



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par :

HEMARID Imene
BENHADOUGA Hamza

Thème

**Maitrise de la demande et gestion de
l'énergie dans le secteur de l'éclairage
public**

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 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

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

Résumé

Dans une commune, un bon éclairage est nécessaire pour la sécurité et le confort des usagers de l'espace public. Mais l'éclairage public représente 40 % de la consommation nationale d'énergie et constitue une grande partie du budget de la commune, selon la déclaration du ministre de l'énergie Mustapha Guitouni en 2018, en qualifiant cela de gaspillage ».

C'est pourquoi, aujourd'hui il est devenu indispensable d'œuvrer pour favoriser un éclairage plus performant, respectueux de l'environnement, et moins consommateur d'énergie. Dans ce contexte une étude sur la consommation et la gestion de l'énergie a été établie.

L'objectif de ce travail consiste en premier lieu en la maîtrise de la demande de l'énergie de l'éclairage public, pour cela nous avons opté pour le remplacement des anciens luminaires existants jugés énergivores et surdimensionnés par d'autres luminaires plus efficaces, plus performants, en adaptant la puissance d'éclairage.

En second lieu, un système de gestion de l'énergie a été établi pour une installation d'éclairage public en mode connecté, à base de panneaux photovoltaïques et un système de stockage par batteries, afin d'optimiser l'efficacité énergétique, les besoins en lumière et obtenir un fonctionnement fiable, durable et économique.

Mots Clé :Éclairage public, efficacité énergétique, maîtrise de la demande (MDE), gestion de l'énergie.

Abstract

In a commune, good lighting is necessary for the safety and comfort of users of public space. But public lighting accounts for 40% of national energy consumption and constitutes a large part of the commune's budget, according to the statement of the Minister of Energy Mustapha Guitouni in 2018, calling it wasteful."

Therefore, today it has become essential to work to promote a more efficient lighting, environmentally friendly, and less energy consuming. In this context, a study on the consumption and management of energy has been established.

The objective of this work consists first of all in the control of the energy demand of the public lighting, for that we opted for the replacement of the old existing luminaries judged energy-consuming and oversized by other more effective luminaries, more powerful, by adapting the lighting power.

Secondly, an energy management system was established for a connected public lighting installation, based on photovoltaic panels and a battery storage system, in order to optimize the energy efficiency, the optimize energy efficiency, lighting needs and obtain a reliable, sustainable and economical operation.

Key words : Public lighting, energy efficiency, demand side management (DSM), energy management.

ملخص

في البلدية، تعتبر الإضاءة الجيدة ضرورية لسلامة وراحة مستخدمي الأماكن العامة. لكن الإنارة العامة تستحوذ على 40٪ من الاستهلاك الوطني للطاقة وتشكل جزءًا كبيرًا من ميزانية البلدية، بحسب تصريح وزير الطاقة مصطفى قيتوني في 2018، واصفا إياه "بالهدر".

لهذا السبب، أصبح من الضروري اليوم العمل على تعزيز إضاءة أكثر كفاءة تحترم البيئة وتستهلك طاقة أقل. في هذا السياق، تم إجراء دراسة حول استهلاك الطاقة وإدارتها

يتمثل الهدف من هذا العمل أولاً وقبل كل شيء في التحكم في الطلب على الطاقة للإضاءة العامة، لذلك اخترنا استبدال وحدات الإنارة القديمة الحالية التي تعتبر كثيفة الاستخدام للطاقة وذات حجم كبير من قبل وحدات الإنارة الأخرى الأكثر كفاءة، والأكثر فعالية، من خلال التكيف قوة الإضاءة

ثانيًا، تم إنشاء نظام إدارة الطاقة لتركيب الإضاءة العامة في الوضع المتصل، استنادًا إلى الألواح الكهروضوئية ونظام تخزين البطاريات، من أجل تحسين كفاءة الطاقة والاحتياجات في الضوء وتحقيق عملية موثوقة وطويلة الأمد واقتصادية.

الكلمات المفتاحية: الإضاءة العامة، كفاءة الطاقة، إدارة جانب الطلب ، إدارة الطاقة.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Résumé | vi |
| Introduction générale | 1 |
| 1 État de l'art sur l'éclairage public | 3 |
| 1.1 Introduction | 3 |
| 1.2 Définition de l'éclairage | 3 |
| 1.3 Éclairage public | 4 |
| 1.4 Domaines d'utilisation d'éclairage | 4 |
| 1.4.1 Éclairage routier | 4 |
| 1.4.2 Éclairage des espaces publics | 5 |
| 1.4.3 Éclairage des espaces sportifs | 5 |
| 1.4.4 Éclairage d'ambiance | 6 |
| 1.5 Objectifs des installations EP | 6 |
| 1.6 Caractéristiques de l'équipement d'éclairage | 6 |
| 1.7 Fonctions de l'éclairage : | 7 |
| 1.8 Modes de fonctionnement | 7 |
| 1.8.1 Fonctionnement permanent | 7 |
| 1.8.2 Fonctionnement semi-permanent | 7 |
| 1.8.3 Fonctionnement par régulation | 8 |
| 1.9 Matériel d'éclairage public | 8 |
| 1.9.1 Lampes | 8 |
| 1.9.2 Lampadaire | 12 |
| 1.9.3 Lampadaires solaires autonomes | 13 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.10 | Vocabulaire de l'éclairage | 14 |
| 1.10.1 | Grandeurs photométriques | 14 |
| 1.10.2 | Propriétés des couleurs de la source de lumière | 17 |
| 1.10.3 | Luminaire | 18 |
| 1.11 | Réseau électrique d'éclairage public | 20 |
| 1.11.1 | Armoires | 20 |
| 1.11.2 | Supports | 21 |
| 1.11.3 | Système d'appareillage | 21 |
| 1.11.4 | Mâts et candélabres (mât + crosse) | 22 |
| 1.11.5 | Câble | 22 |
| 1.12 | Systèmes d'alimentation par ballasts | 24 |
| 1.12.1 | Ballasts électroniques | 24 |
| 1.12.2 | Ballasts ferromagnétique | 24 |
| 1.13 | Alimentation des réseaux d'éclairage public | 25 |
| 1.13.1 | basse tension | 25 |
| 1.13.2 | Moyenne tension | 25 |
| 1.14 | Consommation d'éclairage publique en Algérie | 25 |
| 1.15 | Impact de l'éclairage public | 26 |
| 1.15.1 | Impact sur la faune et la flore | 26 |
| 1.15.2 | Impact sur la santé humaine | 26 |
| 1.15.3 | Impact sur nos ressources énergétiques | 27 |
| 1.15.4 | Impact économique | 27 |
| 1.16 | Conclusion | 27 |
| 2 | Maîtrise de la demande d'énergie | 28 |
| 2.1 | Introduction | 28 |
| 2.2 | Définition | 28 |
| 2.3 | Principe de la maîtrise de la demande de l'énergie | 29 |
| 2.4 | Objectif de la MDE | 29 |
| 2.5 | Stratégies de la maîtrise de la demande de l'énergie | 30 |
| 2.6 | MDE entre la routine et la motivation | 31 |
| 2.7 | Efficacité énergétique de l'éclairage public | 31 |
| 2.8 | Principes d'efficacité des installations d'éclairage public | 33 |
| 2.8.1 | Répondre aux besoins | 33 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.8.2 | Minimiser le coût global | 33 |
| 2.8.3 | Minimiser l'impact sur l'environnement | 33 |
| 2.9 | Actions typiques de la MDE | 33 |
| 2.9.1 | Heures de fonctionnement | 34 |
| 2.9.2 | Nombre de luminaires | 34 |
| 2.9.3 | Luminaires | 34 |
| 2.9.4 | Système de commande | 35 |
| 2.9.5 | Maintenance | 35 |
| 2.10 | Critère de choix des équipements | 35 |
| 2.10.1 | Qualité du luminaire | 35 |
| 2.10.2 | Performance du luminaire | 36 |
| 2.11 | Contribution de la MDE pour diminuer la pollution lumineuse | 36 |
| 2.12 | Méthode de pré dimensionnement d'éclairage public | 37 |
| 2.12.1 | Classification des chaussées | 37 |
| 2.12.2 | Détermination de la luminance de la chaussée | 38 |
| 2.12.3 | Choix du type d'implantation | 38 |
| 2.12.4 | Détermination du rapport R | 39 |
| 2.12.5 | Détermination du facteur d'utilisation U | 39 |
| 2.12.6 | Détermination du facteur vieillissement | 40 |
| 2.12.7 | Calcul du flux des lampes | 40 |
| 2.13 | Normes d'éclairage public | 40 |
| 2.14 | Étude de cas | 42 |
| 2.14.1 | Présentation de l'entreprise ERMESO | 42 |
| 2.14.2 | État actuel de la rue Mekki Khelifa | 43 |
| 2.14.3 | Composants de l'armoire EP | 43 |
| 2.14.4 | Calcul de la chute de tension | 44 |
| 2.14.5 | Consommation de la rue Mekki khelifa en énergie électrique | 45 |
| 2.15 | Étude photométrique (Méthode classique) | 46 |
| 2.16 | Étude photométrique avec DIALux | 48 |
| 2.16.1 | Logiciel DIALux | 48 |
| 2.16.2 | Simulation de l'état actuel avec des lampes SHP de 250W | 48 |
| 2.16.3 | Solutions proposés | 54 |
| 2.17 | Conclusion | 57 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Dimensionnement d'un système d'éclairage public | 58 |
| 3.1 | Introduction | 58 |
| 3.2 | Éclairage public solaire | 58 |
| 3.3 | Module photovoltaïque | 59 |
| 3.3.1 | Technologies des cellules solaire | 59 |
| 3.4 | Batteries | 63 |
| 3.4.1 | Types de batteries solaires | 63 |
| 3.4.2 | Caractéristiques des batteries | 65 |
| 3.5 | Régulateur | 67 |
| 3.5.1 | Régulateur PWM | 67 |
| 3.5.2 | Régulateur MPPT | 68 |
| 3.6 | Dimensionnement d'éclairage public solaire | 69 |
| 3.7 | Dimensionnement du champ PV | 69 |
| 3.7.1 | Formule de calcul de la puissance crête photovoltaïque | 69 |
| 3.8 | Dimensionnement du parc de batteries | 70 |
| 3.8.1 | Choix de la tension du parc de batteries | 70 |
| 3.8.2 | Choix de la capacité du parc de batteries | 71 |
| 3.9 | Dimensionnement des câbles | 72 |
| 3.10 | Présentation du logiciel PVsyst | 72 |
| 3.11 | Étapes de simulation | 72 |
| 3.11.1 | Conception préliminaire | 72 |
| 3.11.2 | Dénomination du projet | 72 |
| 3.11.3 | Paramètres du site | 73 |
| 3.11.4 | Orientation des panneaux | 74 |
| 3.11.5 | Évaluation des besoins électriques | 75 |
| 3.11.6 | Dimensionnement des panneaux PV | 76 |
| 3.11.7 | Choix du régulateur | 76 |
| 3.11.8 | Dimensionnement du parc de batteries | 77 |
| 3.11.9 | Composants des support EP de la route Mekki Khelifa | 77 |
| 3.11.10 | Discussion des résultats | 78 |
| 3.12 | Conclusion | 79 |
| 4 | Gestion de l'énergie dans le secteur de l'éclairage public | 80 |
| 4.1 | Introduction | 80 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Gestion de l'énergie de l'éclairage public | 80 |
| 4.3 | Modélisation des éléments du système | 81 |
| 4.3.1 | Modélisation des panneaux photovoltaïques | 81 |
| 4.3.2 | Modélisation du système de stockage | 82 |
| 4.4 | Organigramme de la gestion de l'énergie | 84 |
| 4.5 | Choix de configurations du système d'éclairage public | 85 |
| 4.6 | Résultats et discussion | 86 |
| 4.6.1 | Premier scénario :Réseau d'éclairage public classique (lampes EP- réseau) | 87 |
| 4.6.2 | Deuxième scénario :Réseau d'éclairage public solaire isolé (PV- Lampe EP- Batterie) | 87 |
| 4.6.3 | Troisième scénario : Réseau d'éclairage public solaire et connecté au réseau (PV- Lampes EP- Réseau) | 90 |
| 4.6.4 | Quatrième scénario (4) : Réseau d'éclairage public hybride (PV- Batterie- Lampes EP- Réseau) | 92 |
| 4.7 | Étude économique | 93 |
| 4.7.1 | 1ère étape : Coût d'installation | 94 |
| 4.7.2 | 2ème étape : Coût de revient sur 20 ans | 95 |
| 4.8 | Conclusion | 97 |

