



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Mostaganem Badis Ibn Abdelhamid Université  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des sciences et technologies  
قسم الهندسة الكهربائية  
Département de Génie électrique

Mémoire pour obtenir le diplôme de Master en électronique  
Spécialité : *électronique des systèmes embarqués*

**Thème :**

## **Etude et réalisation d'un luminaire public intelligent**

Présenté par :

- **MOUNIR LAHEG**
- **BOUABDALLAH SEKMACHE**

Soutenu le, 13/06/2024 devant le jury composé de :

- Président : Dr. ABED Mansour
- Examineur : Dr. BENAOUALI Mohamed
- Encadrant : Dr. LARBI BEKLAOUZ Hadj
- Co-Encadrant : Dr. BENTOUMI Mohamed

Année Universitaire : 2023/2024

# Remerciement

**Nous louons et remercions Dieu de nous avoir donné la force, la patience, le réconfort et le courage pour accomplir ce travail.**

**Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à ceux qui ont apporté leur aide et contribué à son développement.**

**Nous nous souvenons également de la réussite que nous avons eue au cours de cette merveilleuse année universitaire.**

**Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Mr Larbi Beklaouz Hadj, en tant que superviseur, pour ses conseils, sa confiance et sa patience, qui ont constitué une grande contribution et sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible. Puisse-t-il trouver dans cet ouvrage un éloge éternel de sa haute personnalité.**

**J'adresse également mes sincères remerciements à tous les professeurs du Département de génie électrique qui ont contribué à notre formation. Aussi et particulièrement aux membres des jury d'être examiné notre travail.**

**Enfin, nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à toute notre honorable famille, nos sœurs et nos frères.**

**Nos amis pour leurs encouragements, ainsi que tous les membres de la famille qui nous ont toujours soutenu et été à nos côtés tout au long de la préparation de cette thèse.**

**Merci à tous**



# Dédicace

Je dédie ce mémoire

Avec toutes les significations d'amour et de gratitude,

Au pur esprit de maternité,

A celui qui m'a appris le sens de la vie,

Pour qui elle était et restera la lumière qui éclaire mon chemin,

Ma chère mère,

Je vous dédie ce travail en remerciement pour chaque moment d'inquiétude que vous avez passé en mon nom.

Et chaque invitation sincère montait de votre cœur vers le ciel en supplication pour moi.

À mon modèle et à mon soutien dans cette vie,

À celui qui a tant et tant sacrifié pour m'offrir une vie décente.

Mon père bien-aimé,

Je vous dédie ce travail en remerciement pour vos belles actions et vos grands sacrifices.

À ceux qui ont partagé mes joies et mes peines,

À ceux qui m'ont soutenu et aidé dans mon parcours académique et pratique,

A mes chers frères et chères sœurs,

À tous les chers membres de ma famille,

Je vous dédie ce travail en remerciement de votre soutien continu et de votre amour sans fin.

A mes fidèles amis,

À tous ceux qui ont marqué ma vie,

À tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail,

Je vous dédie ce travail, merci pour tout.

à la fin, Je demande à Dieu Tout-Puissant de rendre cette œuvre sincère pour Son visage honorable.

Et que cela profite à tous ceux qui le voient. Et pour en faire une clé vers plus de connaissances et de réussite.

Merci à tous

## Résume

L'éclairage public est actuellement la principale source de consommation d'énergie de la commune. De plus, l'éclairage public peut avoir un impact négatif sur le réseau de distribution d'électricité après son allumage pendant les heures de pointe du soir. Ce projet vise donc à améliorer la qualité de la vie nocturne de la ville, à réduire la consommation d'énergie et à réduire les câbles entre les poteaux, tout en respectant les normes de sécurité et de conformité. Notre système est basé sur la carte de développement ESP32 qui contrôle les LED, les capteurs, la luminosité, le mouvement et les modules de communication sans fil. Grâce à ce système innovant, vous prenez le contrôle de votre éclairage public intelligent, pour une ville plus éclairée, plus sûre et plus économe en énergie.

**Mots clés :** Eclairage, contrôle, lampe, système intelligent, ESP32

## Abstract

Public lighting is currently the main source of energy consumption in the municipality. In addition, public lighting can have a negative impact on the electricity distribution network after it is switched on during the evening peak consumption hour. Therefore, this project aims to improve the quality of nightlife in the city, reduce energy consumption and reduce cable between poles, while respecting safety and compliance standards. It is based on the ESP32 development board which controls LEDs, sensors, brightness, motion and wireless communication modules. With this innovative system, you can take control of your intelligent public lighting, making the city brighter, safer, and more energy efficient.

**Keywords:** Lighting, control, lamp, smart system. ESP32

## ملخص

تعد الاضاءة العامة حاليا المصدر الرئيسي لاستهلاك الطاقة في البلدية. بالاضافة الى ذلك يمكن ان يكون للاضاءة العامة تاثير سلبي على شبكة توزيع الكهرباء بعد تشغيلها خلال ساعة ذروة الاستهلاك المسائية. لذا فان هذا المشروع يهدف إلى تحسين نوعية الحياة الليلية في المدينة وتقليل استهلاك الطاقة و تقليل الكابل بين الاعمدة ، مع احترام معايير السلامة والامتثال. كما يعتمد على اللوحة تطوير ESP32 الذي يتحكم في مصابيح LED وأجهزة استشعار و الإضاءة والحركة ووحدات الاتصال اللاسلكية. بفضل هذا النظام المبتكر، يمكنك التحكم في نظام الإنارة العامة الذكية، مما يجعل المدينة أكثر إضاءةً، وأكثر أمانًا، وأكثر كفاءة في استهلاك الطاقة.

**الكلمات المفتاحية:** اضاءة، تحكم، مصباح، نظام ذكي, ESP32

# Acronymes

**IDE** : Integrated Développement Environment ou Environnement de Développement

**IDF**: IoT Development Framework.

**ESP**: Espressif Systems.

**LED** : light-emitting diode ou diode électroluminescente

**LDR** : Light Dependent Resistor ou résistance dépendant de la lumière

**LPWAN**: Low Power Wide Area Network

**ADC**: Analog to Digital Converter

**DAC**: Digital-to-analog Converter

**UART**: Universal Asynchronous Receiver Transmitter.

**SPI**: Serial Peripheral Interface.

**I2C**: Inter-Integrated Circuit.

**PWM** : Pulsed Width Modulation ou modulation de large impulsion

**IoT**: Internet of Things.

**GPIO**: General Purpose Input/Output.

**SRAM**: Static Random Access Memory ou mémoire vive statique.

**ROM**: Read Only Memory.

**IEEE**: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**WI-FI**: Wireless Fidelity.

**PIR**: Passive Infrared Sensor.

**IRC** : L'indice de rendu des couleurs.

**TTL** : Transistor-Transistor Logic.

**TIC** : Technologies de l'information et de la communication.

**Li-Fi** : Transmission de l'information à travers les ondes lumineuses.

# TABLEAU DES MATIERES

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Liste des tableaux.....	VII
La liste des figures.....	VIII
Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE I</b> Généralité sur luminaire public intelligent	
<b>I.1</b> Introduction.....	3
<b>I.2</b> Histoire des luminaires.....	3
<b>I.3</b> Eclairage public intelligent.....	4
<b>I.3.1</b> Avantages des luminaires intelligent.....	4
<b>I.3.2</b> Applications des luminaires intelligent.....	6
<b>I.3.3</b> Technologies d'éclairage intelligentes.....	7
<b>I.3.4</b> Développement de l'éclairage intelligent.....	8
<b>I.4</b> Luminaires modernes.....	9
<b>I.4.1</b> Fonctionnalités avancées luminaires.....	9
<b>I.5</b> Matériaux utilisés pour fabriquer les luminaires.....	9
<b>I.6</b> Luminaires intelligents.....	9
<b>I.7</b> Organisation générale d'un système d'éclairage public.....	10
<b>I.7.1</b> Gestion du système de luminaire.....	10
<b>I.8</b> Lampes.....	11
<b>I.9</b> Conclusion.....	12
<b>CHAPITRE II</b> Définitions et paramétrisations liées aux luminaires	
<b>II.1</b> Introduction.....	15
<b>II.2</b> Principaux éléments constitutifs d'un réseau d'éclairage public.....	15
<b>II.2.1</b> Sources lumineuses.....	15
<b>II.2.2</b> Armoires de commande électrique.....	16
<b>II.2.3</b> Point lumineux.....	17
<b>II.3</b> Types d'installation des luminaires.....	18
<b>II.4</b> Coût de l'éclairage public.....	20
<b>II.5</b> Conclusion.....	21

<b>Chapitre III Etude et Réalisation du système éclairage public intelligent</b>	
<b>III.1 Introduction</b> .....	25
<b>III.2 Description détaillé du système d'éclairage intelligent</b> .....	25
<b>III.3 Plateforme de développement Arduino IDE</b> .....	28
<b>III.4 Réalisations du projet</b> .....	29
<b>III.4.1 Organigramme du système d'éclairage intelligent</b> .....	30
<b>III.4.2 Fonctionnements selon les scénarios proposé</b> .....	31
<b>III.4.2.1 Fonctionnement selon le mode du Scénario n°1</b> .....	31
<b>III.4.2.2 Fonctionnement selon le mode du Scénario n°2</b> .....	33
<b>III.4.2.3 Fonctionnement selon le mode du Scénario n°3</b> .....	39
<b>III.5 Problèmes rencontrés pendant la réalisation de notre projet</b> .....	40
<b>III.6 Estimation du coût du projet réalisé</b> .....	40
<b>III.7 Conclusion</b> .....	41
<b>IV. Conclusion générale</b> .....	43
<b>V. Référence bibliographique</b> .....	45
<b>VI. Annexes</b> .....	36
<b>VI.1 Brochage ESP32</b> .....	36
<b>VI.2 Capteur de mouvement PIR</b> .....	37
<b>VI.3 Programme Maitre/Esclave du scenario n°3 pour système n°1</b> .....	38
<b>VI.3 Programme Maitre/Esclave du scenario n°3 pour système n°2</b> .....	40

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Les caractéristique des différentes sources lumineuse.....	15
<b>Tableau 2 :</b> Les avantages et les inconvénients des différents types d'installation.....	19
<b>Tableau 3 :</b> La circulation routière et disposition des lampadaires.....	20
<b>Tableau 4 :</b> Coût de l'éclairage intelligent et de l'éclairage classique.....	21
<b>Tableau 5 :</b> Caractéristique de la carte ESP32.....	27
<b>Tableau 6 :</b> Estimation du coût de notre projet.....	40

## La liste des figures

<b>Figure 1</b> : L'évolution de l'éclairage public au cours du temps. ....	4
<b>Figure 2</b> : Luminaire public intelligent. ....	5
<b>Figure 3</b> : Eclairage de sécurité. ....	5
<b>Figure 4</b> : Meilleur confort des usagers par l'éclairage public. ....	5
<b>Figure 5</b> : Éclairage intelligent des rues. ....	6
<b>Figure 6</b> : L'éclairage des parcs et des jardins. ....	6
<b>Figure 7</b> : L'éclairage des bâtiments publics. ....	7
<b>Figure 8</b> : Les dernières technologies d'éclairage public. ....	8
<b>Figure 9</b> : Un exemple de l'éclairage public intelligent. ....	10
<b>Figure 10</b> : Organisation générale de l'éclairage public. ....	10
<b>Figure 11</b> : Désigne des lampadaires. ....	11
<b>Figure 12</b> : Armoire électrique de luminaire. ....	16
<b>Figure 13</b> : Un disjoncteur. ....	16
<b>Figure 14</b> : a) Capteur crépusculaire expos, b) Capteur crépusculaire intégrable. ....	17
<b>Figure 15</b> : a) Minuterie analogique, b) Minuterie numérique. ....	17
<b>Figure 16</b> : Point de lumière. ....	18
<b>Figure 17</b> : Différents types d'installation des points lumineux. ....	19
<b>Figure 18</b> : Cas où les points lumineux sont distribués de manière unilatérale. ....	20
<b>Figure 19</b> : Schéma synoptique du notre système d'éclairage public intelligent. ....	25
<b>Figure 20</b> : Capteur de la lumière LDR. ....	25
<b>Figure 21</b> : Capteur de mouvement PIR. ....	26
<b>Figure 22</b> : Module relais 5 V à 2 canaux. ....	26
<b>Figure 23</b> : Luminaire. ....	26
<b>Figure 24</b> : Carte de développement à base ESP32. ....	27
<b>Figure 25</b> : L'interface de l'IDE Arduino. ....	29
<b>Figure 26</b> : Réalisation finale du système d'éclairage intelligent. ....	29
<b>Figure 27</b> : Organigramme de fonctionnement de l'éclairage public intelligent. ....	30
<b>Figure 28</b> : Organigramme scénario de test. ....	31
<b>Figure 29</b> : Scénario de test. ....	33
<b>Figure 30</b> : Organigramme le premier ESP32 comme maître. ....	34
<b>Figure 31</b> : Organigramme le deuxième ESP32 comme esclave. ....	35
<b>Figure 32</b> : ONE-WAY communication via ESP-NOW. ....	36
<b>Figure 33</b> : TWO-WAY communication via ESP-NOW. ....	39
<b>Figure 34</b> : Description de la carte ESP32. ....	36
<b>Figure 35</b> : a) Capteur de mouvement PIR, b) Fonctionnement de capteur de mouvement PIR. ....	37

# **Introduction générale**

# Introduction générale

Dans un monde de plus en plus urbanisé, l'éclairage public joue un rôle crucial dans la sécurité urbaine, le bien-être et la durabilité des villes. Les avancées technologiques récentes ont permis l'émergence de lampadaires intelligents, qui offrent des fonctionnalités avancées telles que la gestion de l'éclairage en temps réel, la détection de mouvement des piétons et la connectivité des luminaires. Cependant, les équipements d'éclairage sont confrontés à un problème majeur de mauvaise utilisation et de mauvaise gestion de l'énergie électrique.

Notre projet consiste à étudier et réaliser un système d'éclairage public intelligent. Cela permet un contrôle automatisé de l'éclairage public, une amélioration de l'efficacité énergétique, une sécurité accrue pour les citoyens, et une gestion optimisée des espaces publics. Notre travail est divisé en trois chapitres. Ils ont organisé comme suite :

Dans le premier chapitre, nous donnerons un aperçu général sur les systèmes d'éclairage et leur évolution au fil du temps ainsi nous citons leurs avantages et leurs inconvénients sur le développement urbain. Le deuxième chapitre, présente les définitions, les caractéristiques et les coûts de l'éclairage public. Dans le troisième chapitre, on va présenter notre réalisation du système d'éclairage public intelligent, Nous décrivons l'utilisation d'une carte de développement ESP32 programmée avec l'environnement Arduino IDE. Nous présentons également les tests effectués et les validations obtenues. Enfin, nous concluons notre mémoire en mettant en évidence les avantages du système d'éclairage et son rôle dans le confort public, tout en suggérant quelques idées pour des travaux futurs.

