optimization based on genetic algorithms for cellular networks. *Journal of Communications Software and Systems*, 217-223.
- [42] MEGNAFI, H. & MEDJATI, W. Y. (2020). Study and Assembly of Quadrotor UAV for the Inspection of the Cellular Networks Relays. *International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*, 659-668.
- [43] BRAHAMI, M., MEGNAFI, H., BOUKEFFOUS, H. & BENLALDJ, O. (2022). Design and implementation of an embedded system for effective attendance management. *NewMat'21 – 1st International Conference : New Trends on Innovative Construction Materials ESSA- Tlemcen (Algeria)*.
- [44] YAHI, A. & KOURI, L. (2018). *Contrôle et suivi d'une maison intelligente via internet*. Memoire de Master ,Université Akli Mohand Oulhadj-bouira.
- [45] HICHAM, M., AREZKI ABDERRAHIM, C. & ABDELJALIL, B. (2020). Flexible and automated watering system using solar energy. *International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*.
- [46] CHABANI, R. (2021). *Implémentation d'un Protocole d'Élection d'un Serveur d'Authentification dans l'Internet des Objets*. Memoire de Master ,université Mohamed Seddik Benyahia de jijel.
- [47] Éclairage connecté : quels sont les nouveaux protocoles? (s. d.). Récupérée 21 juin 2022, à partir de <https://www.lightzoomlumiere.fr/article/eclairage-connecte-quels-sont-les-nouveaux-protocoles/>
- [48] REZAK, M. (2014). *Etude du contrôle de procédé de projection laser pour la fabrication additive : Instrumentation, Identification et Commande*. (thèse de doct.). Paris, ENSAM.
- [49] photorésistance. (s. d.). Récupérée 14 juin 2022, à partir de <http://123dz.blogspot.com/2013/02/photoresistance.html>
- [50] ROUX, J. (2020). *Détection d'intrusion dans des environnements connectés sans-fil par l'analyse des activités radio* (thèse de doct.). Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- [51] ZAKARIA, B., ABDESSATAR, S. & AKRAM, B. (2021). *Conception et Réalisation d'une serrure électronique codée équipée par un Système d'alerte à base d'Arduino*. Diplôme de licence Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.

- [52] HANENE, Z. S. & LILIA, B. (2021). *Réalisation d'une maison intelligente utilisant un module WIFI* (mém. de mast.). Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [53] TP4056 / TC4056A Lithium Battery Charger and protection module. (s. d.). <https://www.addicore.com/TP4056-Charger-and-Protection-Module-p/ad310.htm#powerSupplyOptions>
- [54] SASSONE, A., SHIN, D., BOCCA, A., MACII, A., MACII, E. & PONCINO, M. (2014). Modeling of the charging behavior of Li-ion batteries based on manufacturer's data. *Proceedings of the ACM Great Lakes Symposium on VLSI, GLSVLSI*.
- [55] BOUDJEDIR, I. (2017). *Un système embarqué pour la détection des gaz dangereux à base d'une carte arduino*. Mémoire de master, Université Oum El Bouaghi.
- [56] BENALI, M. & CHEBAB, M. N. (2019). *Conception et réalisation d'une lunette intelligente pour la sécurité industrielle*. Mémoire de Master, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen.
- [57] YOUSRA, S. & PAUL, T. (2018). Emissions related to the operation of 3D printers. *Environnement, Risques et Sante*. <https://doi.org/10.1684/ers.2018.1216>