Conclusion générale et Perspectives 98

A Annexes 104

| | | |
|-----|---|-----|
| A.1 | Annexe 1 : Les classes des chaussées | 104 |
| A.2 | Annexe 2 : La norme 13-201 | 106 |
| A.3 | Annexe 3 : «Rue Mekki khelifa » | 107 |
| A.4 | Annexe 4 : caractéristique du lampadaire | 110 |
| A.5 | Annexe 5 : caractéristique du panneau | 111 |
| A.6 | Annexe 6 : caractéristique de la batterie | 112 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Éclairage extérieure | 3 |
| 1.2 | Éclairage public d'une route | 4 |
| 1.3 | Éclairage routier | 4 |
| 1.4 | Éclairage des espaces publics | 5 |
| 1.5 | Éclairage des espaces sportifs | 5 |
| 1.6 | Éclairage d'ambiance | 6 |
| 1.7 | Lampe classique [7] | 9 |
| 1.8 | Lampe halogène | 10 |
| 1.9 | Lampe à décharge [2] | 10 |
| 1.10 | Lampe LED | 11 |
| 1.11 | Lampadaire extérieur | 13 |
| 1.12 | Lampadaire solaire | 14 |
| 1.13 | Photométrie [11] | 15 |
| 1.14 | Luminaire | 18 |
| 1.15 | Armoire électrique | 21 |
| 1.16 | Réseau EP aérien [15] | 24 |
| 1.17 | Réseau EP souterrain [15] | 24 |
| 1.18 | Consommation d'éclairage public en Algérie [24] | 26 |
| 2.1 | Schéma de principe de la MDE [27] | 29 |
| 2.2 | Stratégies de maîtrise de la demande [23] | 30 |
| 2.3 | Efficacité et classification des sources lumineuses artificielles [30] | 32 |
| 2.4 | luminaire | 34 |
| 2.5 | Différents types d'implantation [2] | 39 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.6 | Modes d'implantation [15] | 39 |
| 2.7 | (a)Route de Mekki Khelifa la nuit/(b)Route de Mekki Khelifa le matin | 43 |
| 2.8 | Armoire EP | 44 |
| 2.9 | Consommation d'énergie d'EP d'un mois | 45 |
| 2.10 | Consommation d'une année | 46 |
| 2.11 | Luxmètre digital | 47 |
| 2.12 | Mesure de l'éclairement en lux | 47 |
| 2.13 | Interface du logiciel DIALUX | 49 |
| 2.14 | Choix du menu de la route | 49 |
| 2.15 | Caractéristiques des trottoirs et chaussées | 50 |
| 2.16 | Catalogues des luminaires | 51 |
| 2.17 | Caractéristiques de luminaire | 51 |
| 2.18 | Identification des caractéristiques de la route | 52 |
| 2.19 | Visualisation en 2D de l'EP de la route. | 52 |
| 2.20 | Résultat de simulation de l'état actuel | 53 |
| 2.21 | Vue en 3D de l'EP de la route | 53 |
| 2.22 | Caractéristiques du luminaire SHP 150W | 54 |
| 2.23 | Résultat de simulation avec de luminaires SHP 150W | 55 |
| 2.24 | Caractéristiques du luminaire LED 55W. | 55 |
| 2.25 | Résultat de simulation avec de luminaires LED 55W | 56 |
| 2.26 | Vue 3D de L'EP avec des lampes LED | 57 |
| 3.1 | Schéma de base d'une installation d'EP solaire | 59 |
| 3.2 | Les panneaux solaires bifaciale [35] | 60 |
| 3.3 | Les panneaux solaires en pérovskite | 62 |
| 3.4 | Différence entre "Half-cut size" et "Full size" des panneaux solaires [36] | 62 |
| 3.5 | Différents connecteurs des batteries [38] | 65 |
| 3.6 | durée de vie : batterie plomb-acide vs lithium-ion [38] | 66 |
| 3.7 | Régulateur PWM | 68 |
| 3.8 | Régulateur MPPT | 68 |
| 3.9 | Dénomination du projet dans PVsys | 73 |
| 3.10 | Coordonnées géographiques du site d'Oran | 73 |
| 3.11 | Données Météorologiques mensuelles du site | 73 |
| 3.12 | Diagramme de la trajectoire du soleil à Medioni | 74 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.13 | Orientation des panneaux | 75 |
| 3.14 | Définition des besoins électriques | 75 |
| 3.15 | choix des panneaux PV | 76 |
| 3.16 | Les caractéristiques du Panneau | 76 |
| 3.17 | Caractéristiques du régulateur | 76 |
| 3.18 | Dimensionnement du parc de batteries | 77 |
| 3.19 | Récapitulatif des composants des supports EP | 77 |
| 3.20 | paramètres de dimensionnement de l'installation EP | 78 |
| 3.21 | Schéma synoptique de l'installation isolée d'EP | 78 |
| 3.22 | Résultats de simulation | 79 |
| | | |
| 4.1 | Schéma électrique équivalent du modèle PV | 81 |
| 4.2 | Organigramme de gestion de l'énergie appliqué pour l'éclairage public | 85 |
| 4.3 | Configuration globale du système d'éclairage public | 86 |
| 4.4 | Les données météorologiques du site étudié | 86 |
| 4.5 | Réseau d'éclairage public classique | 87 |
| 4.6 | Énergie fournie du réseau au différentes charges | 87 |
| 4.7 | Réseau d'éclairage public solaire isolé | 88 |
| 4.8 | Allure de l'énergie PV au cours de la journée | 89 |
| 4.9 | État de la charge de la batterie scénario 3 | 89 |
| 4.10 | Gestion de l'énergie EP Solaire isolé. | 89 |
| 4.11 | Autonomie de l'EP Solaire isolé (sans soleil). | 90 |
| 4.12 | EP solaire en mode connecté | 91 |
| 4.13 | Énergie demandé par chaque support EP | 91 |
| 4.14 | EP solaire sans système de stockage | 91 |
| 4.15 | Réseau d'éclairage public hybride | 92 |
| 4.16 | État de la charge de la batterie en pourcentage pendant 24h | 92 |
| 4.17 | Énergie injectée au réseau pendant 24h | 93 |
| 4.18 | Gestion des ressources du réseau EP hybride | 93 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Les niveaux de l'indice IP[5] | 19 |
| 1.2 | Indice IK suivant l'énergie du choc [5] | 20 |
| 2.1 | État l'art de la rue étudiée | 43 |
| 2.2 | Tableau de calcul de chute de tension | 45 |
| 2.3 | calcul des grandeurs photométriques | 48 |
| 3.1 | Les technologies des cellules solaires [2] | 60 |
| 3.2 | C-rate explication | 67 |
| 4.1 | Résultats de simulation du scénario 3 | 88 |
| 4.2 | Étude financière du EP classique | 94 |
| 4.3 | Étude financière du EP solaire | 95 |
| 4.4 | Coût de consommation annuelle | 96 |
| 4.5 | Coût des composants remplacés | 96 |
| 4.6 | Comparaison entre les coûts de revient | 96 |

Liste des abréviations

| | |
|---------------|---|
| <i>2D</i> | 2 Dimensions |
| <i>3D</i> | 3 Dimensions |
| Φ | Flux Lumineux |
| <i>AC</i> | Courant Alternatif |
| <i>AGM</i> | plomb-acide absorbe |
| <i>Ah</i> | Ampère Heure |
| <i>BT</i> | Basse Tension |
| <i>CAO</i> | Conception Assistée par Ordinateur |
| <i>Cd</i> | Candela |
| <i>DC</i> | Courant Direct |
| E_{max} | Éclairage Maximale |
| E_{min} | Éclairage Minimale |
| E_{moy} | Éclairage moyen |
| <i>ENR</i> | énergie renouvelable |
| <i>EP</i> | Éclairage public |
| <i>ERMESO</i> | Établissement De Réalisation et De La Maintenance De L'éclairage et De La Signalisation D'Oran |
| <i>GWh</i> | Géga Wattheure |
| <i>IK</i> | Indice DE Protection De Choc |

IP Indice De Protection

IRC Indice De Rendu Des Couleurs

L_{max} Luminance Maximal De La Chaussé en Service

L_{min} Luminance Minimum De La Chaussé en Service

L_{moy} Luminance Moyen De La Chaussé en Service

LED diode électroluminescente

lm Lumen

lx Lux

MDE Maîtrise De La Demande

MT Moyenne Tension

P_c Puissance Crête

PRC Polyéthylène Réticulé Chimiquement

PV Photovoltaïque

SDO Société De Distribution D'électricité et De Gaz De L'ouest

SHP Sodium Haute Pression

SR Le Stéradian

TI Taux D'éblouissement

U₀ Uniformité longitudinale

U_i Uniformité générale

U_{max} Ratio D'uniformité Maximale

U_{min} Ratio D'uniformité Minimale

U_{moy} Ratio D'uniformité Moyenne

UV Ultra Violet

V Voltage

W_c Watts Crête

Introduction générale

La lumière joue un rôle vital dans notre vie et personne ne peut imaginer la vie sans lumière, qui va au-delà de l'usage mais sert aussi au confort, à la réduction des accidents de la route, à la décoration, pour des raisons commerciales et esthétiques et à la sécurité dans notre vie quotidienne.

L'éclairage public est l'un des besoins fondamentaux de la société moderne utilisé dans différentes applications et domaines (ex. les routes, les parkings, les espaces publics et les rues), un bon éclairage des rues est important pour la sécurité routière (véhicules et piétons) et contribue à l'industrie du transport d'un pays, tandis que des espaces publics bien éclairés améliorent l'activité sociale, les initiatives touristiques et la sécurité générale.

En effet, ce service public participe à la pointe de consommation d'énergie, il représente environ 19 % de la consommation mondiale d'électricité et environ 6 % des émissions de gaz à effet de serre. Afin de renforcer la sécurité des approvisionnements d'énergie à moyen et long terme, la croissance de la demande à la pointe peut être maîtrisée, La MDE met en œuvre des techniques d'économie, d'efficacité énergétique et de gestion de l'électricité afin de réduire la consommation électrique et les pertes sur le réseau.

Dans la même perspective, l'Algérie opte une stratégie d'efficacité énergétique. Les installations d'éclairage public adoptent désormais des modèles de gestion par l'introduction de nouvelles technologies qui répondent aux besoins souhaités par l'entité humaine tout en respectant l'environnement et qui mènent vers un développement durable qui est l'enjeu de ces dernières décennies.

Par conséquent, un axe majeur a été évolué dans les différentes communes par l'utilisation des énergies renouvelables (particulièrement le solaire photovoltaïque). Le système d'éclairage public solaire a pour but d'éclairer beaucoup plus les zones qui ne sont pas raccordées au réseau tout assurant une luminosité efficace qui répond aux besoins des usagers.

Notre projet de fin d'étude consiste en la maîtrise de la demande et la gestion de l'énergie dans le secteur de l'éclairage public permettant de réduire la consommation électrique et la pollution

lumineuse.

Ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre représente une base de données théorique de l'éclairage public dont nous avons présenté une description générale de l'éclairage public, les domaines d'utilisation, le mode de fonctionnement qu'il soit permanent, semi permanent, ou fonctionnement par régulation, les terminologies usuelles, le matériel nécessaire pour la conception d'une installation EP et l'alimentation du réseau d'éclairage public.

Dans le deuxième chapitre nous avons déterminé les objectifs de l'économie de la charge de l'éclairage public et les pratiques qui mène à la maîtrise de la demande d'énergie. Nous avons exposé par la suite les méthodes de pré dimensionnement de l'éclairage public, les critères de choix du matériel nécessaire dans une installation EP et l'élaboration d'une simulation par logiciel "DIALux" en comparant les résultats d'éclairement de l'état actuel dans une rue de la ville d'Oran et des différentes solutions proposés avec possibilité d'économie d'énergie

Le troisième chapitre est consacré à une étude de dimensionnement d'un système d'éclairage public solaire constitué de panneau photovoltaïque, batterie et régulateur de charge en utilisant le logiciel PV sys. Ce dimensionnement est nécessaire avant l'implantation de toutes installation EP.

Tandis qu'au quatrième chapitre, nous avons élaboré un programme de gestion de l'énergie d'une installation d'éclairage public à base de panneaux photovoltaïques pour une rue située à la ville d'Oran.

Notre travail s'achèvera par une conclusion générale et des perspectives.

État de l'art sur l'éclairage public

1.1 Introduction

La lumière est un élément essentiel pour l'activité humaine, la journée est finie éclairé par le soleil, mais la lumière artificielle est obligatoire lorsque la nuit tombe. Aujourd'hui, l'éclairage artificiel n'est pas seulement un moyen d'obtenir de la lumière, il est plutôt un élément vital pour la vie humaine, en particulier dans les zones urbaines.

L'éclairage public contribue à la fois au confort et à la sécurité publique, en jouant un rôle important dans la perception nocturne des espaces publics (identification des différents usagers, détection des obstacles routiers potentiels..) [1, 2].

1.2 Définition de l'éclairage

Selon le dictionnaire Larousse, "Application de la lumière aux objets ou à leur environnement de manière à les rendre visibles ; action, manière d'éclairer, d'être éclairé ; ensemble des dispositifs qui distribuent une lumière artificielle" [1].



FIGURE 1.1: Éclairage extérieure

1.3 Éclairage public

L'éclairage publics est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voiries et places, nécessaires à la sécurité ou à l'agrément de l'homme.

Il permet de circuler en toute sécurité sur la route et sur les trottoirs. Il contribue au confort de vie des habitants, valorise l'espace urbain et contribue à l'économie du territoire en renforçant son attractivité [3].



FIGURE 1.2: Éclairage public d'une route

1.4 Domaines d'utilisation d'éclairage

Il y a plusieurs utilisations de l'EP à savoir [4] :

1.4.1 Éclairage routier

Éclairer les zones de circulation véhiculaire est principalement une question de sécurité voir la figure (1.3). La grande vitesse des véhicules motorisés pose un risque d'accidents important que l'éclairage nocturne permet de réduire considérablement. En conséquence, la réglementation concernant l'éclairage routier est stricte, et la planification et l'exécution du projet exigent un grand soin.

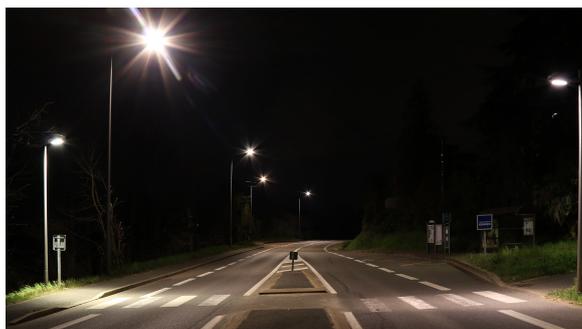


FIGURE 1.3: Éclairage routier

1.4.2 Éclairage des espaces publics

L'éclairage des espaces publics comme le montre la figure (1.4) facilite leur surveillance pendant la nuit dans le but de prolonger leur utilité et de prévenir des accidents et des crimes. En créant une atmosphère détendue, il sécurise donc les utilisateurs.

Par conséquence, l'éclairage des espaces publics augmente la qualité de vie et stimule souvent les activités économiques dans les agglomérations principales.



FIGURE 1.4: Éclairage des espaces publics

1.4.3 Éclairage des espaces sportifs

Pour permettre des activités sportives pendant des heures d'obscurité, il faut éclairer les terrains de sport avec des projecteurs spécialisés comme indiqué dans la figure (1.5). Il est important que ceux-ci soient assez puissants et ne dérangent pas les joueurs pour éviter des accidents .



FIGURE 1.5: Éclairage des espaces sportifs

1.4.4 Éclairage d'ambiance

L'éclairage des bâtiments et monuments intéressants souligne leur importance, conçoit des points d'identification et crée une atmosphère agréable la figure (1.6). De plus, ce type d'éclairage peut prévenir des graffiti et décharges aléatoire des déchets. Il faut être prudent lors de l'éclairage des espaces verts publics, car cela peut nuire aux plantes.



FIGURE 1.6: Éclairage d'ambiance

1.5 Objectifs des installations EP

Les objectifs de l'éclairage public sont [4] :

- Que ce soit en marchant ou en manœuvrant, tous les utilisateurs peuvent bien percevoir les obstacles pour assurer un voyage en toute sécurité.
- Assurer la sécurité des personnes et des biens avec un éclairage d'ambiance satisfaisant
- Localiser facilement des emplacements et des points spécifiques, des intersections, des passages pour piétons, etc.
- Autoriser les activités nocturnes, sportives ou autres.
- Créer une atmosphère agréable en harmonie avec les différents espaces.
- Améliorer les bâtiments, les murs extérieurs et les espaces verts.
- Intégration des dispositifs de commande, des bougeoirs et de l'éclairage au mobilier urbain dans un environnement diurne sans provoquer de gêne majeure.

1.6 Caractéristiques de l'équipement d'éclairage

L'EP comprend l'éclairage des villes et des artères interurbaines (autoroutes, routes, pistes cyclables, trottoirs...). Ce commerce est essentiel car il favorise la circulation de la nuit, pour assurer la sécurité et le confort des utilisateurs.