# **CHAPITRE I**

## Généralité sur luminaire public intelligent

## I.1 Introduction

L'éclairage public intelligent est un système d'éclairage public qui utilise des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer l'efficacité énergétique, la sécurité et le confort des usagers.

## I.2 Histoire des luminaires

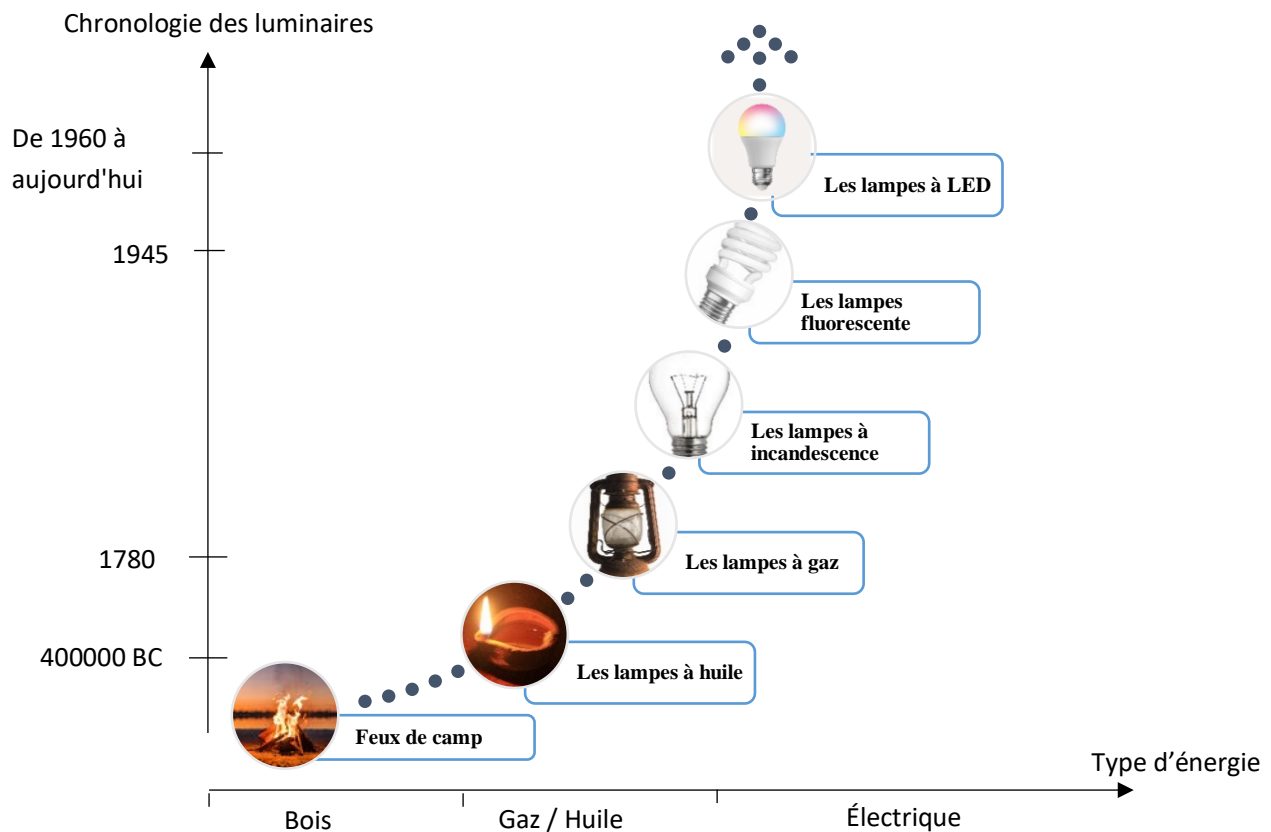
Depuis les temps préhistoriques, l'éclairage a constitué un enjeu crucial pour l'humanité. Initialement tributaire de la lumière naturelle et du feu, l'homme a développé, au fil des siècles, des sources de lumière artificielle de plus en plus sophistiquées. Bien que rudimentaires et dangereuses, ces technologies rudimentaires ont marqué les prémices d'une évolution technologique majeure. L'histoire du luminaire est jalonnée d'innovations révolutionnaires.

Les premières lueurs artificielles, torches et feux de camp, répondaient à un besoin vital d'éclairage et de chauffage. Les torches étaient fabriquées à partir de branches enflammées, tandis que les feux de camp étaient des feux allumés au sol. Mais ils étaient également dangereux et polluants.

Des lampes à huile aux ampoules électriques en passant par les lampes à gaz, chaque invention a apporté une contribution significative à l'amélioration de l'éclairage artificiel. Les lampes à huile sont apparues au moyen Âge. Elles étaient fabriquées à partir d'un récipient en verre ou en métal rempli d'huile, avec une mèche qui était trempée dans l'huile [5]. Les lampes à gaz ont été inventées au 18<sup>e</sup> siècle. Elles étaient fabriquées à partir d'un brûleur qui brûlait du gaz, avec une mèche qui était placée au-dessus du brûleur [6]. La première ampoule électrique a été inventée par Thomas Edison en 1879. Elle était fabriquée à partir d'un filament de carbone qui était chauffé par un courant électrique. Les ampoules électriques étaient plus efficaces que les lampes à gaz et à huile et elles étaient également plus sûres [7].

Aujourd'hui, le domaine de l'éclairage est caractérisé par une diversité foisonnante. Styles, matériaux, fonctions et applications se déclinent une infinité de combinaisons pour répondre aux exigences et aux goûts les plus variés. L'éclairage moderne s'affirme comme un élément essentiel de notre environnement, contribuant à la fois à la sécurité, au confort et à l'esthétique des espaces intérieurs et extérieurs [11].

La figure suivante représente l'évolution des lampadaires au fil du temps. Montrons leurs désigne ainsi l'énergie utilisé.



**Figure 1 :** L'évolution de l'éclairage public au cours du temps.

### I.3 Eclairage public intelligent

L'éclairage public intelligent se caractérise par l'intégration des capteurs, de contrôleurs et des logiciels intelligents dans les luminaires publics. Ces éléments permettent de contrôler et collecter les données sur l'environnement de manière dynamique, fournissant ainsi des informations précieuses aux usagers et aux gestionnaires de l'éclairage public.

#### I.3.1 Avantages des luminaires intelligent

Les luminaires intelligents sont des dispositifs d'éclairage qui peuvent être contrôlés à distance, automatiquement ou via une application, en utilisant des technologies sans fil comme le Wifi ou le Bluetooth. L'éclairage public intelligent présente de nombreux avantages, notamment :

- **Amélioration de l'efficacité énergétique des luminaires :** Les systèmes d'éclairage public intelligent permettent de réduire la consommation d'énergie de l'éclairage de 50 à 70%, par rapport aux systèmes d'éclairage traditionnels. Cela se traduit par une

réduction des émissions de gaz à effet de serre et une amélioration de la performance environnementale des villes [9].



**Figure 2 :** Luminaire public intelligent [9].

- **Amélioration de la sécurité :** L'éclairage intelligent est utilisé pour la protection et la visibilité de certaines zones, ce qui peut contribuer à prévenir les accidents et les incidents criminels. Cela peut également améliorer la sécurité des piétons et des cyclistes.



**Figure 3 :** Eclairage de sécurité [1].

- **Meilleur confort des usagers :** L'éclairage intelligent permet d'adapter l'éclairage aux besoins des utilisateurs, par exemple en augmentant l'intensité lumineuse dans les zones où la visibilité est faible ou en diminuant l'intensité lumineuse dans les zones où la sécurité est moins préoccupante. Cela peut améliorer le confort des utilisateurs et réduire la pollution lumineuse. La figure suivante montre une rue éclairée par des lampadaires intelligents. Ces lampadaires sont équipés de capteurs et de systèmes de communication qui leur permettent d'être contrôlés à distance.



**Figure 4 :** Meilleur confort des usagers par l'éclairage public [9].

### I.3.2 Applications des luminaires intelligent

Les systèmes lumineux intelligents peuvent être utilisés dans de nombreux endroits, notamment :

- **L'éclairage des rues :** L'éclairage public intelligent est utilisé pour améliorer la sécurité et le confort des usagers parcourant les rues. Ils peuvent par exemple être utilisés pour adapter l'éclairage aux conditions de circulation, indiquant la présence de véhicules ou de piétons. La figure suivante montre un lampadaire solaire intelligent à la fois de jour et de nuit [10].



Figure 5 : Éclairage intelligent des rues [10].

- **L'éclairage des parcs et des jardins :** L'éclairage public intelligent est utilisé pour l'ambiance des parcs et des jardins afin de créer des effets de lumière dynamiques ou d'adapter l'éclairage selon les conditions météorologiques.



Figure 6 : L'éclairage des parcs et des jardins [14].

- **L'éclairage des bâtiments publics :** L'éclairage public intelligent est utilisé pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments publics. Il peut également être utilisé pour réduire l'intensité de la lumière dans les espaces vides ou pour éteindre l'éclairage lorsque le bâtiment est vide.



**Figure 7 :** L'éclairage des bâtiments publics [16].

### I.3.3 Technologies d'éclairage intelligentes

Les systèmes d'éclairage public intelligent utilisent un ensemble des instruments électrique, électronique, mécanique et informatique, notamment :

- **Les capteurs :** Les capteurs sont utilisés pour collecter des données sur l'environnement, telles que la luminosité, la température, la présence d'obstacles ou la présence des personnes.
- **La communication sans fil :** Les luminaires intelligents communiquent entre eux via des réseaux sans fil, tels que le Wi-Fi ou le Bluetooth afin de former un réseau LPWAN (Low Power Wide Area Network). Ce qui permet de les contrôler et de collecter des données à distance. Ainsi de mieux gérer leurs systèmes et d'améliorer leur rendement et de réduire les coûts de maintenances.
- **Les programmes intelligents :** Les programmes intelligents sont utilisés pour traiter les données collectées par les capteurs et pour prendre des décisions sur le contrôle de l'éclairage d'une manière autonome. Ainsi, peuvent être basés sur l'apprentissage automatique ou sur des règles prédéfinies. La figure suivante, monte les accessoires liés aux systèmes d'éclairage public.

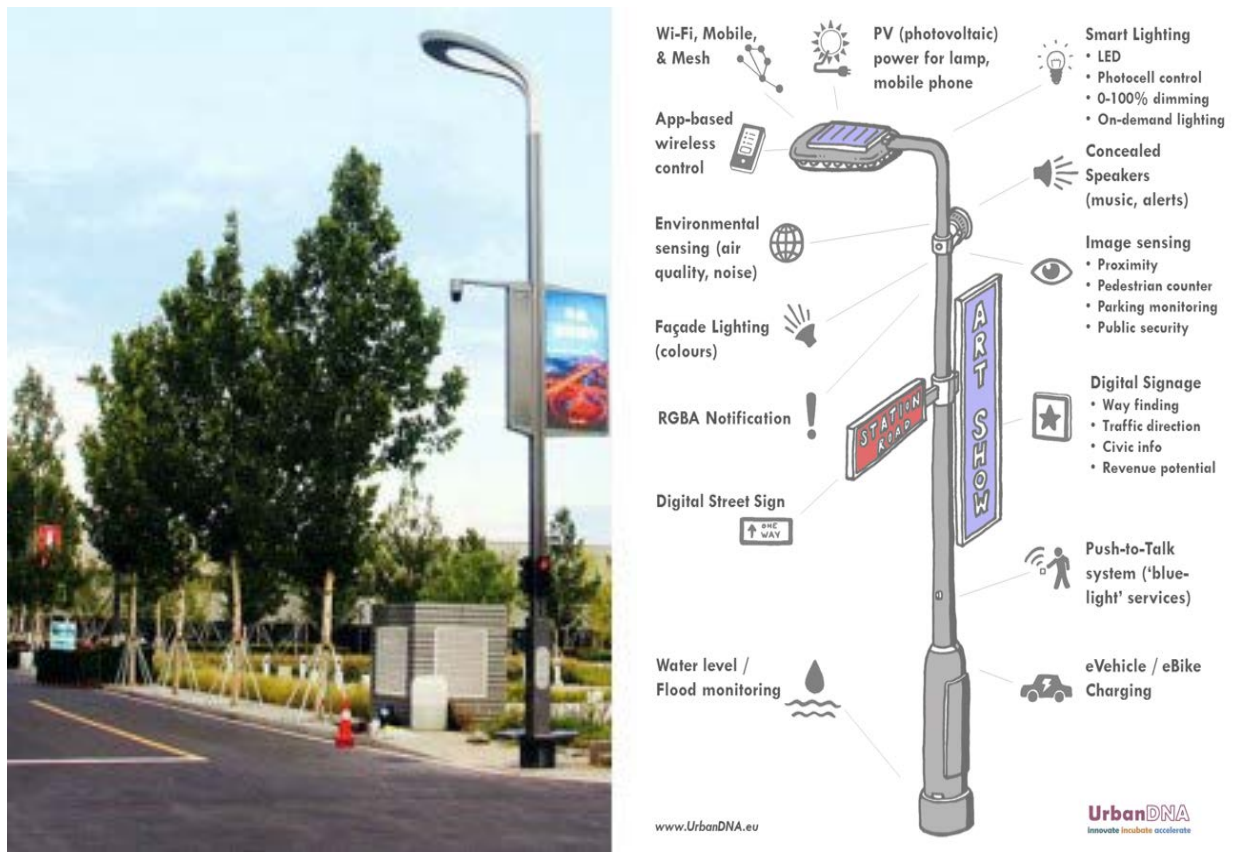


Figure 8 : Les dernières technologies d'éclairage public [1].

### I.3.4 Développement de l'éclairage intelligent

L'éclairage intelligents est une technologie en plein développement. De nombreuses collectivités territoriales envisagent de déployer des systèmes d'éclairage public intelligent afin de réduire leur consommation d'énergie, d'améliorer la sécurité publique et de réduire les nuisances lumineuses.

- **Expansion de l'infrastructure intelligente** : Cette expansion de l'infrastructure intelligente contribuera à améliorer la qualité de vie des habitants, à accroître l'efficacité des services municipaux et à réduire l'empreinte environnementale des zones urbaines.
- **Intégration avec d'autres technologies émergentes** : Les luminaires publics intelligents seront de plus en plus intégrés à d'autres technologies émergentes telles que l'intelligence artificielle, la 5G et l'internet des objets (IoT), ce qui permettra de créer des écosystèmes urbains intelligents. L'IoT fait référence à un réseau d'appareils physiques connectés à Internet qui collectent et partagent des données. Dans le contexte de l'éclairage intelligent, cela signifie que les lampadaires peuvent être équipés de capteurs et de logiciels qui leur permettent de communiquer avec d'autres appareils et

systèmes, d'ajuster automatiquement l'éclairage en fonction des conditions environnementales ou de la présence de personnes, et de transmettre des informations sur leur état ou leur consommation d'énergie pour une gestion plus efficace.