En effet, pour les conducteurs, il s'agira d'assurer la visibilité de la route et de ses abords, et tout obstacle. Pour les piétons, les cyclistes et les autres usagers de la route, ce sera l'essentiel est de limiter au maximum la zone ombragée, de distinguer les trottoirs, véhicules et divers obstacles. La mise en place de l'EP implique l'utilisation de matériaux spécifiques sélectionnés selon des critères précis [5].

1.7 Fonctions de l'éclairage :

Les fonctions de l'EP sont multiples citons : [1]

- Sécurité.
- Balisage.
- l'ambiance.
- la valorisation.
- le confort visuel.
- la décoration.

1.8 Modes de fonctionnement

Associés à ces commandes, différents modes de fonctionnement sont possibles, privilégiant plus ou moins la maîtrise de l'énergie [6] :

1.8.1 Fonctionnement permanent

C'est le mode de fonctionnement le plus courant : allumez-le la nuit et éteignez-le le matin.

Un interrupteur crépusculaire suffit pour assurer ce type de fonctionnement. De telles actions créent du temps lorsque le dispositif marche/arrêt est correctement réglé, l'utilisation annuelle est d'environ 4100 heures.

1.8.2 Fonctionnement semi-permanent

C'est le moyen le plus basique d'exploiter l'énergie, mais c'est aussi le plus efficace ! Populaire dans les zones rurales mais moins populaire dans les zones urbaines. C'est aussi le moyen le plus radical de lutter contre la pollution lumineuse. Comme le coût d'une seule horloge est très faible, le retour sur investissement est très faible quel que soit le nombre d'appareils.

Les limitations d'utilisation de cet appareil sont liées à l'inconfort sans éclairage.

L'insécurité sans éclairage (sur la route ou pour les biens et les personnes) est également une cause et une source de débat souvent citées.

1.8.3 Fonctionnement par régulation

Au sens strict, il s'agit d'une diminution de l'éclairage à certaines heures de la nuit. Cette régulation de tension/puissance apporte de nombreux avantages à l'armoire, à savoir :

- Réduction de la consommation d'énergie due aux contraintes de puissance pendant les heures creuses.
- L'élimination de la surtension permet à la source de fonctionner avec une efficacité maximale.
- La veilleuse est maintenue allumée en répondant au désir de garder la lumière allumée toute la nuit, contrairement aux coupures nocturnes vues auparavant.
- En éliminant les surtensions et en assurant certains modèles ont une rampe de montée en tension progressive, ce qui limite la surintensité prélevée sur le réseau à la mise sous tension de l'appareil.

1.9 Matériel d'éclairage public

L'essentiel des moyens EP sera présenté ci-dessous [2] :

1.9.1 Lampes

Il existe essentiellement deux types de lampes : les lampes à incandescence (lampes classiques et lampes halogènes), dans lesquelles le filament brûle, les lampes à décharge et les lampes à LED (néon, mercure, sodium, halogénures métalliques) qui produisent de la lumière grâce à une décharge gazeuse.

A. Lampes à incandescence classiques

Les lampes « classiques » voir (figure 1.7) sont utilisées pour l'éclairage domestique intérieur, améliorée par les travaux de Thomas Edison. L'ampoule contient un filament de tungstène qui porté à haute température (environ 2823°K) par le passage d'un courant électrique émet de la lumière.

Généralement l'ampoule remplie d'un gaz inerte comme l'argon ou le krypton, qui permet d'éviter la détérioration de filament. Ces lampes ont un rendement lumineux faible de l'énergie électrique est convertit en chaleur plus qu'en lumière .

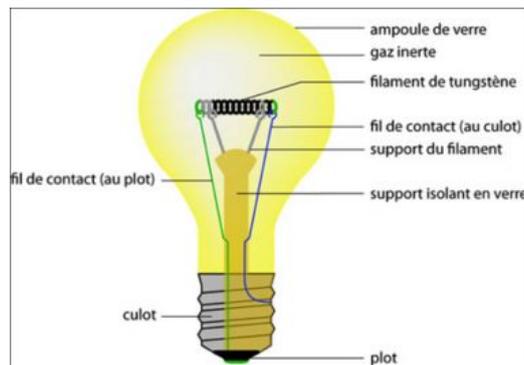


FIGURE 1.7: Lampe classique [7]

Avantages des lampes classiques :

- Bon rendu des couleurs.
- Bon marché.
- Allumage instantané.

Inconvénients :

- Durée de vie très limitée (1000 heures).
- Rendement de lumière produite faible (12 à 20 lm/W).
- L'efficacité lumineuse diminue sensiblement au cours du temps.
- Risques de brûlures dus à la température élevée de l'ampoule.

B. Lampes à incandescence halogène

Comme les lampes à incandescence halogène, voir la figure (1.8), les filaments de tungstène sont portés à haute température pour rayonner en lumière visible et produire de la lumière. Les ampoules doivent être faites de matériaux résistants à ces hautes températures : Quartz ou verre spécial (d'où le nom de lampes à quartz iodé) car la température est plus élevée que les lampes classiques.

Ce sont des lampes à incandescence halogène remplies de gaz diatomique, appartenant à un de la famille des halogènes ou ses dérivés. De plus, en évitant la sublimation, il n'y aura pas (ou de moins en moins) de vapeur de tungstène déposée sur la paroi.

Avantages des lampes à incandescence halogène :

- Rendement lumineux 30% supérieur à celui d'une ampoule classique.
- Très bon rendu des couleurs.
- La gamme des halogènes est très étendue allant de 20 à 500 watts.



FIGURE 1.8: Lampe halogène

Inconvénients :

- Durée de vie limitée (2000 heures).
- Ne supportent pas les marches/arrêts répété.

C. Lampes à décharge

Une lampe à décharge comme montré dans la figure (1.9) est une lampe électrique composée d'un tube ou d'une ampoule en Verre rempli de gaz ou de vapeur métallique à haute ou basse pression, traversé par du courant puis converti en photons et donc en lumière, il existe deux principaux types de lampes à décharge :

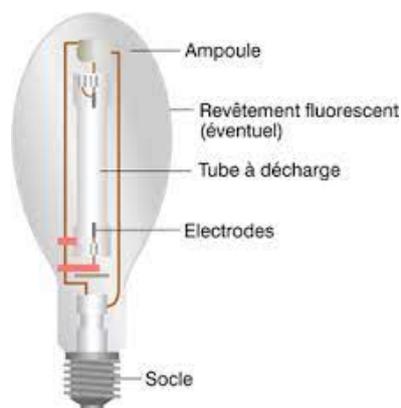


FIGURE 1.9: Lampe à décharge [2]

a) Lampe à décharge basse pression

Une lampe à décharge à basse pression est une lampe à décharge avec un gaz à basse pression, elles ont une grande taille et fournissent une faible puissance jusqu'à 180W. Différentes vapeurs peuvent intégrer du mercure de sodium, etc. Selon le mélange, différentes couleurs peuvent être obtenues.

b) Lampe à décharge haute pression

Les lampes à décharge à haute pression ont des caractéristiques communes opposées aux lampes basse pression, elles ont un faible encombrement et fournissent une grande puissance pour exciter trois types différents de lampes à décharge haute pression qui sont vapeur de sodium, vapeur de mercure et halogénures métalliques.

La couleur de la lumière émise par cette lampe dépend du gaz utilisé :

- Les néons apparaissent rouges.
- Le mercure s'approche du bleu.
- Le sodium rayonne en jaune.
- Le xénon est le gaz qui fait approcher le blanc pur.

D. Lampes LED

LED (Light Emitting Diode) la figure (1.10) est un composant électronique à semi-conducteur. Lorsque le courant circule dans la diode, celle-ci émet de la lumière. Contrairement aux sources lumineuses traditionnelles, les LED c'est un composant électronique, c'est-à-dire une minuscule puce électronique constituée de cristaux semi-conducteurs. Les LED n'ont pas besoin de filtres de couleur : leur lumière est générée directement .

Il existe différentes couleurs en raison de différents matériaux semi-conducteurs.

Pour produire de la lumière blanche, les LED émettent de la lumière bleue à laquelle est ajoutée du phosphore jaune, ce qui donne une lumière blanche.



FIGURE 1.10: Lampe LED

Avantages de ces lampes :

- Rendement lumineux intéressant.
- Faible consommation de l'énergie.
- Pas de production d'UV contrairement aux autres lampes.

Inconvénients :

Le prix est élevé.

1.9.2 Lampadaire

Les lampadaires sont des dispositifs d'EP placés en périphérie des voies de transport en commun, des parcs et jardins. Les lampadaires comprennent principalement : Mât et luminaires comme le montre la figure (1.11).

Mât (support)

Le luminaire est fixé sur un support ou un chandelier. Ce support permet de placer un ou plusieurs luminaires à l'endroit désiré dans l'espace. le mât est généralement verticale doit être fixée au sol. Il se compose de plusieurs parties :

- Puit : partie principale d'un poteau .
- Plaque support (en option) : cette plaque assure la liaison entre le bloc de fondation et le puit.
- La crosse : pour assurer le décalage du luminaire par rapport à la route.

Les types de mât :

- Tiges d'acier : elles constituent l'essentiel des tiges d'usage courant.
- Colonnes en alliage d'aluminium : excellente résistance à la corrosion même dans l'atmosphère et ne nécessitent aucun entretien.
- Colonnes en béton de fonte et bois.

Le mât doit pouvoir :

- Résister aux vents, chocs et vibrations.
- Résister aux intempéries (pluie, vent, température, neige) et à la corrosion..
- Solidement fixé au sol (bloc de béton) ou à la façade du bâtiment.
- Avoir une ouverture d'accès au bas du support pour accueillir un disjoncteur.



FIGURE 1.11: Lampadaire extérieur

1.9.3 Lampadaires solaires autonomes

Ces lampadaires figure(1.12) sont alimentés par des panneaux photovoltaïques. L'électricité produite pendant la journée est stockée dans la batterie pour alimenter le système LED qui émet de la lumière dans la nuit. Les performances des panneaux photovoltaïques et des LED associées à une gestion optimisée des batteries permettent désormais d'utiliser ces produits dans de nombreuses régions du monde, notamment sous le soleil de l'Afrique. Ainsi, pour une exposition journalière de 4 kWh/m², des panneaux photovoltaïques de 1m² et 150 W peuvent alimenter des lampes LED 30 W à pleine puissance pendant 8 heures, et Une batterie de la bonne taille peut être utilisée pendant 3 jours .

Il est recommandé que la capacité de la batterie soit au moins trois fois supérieure à l'énergie requise par jour, pour assurer une autonomie de trois jours pour éviter une décharge profonde et une usure prématurée de la batterie. La poussière du panneau photovoltaïque et la perte de puissance annuelle de 1% doivent être prises en compte lors du choix du modèle. Les matériaux choisis, notamment les batteries, doivent pouvoir résister aux conditions climatiques locales. L'appareillage doit être protégé du vandalisme (panneaux photo voltaïques scellés, batteries invisibles, basculement des panneaux permettant de maximiser le rendement et de limiter la pollution des jours de faible ensoleillement. Dans tous les cas, les panneaux doivent être nettoyés régulièrement, notamment après certains événements météorologiques (tempêtes de sable, orages, etc.).

La prise au vent doit être prise en compte dans le calcul de dimensionnement mécanique du mât.

Enfin, leur utilisation ne devrait pas être réservée aux zones non connectées au réseau électrique, mais peut être pertinente même dans les zones urbaines[8].



FIGURE 1.12: Lampadaire solaire

1.10 Vocabulaire de l'éclairage

Comprendre le domaine de l'éclairage nécessite une compréhension du vocabulaire utilisé. Dans cette section, nous donnerons une définition de la quantité de lumière dans l'éclairage et nous décrivons la priorité des couleurs par rapport aux sources lumineuses [9].

1.10.1 Grandeurs photométriques

Premièrement, la lumière est le phénomène extraordinaire qui illumine le monde et le rend visible. Plus précisément, il s'agit d'un phénomène vibrationnel qui transmet de l'énergie en se propageant, c'est-à-dire que le rayonnement peut être caractérisé par la quantité d'énergie, mais ne peut pas dire comment l'œil le perçoit. La photométrie (figure 1.13) elle-même est une comparaison quantitative de la lumière (émise par une source lumineuse, transmise par un faisceau lumineux ou sollicitée par un récepteur). Selon leur perception oculaire, il évalue les quantités liées au rayonnement sur la base des impressions. Ces contenus et effets visuels sont produits selon certaines conventions. A savoir [10] :

- Le flux lumineux.
- L'intensité lumineuse.
- L'éclairement.
- La luminance.
- L'éblouissement.
- Contraste.

La figure (1.13) ci-dessous montre ces différentes grandeurs :

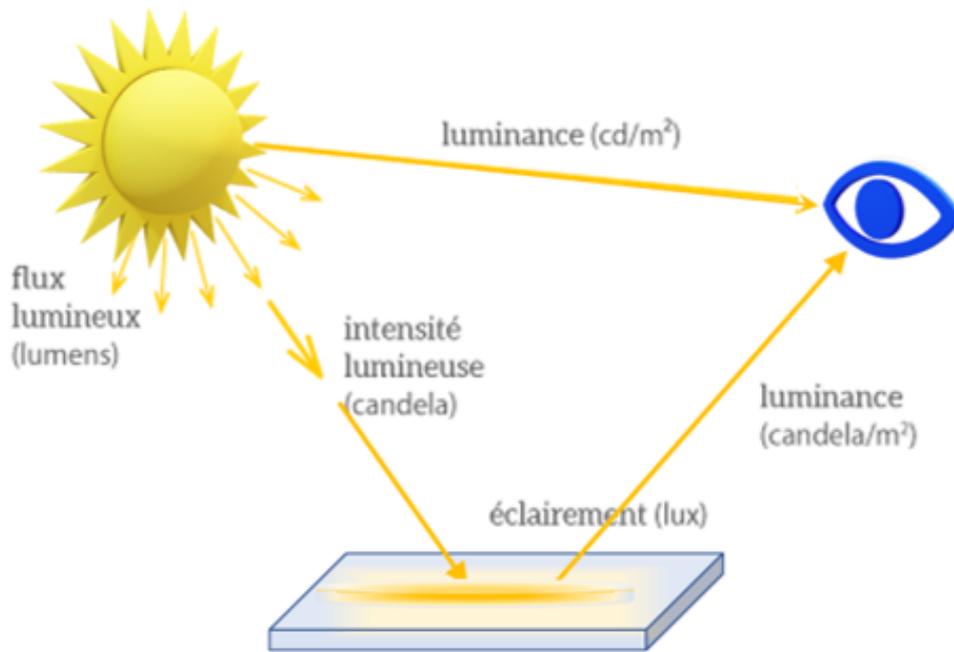


FIGURE 1.13: Photométrie [11]

a) Flux lumineux

Le flux lumineux " Φ " est la grandeur visuelle correspondant à la quantité totale de lumière émise par chaque source lumineuse par seconde dans toutes les directions de l'espace environnant, mesuré en lumens (lm)[12].

b) L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse décrit le flux lumineux de base sortant d'une source lumineuse dans la direction donnée de l'angle solide à travers lequel elle se propage, son unité de mesure est candela (cd) ou lumens par stéradian (lm/sr). Représenté par la relation suivante [13] :

$$I = \frac{df}{d\Omega} \quad (1.1)$$

D'où :

df : le flux élémentaire issu de la source quasi ponctuelle.