## **I.4 Luminaires modernes**

Les luminaires contemporains ne se limitent plus à la simple fonction d'éclairage d'un espace. Ils s'imposent comme des éléments décoratifs à part entière, offrant une multitude de fonctionnalités et de styles pour répondre à l'ensemble des besoins et aspirations.

### **I.4.1 Fonctionnalités avancées luminaires**

Il existe de nombreuses fonctionnalités d'éclairage avancées, notamment :

- **Variation de l'intensité lumineuse** : Modulation de l'éclairage en fonction des activités et de l'ambiance souhaitée, d'une lumière tamisée pour un dîner romantique à un éclairage intense pour un environnement de travail optimal.
- **Changement de couleur** : Création d'une ambiance unique grâce à une large palette chromatique, ou expression de la créativité à travers des luminaires à LED programmables.
- **Détection de mouvement** : Amélioration du confort et de la sécurité en activant l'éclairage automatiquement lors de la présence humaine, éliminant ainsi les tâtonnements dans l'obscurité.
- **Minuterie** : Programmation de l'extinction automatique des luminaires pour une optimisation de la consommation d'énergie.
- **Connectivité** : Contrôle à distance des luminaires via une application dédiée sur smartphone ou un assistant vocal, favorisant une domotique simplifiée.

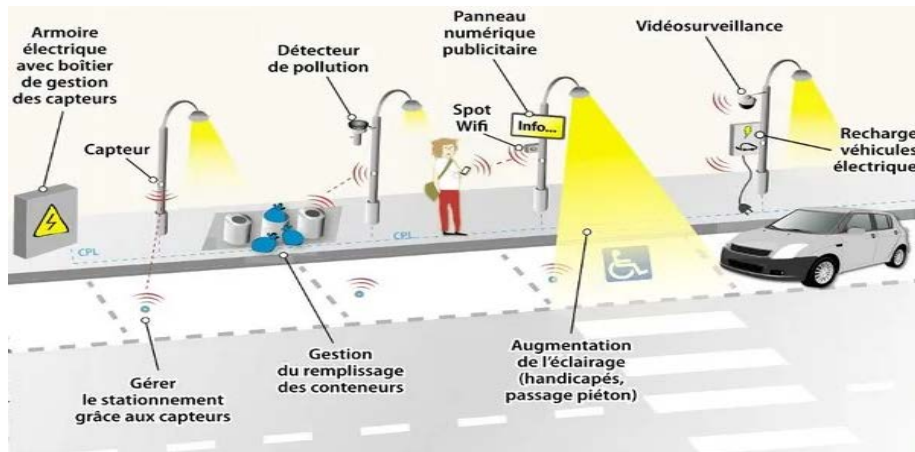
## **I.5 Matériaux utilisés pour fabriquer les luminaires**

Les luminaires peuvent être fabriqués à partir d'une variété de matériaux, notamment le verre, le métal, le plastique, le bois et la pierre. Le choix du matériau dépend du style, de la fonction et du budget du luminaire.

## **I.6 Luminaires intelligents**

Les luminaires intelligents sont des luminaires qui peuvent être contrôlés à distance via un smartphone ou une tablette. Les luminaires intelligents offrent une variété d'avantages,

notamment la possibilité d'allumer et d'éteindre les lumières, de régler l'intensité lumineuse et de créer des scènes d'éclairage.



**Figure 9:** Un exemple de l'éclairage public intelligent [8].

## I.7 Organisation générale d'un système d'éclairage public

Le schéma bloqué présente l'architecture générale du système d'éclairage intelligent. Il se compose de trois blocs principaux. Le premier bloc inclut divers composants tel que les capteurs, les disjoncteurs, les potentiomètres, les gradateurs et les variateurs. Le deuxième bloc, est le cœur du système où les données collectées par les capteurs sont traitées et analysées. Enfin, le troisième bloc, représente les luminaires publics eux-mêmes, qui reçoivent les instructions de la gestion centralisée et ajustent leur intensité lumineuse en conséquence. Ensemble, ces blocs travaillent en harmonie pour fournir un éclairage optimal.



**Figure 10:** Organisation générale de l'éclairage public.

### I.7.1 Gestion du système de luminaire

Il y a deux types de gestions : Manuels et automatique

**Gestion manuelle :** Pour cette gestion existe deux solutions :

- **Interrupteurs et variateurs :** Solution simple et économique pour le contrôle individuel ou par zone de l'éclairage.

- **Programmateurs** : Permettent l'automatisation de l'allumage et de l'extinction des lumières selon des horaires prédéfinis.
- **Gestion automatisée** : Existe plusieurs solutions :
  - **Détecteurs de mouvement** : Déclenchent l'allumage automatique des lumières en cas de présence, favorisant la sécurité et l'économie d'énergie.
  - **Cellules photoélectriques** : Ajustent l'intensité lumineuse en fonction de la lumière naturelle, garantissant un éclairage optimal en permanence.
  - **Systèmes de gestion centralisée** : Offrent un contrôle global et intelligent de l'éclairage via une interface unique. La gestion centralisée permet le contrôle, la commande et la gestion horaire et Calendaire de la gestion d'éclairage, Elle permet aussi de connaître l'état et les Consommations de l'installation d'éclairage [3].

## I.8 Lampes

Les lampes sont des sources d'éclairage, Il est existé trois types de lampes [1] :

- Les lampes à incandescence caractérisent par un filament brule sont utilisée pour l'éclairage intérieur parce que le rendement lumineux d'elle sont faible.
- Les lampes à décharge qui produisent de la lumière grâce à une décharge électrique dans un gaz (néons, les Lampes à vapeur de mercure, les lampes à vapeur de sodium à basse pression et à haute pression).
- Les lampes à LEDs : Technologie économe en énergie, durable et offrant une large gamme de couleurs et de fonctionnalités.

La figure suivante montre le désigne de quelques lampes modernes qui peuvent être installées dans des luminaires publics.



**Figure 11:** Désigne des lampadaires [13].

## **I.9 Conclusion**

L'éclairage public a parcouru un long chemin depuis ses débuts primitifs avec des torches et des feux de camp à l'époque préhistorique. L'introduction des lampes à huile, des lampes à gaz et finalement des lampes électriques a constitué une avancée majeure dans l'histoire de l'éclairage. Aujourd'hui, avec l'avènement de l'éclairage public intelligent, nous assistons à une convergence passionnante de technologie et de fonctionnalité, car les luminaires modernes offrent une variété de fonctionnalités avancées, des styles variés et l'utilisation de matériaux innovants. C'est pourquoi, dans ce chapitre, nous avons fourni une description générale de l'éclairage public, de son fonctionnement et de ses domaines d'utilisation ainsi que des dernières technologies en matière d'éclairage public.

Dans le chapitre suivant, nous étudions les principaux éléments de l'éclairage public et nous donnons un aperçu général sur les outils et les éléments utilisés dans les luminaires intelligents.

# **CHAPITRE II**

## Définitions et paramétrisations liées aux luminaires

## II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une description technique détaillée sur les dispositifs d'éclairage public. Leurs principaux éléments, la répartition et de la distance entre les points d'éclairage, la durée de la vie des luminaires et nous finalisons ce chapitre par une étude technico-économique.

## II.2 Principaux éléments constitutifs d'un réseau d'éclairage public

Un réseau d'éclairage public se compose d'installations électriques qui fournissent l'alimentation et la gestion des luminaires situés dans les espaces publics. Sa structure peut différer en fonction de la taille et de la complexité du réseau, ainsi que des exigences particulières de la zone à éclairer.

### II.2.1 Sources lumineuses

Les lampes ou les luminaires qui produisent la lumière. Il existe différents types de sources lumineuses, comme les lampes à incandescence, les lampes à décharge, les lampes à LED, etc. Le tableau suivant représente les caractéristiques des différentes sources lumineuses :

**Tableau 1:** Les caractéristique des différentes sources lumineuse [12].

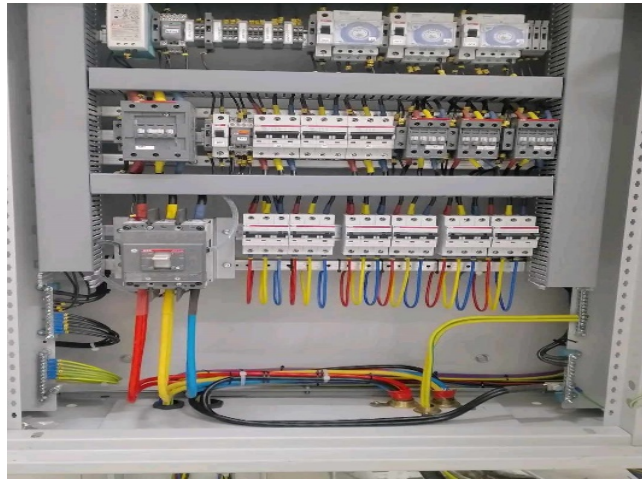
Types de source	Rendement lumineux	IRC	Température	Durée de vie
Incandescence	10 à 15 Lm/W	100	2 400 à 2 700°K	1 000 heures
Halogène	15 à 25 Lm/W	100	3 000 à 3 200°K	2 000 heures
Fluo-compactes et Tube fluorescents	50 à 90 Lm/W	80 à 98 sauf blanc industrie	2 700 à 6 000°K	10 000 heures
Iodure Métallique	65 à 120 Lm/W	60 à 95	3 000 à 4 200°K	12 000 à 20 000 heures
Sodium basse pression (éclairage public)	100 à 200 Lm/W	25	2 200°K	14 000 à 60 000 heures
LED	> 40 Lm/W	85	25 000°K	5 000 à 25 000 heures

Avec :

**IRC :** L'indice de rendu des couleurs, ou IRC, rend compte de la capacité d'une source de lumière artificielle à restituer les nuances de couleur d'une surface [15].

### II.2.2 Armoires de commande électrique

Armoire abritant les équipements électriques de commande et de protection, tels que les disjoncteurs, contacteurs, horloges astronomiques, et systèmes de gestion d'éclairage. Qui sont les équipements qui permettent de contrôler l'allumage, l'extinction et la variation de l'intensité des sources lumineuses. Elles sont généralement situées à proximité des sources lumineuses ou dans des locaux techniques [12].



**Figure 12 :** Armoire électrique de luminaire.

Les éléments qui garantissent la sécurité des personnes et des biens en cas de défaut ou de surtension sur le réseau électrique. Il s'agit notamment des fusibles, des disjoncteurs et des interrupteurs différentiels. Nous citons quelques composants qui constituent cette armoire électrique.

- **Disjoncteurs :** Ils sont utilisés pour interrompre le courant électrique en cas de surintensité, de surcharge ou de court-circuit, protégeant ainsi les luminaires et le câblage contre les dommages électriques [8].



**Figure 13 :** Un disjoncteur

- **Système de gestion automatisé d'éclairage :** L'éclairage public extérieur n'est requis que lorsque la lumière naturelle n'est pas disponible. Deux technologies adaptées à la gestion automatique de l'éclairage public sont les capteurs crépusculaires et les minuteriers (horloges) [12].

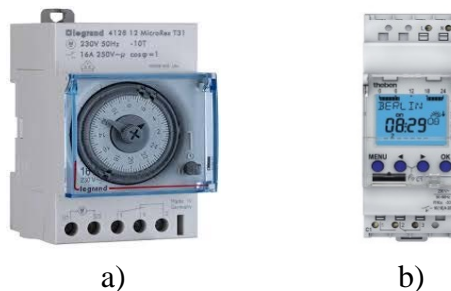
- **Capteurs crépusculaires :** Les détecteurs crépusculaires sont des dispositifs qui permettent de détecter le niveau de luminosité ambiante et d'activer ou de désactiver des sources lumineuses ou des appareils électriques en fonction d'un seuil prédéfini. Ils sont utilisés pour optimiser la consommation d'énergie, le confort et la sécurité dans divers domaines, tels que l'éclairage public, le jardinage, la domotique.

Il existe différents types de détecteurs crépusculaires, selon le mode de montage, le type de capteur, le réglage du seuil, la puissance de commutation. Par exemple, il y a des détecteurs crépusculaires modulaires, qui se montent dans un tableau électrique et qui sont reliés à une cellule photoélectrique déportée, et des détecteurs crépusculaires intégrés, qui se fixent directement sur la source lumineuse ou l'appareil à contrôler [12].



**Figure 14 :** a) Capteur crépusculaire expos, b) Capteur crépusculaire intégrable.

- **Minuterie :** Les minuterie sont des appareils qui permettent de programmer l'allumage et l'extinction automatiques d'un appareil électrique à une heure prédéfinie [13]. Il existe deux types principaux de minuterie :
  - **Minuterie analogique :** Ce type de minuterie utilise un cadran et des aiguilles pour programmer l'heure d'allumage et d'extinction.
  - **Minuterie numérique :** Ce type de minuterie utilise un écran LCD et des boutons pour programmer l'heure d'allumage et d'extinction.



**Figure 15 :** a) Minuterie analogique, b) Minuterie numérique.

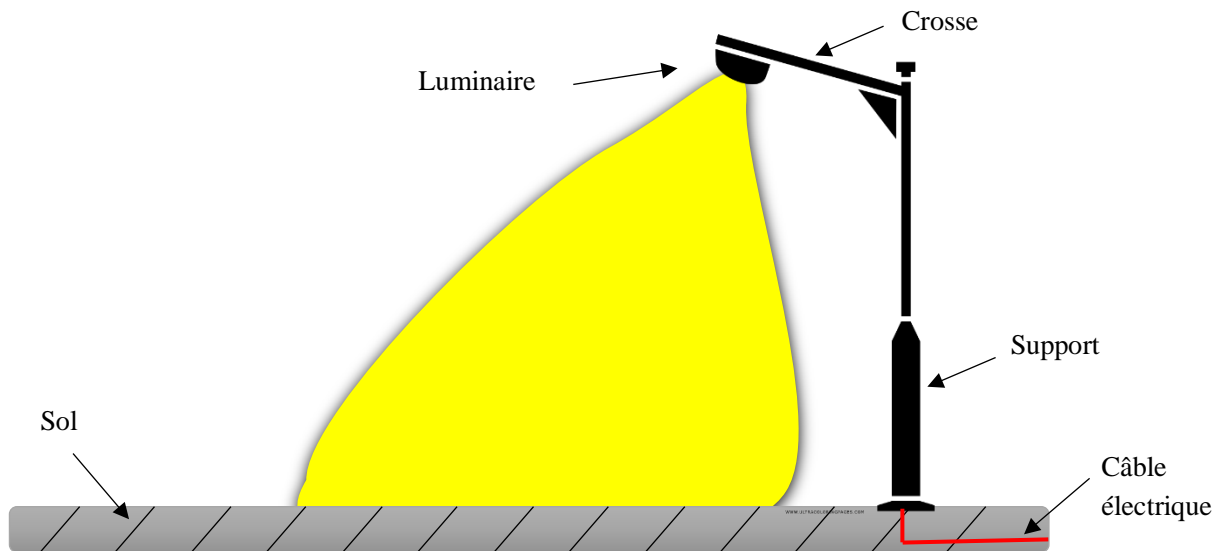
### II.2.3 Point lumineux

Pour choisir des poteaux d'éclairage public, nous mentionnons quelques points importants :

- La colonne doit être suffisamment solide pour supporter le poids de l'appareil.

- Le poteau doit être suffisamment long pour éclairer correctement la zone.
- Le poteau doit être compatible avec le type d'installation utilisé.
- Le poteau doit être esthétique et bien s'intégrer à l'environnement.

La figure suivante montre un type d'installation d'un point lumineux avec la directivité de la luminosité par rapport au sol. Ainsi leurs fixations.



**Figure 16 :** Point de lumière.

- **Supports des luminaires :** Qui sont les structures qui portent les sources lumineuses. Il peut s'agir de mâts, de candélabres, de bornes, de colonnes.
- **Poteaux d'éclairage :** sont fabriqués à partir de divers matériaux. Il existe différents matériaux pour fabriquer des poteaux d'éclairage public :
  - Poteau en acier : L'acier est un matériau solide et durable souvent utilisé pour les poteaux d'éclairage tubulaires et coniques.
  - Poteau en aluminium : L'aluminium est un matériau léger et résistant souvent utilisé pour les poteaux d'éclairage décoratifs.
  - Poteau en béton et bois en fonte.
- **Crosse des luminaires :** La crosse est un élément important des mâts d'éclairage. Elle permet de déporter la lanterne, d'ajuster sa hauteur et d'ajouter de l'esthétique au mât.

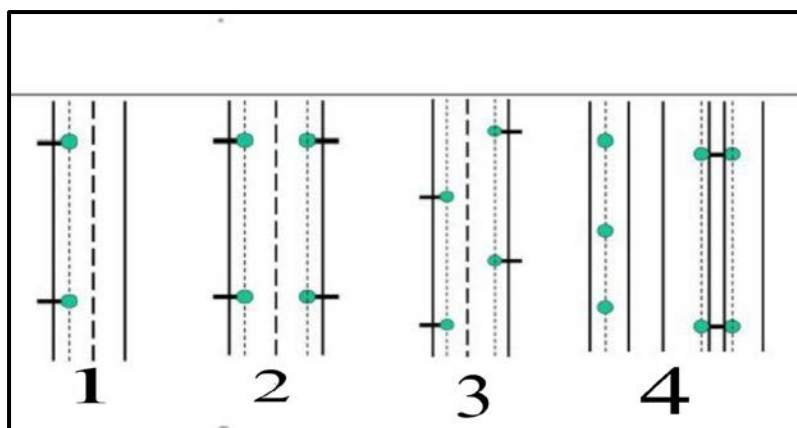
### II.3 Types d'installation des luminaires

Il existe différents types d'aménagements dans les rues et les lieux publics. Nous citons dans le tableau ci-dessous les avantages et les inconvénients. Afin, de montrer les meilleurs types d'installation en fonction des différents techniques liées aux luminaires.

**Tableau 2** : Les avantages et les inconvénients des différents types d'installation [12].

Types d'installation	Avantages	Inconvénients
1. Implantation unilatérale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible coût d'installation</li> <li>- Facilité d'entretien</li> <li>- Gain d'espace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éclairage moins uniforme</li> <li>- Risque d'éblouissement pour les automobilistes venant en sens inverse</li> </ul>
2. Implantation bilatérale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éclairage plus uniforme.</li> <li>- Meilleure visibilité pour les automobilistes et les piétons.</li> <li>- Réduction du risque d'accident.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'installation plus élevé.</li> <li>- Entretien plus difficile.</li> </ul>
3. Bilatérale en quinconce	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adapté aux routes Gros spectacle.</li> <li>- Éclairage assorti</li> <li>Chaque aspect esthétique est intéressant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'installation plus élevé.</li> <li>- Entretien plus difficile.</li> <li>- Risque d'éblouissement pour les automobilistes.</li> </ul>
4. Implantation axiale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éclairage uniforme des deux côtés de la route.</li> <li>- Réduction du risque d'éblouissement pour les automobilistes.</li> <li>- Amélioration de l'esthétique de la route.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'installation plus élevé.</li> <li>- Entretien plus difficile.</li> </ul>

La figure suivante représente les différents types de points lumineux montré dans le tableau précédent :

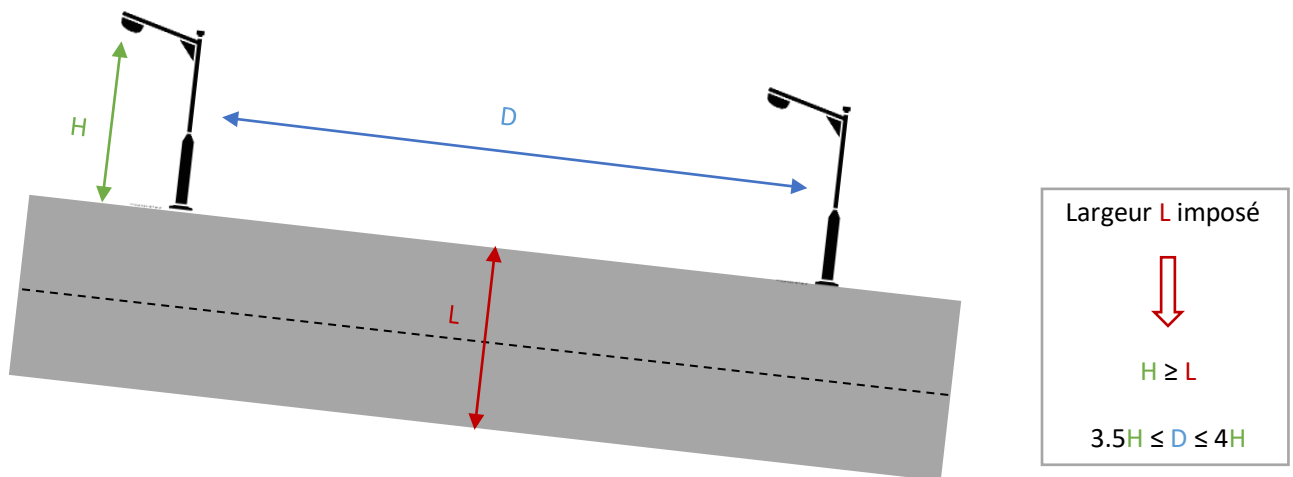
**Figure 17** : Différents types d'installation des points lumineux [8].

Le tableau ci-dessous présente les recommandations pour l'implantation des lampadaires en fonction de la largeur de la chaussée et la voie de circulation [12] :

**Tableau 3** : La circulation routière et disposition des lampadaires [12].

Types d'installation	Application	Rapport H/L	Inter-distance (d)
1. Implantation unilatérale	Rues latérales, Allées	$L \leq H$	$d = 3,5 \text{ à } 4 H$
2. Implantation bilatérale	Larges voies à double sens	$1,5 < L \leq 2 H$	$d = 3,5 \text{ à } 4 H$
3. Bilatérale en quinconce	Rue simple à double sens	$H < L \leq 1,5 H$	$d = 2,5 \text{ à } 3 H$
4. Implantation axiale	Grandes voies doubles	$L > 2 H$	$d = 3,5 \text{ à } 4 H$

Il est indispensable de déterminer avec précision les hauteurs des feux en se basant sur une étude photométrique lors de la sélection du matériel. La figure suivante représente le cas d'une répartition uniforme des points lumineux :

**Figure 18** : Cas où les points lumineux sont distribués de manière unilatérale [8].

#### II.4 Coût de l'éclairage public

Nous effectuons une étude technico-économique sur le montant d'installation des systèmes d'éclairage ainsi leurs consommations électriques. Le tableau suivant montrant une étude approximative en compare entre l'éclairage classique et moderne [20].

Type d'éclairage	Coût du lampadaire (hors taxes et hors installation)	Coût de l'électricité par an	Coût de la maintenance par an	Économies d'énergie en DZD par an
Intelligent (LED + boîtier intelligent)	35 000 et 150 000 DZD	3 000 DZD	2 000 DZD	6 000 DZD par an (environ 60% de réduction par rapport à l'éclairage classique) [2].
Classique (Sodium haute pression)	15 000 et 75 000 DZD	10 000 DZD	5 000 DZD	Néant

**Tableau 4 :** Coût de l'éclairage intelligent et de l'éclairage classique [18].

## II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en évidence les différentes composantes des réseaux d'éclairage public. Nous avons également expliqué les différentes répartitions et distances entre les points d'éclairage, en plus, nous avons comparé les coûts entre un luminaire intelligent et un luminaire classique.

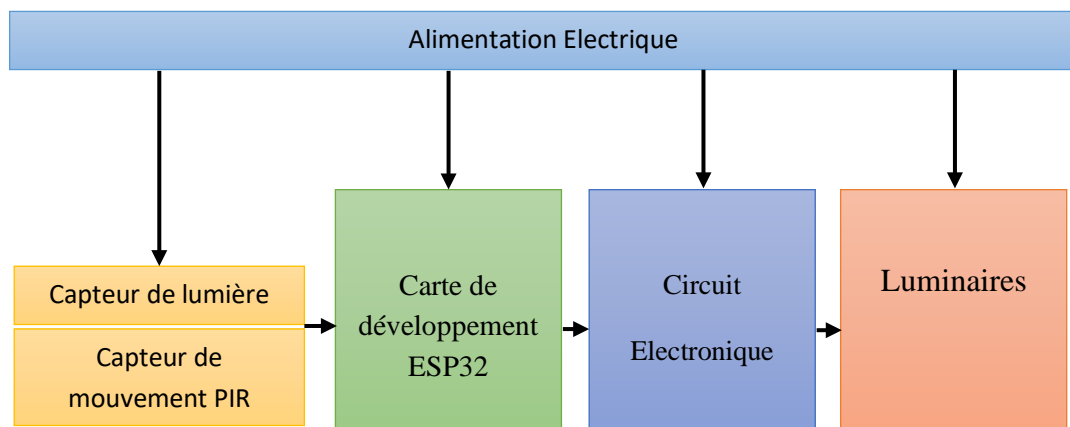
Le dernier chapitre est consacré à la réalisation d'un type de système d'éclairage intelligent. Ainsi, le choix des composants électrique et électroniques pour la réalisation du montage et nous finalisons par plusieurs tests.

# **Chapitre III**

## Réalisation du système éclairage public intelligent

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous fournissons une description détaillée du matériel et des composants qui seront utilisés dans notre projet. L'intégration de ces éléments est essentielle à la réussite de la mise en œuvre de notre idée. Nous commençons par identifier les différents appareils qui joueront un rôle central dans notre projet, en mettant en avant leurs caractéristiques techniques, leurs fonctions et les interactions prévues. Ensuite, nous passons en revue les paramètres pertinents qui seront mesurés, contrôlés ou modifiés pour atteindre nos objectifs. La figure ci-dessous représente plusieurs unités qui assurent le fonctionnement de l'éclairage public intelligent.



**Figure 19** : Schéma synoptique du notre système d'éclairage public intelligent.

### III.2 Description détaillé du système d'éclairage intelligent

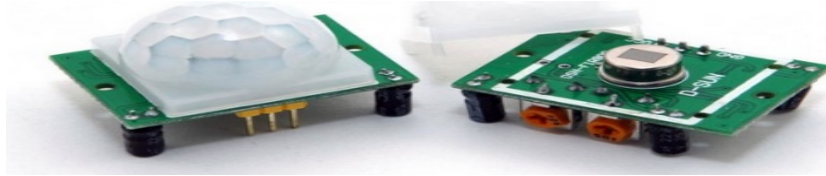
Notre schéma est composé de plusieurs unités comme montré dans la figure précédente (Figure n°19) :

- **Circuit d'Entrées** : Est composé de deux types de capteurs :
  - Capteur de Lumière (LDR) : Il détecte le niveau de luminosité ambiante. Si la luminosité est faible, il envoie un signal pour activer l'éclairage. La figure ultérieure montre le capteur utilisé.



**Figure 20** : Capteur de la lumière LDR [3].

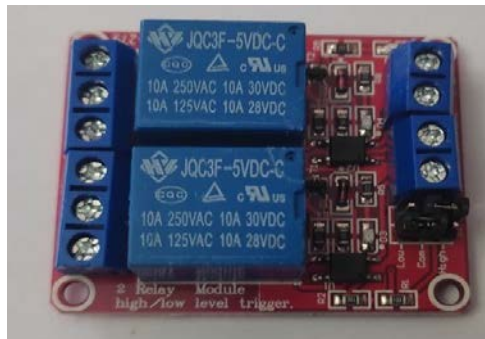
– Capteur de Mouvement (PIR) : Il détecte la présence de personnes ou d'objets en mouvement. Lorsqu'un mouvement est détecté, il envoie un signal pour allumer le luminaire. La figure suivante montre le capteur PIR utilisé.



**Figure 21 :** Capteur de mouvement PIR [19].

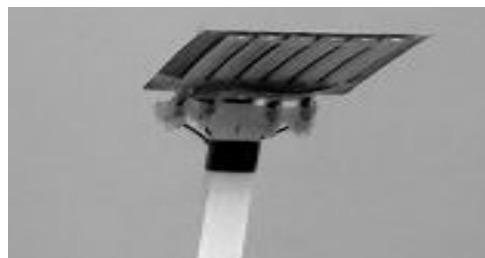
Le capteur de mouvement PIR est un détecteur infrarouge passif qui détecte les mouvements des objets en mesurant les changements de rayonnement infrarouge dans son environnement [19]. Leurs caractéristiques sont référencées en annexe VI.2.