$d\Omega$: l'angle solide élémentaire.

c) Angle solide

Un angle solide est une grandeur représentant une portion d'espace contenue dans un cône infiniment haut. Lorsque ce cône repose sur un cercle, il est plus facile de mesurer l'angle et il s'agit donc

d'un cas particulier de notre définition et mesure des angles solides.

Un grand nombre de signaux électromagnétiques, optiques, acoustiques et énergétique veut dire angle solide, car évidemment, toute brosse de transmission ou de réception dépend de la taille du cône dans lequel il est impliqué[14] .

d) Éclairement(E)

L'éclairement "E" est la densité de flux lumineux uniformément décroissante par unité de la surface à laquelle est exposée, en lux, exprimée sous la forme d'une formule :

$$E(lx) = \frac{flux(lm)}{surface(m^2)} \quad (1.2)$$

Cette grandeur est difficilement perceptible à l'oeil humain.

La gamme des niveaux d'éclairage naturellement disponibles est très large et variée entre 0,2 lux (en dehors de la pleine lune) et 100 000 lux (perpendiculaire à la surface du soleil d'été) [15].

e) Luminance (L)

Lorsque l'on doit analyser la source d'un flux lumineux, on parle de la luminosité perceptible par un observateur donné.

Cette quantité peut donc être prise en compte les sources lumineuses présentes dans le champ de vision de l'observateur, si elles présentent un risque d'éblouissement, tant en termes d'aide à la perception visuelle que de luminescence de l'objet éclairé.

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} \quad (1.3)$$

Son unité est la candela par mètre carré (cd/m²).

— ρ : Résistivité ($\Omega.m$)

— E : Éclairement (lux)

La luminosité est mesurée avec un luxmètre.

Elle peut être déterminée par exemple par la luminosité de la route comme base d'évaluation des projets d'éclairage répertoriés [16].

f) Éblouissement (TI)

C'est un phénomène physiologique qui exprime une retenue désagréable, perception visuelle ou luminosité élevée des objets, comparaison des valeurs d'éblouissement, la position de l'observateur

par rapport à la valeur limite.

Valeurs de référence des autoroutes $T_i < 10\%$ et des routes urbaines $< 15\%$.

Lorsque $T_i > 40\%$, cette métrique est considérée comme insupportable et gênante.

On distingue deux types d'éblouissement :

L'éblouissement gênant est les sources lumineuses ou les surfaces brillantes reflètent l'environnement.

L'éblouissement inconfortable correspond à des conditions d'éclairage inconfortables causées par la présence d'une source lumineuse dans le champ de vision[15].

g) Contraste

Le contraste est la différence de luminosité relative entre un objet et le fond sur lequel il est présenté.

— Si l'objet est moins lumineux que l'arrière-plan : Contraste négatif

— Si l'objet est plus lumineux que le fond : contraste positif

— Si l'objet et le fond ont la même luminosité : contraste nul[15].

1.10.2 Propriétés des couleurs de la source de lumière

Les propriétés de couleur d'une source lumineuse sont fonction de sa distribution d'énergie spectrale. Les propriétés chromatiques d'une source lumineuse sont caractérisées par deux grandeurs [15].

a) Chromaticité ou température de couleur

La chromaticité ou température de couleur d'une source lumineuse caractérise principalement la couleur apparente de cette source lumineuse et l'ambiance lumineuse qui en résulte, exprimée en degrés Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), ainsi :

— En dessous de 3000°K : \rightarrow couleurs chaudes \rightarrow rougeâtres \rightarrow faible luminosité.

— Au dessus de 4000°K : \rightarrow couleur froide \rightarrow bleutée \rightarrow haute luminosité.

b) Indice de rendu des couleurs (IRC)

L'indice de rendu des couleurs(l'IRC) est une expression générale de l'effet qu'une source à l'effet de la lumière sur l'apparence de la couleur d'un objet par rapport à l'effet produit par la source lumineuse ou la référence avec la même température de couleur corrélée.

La valeur de l'IRC est comprise entre 0 et 100. Lorsqu'il est égal à 100, il correspond à une source ayant la même qualité de rendu des couleurs que la source de référence.

L'IRC est utilisé pour comparer des sources lumineuses ayant la même chromaticité (ou température de couleur). Sa valeur doit être prise en compte même si la source de lumière éclaire la couleur indépendamment de la lumière naturelle. D'un point de vue énergétique, la caractéristique la plus importante d'une lampe est sa capacité à convertir l'énergie électrique en lumière.

1.10.3 Luminaire

La lampe sert à guider la lumière émise par la source lumineuse pour protéger cette dernière et ses équipements. La répartition lumineuse doit pouvoir éclairer la zone souhaitée et assurer une uniformité d'éclairage en ne laissant pas de zone noire entre les deux lampes. Les lampes doivent également limiter la pollution lumineuse (ULOR ou ULR est proche de 1%).



FIGURE 1.14: Luminaire

Il en existe plusieurs types dont les luminaires fonctionnels, les luminaires décoratifs ou d'ambiance, les luminaires réservés aux grands espaces et les luminaires destinés aux ponts et tunnels. Pour l'EP, les luminaires concernés sont les luminaires fonctionnels. Une fonction électrique, une fonction mécanique et une fonction optique [5, 8].

a- Fonction électrique

La fonction électrique du luminaire est d'alimenter la source tout en assurant une protection efficace contre les contacts directs et indirects.

La classe 1 concerne les « équipements avec protection contre les chocs électriques ».

Une forme supplémentaire de sécurité consiste à connecter des parties conductrices facilement accessibles au conducteur de protection de terre pour faire partie du câblage fixe de l'appareil de sorte

qu'en cas de défaillance de l'isolement principal, les parties conductrices accessibles ne deviennent pas dangereuses.

La classe 2 concerne « la protection contre les chocs électriques dépend non seulement de l'isolation principale, mais comprend également des mesures de sécurité supplémentaires telles que la double isolation ou les équipements à isolation renforcée » .

b- Fonction optique

La fonction optique est d'assurer une bonne répartition et diffusion du flux lumineux tout en évitant l'éblouissement. Cette fonction est assurée par des accessoires tels que des réflecteurs, des réfracteurs et des dispositifs de réglage des sources lumineuses.

c- Fonction mécanique

Cette fonction concerne toutes les dispositions prises pour protéger le luminaire notamment contre les intempéries, la corrosion..

Elle est caractérisée par l'indice de protection IP à 2 ou 3 chiffres, qui définit le degré de protection contre les corps solides ou liquides.

Le premier chiffre de l'indice IP indique la protection contre les corps étrangers solides. Le deuxième chiffre concerne la protection des liquides, et enfin le troisième chiffre, lorsqu'il est ajouté, il indique le degré de protection contre les chocs.

Les niveaux de l'indice IP sont présentés dans le tableau(1.1) :

TABLE 1.1: LES NIVEAUX DE L'INDICE IP[5]

| Chiffres Caractéristique | Premier chiffre; degré de protection contre la pénétration des corps solides | Deuxième chiffre : degré de protection contre la pénétration des corps liquides |
|---------------------------------|---|---|
| 0 | Non protégé | |
| 1 | Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 50nm | Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau |
| 2 | Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 12.5 nm | Protégé contre les chutes d'eau pour une inclinaison maximale de 15° du luminaire de part et d'autre de la verticale |
| 3 | Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 2.5 nm | Protégé contre l'eau «en pluie »tombant de part et d'autre sous un angle inférieur ou égal à 60° par rapport à la verticale |
| 4 | Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 1 nm | Protégé contre les projections d'eau dans toutes les directions |
| 5 | Protégé contre les poussières nuisibles | Protégé contre les jets d'eau |
| 6 | Étanche aux poussières | Protégé contre les paquets de mer |
| 7 | | Protégé contre les effets d'immersion |
| 8 | | Protégé contre l'immersion prolongée |

Un autre indicateur important des propriétés mécaniques des lampes est résistance aux chocs IK spécifiée par le fabricant. Il détermine le degré de protection du matériau résistant aux chocs mécaniques, défini par un chiffre compris entre 01 et 10 en fonction d'énergie d'impact est représentée sur le tableau(1.2) :

TABLE 1.2: Indice IK suivant l'énergie du choc [5]

| Indice IK xx | Hauteur (cm) | Masse de l'objet du choc(g) | Energie(J) |
|--------------|--------------|-----------------------------|------------|
| 01 | 10 | 150 | 0.15 |
| 02 | 10 | 200 | 0.2 |
| 03 | 15 | 250 | 0.37 |
| 04 | 20 | 250 | 0.5 |
| 05 | 20 | 300 | 0.7 |
| 06 | 40 | 250 | 1 |
| 07 | 40 | 500 | 2 |
| 08 | 40 | 1250 | 5 |
| 09 | 40 | 2500 | 10 |
| 10 | 40 | 5000 | 20 |

1.11 Réseau électrique d'éclairage public

D'une façon générale un réseau d'EP est constitué [17] :

- Armoires ou coffre de commande
- Supports .
- Système d'appareillage.
- Mâts et candélabres (mât + crosse)
- Câbles.

1.11.1 Armoires

Les armoires EP ,voir la figure (1.15) sont disponibles en deux modèles, standard et moderne.

La première placée à l'intérieur de la sous-station, la seconde est placée en externe et sont généralement construites avec des portes en bois. Le bois est résistant aux termites et le téléphérique est protégé contre les chocs. Une armoire est constituée de [17] :

- Coupe-circuit .
- Compteur.
- Contacteurs .

- Fusible .
- Interrupteur horaire ou crépusculaire.
- Commutateurs.
- File de câblage.
- Connecteurs.



FIGURE 1.15: Armoire électrique

1.11.2 Supports

La différence entre l'EP moderne et l'EP standard est le type de support. Pour l'éclairage moderne, le support est le chandelier de la route avec ou sans crosse et candélabres d'ambiance utilisés dans les parcs et jardins. Pour l'éclairage standard, les supports sont des consoles supportées par des poteaux de distribution en béton ou en bois, équipés de consoles, généralement implantés au sein des collectivités [17].

1.11.3 Système d'appareillage

Il est généralement monté sur un panneau pré-câblé à la porte d'inspection du lampadaire ou directement dans la lanterne lorsqu'il y est installé.

Pour chaque type de lampe, il se compose des pièces suivantes :

- Un ballast pour stabiliser et limiter l'intensité de la lampe à sa valeur nominale.
- Un condensateur pour améliorer le facteur de puissance.
- Un amorceur qui sert aussi bien a la protection et l'allumage temporisé .

Certaines lumières peuvent être utilisées sans équipement tandis que d'autres ne peuvent pas être utilisées sans équipement [17].

1.11.4 Mâts et candélabres (mât + crosse)

Les mâts peuvent être constitués de divers matériaux (acier, aluminium, bois, etc.) et jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de hauteur (définis par des études photométriques).

L'installation du mât nécessite la prise en compte des éléments que supporte le mât (feux, signalisations diverses, capteurs, garnitures ou afficheurs, caméras, etc.), l'exposition éventuelle aux forces de neige et de vent, et parfois même des calculs (pour les plus gros) des études de sol, ce qui sera possible définir le système à fixer au sol (taille et poids de la masse de base) et les mesures de protection spécifiques à mettre en œuvre (protection contre la corrosion, exposition au sel, autres agressions chimiques, etc) [18].

1.11.5 Câble

Un câble est un ensemble de fils servant à transmettre l'énergie électrique. Il est utilisé pour fournir un courant fort ou faible à différents types d'équipements électriques.

En effet, il sert à alimenter les appareils électriques.

La résistance d'un câble est une propriété d'un conducteur électrique contre le passage des électrons [2].

La formule de la résistance s'écrit :

$$R = \frac{l}{S} \rho \quad (1.4)$$

- R : Résistance (Ω).
- l : Longueur de câble (m).
- S : Section de câble (m^2).
- ρ : Résistivité de matériau (Ω/m).

Les sections de câbles (fils) doivent être adaptées aux paramètres de l'installation. On peut calculer la section de câble en appliquant la formule suivante :

$$S = \frac{(r_0 \times V \times I)}{V \times \epsilon} \quad (1.5)$$

- r_0 : Résistivité du cuivre (Ω/m).

- L : Longueur du câble(m).
- I : Courant (A).
- V : Tension nominale de câble (V).
- ϵ : Chute de tension (V).

Les pertes causées par cette résistance du câble doivent également être déterminées. Une sorte de petite fraction de l'énergie électrique véhiculée par le câble est convertie en chaleur (effet Joules) et calculer cette perte, avec la relation suivante :

$$P = R.I^2 \quad (1.6)$$

- P = pertes (W).
- R = résistance (Ω).
- I = Intensité (A).

Câbles aériens ou sur façade

Un réseau aérien de type PRC (polyéthylène réticulé chimiquement) montré sur la figure (1.16) associe quatre conducteurs (trois phases + neutre) recouverts d'un isolant PRC noir pour former une "torsade" qu'il faut tirer entre chaque extension de poteau, chaque poteau est soutenu par un double système d'ancrage. Les réseaux aériens ne pouvant comporter de conducteur de terre, les lampes raccordées à ce réseau doivent être conformes à la classe II de la norme NF C 17-200.

Le réseau en façade est alimenté en amont par le réseau aérien et doit être ramifié et protégé par des équipements adaptés pour éviter les contacts indirects associés à une prise de terre séparée. Les appareils seront mis en œuvre dans des boîtiers encastrés dans la façade et identifiés sur le terrain et les plans d'exécution [19].

Câbles souterrains

Le réseau doit être constitué de câble non armé U 1000 R 0 2 V - entre 2 et 5 conducteurs répartis dans une gaine de diamètre adapté. La section et le nombre de conducteurs seront déterminés par étude.

selon la figure (1.17), Un câble cuivre de 25 mm² peut être posé parallèlement au réseau actif en fond de fouille. Le raccordement à chaque lampadaire doit se faire sans interrompre la continuité du câble de mise à la terre et être d'une longueur suffisante pour que le câble de mise à la terre ne se déconnecte pas en cas d'accident [20].



FIGURE 1.16: Réseau EP aérien [15]

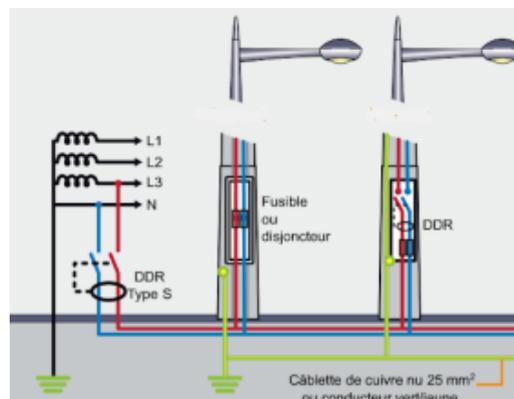


FIGURE 1.17: Réseau EP souterrain [15]

1.12 Systèmes d'alimentation par ballasts

Les lampes à décharge haute pression nécessitent un ballast pour les allumer et les contrôler. Les ballasts peuvent être ferromagnétiques ou électroniques [8].

1.12.1 Ballasts électroniques

Généralement plus efficace et peuvent contrôler les lampes pour choisir le niveau de flux lumineux. Les sources lumineuses à LED sont également alimentées par des ballasts électroniques, mais avec des propriétés différentes. Ces ballasts doivent pouvoir résister aux conditions climatiques locales (chaleur, humidité), aux vibrations et aux chutes de tension du réseau. Certains ballasts peuvent fonctionner à des températures allant jusqu'à 150°C et des tensions de 120 à 277 V [21].

1.12.2 Ballasts ferromagnétique

Ces ballasts nécessitent l'utilisation de condensateurs pour limiter l'énergie réactive et l'utilisation d'allumeurs pour allumer les lampes afin d'éviter toute surconsommation et toute panne, la vérification

et le remplacement de ces composants reste indispensable[21].

1.13 Alimentation des réseaux d'éclairage public

Le type de réseau sera sélectionné en fonction des critères suivants [22] :

- La puissance des points lumineux.
- Son emplacement par rapport à la source de distribution.
- Coût.

1.13.1 basse tension

En basse tension (220V/380V) par réseau souterrain ou aérien, réseau de distribution autonome ou mutualisé. Ce type d'alimentation nécessite une armoire de livraison plutôt qu'un transformateur.

Compte tenu de la simplicité de mise en œuvre des installations basse tension, la plupart de projet d'EP adopte la conception d'alimentation électrique basse tension. Cette méthode de distribution d'énergie peut alimenter directement les équipements et les lampes couramment utilisés dans l'EP. Les investissements sont généralement faibles et la mise en œuvre de ce type d'installation est simple [22].

1.13.2 Moyenne tension

En moyenne tension (3200V ou 5500V), le transformateur nécessite la construction d'un poste d'utilisation moyenne tension avec l'accord du concessionnaire [15].

1.14 Consommation d'éclairage public en Algérie

L'EP en Algérie utilise généralement l'énergie électrique conventionnelle comme source d'énergie. De plus, l'utilisation de l'ancienne technologie de lampe HSP développée dans les années 1960, comprenant à la fois des puissances de 400 watts et de 250 watts, a entraîné une consommation d'énergie élevée en raison de l'augmentation du nombre de lampadaires et des espaces publics.

Par conséquent, si nous continuons à utiliser ce type de lampe SHP pour l'EP, le pays va supporter une charge plus importante [23].

Afin de réduire les factures d'électricité des collectivités locales voir la (figure 1.18) , elle a atteint 27 milliards de dinars en 2017, avec une consommation totale de 4 801 GWh, soit près de 8% de la consommation nationale de 60 000 GWh, les pouvoirs publics ont ordonné l'utilisation prioritaire d'un EP moins énergivore [24].

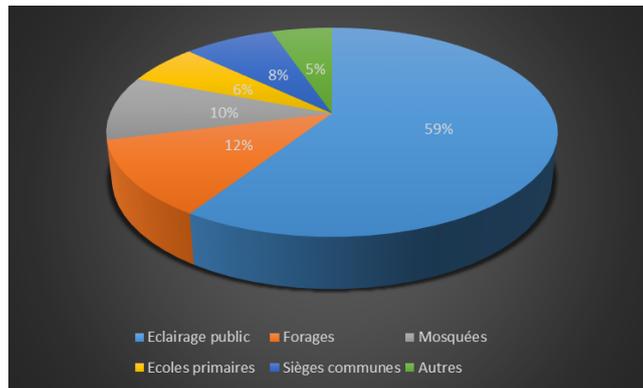


FIGURE 1.18: Consommation d'éclairage public en Algérie [24]

1.15 Impact de l'éclairage public

Les principaux effets associés à la lumière artificielle sont [25] :

1.15.1 Impact sur la faune et la flore

Le milieu nocturne est essentiel pour toutes les espèces. Ils ont de bonnes fonctions physiologiques et de bons rythmes biologiques, environnement nocturne constitue presque un écosystème à lui tout seul. C'est un habitat, une ressource, un état de vie ou survivre. En fait, la plupart des espèces animales sont nocturnes et ont besoin de l'obscurité pour se nourrir, se reproduire et se reposer.

La lumière à deux effets principaux :

- Une force attractive : elle attire et désoriente certaines espèces animales (généralement vers une zones dangereuses telles que routes très fréquentées)
- Repousser les insectes en créant des barrières artificielles et ainsi diviser certains habitats nature.

Les insectes sont attirés par la lumière, ils tournent autour et finissent par mourir de fatigue ,être cuits par la chaleur de la lampe ou en étant des proies faciles pour les prédateurs comme les chauves-souris et les oiseaux.

1.15.2 Impact sur la santé humaine

L'homme est un être diurne avec un rythme biologique bien défini : il est actif le jour et en repos la nuit. La nuit est un moment particulièrement important car nous synthétisons la mélatonine, une hormone qui régule d'autres hormones, le système immunitaire, cytoprotecteur, mais surtout nos rythmes biologiques, communément appelés "l'horloge interne".

La décharge commence en moyenne 2-3 heures avant le coucher (responsable de la sensation fatigue, froid : prélude au sommeil), réveil nocturne (1h-5h) et redescende 2-3h après le réveil.

La lumière a un effet inhibiteur sur cette sécrétion, perturbant les rythmes de l'organisme et toutes les fonctions connexes, comme provoquant des troubles du sommeil.

1.15.3 Impact sur nos ressources énergétiques

Le fonctionnement de cet éclairage nécessite de l'électricité, principalement de combustibles fossiles (charbon, gaz naturel, pétrole). L'utilisation de ces sources d'énergie n'est pas sans conséquences sur l'environnement : émissions de dioxyde de carbone et dérèglements climatiques associés.

L'EP contribue également à la demande d'électricité en hiver, donc émissions de CO₂ par démarrage des centrale thermique (charbon, fioul, gaz). Il faut donc contrôler ces consommations d'électricité, tout en évitant les lampes inutiles, surpuissantes ou inadaptées.

1.15.4 Impact économique

L'EP occupe également une place de plus en plus importante sur les factures énergétiques des communes. cela représente 50% de la consommation électrique et environ 20% du budget énergétique. C'est donc un département Intéressant et mérite d'être étudié pour économiser de l'énergie. Il est important d'agir pour réduire le gaspillage d'énergie et lutter contre l'épuisement énergétique des ressources, la lutte contre le changement climatique et les augmentations prévues des coûts de l'énergie.

1.16 Conclusion

L'éclairage public doit répondre aux besoins de visibilité et de sécurité des usagers, qu'ils soient piétons, cyclistes ou automobilistes. Dans ce chapitre, nous avons présenté les définitions et les terminologies de l'éclairage public, le matériel nécessaire pour la conception d'une installation EP et l'alimentation du réseau d'éclairage public. Cette base théorique est essentielle pour la suite de notre travail.

Nous avons ensuite représenté le têt de consommation annuelle de l'éclairage public par rapport au réseau national et nous avons cité l'impact de la pollution lumineuse sur les êtres vivants, les ressources énergétiques et sur l'environnement. En effet, une étude de maîtrise de la charge fera l'objet du chapitre suivant.

Maîtrise de la demande d'énergie

2.1 Introduction

L'éclairage public est un service communal essentiel. Un éclairage de bonne qualité améliore la sécurité publique en réduisant la criminalité et les accidents de la route. L'EP est souvent le premier ou le deuxième poste de consommation d'énergie des collectivités locales, représentant généralement 25 à 50 % de la facture énergétique d'une commune. Les améliorations de l'efficacité de l'éclairage extérieur et la maîtrise de sa consommation énergétique offrent une proposition de valeur significative à la fois pour les communes et les services publics d'électricité qui sont en mesure de réduire les coûts d'exploitation et de maintenance et d'améliorer la prestation d'un service essentiel [26].

Un des enjeux de toute politique de maîtrise de la demande d'énergie consiste alors en une mise en compatibilité des comportements individuels vis-à-vis des objectifs visés par l'action publique, notamment que nous vivons dans une société de consommation d'abondance par excellence, se chauffer, s'éclairer, se déplacer. . . relèvent de la sphère du confort.

Mais, dans quelle mesure peut-on envisager d'infléchir les comportements d'usage de façon à ce que, par effet cumulé, ils contribuent à une moindre consommation d'énergie ?

2.2 Définition

La notion de maîtrise de la demande en énergie (qui comprend celle de maîtrise de la demande en électricité) souvent dite MDE, regroupe des actions d'économies d'énergie développées du côté du consommateur final.

La MDE a été lancée dans les années 1990, principalement aux États-Unis et en Europe, et vise à réduire la consommation globale d'énergie par la demande plutôt que par l'offre.

La MDE vise ainsi la gestion de la charge, l'efficacité énergétique (utiliser moins d'énergie pour fournir les mêmes services), la réponse à la demande (la réponse des clients aux paiements incitatifs ou

aux changements de prix [23], le stockage de l'énergie et la micro-génération (la production d'énergie à petite échelle).

2.3 Principe de la maîtrise de la demande de l'énergie

La gestion de la demande, consiste en un ensemble de gestes visant à transformer la demande d'énergie, soit par pilotage direct, soit indirectement via une tarification dynamique. L'objectif est le plus souvent de limiter les pics de consommation pendant les périodes de pointe [27].

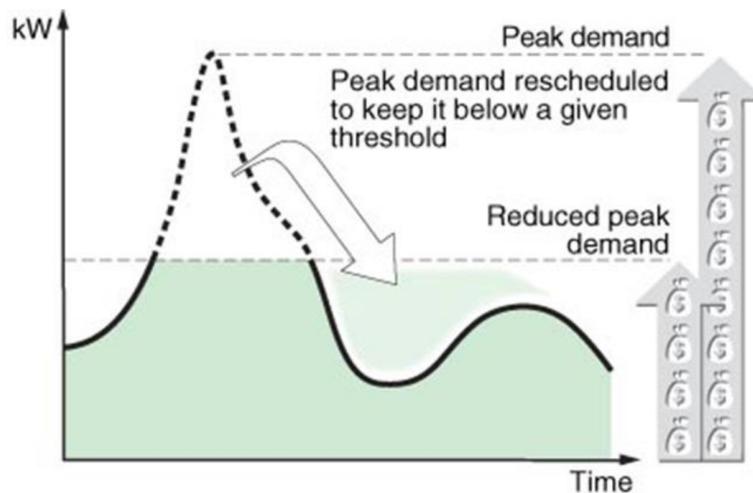


FIGURE 2.1: Schéma de principe de la MDE [27]

Réponse à la demande (Demand Response) : est le terme désignant la flexibilité de consommation électrique. Concrètement, il s'agit de la capacité des consommateurs d'énergie à moduler leur consommation électrique.

- Flexibilité (Demand Response) à la baisse ou effacement : en cas de forte tension sur le système électrique, les consommateurs flexibles peuvent réduire leur consommation électrique.

Aujourd'hui la majorité de la flexibilité de la demande est assurée par de gros industriels qui peuvent générer une capacité de modulation de consommation importante, mais les consommateurs plus petits y participent également [28].

- Flexibilité (Demand Response) à la hausse : une hausse de la consommation électrique peut être requise pour absorber une production excédentaire d'électricité à partir d'énergies renouvelables.

2.4 Objectif de la MDE

La MDE répond à un ou plusieurs des enjeux et objectifs suivants [27] :

- Réduire la quantité d'énergie appelée sur un réseau, pour éviter d'avoir à renforcer le réseau de distribution quand il approche ses limites de charge.
- Diminuer le gaspillage énergétique.
- Diminuer les émissions de gaz à effet de serre.
- Diminuer la dépendance énergétique d'un pays ou d'une collectivité.
- Limiter les risques liés au nucléaire.
- Diminuer la précarité énergétique.
- Diminuer les consommations énergétiques.

2.5 Stratégies de la maîtrise de la demande de l'énergie

Dans cette section, les différents stratégies MDE seront brièvement expliqués. Cette explication comprendra l'objectif principal du programme et les changements apportés sur une courbe de charge typique après l'application de ce programme. Les principales techniques de gestion de la charge sont montrées sur la figure (2.2) :

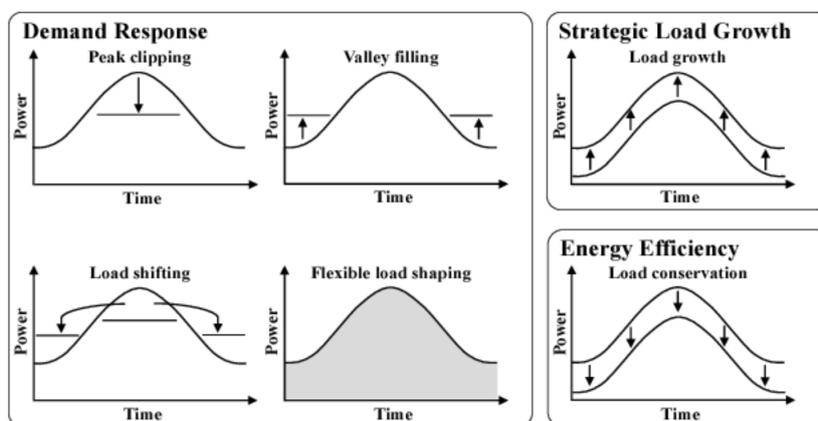


FIGURE 2.2: Stratégies de maîtrise de la demande [23]

Les stratégies présentées dans la Figure ci-dessus peuvent être décrites de la manière suivante [23] :

- Ecrêtage des pointes (peak clipping) : il s'agit du processus de réduction de la demande de charge au moment des heures de pointe.
- Remplissage des vallées (valley filling) : c'est le processus qui consiste à augmenter la charge aux heures creuses pour améliorer le facteur de charge du système.
- Déplacement de la charge (load shifting) : c'est le processus qui consiste à réduire l'électricité au moment de la demande de pointe et à augmenter la charge aux heures creuses. Le principe combine

les avantages de l'écrêtage de pointe et du remplissage de vallée.

d) Stratégie de conservation d'énergie (load conservation) : c'est la diminution de la demande globale d'énergie en augmentant l'efficacité de l'utilisation de l'énergie. Autrement, il s'agit de la réduction des charges tout au long de la journée.

e) Stratégie de croissance de la charge (load growth) : il s'agit du processus d'augmentation ou de renforcement de la charge au moment du surplus d'électricité. C'est aussi l'utilisation accrue de l'énergie électrique soit pour remplacer des équipements inefficaces fonctionnant aux combustibles fossiles ou pour améliorer la productivité et la qualité de vie des consommateurs.

f) Forme de la charge flexible (flexible load shaping) : il s'agit du processus permettant aux clients d'utiliser l'énergie en fonction de leurs besoins. Le principe peut être réalisé par des contrats et tarifs spécifiques avec la possibilité de contrôler de manière flexible l'équipement des consommateurs.