• **Circuit à relais :** c'est une carte d'interface entre l'ESP32 et les luminaires. Ils comprennent des relais 5v/ 220v, pour gérer l'alimentation des lampes. La figure suivante représente relais :



**Figure 22 :** Module relais 5 V à 2 canaux.

• **Luminaires :** Ce sont les lampes qui fournissent l'éclairage. Ils sont conçus par nos même partir d'un ruban LED de 220v. Nous avons monté sur une plaque d'aluminium afin d'absorbé la chaleur dissiper par les LEDs. Aussi nous avons diviser le luminaire en deux parties, afin d'allumer en mode veilleuse ou complet. La figure suivante représente luminaire :



**Figure 23 :** Luminaire.

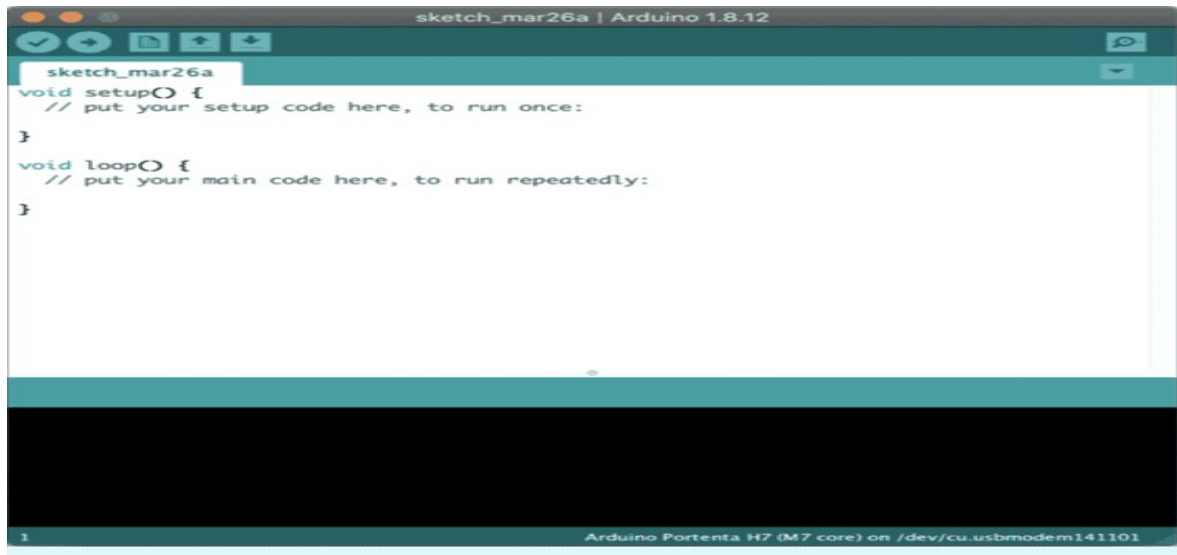


Interface périphérique	La carte ESP32 possède 38 broches GPIO (General Purpose Input/Output) configurables, dont certaines peuvent être utilisées pour les fonctions suivantes : <ul style="list-style-type: none"><li>- Entrée/sortie numérique</li><li>- Communication série (UART, SPI, I<sup>2</sup>C)</li><li>- Modulation de largeur d'impulsion (PWM)</li><li>- Conversion analogique-numérique (ADC)</li><li>- Conversion numérique-analogique (DAC)</li></ul>
Alimentation	DC 2,2 V à 3,6 V
Dimensions	51,2 mm x 27,6 mm
Développement	La carte ESP32 peut être programmée à l'aide de divers langages et environnements de développement, notamment : <ul style="list-style-type: none"><li>- Arduino IDE</li><li>- MicroPython</li><li>- PlatformIO</li></ul>

### **III.3 Plateforme de développement Arduino IDE**

Nous avons choisi cette plateforme de développement. Parce qu'elle est riche en bibliothèque développer par les internautes dans des différentes applications est la diversité de leurs bibliothèques. Aussi, nous disposons la possibilité de le programmé en C/C++. L'éditeur de cette plateforme contient quatre zones principales comme montré la figure ci-dessous [4] :

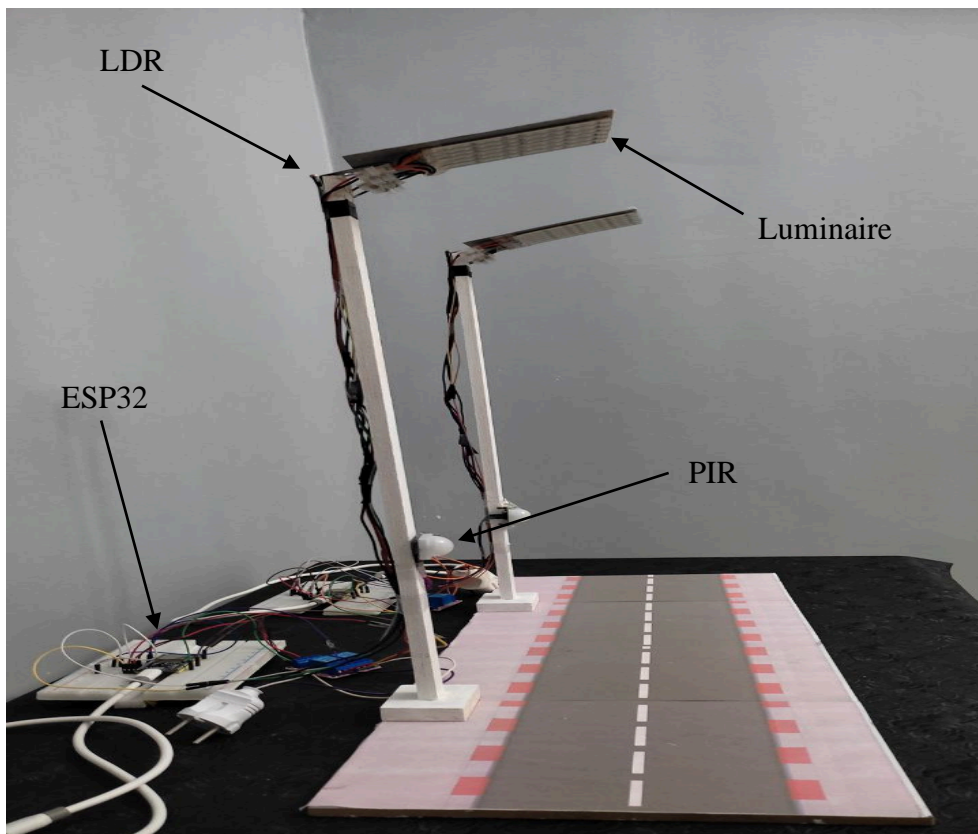
- Une barre d'outils avec des boutons pour les fonctions communes et une série de menus. Les boutons de la barre d'outils vous permettent de vérifier et de télécharger des programmes, de créer, d'ouvrir et d'enregistrer des croquis et d'ouvrir le moniteur série.
- L'éditeur de texte pour écrire votre code.
- La zone de message donne des commentaires lors de l'enregistrement et de l'exportation et affiche également les erreurs
- La console de texte affiche le texte généré par le logiciel Arduino (IDE), y compris les messages d'erreur complets et d'autres informations.
- Le coin inférieur droit de la fenêtre affiche la carte configurée et le port série.



**Figure 25 :** L'interface de l'IDE Arduino.

### III.4 Réalisations du notre projet

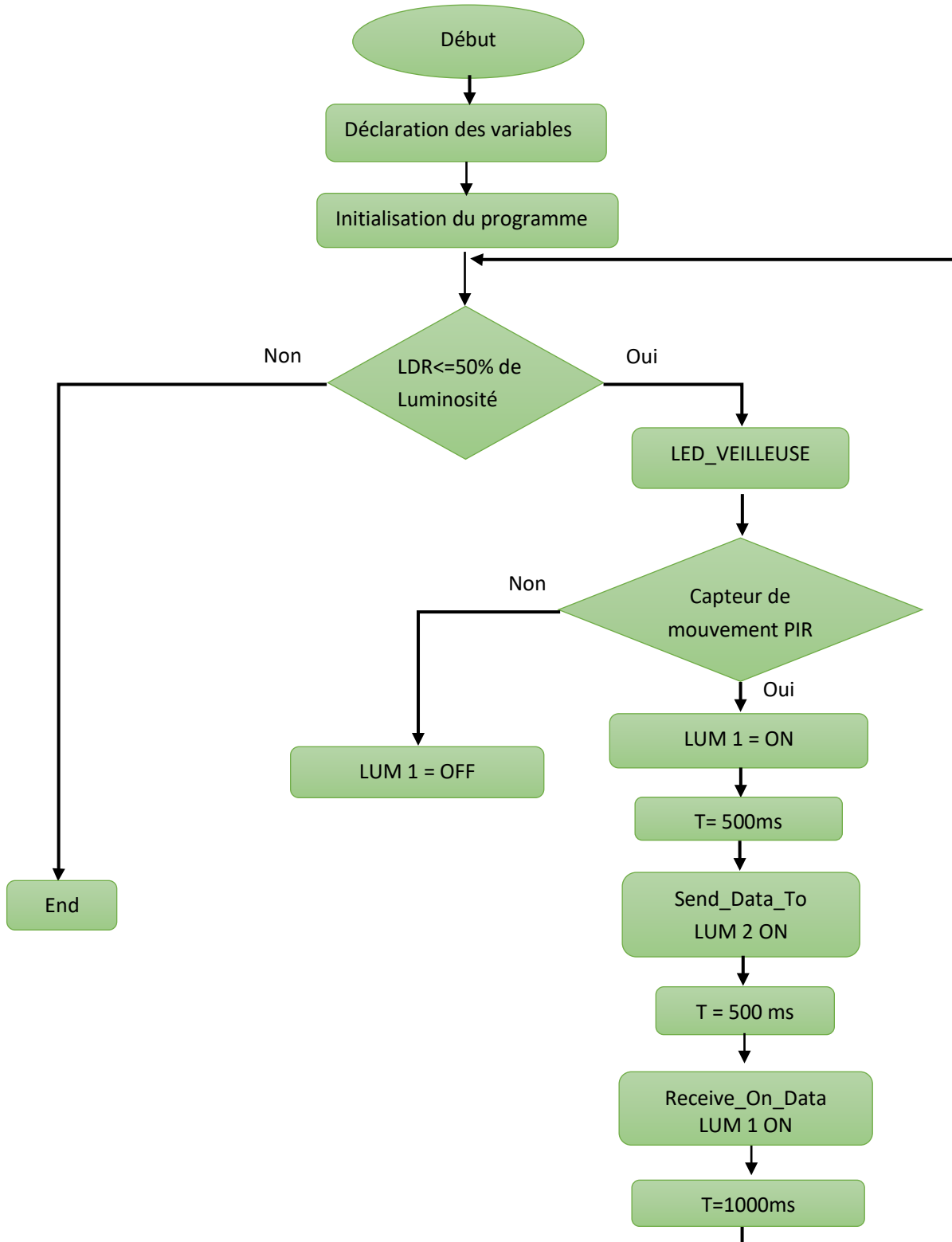
La figure suivante montre maquette du projet d'un système d'éclairage réalisé avec les composants cités précédemment.



**Figure 26 :** Réalisation finale du système d'éclairage intelligent.

### III.4.1 Organigramme du système d'éclairage intelligent

Dans l'organigramme complet, nous expliquons le fonctionnement du système d'éclairage public intelligent, ainsi nous détaillons leurs étapes.



**Figure 27 :** Organigramme de fonctionnement de l'éclairage public intelligent.

Avec :

**LDR** : Variable du capteur photorésistance.

**T** : Variable Temporisation en ms.

**LUM 1** : C'est une variable du PIR n°1 contenant deux états : allumé (on) et éteint (off).

**LUM 2** : C'est une variable du PIR n°2 contenant deux états : allumé (on) et éteint (off).

**Send\_Data\_To** : Envoie l'état logique « ON ou OFF » au luminaire n°2.

**Receive\_On\_Data** : Reçoit l'état logique « ON ou OFF » du luminaire n°2.

**LED\_VEILLEUSE** : Commande envoyée au luminaire de la luminosité faible.

### III.4.2 Fonctionnements selon les scénarios proposé

Le fonctionnement de base de notre projet est basé sur le contrôle automatique de l'éclairage des lampes à l'aide de deux cartes ESP32, utilisant un capteur de luminosité (photorésistance) et un capteur de mouvement (PIR) pour chaque carte ESP32, et la communication entre elles se fait via Wi-Fi.

#### III.4.2.1 Fonctionnement selon le mode du Scénario n°1

Avant de commencer à expliquer ce scénario, nous allons présenter un organigramme dans la figure suivante.

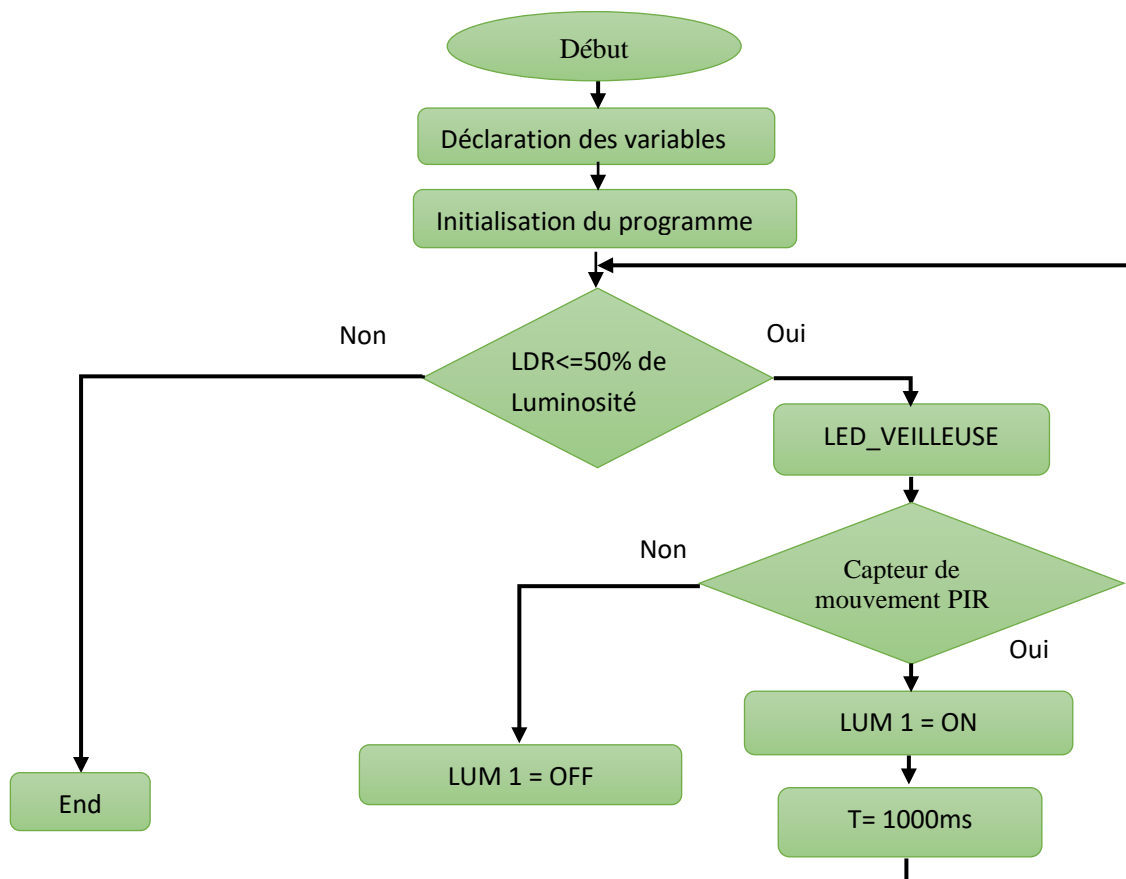


Figure 28 : Organigramme scénario de test.

Nous présentons le programme développé en C/C++ qui sera implémenté dans les deux systèmes d'éclairage intelligent à l'aide de la plateforme Arduino IDE.