Ces programmes diffèrent d'un service public à l'autre, car ils dépendent du nombre de clients, du type de charge (commerciale, industrielle ou résidentielle), des avantages de la technique, du niveau de réaction ou de satisfaction des clients vis-à-vis du programme appliqué, etc.

2.6 MDE entre la routine et la motivation

La plupart des pratiques sociales s'inscrivent dans des routines, ne sont plus réfléchies, souvent n'accèdent plus à la conscience tant elles sont devenues machinales, les routines restent le modèle de l'action. Elles n'ont besoin d'aucune instruction, s'accompagnent d'automatismes qui excluent toute possibilité de réflexion ou de choix entre différentes solutions. Par ailleurs, adopter un nouveau système technique d'éclairage, de chauffage ou intégrer le souci de modérer ses consommations d'énergie renvoie à deux paramètres que sont la motivation (c'est ce qui donne du sens à l'acte) et l'engagement (le passage à l'acte). Mais pour motiver un consommateur, deux types de jugements vont alors intervenir : un jugement d'utilité qui peut concerner le côté technique, social, économique ou environnemental de la démarche et un jugement d'efficacité qui se traduit par l'attente de résultats concrets (économie financière, praticité, réduction effective des gaz à effet de serre. . .)[29].

2.7 Efficacité énergétique de l'éclairage public

La technologie d'éclairage s'est considérablement améliorée au cours de la dernière décennie, rendant les hautes performances et l'efficacité abordables pour une utilisation à grande échelle. Les technologies efficaces telles que les LED, les capteurs, les systèmes de surveillance et les commandes commencent à être largement adoptées dans les systèmes d'éclairage extérieur. Bien que ces techno-

logies aient généralement un coût initial élevé, au fil du temps, elles réduisent les coûts énergétiques et de maintenance et offrent de nombreux autres avantages. Le coût des LED, la technologie d'EP la plus efficace, diminue rapidement, mais coûte généralement 2 à 4 fois plus cher par lampe que la technologie (SHP) traditionnelle. Cependant, il consomme 30 à 50 % d'énergie en moins et réduit considérablement les coûts énergétiques tout au long de sa durée de vie. De plus, comme les lampes à LED ont une durée de vie beaucoup plus longue que les technologies traditionnelles, elles réduisent également considérablement les coûts et le temps de personnel associés au remplacement et à la maintenance.

La conversion de tous les éclairages de rue et d'autoroute aux États-Unis en éclairages à LED pourrait permettre d'économiser 20 200 GWh par an, soit l'équivalent de 0,5 % de toute l'électricité utilisée dans le pays. Cela se traduit par une réduction significative des coûts d'électricité pour les municipalités. Le département américain de l'énergie estime que l'adoption généralisée d'un EP à haut rendement pourrait permettre aux communautés nationales d'économiser 1 milliard de dollars par an.

De nombreuses villes commencent à prendre des mesures pour améliorer l'éclairage extérieur ; 42 % des villes américaines déclarent avoir utilisé les récentes subventions énergétiques fédérales pour un éclairage efficace, tandis que 90 % des plus grandes villes du monde déclarent avoir procédé à des améliorations de l'éclairage extérieur. Pourtant, des opportunités importantes subsistent. Par exemple, en 2010, seulement 11 % des luminaires extérieurs aux États-Unis étaient des LED [30].

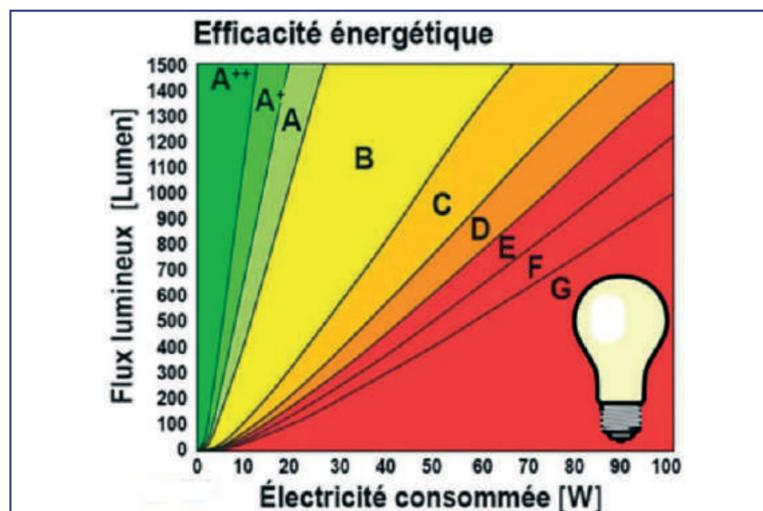


FIGURE 2.3: Efficacité et classification des sources lumineuses artificielles [30]

2.8 Principes d'efficacité des installations d'éclairage public

2.8.1 Répondre aux besoins

Les niveaux d'éclairement et d'uniformité correspondent aux besoins de la zone correspondante. L'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance entre l'objet éclairé et la source lumineuse. En d'autres termes, La hauteur de la lampe doit être la plus basse possible pour favoriser un éclairage maximal. L'uniformité dépend de La surface que le luminaire est autorisé à couvrir, plus le luminaire est bas, plus la zone est petite [8].

2.8.2 Minimiser le coût global

Le coût total d'installation de l'EP comprend l'investissement nécessaire à sa mise en œuvre. L'espace et ses coûts d'exploitation, y compris la consommation d'énergie et les coûts de maintenance.

Minimiser les coûts maintenance, les luminaires avec un degré de protection IP65 ou IP66 protégeront correctement la source lumineuse, le ballast et éventuellement son soutien. De plus, les lampes doivent être facilement accessibles pour les opérations de maintenance et de dépoussiérage [8].

2.8.3 Minimiser l'impact sur l'environnement

Afin de limiter la pollution lumineuse, l'éclairage ne doit pointer que vers La zone éclairée évite également le gaspillage d'énergie. Un critère simple est de choisir des lampes non lumineuses, Il n'y a pas ou presque pas de lumière au-dessus d'eux, ou ULOR ou ULR est proche de zéro [8].

2.9 Actions typiques de la MDE

Pour mener à bien son éclairage public, le service technique communal doit procéder à certaines actions, notamment [31] :

- Réduction des heures de fonctionnement.
- Réduction de la puissance et/ou du nombre de lampes en fonctionnement.
- Remplacer les sources lumineuses inefficaces par des sources efficaces.
- Améliorer le système de contrôle.
- Amélioration des procédures de maintenance.

2.9.1 Heures de fonctionnement

Le conseil municipal s'est engagé à utiliser l'EP pendant les heures sombres.

Le gain de place à cet égard est limité. Cependant, il est important de s'assurer que les lumières ne sont allumées qu'en cas de besoin et que la lumière du jour est inférieure à un certain niveau.

Ceci peut être réalisé en utilisant et en optimisant les commutateurs photoélectriques. Des précautions doivent être prises pour garder cet interrupteur propre et en bon état de fonctionnement.

2.9.2 Nombre de luminaires

La quantité de lumière requise sur une route dépend des exigences légales, de l'asphalte, du volume de trafic, du type de route, des limites de vitesse et de l'environnement. Si l'un de ces paramètres change pendant la nuit (par exemple, volume de trafic, limitation de vitesse), la puissance lumineuse peut diminuer. Cela peut être fait en réduisant la puissance des lampes ou en les éteignant complètement.

Il existe plusieurs familles de lampes utilisées en éclairage routier, chacune ayant ses propres caractéristiques. La technologie disponible et le coût ont été des facteurs majeurs dans la détermination des systèmes utilisés dans le passé. En utilisant des sources lumineuses plus efficaces, il est possible de réduire le nombre de lampes en fonctionnement et de fournir le même niveau d'éclairage.

2.9.3 Luminaires

Les lampes sont disponibles dans une variété de formes pour diriger la lumière là où elle est nécessaire et au-delà. Avec les lampes SHP, c'est le luminaire de choix pour les nouvelles installations d'EP depuis de nombreuses années. Ces appareils envoient la lumière vers le bas, mettant plus de lumière sur la route avec moins de lumière parasite et sans éblouissement. Les luminaires plus récents ont généralement une efficacité lumineuse plus élevée, ce qui permet l'utilisation de sources lumineuses de faible puissance. L'installation de dispositifs d'occultation a parfois provoqué une réaction négative du public, car l'absence d'éclairage éblouissant peut donner à certaines personnes l'impression de ne pas voir la lumière comme montré dans la figure (2.4).

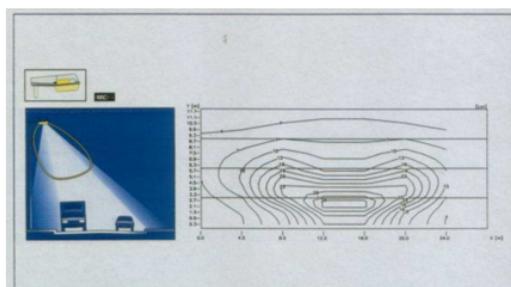


FIGURE 2.4: luminaire

2.9.4 Système de commande

Les systèmes de contrôle numérique modernes se composent de trois éléments principaux :

- L'unité de commande dans le luminaire.
- Unité centrale et module GSM dans chaque panneau installé.
- Processeurs de données à distance pour la gestion et le contrôle des unités individuelles.

Ces systèmes sont capables de faire fonctionner individuellement chaque luminaire de l'installation. De plus, ils fournissent des informations en ligne sur l'état de chaque luminaire et de ses composants individuels, y compris une détection détaillée des défauts. Annonce de 30 % d'économies sur l'électricité et de 40 % sur la maintenance.

2.9.5 Maintenance

Tous les équipements d'éclairage doivent continuer à fonctionner avec une efficacité maximale. La saleté sur les panneaux et les lentilles de réflecteur peut entraîner une dégradation des performances des luminaires, tandis que les lampes tombent en panne à des intervalles raisonnablement prévisibles. C'est pourquoi les lampes peuvent être remplacées de manière planifiée avant qu'elles ne tombent en panne, plutôt que toutes en même temps. L'utilisation d'un petit nombre de types de lampes et de luminaires différents permet également de réaliser des économies en raison des conditions d'achat et d'une meilleure gestion des stocks.

Un logiciel de gestion des données peut comprendre le nombre et le type de luminaires.

2.10 Critère de choix des équipements

2.10.1 Qualité du luminaire

Nous vérifierons si les caractéristiques du projet d'EP sont adaptées selon les normes spécifiées, nous proposerons également du matériel à lampe LED idoine, qui permettra d'allier éclairage convenable et économie d'énergie.

Les trois principaux paramètres qui doivent être pris en compte pour avoir un luminaire de bonne qualité sont : l'étanchéité, la solidité et la protection électrique [5].

Étanchéité

Le luminaire doit être au minimum protégé contre les poussières nuisibles et contre les jets d'eau.

Solidité

La solidité du luminaire est établie lorsqu'il peut au moins résister au choc transmis avoir au moins un joule d'énergie. Par conséquent, l'indice IK reflétant cette situation doit être d'au moins 6 : $IK \geq 06$

Sécurité électrique

La sécurité électrique des lampes se transforme en protection contre les chocs électriques. Afin de s'assurer que le matériel est bien protégé.

2.10.2 Performance du luminaire

Un second critère à prendre en compte est la performance du luminaire traduite par son efficacité lumineuse [5].

Efficacité lumineuse

Cette notion désigne la quantité de lumière émise par Watt d'électricité consommé. Une excellente efficacité lumineuse devra donc nous permettre à la fois de produire un éclairage défini et de conserver une légère consommation d'énergie électrique. Plus concrètement, le choix de luminaire se fait en fonction de son efficacité lumineuse globale, en tenant compte de l'efficacité lumineuse de la lampe et de celle des auxiliaires électriques. Pour avoir un bon luminaire, l'efficacité lumineuse doit être supérieure à 70 lumens par Watt [5].

Limite de l'éblouissement

La qualité d'installation en termes de visibilité et d'éblouissement est définie par l'indice TI (Increment Threshold). Exprimé en pourcentage, le TI doit être inférieur à une limite typiquement de 10 ou 15 %, selon le type de route éclairée (les valeurs supérieures à 40 % ne sont pas tolérées) ,voir le chapitre 1 [1].

2.11 Contribution de la MDE pour diminuer la pollution lumineuse

Pour réduire la pollution lumineuse, l'éclairage doit être adapté à l'utilisateur et aux besoins réels. En effet, la consultation des plans d'EP de la commune et des visites de terrain permettront de :

- Identifier les lampes à forte consommation d'énergie (par exemple les lampes à vapeur de mercure) mauvaises performances et faible efficacité lumineuse.
- Déterminer le nombre de feux blancs et oranges (blanc vs orange), la lumière en orange attire moins d'insectes et produit moins de pollution lumineuse. Il faut cependant coordonner les couleurs des feux par zone (routes notamment) et tenir compte de l'efficacité énergétique des lampes.
- Positionnement d'un éclairage trop fort et éblouissant, il n'est donc pas adapté à cette situation.
- En savoir plus sur les kilomètres et les différents types de routes éclairées, la ville pourra baisser la puissance des lumières au besoin.
- Remplacer les lampes défectueuses par des lampes plus efficaces (bonne directivité, pas d'émissions en hauteur).
- La valeur du flux lumineux en pourcentage (ULOR) dirigé vers l'hémisphère supérieur du luminaire doit être $\leq 3\%$ en éclairage fonctionnel et $\leq 10\%$ en éclairage ambiant moyen. Si connaître la valeur ULOR du matériel installé est trop onéreux, on veillera à ce que le luminaire ait un niveau ULOR $\leq 3\%$ avant l'installation.

2.12 Méthode de pré dimensionnement d'éclairage public

Les éléments d'échelle du projet sont déterminés en plusieurs étapes [15] :

- Classification des chaussées.
- Détermination de la luminance de la chaussée.
- Choix du type d'implantation.
- Détermination du rapport R.
- Détermination du facteur d'utilisation U.
- Calculer la puissance de la lampe.
- Méthode de luminance ponctuelle.
- Utilisez la méthode de dimensionnement de l'ordinateur.

2.12.1 Classification des chaussées

La classification de la chaussée est requise pour les projets de conception EP, les voiries sont généralement classées selon leur composition et leur volume et la vitesse du véhicule.