▪ **Programme du luminaire n°1 et n°2 :**

```
const int ledPresence = 5; // GPIO pin pour la LED de présence
const int ledNightlight = 2; // GPIO pin pour la LED de veilleuse
const int pirSensor = 35; // GPIO pin pour le capteur PIR
const int ldrSensor = 34; // GPIO pin pour le capteur LDR

void setup() {
  pinMode(ledPresence, OUTPUT); // Configurer la LED de présence comme sortie
  pinMode(ledNightlight, OUTPUT); // Configurer la LED de veilleuse comme
  sortie
  pinMode(pirSensor, INPUT); // Configurer le capteur PIR comme entrée

  pinMode(ldrSensor, INPUT); // Configurer le capteur LDR comme entrée
}

void loop() {
  int pirState = digitalRead(pirSensor); // Lire l'état du capteur PIR

  int ldrState = analogRead(ldrSensor); // Lire l'état du capteur LDR

  // Détection de présence
  // Mode veilleuse basé sur le capteur LDR
  if (ldrState < 500) { // Ajuster la valeur seuil selon l'étalonnage du LDR
    digitalWrite(ledNightlight, HIGH); // Allumer la LED de veilleuse
  } else {

    digitalWrite(ledNightlight, LOW); // Éteindre la LED de veilleuse
    pirState = false; // Définir l'état du capteur PIR à faux (éteint)
  }

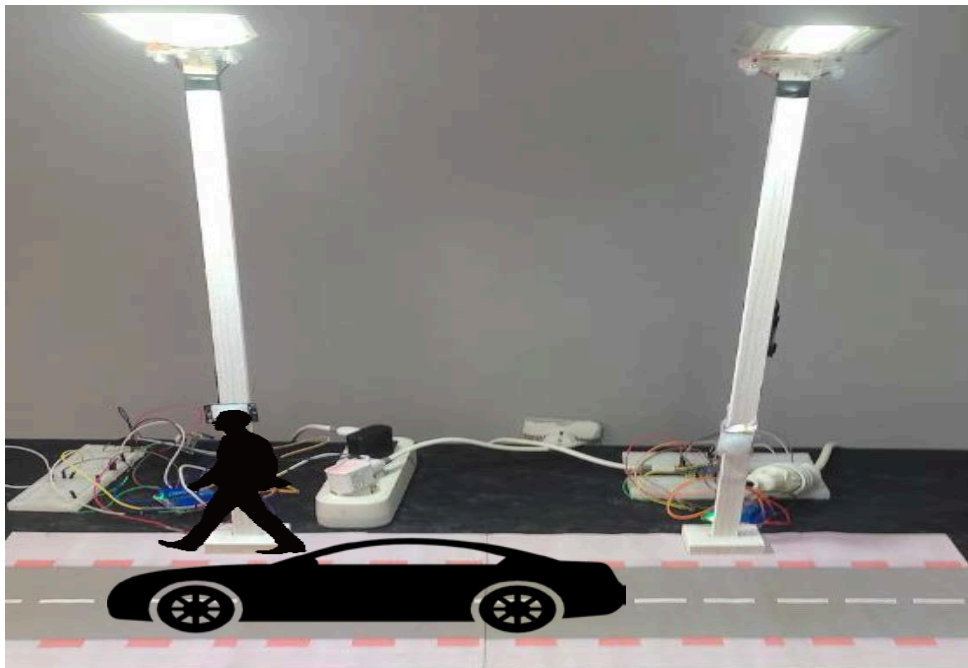
  if (pirState == HIGH) {
    digitalWrite(ledPresence, HIGH); // Allumer la LED de présence
    delay(1000); // Garder la LED allumée pendant 1 seconde
  } else {

    digitalWrite(ledPresence, LOW); // Éteindre la LED de présence
  }
  delay(100); // Délai entre les lectures des capteurs
}
```

Dans ce scénario, il y a deux systèmes d'éclairage publics intelligents, et l'un de ces systèmes est équipé d'un capteur PIR, LDR et un module relais à deux canaux. Le principe de fonctionnement de ce système est basé sur la lecture des capteurs et leur envoi à l'ESP32, puis l'ESP32 les envoie à relais afin d'allumer et d'éteindre les LED comme demandé, c'est-à-dire en

premier, Le LDR ajuste l'intensité de l'éclairage en fonction de la lumière ambiante, en d'autres termes s'éteindre automatiquement le luminaire pendant la journée et allumer automatiquement pendant la nuit, et deuxièmement le capteur PIR peut allumer les lumières lorsqu'une présence humaine est détectée, ce qui est utile pour économiser de l'énergie lorsque les rues sont vides.

Enfin, le module relais, commandé par l'ESP32, agit comme un interrupteur permettant de contrôler les lumières en deux niveaux distincts. Concrètement, un module à double canal peut gérer deux circuits de manière indépendante : un circuit pour les lumières activées par le capteur PIR (en mode veilleuse) et un autre pour celles contrôlées par le LDR, pour mieux comprendre l'interaction entre les différents composants de ce système d'éclairage intelligent. Vous trouverez ci-dessous une figure illustrant ce scénario :



**Figure 29** : Scénario de test.

#### **III.4.2.2 Fonctionnement selon le mode du Scénario n°2**

Dans ce scénario, en plus du précédent, nous utilisons le premier ESP32 comme maître et le deuxième ESP32 comme esclave, et la communication entre les deux luminaires se fait via le protocole ESP-NOW, permettant une gestion intelligente de l'éclairage public. Le maître envoie des instructions basées sur les données des capteurs PIR et LDR, et l'esclave active ou désactive les lumières via le module relais. Vous trouverez ci-dessous un organigramme et une figure illustrant ce scénario :

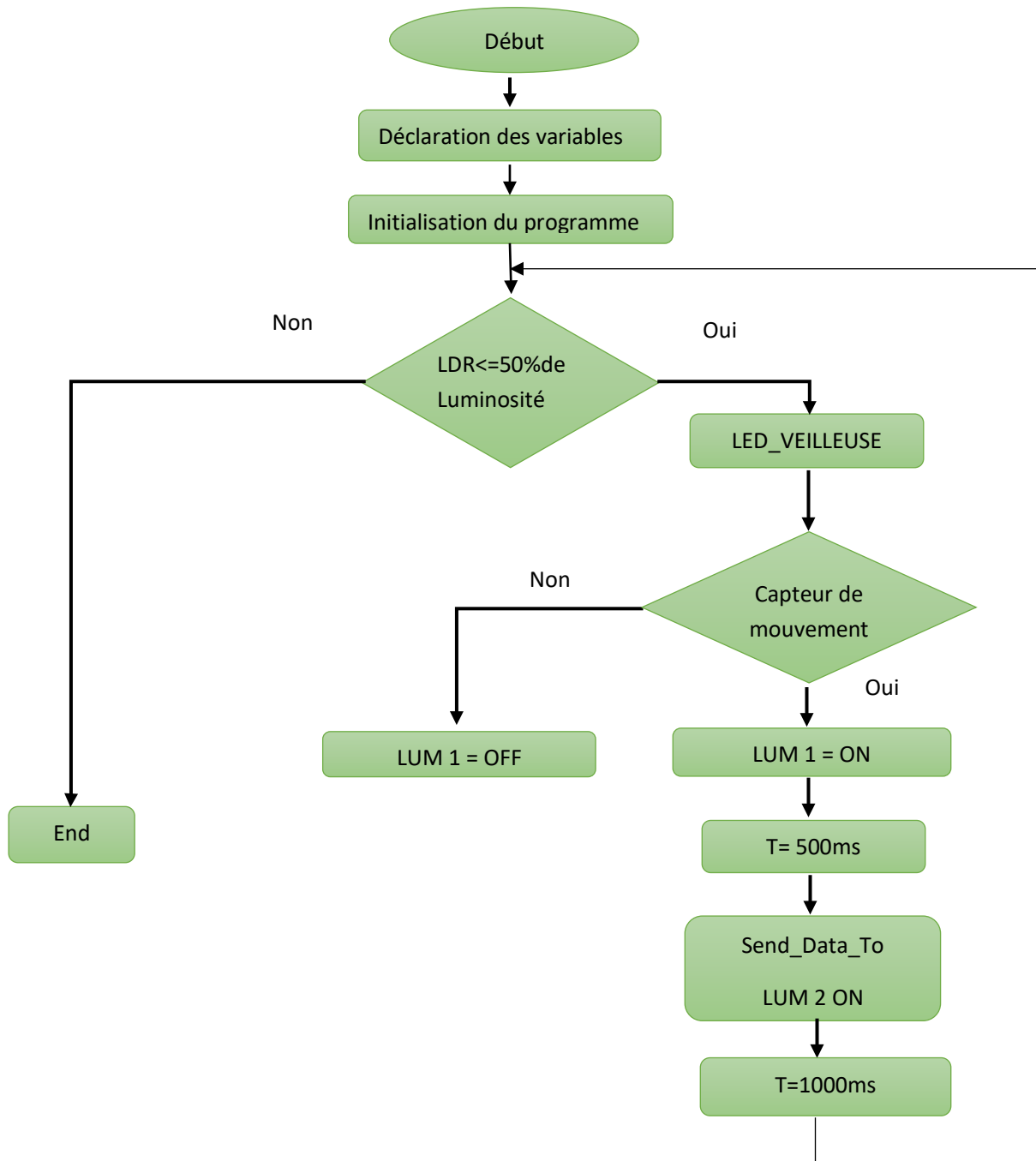
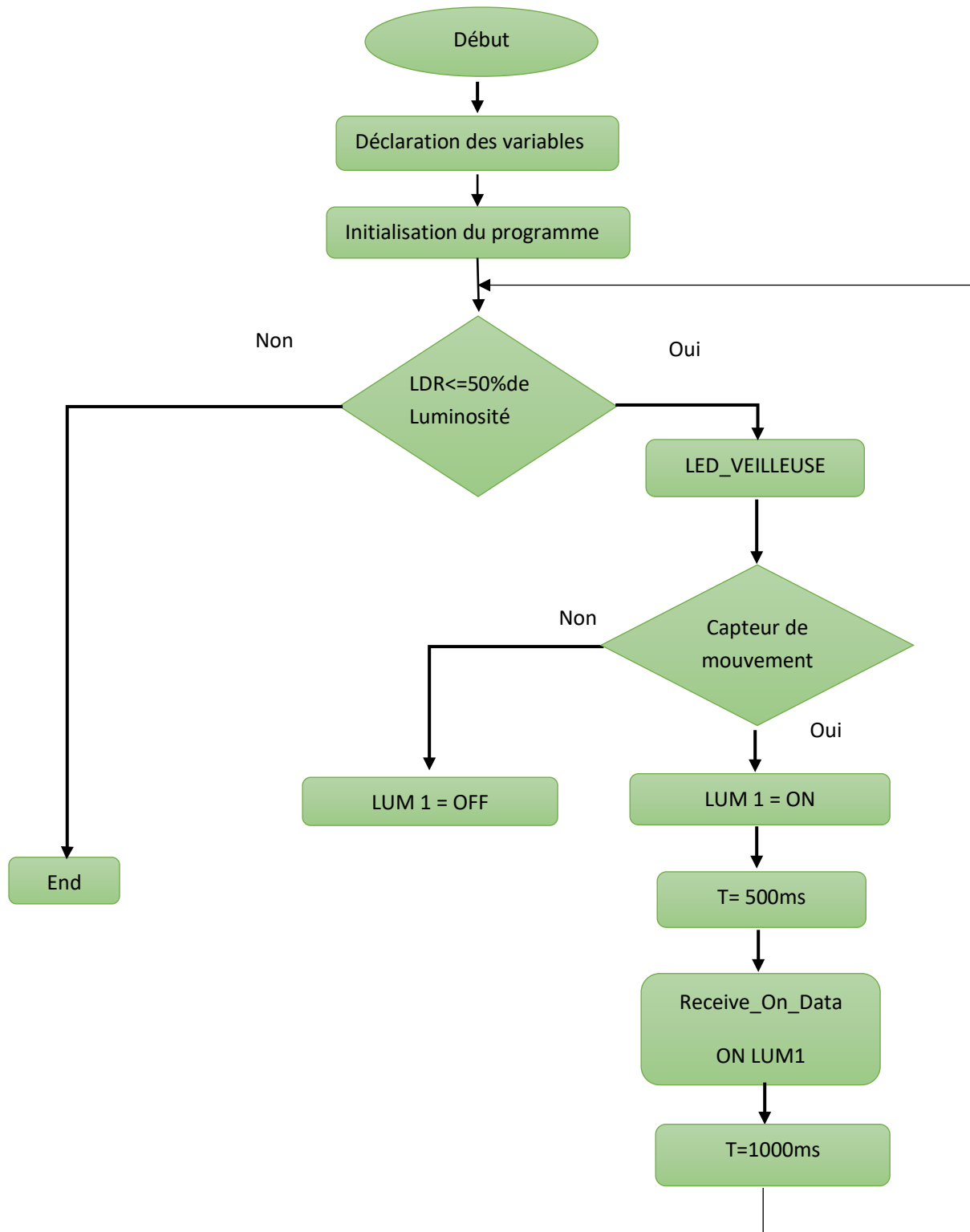
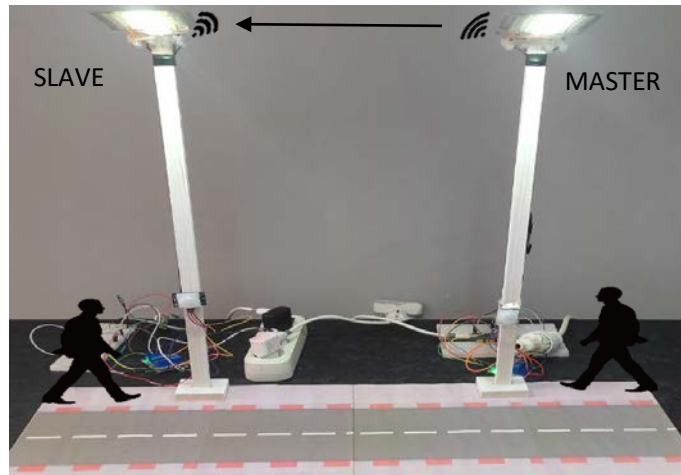


Figure 30 : Organigramme le premier ESP32 comme maître.



**Figure 31** : Organigramme le deuxième ESP32 comme esclave.

**ESP-NOW** : C'est un protocole de communication sans fil basé sur la couche liaison de données, qui réduit les cinq couches du modèle OSI à une seule. De cette façon, les données n'ont pas besoin d'être transmises via la couche réseau, la couche transport, la couche session, la couche présentation et la couche application. De plus, il n'est pas nécessaire d'avoir des entêtes de paquets ou des décompresseurs sur chaque couche, ce qui conduit à une réponse rapide réduisant le délai causé par la perte de paquets dans les réseaux encombrés [21].