2.12.2 Détermination de la luminance de la chaussée

La luminosité est la grandeur physique qui caractérise la lumière reçue par un observateur regardant un point de la surface. Cette grandeur dépend du matériau et de la couleur de la surface, ce qui reflète la perception que l'utilisateur a de son environnement

2.12.3 Choix du type d'implantation

Selon les différentes voiries et espaces public, il y a différentes types d'implantation des lampadaires. Dans ce que suit la présentation de ces différents types [2] :

Implantation unilatérale

Ce type consiste en une seule rangée de lampadaire la figure 2.5(a) , du même côté de la route. L'avantage est l'investissement limité et l'empreinte limitée d'un seul trottoir, mais convient aux routes à largeur limitée (voies urbaines, trottoirs, etc.).

Implantation bilatérale en vis-à-vis

Ce type se compose de deux rangées de lampadaires faisant face aux deux côtés de la route comme indiqué dans la figure (2.5) (b).L'avantage est qu'il s'adapte aux chaussées plus larges, et aux restrictions éventuelles de la hauteur du feu ($H = L/2$), mais c'est un investissement plus important.(L : largeur de la chaussée.)

Implantation bilatérale en quinconce

Ce type se compose de deux rangées de chaque côté de la route, mais pas opposées 2.5(c).

Il a une esthétique, mais l'investissement est important et l'uniformité de la luminosité obtenue est plus compliquée, ce qui peut être utilisé pour desservir les routes, les parcs et jardin.

Implantation axiale

Ce type consiste en une rangée de lampadaires (axe) au milieu de la route figure 2.5(d). L'avantage est que l'investissement est limité (mât à une rangée), mais l'uniformité de la luminosité est réduite du côté opposé et la maintenance est difficile, utilisé dans les voiries mixtes .

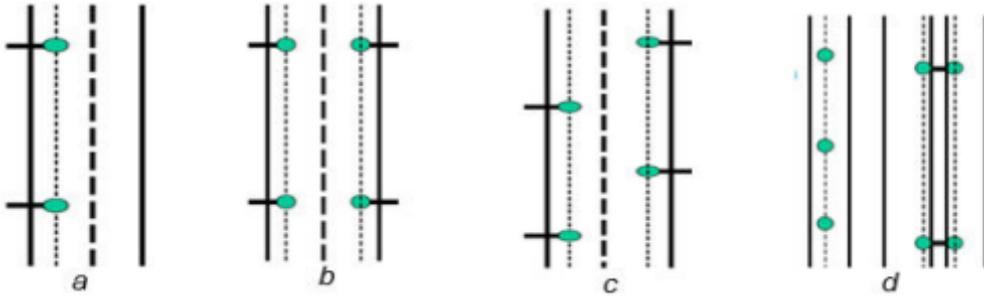


FIGURE 2.5: Différents types d'implantation [2]

2.12.4 Détermination du rapport R

Elle est basée sur des règles empiriques de mise en œuvre et sur le calcul du flux à installer. Dans cette méthode du point de vue de l'uniformité, il est recommandé de respecter certaines relations, établies empiriquement, entre ces différents paramètres de l'installation[15].

L'espacement est choisi suivant des règles données par la figure (2.6) ci-dessous :

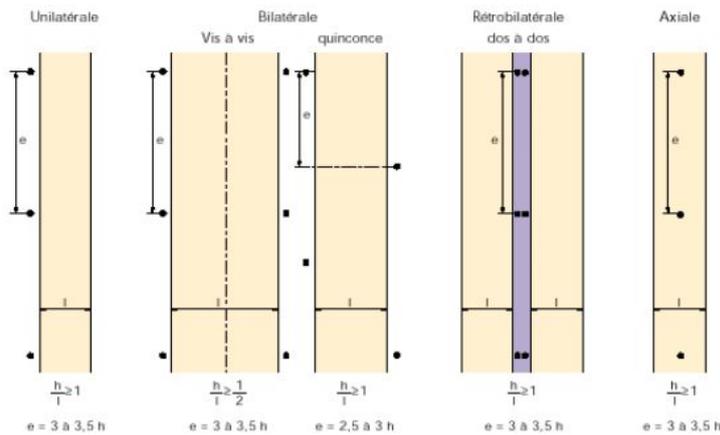


FIGURE 2.6: Modes d'implantation [15]

- l : largeur de la chaussée.
- h : hauteur de feu.
- e : espacement des foyers.

2.12.5 Détermination du facteur d'utilisation U

C'est le pourcentage du flux émis par le luminaire tombant sur la partie utile de la chaussée. Il est calculé par la relation suivante [15] :

$$\text{Facteur d'utilisation} = \text{Rendement} \times \text{utilance}$$

- Rendement d'un luminaire : c'est le rapport du flux sortant du luminaire dans des conditions d'utilisation données, au flux émis par la lampe dans les mêmes conditions.

— Utilance : C'est le rapport du flux utile (reçu par le plan utile) au flux total sortant des luminaires.

2.12.6 Détermination du facteur vieillissement

Le facteur de vieillissement est un paramètre qui prend en compte la durée de vie de la lampe et du degré de pollution de l'environnement [15].

Ce facteur est illustré par la relation suivante :

$$v=v1.v2$$

— v1 : la durée de vie de la lampe.

— v2 : le coefficient d'encrassement du candélabre.

2.12.7 Calcule du flux des lampes

Au bout d'un an, le flux lumineux que le luminaire doit émettre pour maintenir la luminosité souhaitée, donné par la relation [15] :

$$\phi_{lampe} = \frac{L_{moyen} \times L \times e \times I}{f_u \times V} \quad (2.1)$$

Avec :

— I : Courant (A)

— L : largeur de la chaussée en [m].

— e : l'espacement entre deux luminaires consécutifs en [m].

— L_{moyen} : Luminance de la chaussée.

— V : Facteur de vieillissement.

— f_u : facteur d'utilisation du luminaire

2.13 Normes d'éclairage public

La norme Européenne NF EN 13 201 pour la performance de l'éclairage public est particulièrement intéressante pour guider les projets d'EP.

Cette norme indique les caractéristiques de luminosité requises, telles que l'éclairement, l'uniformité, la luminosité, pour assurer un bon éclairage selon la zone à éclairer. La norme fournit également des méthodes de calcul et de mesure de ces paramètres, ainsi que des indicateurs de performance tels que la densité de puissance et la consommation énergétique annuelle.

Afin d'optimiser la consommation d'énergie, la densité de puissance des voies express, boucles et voies de transit doit être $\leq 30mW/lx.m^2$, et la densité de puissance des autres types de routes doit être $\leq 45mW/lx.m^2$. Cela correspond à des installations équipées de lampes au sodium avec une consommation électrique de 0,2 à 5,3 kWh/m² ou de LED avec une consommation électrique de 0,4 à 3,8 kWh/m² [8].

La norme européenne EN 13201 comprend quatre documents [32] :

– RT 13201-1 Éclairage public – Rapport technique sélection des classes d'éclairage : Constitue une aide pour la sélection des classes de chaussées et de leurs différentes exigences.

a) Groupes de situations d'éclairage : En ce qui concerne la vitesse et les types d'utilisateurs.

- A1, A2, A3 : Trafic motorisé prépondérant.
- B1, B2 : Trafic motorisé + cyclistes.
- C1, D1 à D4 : Trafic motorisé + cyclistes + piétons.
- E1, E2 : Piétons en priorité.

b) Paramètres particuliers par zone d'étude :

• Géométrie des voies (séparation des voies, présence d'échangeurs et de carrefours, zones de conflits).

• La nature du trafic (densité, présence de piétons et de cyclistes, stationnement, difficultés de navigation).

• L'environnement (exigences visuelles, environnement, météo).

– EN 13201-2 Éclairage public – Exigence des performances : Permet de définir les performances photométriques de chaque classe de chaussée (valeurs minimales à respecter, éventuellement variables dans le temps).

L (cd.m⁻²) : luminance moyenne.

E (lux) : éclairage moyen.

- U0 (%) : uniformité générale (L ou E).
- U1 (%) : uniformité longitudinale (L).
- TI (%) : taux d'éblouissement.
- SR (%) : rapport de contiguïté (abords).

– EN 13201-2 Éclairage public – Classes d'éclairage : En fonction des paramètres définis précédemment.

- ME, MEW, CE : Trafic motorisé prépondérant.
- S, A : Piétons et cyclistes.
- ES, EV : Zones à risques .

– EN 13201-3 Éclairage public – Calcul des performances :Fournit des méthodes et des étapes pour calculer la performance photométrique

– EN 13201-4 Éclairage public – Méthode de mesures des performances photométriques :Donne les conditions de mesure photométrique.

2.14 Étude de cas

Pour bien comprendre l’objectif de notre travail, nous avons fait un stage à l’entreprise ERMESO, dans lequel nous avons utilisé le logiciel DIALux pour simuler notre étude.

2.14.1 Présentation de l’entreprise ERMESO

ERMESO est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), crée par arrêté interministériel du 6 mars 2012 (ministère de l’intérieur et de collectivités locales, ministère des travaux public, ministère des finances), sous la tutelle de la wilaya d’ORAN.

L’EPIC ERMESO est actif dans le domaine de l’éclairage public, et de la signalisation routière, il est chargé des missions suivantes :

- Réaliser les réseaux EP au niveau de zones selon les normes techniques vigueur.
- Assurer la maintenance, l’entretien et la réhabilitation des réseaux d’EP dans le tissu urbain, les chemins de wilaya et les chemins communaux.
- Assurer l’étude et la mise en place des signalisations routières en collaboration avec les services compétents dans les tissu urbain, les chemins de wilaya et les chemins communaux dans la wilaya.
- Donner des consultations et prêter l’assistance technique, dans le domaine de ses compétences, aux communes à leur demande.
- Procéder à la réalisation de la signalisation routière notamment à proximité des établissements d’éducation et d’enseignement.
- Procéder à l’installation des décorations lumineuses et la modernisation de la signalisation routière.
- Construction et équipement de poste de transformateur.
- Fourniture, pose, installation et mise en service de système photovoltaïque en énergie solaire.
- Travaux de réalisation, de pose et d’alimentation en énergie électrique des mats et supports les différents équipements du système de vidéosurveillance.

2.14.2 État actuel de la rue Mekki Khelifa

Pour l'étude de l'état de l'EP dans la ville d'Oran, nous avons pris comme échantillon l'étude de la rue Mekki Khelifa .

Cette route est située en zone urbaine dans le quartier de Maraval à Oran et s'étend sur une distance de 1350 mètres. Elle comporte une double chaussée avec des colonnes au milieu, et chaque colonne est composée de deux lampes d'une puissance estimée à 250 watts.

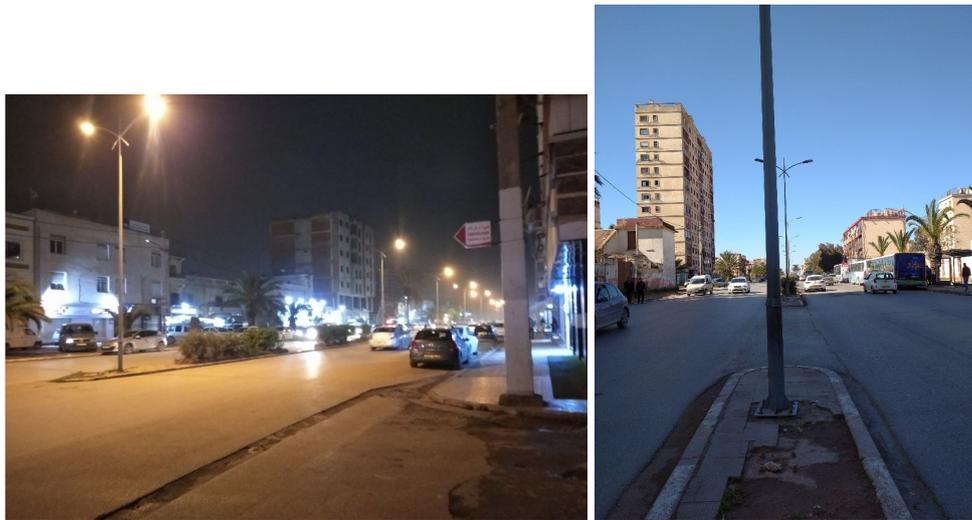


FIGURE 2.7: (a)Route de Mekki Khelifa la nuit/(b)Route de Mekki Khelifa le matin

Le tableau (2.1)suivant explique l'état de la rue à étudier :

TABLE 2.1: État l'art de la rue étudiée

| Le secteur | L'adresse | L'état actuel |
|---------------|-------------------|---|
| Mekki khelifa | Rue Mekki khelifa | 46 Candélabres galvanisés hauteur H=7m avec luminaire à sodium SHP 250W - Crosse doublet - Route principale de longueur 1350m. - Distance entre chaque deux poteaux 30m. |

2.14.3 Composants de l'armoire EP

L'armoire EP se compose de :

- Un disjoncteur (compacte, différentiel)
- Contacteur
- Bornier de raccordement

- Rail
- Des fusibles
- Dispositif de contrôle de l'allumage (photocellules)



FIGURE 2.8: Armoire EP

2.14.4 Calcul de la chute de tension

Pour les installations électriques conformes avec les exigences de la norme NF 15-100, la chute de tension dans le circuit doit être prise en compte pour assurer la sécurité et la performance des travaux.

La norme exige qu'en cas de raccordement à un réseau public de distribution basse tension, la chute de tension en tout point ne dépasse pas :

- 3% de la tension nominale du dispositif d'éclairage;
- 5% de la tension nominale installée pour d'autres usages (prises, chauffage, recharge de VE, etc.).

Pour une alimentation en 230 volts, la tension ne doit pas descendre en dessous de 223 volts et pour assurer le bon fonctionnement de l'équipement, nous garderons le pourcentage de chute de tension en dessous de 5%, la chute de tension acceptable dans le circuit doit être calculée au préalable afin de choisir correctement la section de câble adéquate.

Formule de calcul de la chute de tension :

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot \rho}{S \cdot \cos(\phi)} \quad (2.2)$$

ρ : résistivité de conducteur

L : longueur en mètres (m)

S : section en (mm²)

Cos(ϕ) : facteur de puissance

$\Delta U(V)$: chute de tension

Ce tableau (2.2) représente les sections de câbles utilisées pour tronçon de la rue étudiée.

TABLE 2.2: Tableau de calcul de chute de tension

| Numéro de support (Tronçon) | Longueur (m.l) | Section (mm ²) | Résistivité(Al) (ρ_{Al})($\Omega.m$) | Facteur de puissance Cos(ϕ) | $\Delta U(V)$ | Chute de tension % |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|---|------------------------------------|---------------|--------------------|
| 0-6 | 0.21 | 50 | 22.5 | 0.8 | 0.83 | 0.22 |
| 6-15 | 0.27 | 35 | 22.5 | 0.8 | 1.95 | 0.51 |
| 15-25 | 0.3 | 25 | 22.5 | 0.8 | 3.38 | 0.89 |
| 25-38 | 0.39 | 16 | 22.5 | 0.8 | 11.87 | 2.35 |
| 38-45 | 0.18 | 10 | 22.5 | 0.8 | 1.35 | 0.8 |
| | 1.35 | | | | 19.37 | 4.76 |

La chute de tension au bout de réseau :4.76%, elle réponde aux exigences de la norme NF 15-100.