**Figure 32** : ONE-WAY communication via ESP-NOW.

Nous présentons les programmes développés en C/C++ qui seront implémentés dans les deux systèmes d'éclairage intelligent comme suit [22].

▪ **Programme luminaire 1 comme Maitre :**

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

uint8_t broadcastAddress[] = {0xCC, 0xDB, 0xA7, 0x69, 0xBE, 0x98};
typedef struct struct_message {
bool Allumer; // Variable booléenne pour représenter l'état de la LED
} struct_message;
// Créer une structure de données nommée myData
struct_message myData;
// Définir les constantes pour les numéros GPIO
const int ledPresence = 5; // Numéro GPIO pour la LED de présence
const int ledNightlight = 2; // Numéro GPIO pour la LED de veilleuse
const int pirSensor = 35; // Numéro GPIO pour le capteur de mouvement PIR
const int ldrSensor = 34; // Numéro GPIO pour le capteur de lumière LDR
esp_now_peer_info_t peerInfo; // Informations sur le pair dans ESP-NOW
// Fonction de rappel lors de l'envoi des données
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
Serial.print("\r\nStatut du dernier paquet envoyé:\t");
```

```
Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Envoi réussi" : "Échec de
l'envoi");
}

void setup () {
Serial.begin (115200);
WiFi.mode (WIFI_STA);
pinMode (ledPresence, OUTPUT);
pinMode(ledNightlight, OUTPUT);
pinMode(pirSensor, INPUT);
pinMode(ldrSensor, INPUT);
if (esp_now_init() != ESP_OK) {
Serial.println("Erreur d'initialisation ESP-NOW");
return;
}

esp_now_register_send_cb(OnDataSent);

// Enregistrer le pair
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;
// Ajout du pair
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
Serial.println("Échec de l'ajout du pair");
return;
}
}

void loop() {
int pirState = digitalRead(pirSensor); // Lire l'état du capteur de mouvement
int ldrState = analogRead(ldrSensor); // Lire l'état du capteur de lumière
if (ldrState < 500) { // Ajuster le seuil selon la configuration du LDR
digitalWrite(ledNightlight, HIGH);

} else {
digitalWrite(ledNightlight, LOW);
pirState = false;
}
static bool lastPirState = LOW; // État précédent du PIR
if (pirState != lastPirState) {
myData.Allumer = (pirState == HIGH);
digitalWrite(ledPresence, myData.Allumer ? HIGH : LOW); // Allumer/éteindre la
LED de présence
esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *)&myData, sizeof(myData));
lastPirState = pirState; // Mettre à jour l'état précédent du PIR
}
delay(1000); // Délai d'une seconde
}
```

▪ **Programme lumineux 2 comme esclave :**

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

uint8_t broadcastAddress[] = {0xA8, 0x42, 0xE3, 0x49, 0xA6, 0xA4};

// Doit correspondre à la structure de données dans le récepteur
typedef struct struct_message {
  bool Allumer; // Variable booléenne pour représenter l'état de la LED
} struct_message;
// Créer une structure de données nommée myData
struct_message myData;
// Définir les constantes pour les numéros GPIO
const int ledPresence = 5; // Numéro GPIO pour la LED de présence
const int ledNightlight = 2; // Numéro GPIO pour la LED de veilleuse
const int ldrSensor = 34; // Numéro GPIO pour le capteur de lumière LDR

// Fonction de rappel lors de la réception des données
void OnDataRecv(const uint8_t * mac, const uint8_t *incomingData, int len) {
  memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData)); // Copier les données reçues
  dans myData

  if (myData.Allumer == true) {
    digitalWrite(ledPresence, HIGH); // Allumer la LED de présence
  } else {
    digitalWrite(ledPresence, LOW); // Éteindre la LED de présence
  }
}

void setup () {
  Serial.begin (115200);
  WiFi.mode (WIFI_STA);
  pinMode (ledPresence, OUTPUT);
  pinMode(ledNightlight, OUTPUT);
  pinMode(ldrSensor, INPUT);
  if (esp_now_init() != ESP_OK) {
    Serial.println("Erreur d'initialisation ESP-NOW");
    return;
  }

  esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
}

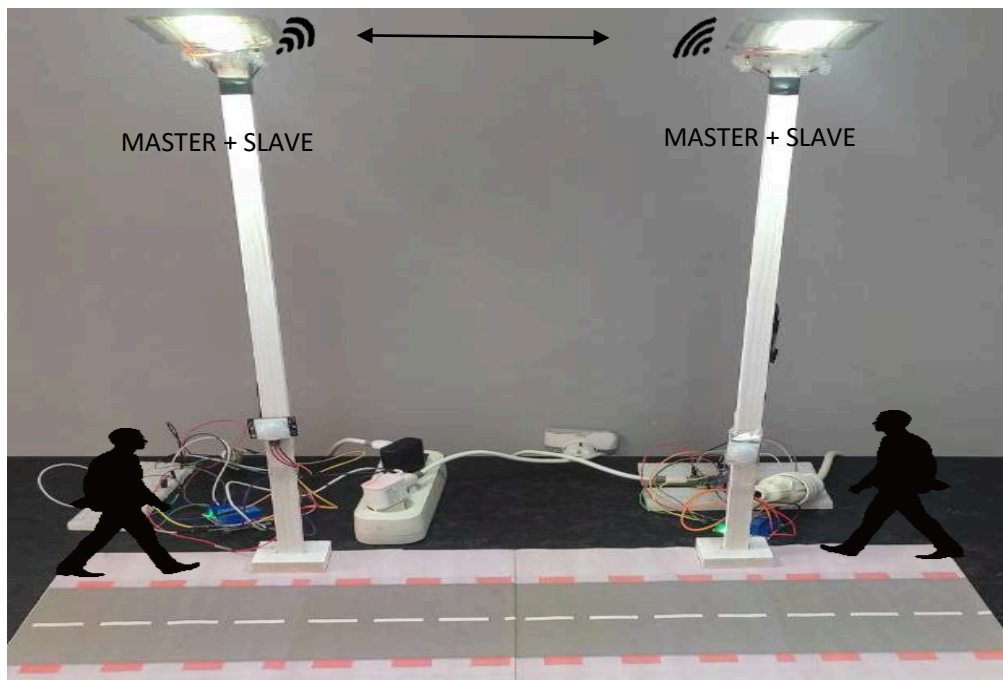
void loop() {

  int ldrState = analogRead(ldrSensor); // Lire l'état du capteur de lumière
  if (ldrState < 500) { // Ajuster le seuil selon la configuration du LDR
    digitalWrite(ledNightlight, HIGH);
  } else {
```

```
digitalWrite(ledNightlight, LOW);  
}  
  
delay(1000); // Délai d'une seconde  
}
```

### III.4.2.3 Fonctionnement selon le mode du scénario n°3

Dans ce scénario selon l'organigramme général de la figure 27, nous utilisons les deux ESP32 comme maître et esclave simultanément. Cela signifie que chacun envoie et reçoit des données au même temps. Cette configuration optimise l'utilisation de l'éclairage de manière plus précise. Les programmes de ce scénario sont montrés en annexe. La figure suivante montre les tests du scénario n°3.



**Figure 33 : TWO-WAY communication via ESP-NOW.**

Dans ce scénario, si une personne se promène dans une rue équipée de notre système d'éclairage, les capteurs détectent sa présence et allument les luminaires devant elle l'un après l'autre, tandis que ceux derrière passent en mode veilleuse progressivement. Cela assure une lumière suffisante là où elle est nécessaire, tout en économisant de l'énergie. Les programmes de ce scénario n° 3 sont référencés en annexe VI.3.

### III.5 Problèmes rencontrés pendant la réalisation de notre projet

Au cours de la réalisation de ce projet, nous avons rencontré plusieurs défis majeurs qui ont nécessité une attention particulière et des ajustements méthodologiques. L'un des problèmes les plus significatifs était :

- Au début du projet, nous sommes concentrés davantage sur la partie théorique que sur la partie pratique en raison du manque de composants de base à notre faculté, tels que le capteur de mouvement et la carte de test, ce qui nous a empêché de retarder la partie pratique.
- Il n'existe pas de gradateur ou de potentiomètre numérique disponible sur le marché pour contrôler la luminosité de l'éclairage et réduire la consommation d'énergie, nous avons donc utilisé Relay module 5V 2 Channel, nous avons donc divisé l'éclairage en deux parties, deux lignes de LED dans le premier canal et quatre lignes de LED dans le deuxième canal.

### III.6 Estimation du coût du projet réalisé

Le tableau suivant montre les frais d'achat des composants et des fournitures et des matériaux nécessaires à la réalisation de notre projet.

**Tableau 6 :** Estimation du coût de notre projet.

Désignation		Prix unitaire (DA)	Quantité	Total (DA)
<b>Composants Électroniques</b>	Carte ESP32	2300	2	4600
	LDR	50	2	100
	PIR	600	2	1200
	RELAY MODULE 5V 2 CHANNEL HIGH/LOW LEVEL TRIGGER WITH OPTOCOUPLER	800	2	1600
	RESISTANCE 1K	15	2	30
	Ruban LED IP67 Etanche 220V 230V 1M	1500	1	1500
<b>Matériaux utilisés</b>	DUAL-FEMALE SPLITTABLE JUMPER WIRE - 200MM	400	40PCS PACK	400
	DUAL-MALE SPLITTABLE JUMPER WIRE - 200MM	400	40PCS PACK	400
	CABLE MICRO USB (LUNA).	150	2	300

PLAQUE D'ESSAI POINTS 830	<b>700</b>	<b>2</b>	<b>1400</b>
Ruban LED IP67 Etanche 220V 230V 1M	<b>1500</b>	<b>1</b>	<b>1500</b>
Fiche mâle	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>200</b>
Chargeur USB 5V	<b>300</b>	<b>2</b>	<b>600</b>
CBLE 0.22; 220V 1M	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>200</b>
<b>Totaux</b>			<b>12530</b>

En comparant le coût de notre projet à celui des luminaires classiques et des luminaires intelligents existants sur le marché, comme nous l'avons établi précédemment, nous constatons que notre solution se distingue favorablement. Non seulement notre système d'éclairage intelligent est plus économique que les autres solutions intelligentes, mais il est également comparable, voire inférieur, au coût des luminaires classiques. Cela démontre non seulement l'efficacité et la rentabilité de notre projet, mais aussi son potentiel à transformer la gestion de l'éclairage public de manière significative et durable.

### **III.7 Conclusion**

Ce dernier chapitre commence par une description détaillée du matériel et des paramètres qui seront utilisés dans notre projet.

Nous avons réalisé un système de contrôle intelligent de l'éclairage public mettant en avant ses caractéristiques techniques, ses fonctions et les interactions prévues. Nous avons réalisé deux luminaires comme montrés précédemment dans les photos de ce chapitre, et cela, demande plus de temps afin de développer les algorithmes pour chaque scénario. Pour cette raison, nous nous sommes limités à seulement deux systèmes d'éclairage intelligents. Nous avons également présenté plusieurs organigrammes pour chaque scénario et les traduisons en programme C/C++ développé par la plateforme ARDUINO IDE. Tout cela a conduit à la mise en œuvre pratique d'un dispositif automatique de contrôle de l'éclairage public à l'aide d'une carte de développement ESP32.

Nous finalisons notre chapitre en présentant quelques problèmes rencontrés durant cette étude et réalisation d'un type d'éclairage parmi les modèles existant dans les villes intelligentes. Ainsi, nous montrons le coût de réalisation du système d'éclairage, afin de montrer et les comparés par rapport aux systèmes classiques.

# **Conclusion générale**

## IV. Conclusion générale

Ce projet a permis de développer et de mettre en œuvre un système intelligent de gestion de l'éclairage public utilisant une carte ESP32. Ce système vise à optimiser la consommation d'énergie, à améliorer la sécurité et à offrir une gestion plus efficace des infrastructures d'éclairage urbain. En intégrant des capteurs de mouvement et de luminosité, ainsi que des technologies de communication modernes, le système peut ajuster automatiquement l'intensité lumineuse en fonction des conditions environnantes et des besoins spécifiques des utilisateurs.

Le travail effectué montre que l'utilisation de technologies avancées dans les systèmes d'éclairage public peut apporter des avantages significatifs, non seulement en termes d'économie d'énergie, mais aussi en termes de durabilité et de confort pour les habitants. La réalisation pratique de ce projet a démontré la faisabilité et l'efficacité de telles solutions intelligentes.

En outre, ce projet ouvre la voie à des améliorations futures, telles que l'intégration de fonctions supplémentaires pour la surveillance environnementale et la gestion proactive de la maintenance. La continuité de ce type de développement contribuera sans doute à la modernisation des infrastructures urbaines, rendant les villes plus intelligentes et plus durables.

- Les perspectives d'amélioration et de développement de ce système sont nombreuses :
  - Fonctionnalité étendue : l'intégration de capteurs supplémentaires (tels que des capteurs de qualité de l'air ou de bruit) et un afficher LCD pour afficher les données comme température, l'heure et la publicité, Il permet de créer un réseau de capteurs urbain multifonctionnel, offrant des données précieuses pour la gestion de la ville..
  - Intégration avec les réseaux intelligents : La connexion du système d'éclairage aux réseaux électriques intelligents peut optimiser la consommation d'énergie en fonction des besoins et de la disponibilité des énergies renouvelables.
  - Avec le Li-Fi (transmission de l'information à travers les ondes lumineuses), les dernières générations de LEDs sont aujourd'hui capables de transmettre des données numériques. Cette innovation permettrait donc aux utilisateurs de se connecter à Internet sous un luminaire.
  - Développement d'interface utilisateur : une application mobile ou une interface Web peut être développée pour permettre aux gestionnaires de la ville et aux citoyens de contrôler et de surveiller l'éclairage public en temps réel.

- Analyse des données et IA : l'utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique peut améliorer la gestion prédictive et proactive de l'éclairage, en analysant les données collectées pour prédire les pannes de service et améliorer la maintenance.
- Sécurité et confidentialité : Il sera nécessaire de renforcer les mesures de sécurité pour protéger les données collectées par les capteurs, assurer la confidentialité des informations personnelles des citoyens, et lire les adresses MAC des dispositifs pour des raisons de sécurité.

En conclusion, ce projet considéré comme une base d'une ville intelligente et plus durable, où l'éclairage public ne se contente pas d'éclairer, mais participe activement à la gestion efficace et environnementale de l'espace urbain. Les perspectives de développement sont vastes et prometteuses, ouvrant la voie à de nouvelles innovations dans le domaine des infrastructures urbaines intelligentes.

## V. Référence bibliographique

- [1] BELMEESABIH Ibrahim et BENGHENIA Mohamed Amine. Mémoire de fin d'études présenter pour obtenir le diplôme de master, Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage public.
- [2] CEREFÉ (Centre de Recherche en Énergie Renouvelable et d'Efficacité Energétique)., « Eclairage Public en Algérie, » 2021.
- [3] Mehalaine Nourelhouda, Mémoire de fin d'études présenté pour obtenir le diplôme de master, Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage public et surveillance de quelques paramètres atmosphériques.
- [4] MEZIANE Nadia, Mémoire de fin d'études présenté pour obtenir le diplôme de master, Réalisation de la commande d'un système d'éclairage en utilisant l'Arduino.
- [5] L. Simonot, « De la lampe à huile aux LED : histoire physico-chimique de l'éclairage artificiel, » 2021.
- [6] <https://www.playhooky.fr/retro/evolution-eclairage/>
- [7] [https://fr.vikidia.org/wiki/Ampoule\\_%C3%A9lectrique](https://fr.vikidia.org/wiki/Ampoule_%C3%A9lectrique)
- [8] Zergaoui Mohamed Reda et Selmani Mahmoud Abdessalam ,Mémoire de fin d'études présenter pour obtenir le diplôme de master, Développement et réalisation d'un système de supervision en temps réel de l'éclairage public.
- [9] <https://www.aecilluminazione.fr/eclairage-public-intelligent-lumieres-aec-smart-system/>
- [10] <https://www.novea-energies.com/produits/gamme-de-solutions-techniques/enoa/>
- [11] <https://raphaelarmand.fr/l-histoire-de-l-eclairage-la-prehistoire?lang=fr>
- [12] <http://www.cpscl.com.tn/upload/telechargement/telechargement659.pdf>

- [13] <https://www.tereva-direct.fr/document/A-545579-tereva-experts-quels-sont-les-differents-types-de-sources-lumineuses->
- [14] <https://www.amazon.fr/Lampadaire-dext%C3%A9rieur-plastique-transparent-compatible/dp/B09441C5KR?th=1>
- [15] <https://leclairage.fr/irc/>
- [16] <https://www.lumimart.ch/fr/appliques>
- [17] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html>
- [18] <https://btp-corner.fr/cout-lampadaire-eclairage-public/>
- [19] <https://www.framboise314.fr/scratch-raspberry-pi-composants/module-detecteur-de-presence-pir/>
- [20] <https://www.eclairagepublic.org/2024/02/eclairage-public-intelligent.html#section3>
- [21] <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>
- [22] <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-esp32-arduino-ide/>

# VI. Annexes

## VI.1 Brochage ESP32

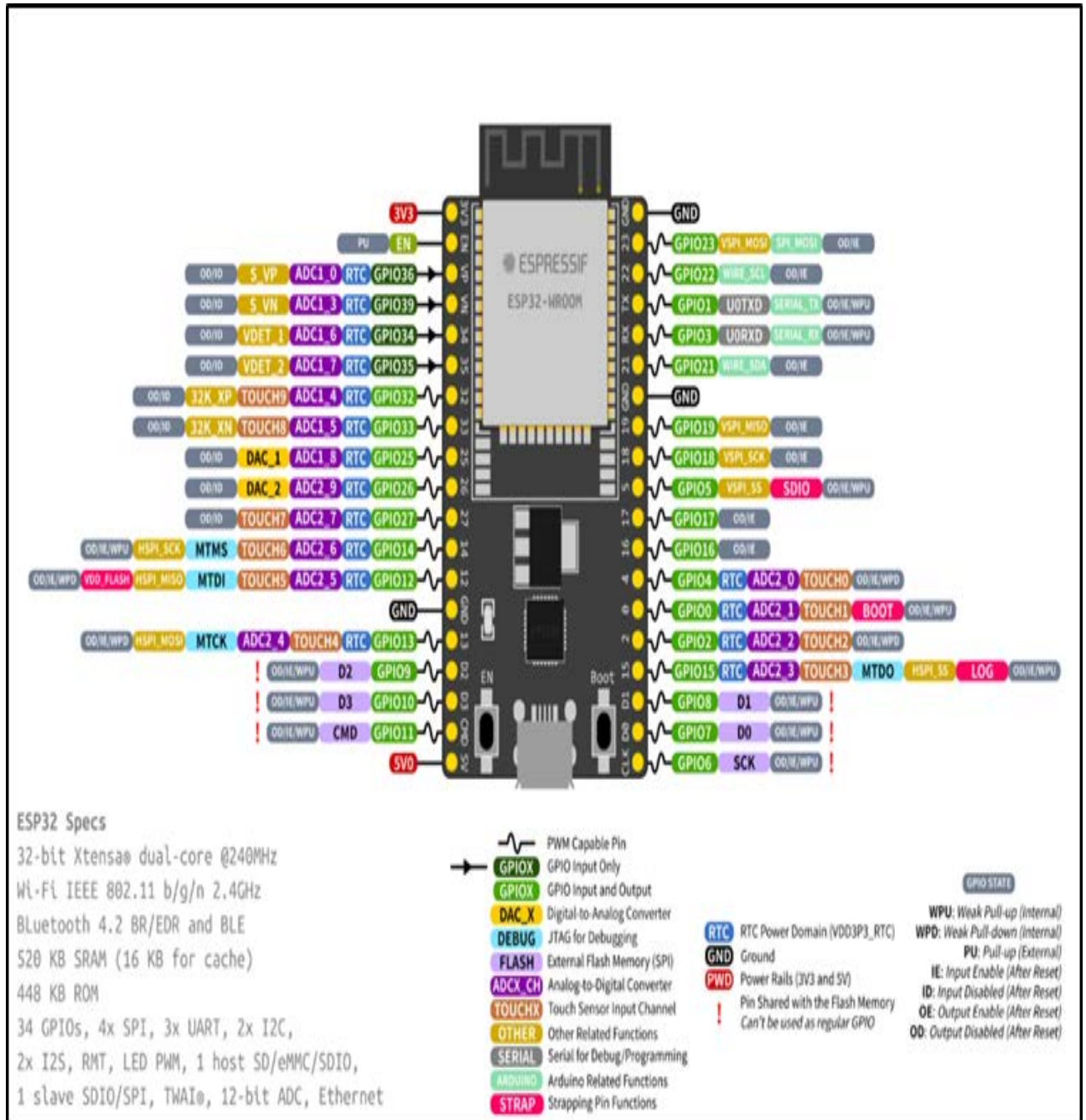
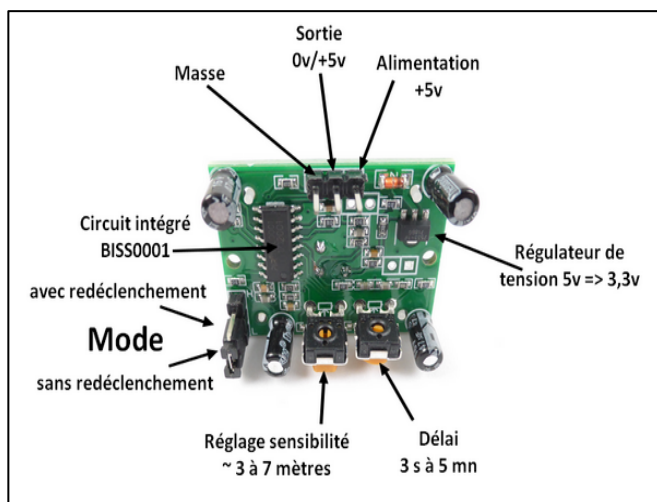


Figure 34 : Description de la carte ESP32.

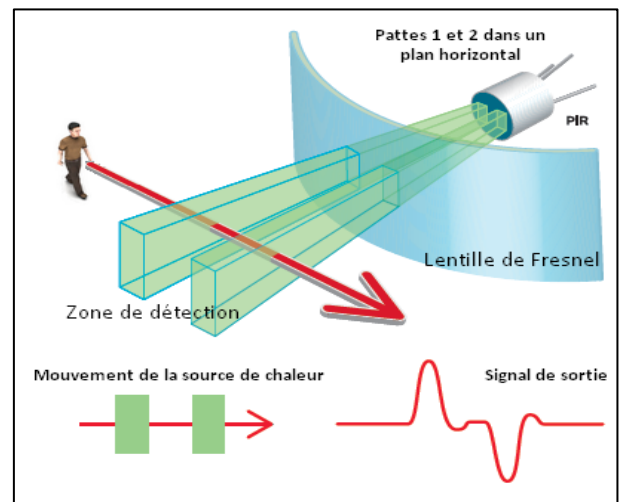
## VI.2 Capteur de mouvement PIR

Les caractéristiques spécifiques du capteur de mouvement PIR[19] :

- Plage de tension d'alimentation : 5V à 20V
- Consommation électrique : 65mA
- Sortie TTL : 3.3V (niveau haut) et 0V (niveau bas)
- Durée de sortie ajustable : de 3 secondes à 5 minutes
- Temps de verrouillage (Ti) : réglable de 0.2 seconde à 3 secondes selon le fabricant
- Modes de déclenchement : avec ou sans redéclenchement
- Sensibilité : angle de détection inférieur à 120 degrés, portée jusqu'à 7 mètres
- Plage de température de fonctionnement : de -15°C à +70°C



a)



b)

**Figure 35 :** a) Capteur de mouvement PIR, b) Fonctionnement de capteur de mouvement PIR [19].

### VI.3 Programme Maitre/Esclave du scenario n°3 pour système n°1.

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>
// Remplacez par l'adresse MAC du récepteur
uint8_t broadcastAddress[] = {0xCC, 0xDB, 0xA7, 0x69, 0xBE, 0x98};
// Doit correspondre à la structure de données dans le récepteur
typedef struct struct_message {
    bool Allumer; // Variable booléenne pour représenter l'état de la LED
} struct_message;
// Créer une structure de données nommée myData
struct_message myData;
// Définir les constantes pour les numéros GPIO
const int ledPresence = 5; // Numéro GPIO pour la LED de présence
const int ledNightlight = 2; // Numéro GPIO pour la LED de veilleuse
const int pirSensor = 35; // Numéro GPIO pour le capteur de mouvement PIR
const int ldrSensor = 34; // Numéro GPIO pour le capteur de lumière LDR
esp_now_peer_info_t peerInfo; // Informations sur le pair dans ESP-NOW
// Fonction de rappel lors de l'envoi des données
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print("\r\nStatut du dernier paquet envoyé:\t");
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Envoi réussi" : "Échec de l'envoi");
}
// Fonction de rappel lors de la réception des données
void OnDataRecv(const uint8_t * mac, const uint8_t *incomingData, int len) {
    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData)); // Copier les données reçues dans
myData
    delay(500);
    if (myData.Allumer == true) {
        digitalWrite(ledPresence, HIGH); // Allumer la LED de présence
    } else {
        digitalWrite(ledPresence, LOW); // Éteindre la LED de présence
    }
}
```

```

}
}
Void setup () {
Serial.begin (115200);
WiFi.mode (WIFI_STA);
pinMode (led Presence, OUTPUT);
pinMode(led Nightlight, OUTPUT);
pinMode(pirSensor, INPUT);
pinMode(ldrSensor, INPUT);
if (esp_now_init() != ESP_OK) {
Serial.println("Erreur d'initialisation ESP-NOW");
return;
}
esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
Serial.println("Échec de l'ajout du pair");
return;
}
}
void loop() {
int pirState = digitalRead(pirSensor); // Lire l'état du capteur de mouvement
int ldrState = analogRead(ldrSensor); // Lire l'état du capteur de lumière
if (ldrState < 500) { // Ajuster le seuil selon la configuration du LDR
digitalWrite(ledNightlight, HIGH);
} else {
digitalWrite(ledNightlight, LOW);
pirState = false;
}
}

```

```

static bool lastPirState = LOW; // État précédent du PIR
if (pirState != lastPirState) {
myData.Allumer = (pirState == HIGH);
digitalWrite(ledPresence, myData.Allumer ? HIGH : LOW); // Allumer/éteindre la LED de
présence
esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *)&myData, sizeof(myData));
lastPirState = pirState; // Mettre à jour l'état précédent du PIR
}
delay(1000); // Délai d'une seconde
}

```

### VI.3 Programme Maître/Esclave du scénario n°3 pour système n°2.

```

#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>
// Remplacez par l'adresse MAC du récepteur
uint8_t broadcastAddress[] = {0xA8, 0x42, 0xE3, 0x49, 0xA6, 0xA4};
// Doit correspondre à la structure de données dans le récepteur
typedef struct struct_message {
bool Allumer; // Variable booléenne pour représenter l'état de la LED
} struct_message;
// Créer une structure de données nommée myData
struct_message myData;
// Définir les constantes pour les numéros GPIO
const int ledPresence = 5; // Numéro GPIO pour la LED de présence
const int ledNightlight = 2; // Numéro GPIO pour la LED de veilleuse
const int pirSensor = 33; // Numéro GPIO pour le capteur de mouvement PIR
const int ldrSensor = 34; // Numéro GPIO pour le capteur de lumière LDR
esp_now_peer_info_t peerInfo; // Informations sur le pair dans ESP-NOW
// Fonction de rappel lors de l'envoi des données
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
Serial.print("\r\nStatut du dernier paquet envoyé:\t");

```

```

Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Envoi réussi" : "Échec de l'envoi");
}
// Fonction de rappel lors de la réception des données
void OnDataRecv(const uint8_t * mac, const uint8_t *incomingData, int len) {
  memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData)); // Copier les données reçues dans
myData
  delay(500);
  if (myData.Allumer == true) {
    digitalWrite(ledPresence, HIGH); // Allumer la LED de présence
  } else {
    digitalWrite(ledPresence, LOW); // Éteindre la LED de présence
  }
}
}

Void setup () {
  Serial.begin (115200);
  WiFi.mode (WIFI_STA);
  pinMode (led Presence, OUTPUT);
  pinMode(led Nightlight, OUTPUT);
  pinMode(pirSensor, INPUT);
  pinMode(ldrSensor, INPUT);
  if (esp_now_init() != ESP_OK) {
    Serial.println("Erreur d'initialisation ESP-NOW");
    return;
  }
  esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
  esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
  memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
  peerInfo.channel = 0;
  peerInfo.encrypt = false;
  if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
    Serial.println("Échec de l'ajout du pair");
    return;
  }
}

```

```
}  
}  
void loop() {  
  int pirState = digitalRead(pirSensor); // Lire l'état du capteur de mouvement  
  int ldrState = analogRead(ldrSensor); // Lire l'état du capteur de lumière  
  if (ldrState < 500) { // Ajuster le seuil selon la configuration du LDR  
    digitalWrite(ledNightlight, HIGH);  
  } else {  
    digitalWrite(ledNightlight, LOW);  
    pirState = false;  
  }  
  static bool lastPirState = LOW; // État précédent du PIR  
  if (pirState != lastPirState) {  
    myData.Allumer = (pirState == HIGH);  
    digitalWrite(ledPresence, myData.Allumer ? HIGH : LOW); // Allumer/éteindre la LED de  
    présence  
    esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *)&myData, sizeof(myData));  
    lastPirState = pirState; // Mettre à jour l'état précédent du PIR  
  }  
  delay(1000); // Délai d'une seconde  
}
```