2.14.5 Consommation de la rue Mekki khelifa en énergie électrique

Selon l'agence commerciale Medioni de SDO, la consommation d'énergie de la rue Mekki Khelifa est représentée sur les figures ci-dessous, d'abord pour un mois puis pour une année selon les périodes jour, nuit et pointe.

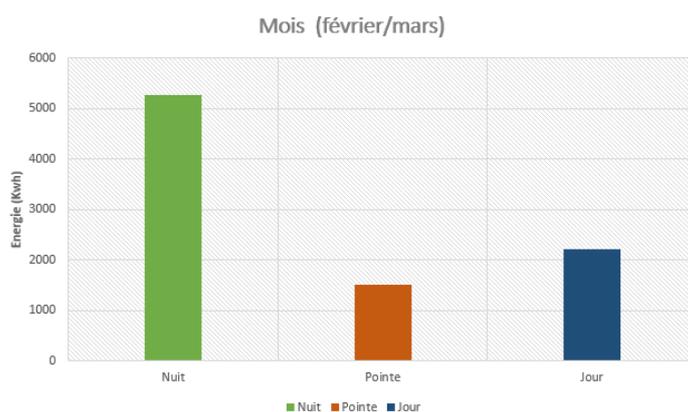


FIGURE 2.9: Consommation d'énergie d'EP d'un mois

Pour le mois de février, la consommation correspond à la même image que celle d'une année atteint les 8986 KWh , avec 2217 KWh consommée durant le jour, 5272 KWh durant la nuit, et 1497 KWh pendant les heures de pointe.

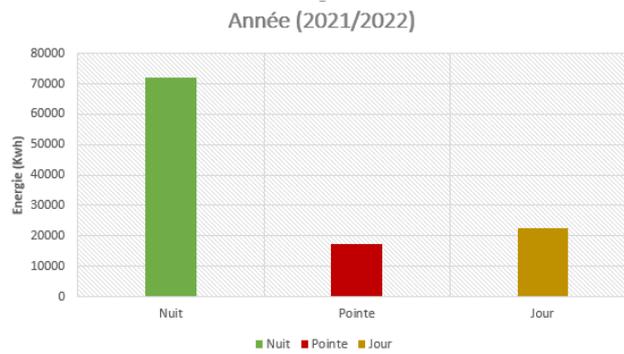


FIGURE 2.10: Consommation d'une année

La consommation en énergie électrique pour une année atteint les 112055 KWh, dont 72138 KWh est consommée durant la nuit, 22703 KWh durant la journée (due à la maintenance et les jours nuageux) et 17214 KWh durant les heures de pointe.

- Interprétation des graphes :

Nous remarquons que la consommation en énergie électrique de l'éclairage public de la rue Mekki khelifa prend la même allure que ce soit pour une année ou pour un seul mois, la consommation du mois de février constitue 8% de la consommation annuelle, ce qui est très logique.

La répartition de la consommation globale de l'énergie correspond à 16% durant les heures de pointes (Cette période correspond généralement au moment où la plupart des travailleurs se rendent aux domiciles), et dépasse les 60% durant la journée (cette consommation est due aux jours sombre ou nuageux, aux tests de bon fonctionnement mais surtout aux dysfonctionnement des dispositifs de commande de l'EP), d'où la nécessité de faire une étude du réseau d'éclairage public qui alimente cette rue dans le but de maîtriser la consommation, minimiser le gaspillage d'électricité, améliorer les performances, augmenter l'efficacité énergétique, mais aussi réaliser des économies en poche pour le compte de la commune.

2.15 Étude photométrique (Méthode classique)

Dans cette partie, nous allons mesurer sur terrain l'éclairage de la route Mekki khelifa, les mesures se font par un Luxmètre (dont l'unité est le lux) entre deux sources lumineuse consécutives.

a-Méthode de mesure

Afin de mesurer le niveau d'éclairage moyen d'un espace extérieur à l'aide d'un luxmètre, il est nécessaire d'effectuer différents mesures ponctuelles sur une surface reproductible et d'établir une



FIGURE 2.11: Luxmètre digital

moyenne arithmétique. L'emplacement et le nombre de points de mesure sont déterminés selon une grille régulière dont la taille doit être inférieure ou égale à la hauteur de feu divisée par deux.

Conditions nécessaires pour la mesure :

- Le luxmètre doit être complètement de niveau.
- Il est nécessaire d'éviter tout ombre.
- Le temps doit être sec (les gouttes d'eau peuvent fausser la mesure) [15].

b-Méthode de calcul

- Nous avons mesuré plusieurs points de luminosité entre deux supports consécutifs avec un pas de 2.5m, l'intensité diminue en s'éloignant de la source lumineuse, les mesures en lux sont illustrées sur la figure (2.12).

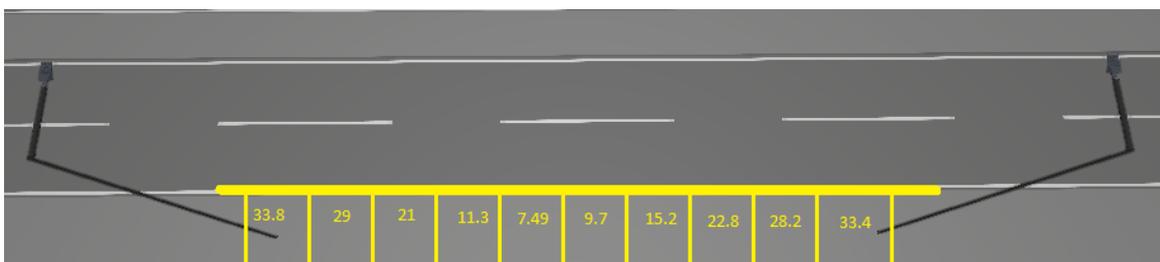


FIGURE 2.12: Mesure de l'éclairage en lux

- Nous pouvons maintenant calculer l'éclairage moyen et le rapport d'uniformité, les résultats sont illustrés au le tableau (2.3) ci-dessous.

- Le ratio d'uniformité moyenne = E_{min} / E_{moy}
- Le ratio d'uniformité minimale = E_{min} / E_{max}
- Le ratio d'uniformité maximale = E_{moy} / E_{min}

TABLE 2.3: calcul des grandeurs photométriques

| | L'éclairage | Les ratios d'uniformité | | |
|---------------------------------|-------------|-------------------------|-------|------|
| | moyen (lux) | Umoy | Umin | Umax |
| Rue Mekki Khe- lifa (Sodium) | 17.73 | 0.33 | 0.174 | 3 |

- Commentaire :

L'éclairage moyen obtenu est conforme (>10 lux) selon la norme 13-201, et la valeur de l'uniformité moyenne est raisonnable . Voir l'annexe 2 (la norme 13-201).

2.16 Étude photométrique avec DIALux

2.16.1 Logiciel DIALux

DIALux permet le calcul de la lumière du jour et de la lumière artificielle dans les espaces extérieurs ou intérieurs. Le calcul est basé sur la norme DIN 5034 (Deutsches Institut für Normung EV) et la publication CIE 110.

L'algorithme DIALux utilise la méthode de la radiosité : la surface du modèle est discrétisée en plusieurs faces et la luminance (émission et réception) est calculée pour chaque face. L'éclairage en chaque point est calculé en fonction de l'équilibre du rayonnement lumineux reçu et émis par la surface.

DIALux peut calculer l'éclairage, le facteur de lumière du jour, la luminosité et peut effectuer des études et un rendu des ombres. Les possibilités de modélisation pas à pas intégrées permettent la création de modèles simples, tandis que le logiciel permet l'importation de modèles conçus sur d'autres programmes de CAO pour des projets géométriquement plus complexes. La grille de calcul est entièrement configurable.

Ce travail nous a permis de dresser une carte isophotométrique de l'éclairage obtenu au sol à l'aide de ce luminaire. Chaque tracé isolux agrège tous les points avec la même valeur de luminance (lux) [33].

Nous avons donc utilisé DIALux evo 9.1 au cours de notre projet.

2.16.2 Simulation de l'état actuel avec des lampes SHP de 250W

La simulation est effectuée sur la route Mekki Khelifa à partir du rond-point des Palmier, l'EP qu'il alimente est constitué de 46 point lumineux.

Les étapes de simulation par logiciel DIALUX sont représenté ci-dessous :

Étape1 :

Lancer le logiciel et sélectionner le mode éclairage des rues, deux menus s'afficheront le premier pour configurer la route et le second pour configurer les luminaires.

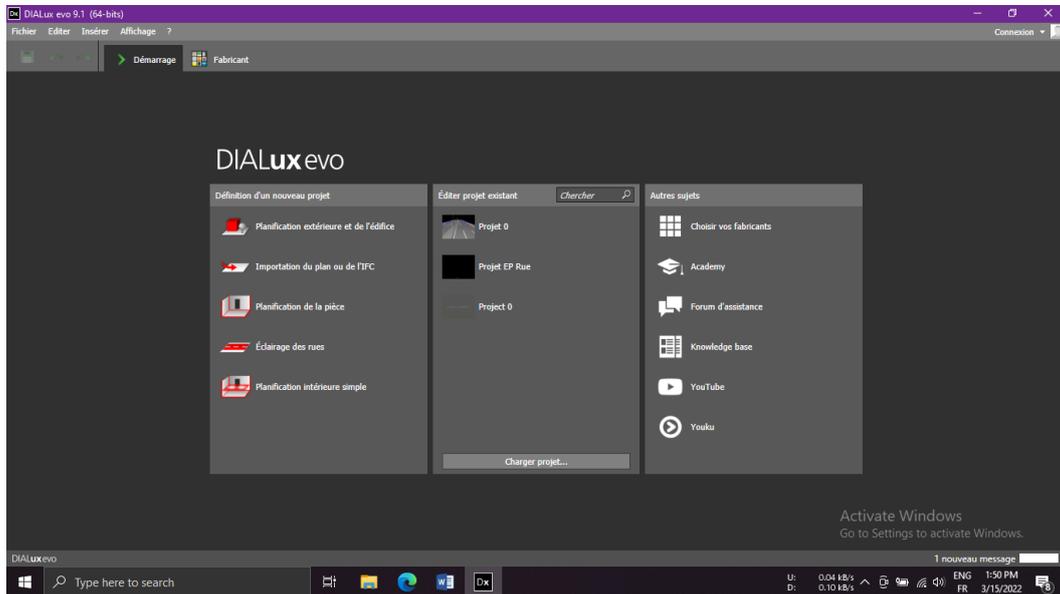


FIGURE 2.13: Interface du logiciel DIALUX

Étape2 :

Cliquer sur le menu 'route', donner le nom de la route et cliquer sur la norme européenne EN13201, dans notre cas nous avons choisis la version 2004.

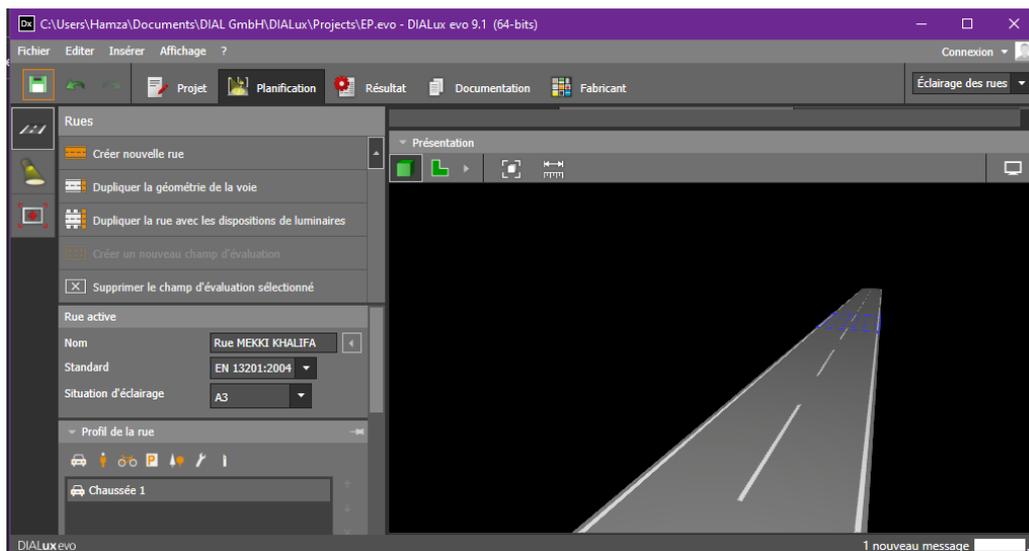


FIGURE 2.14: Choix du menu de la route

Étape3 :

Après avoir choisi le tracé de la route, cliquer sur chaque élément (trottoir et chaussée) pour remplir ses caractéristiques, selon le cahier de charge (largeur, hauteur et nombre de voies).

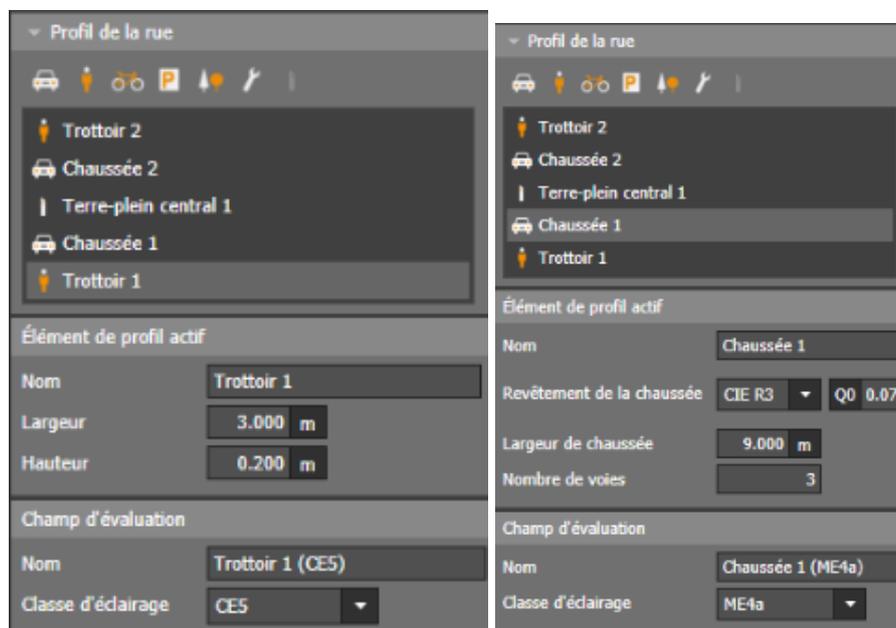


FIGURE 2.15: Caractéristiques des trottoirs et chaussées

Selon la méthode européenne suivie par le DIALux, il y a 3 grandes classes d'éclairage des chaussées à considérer :

M : pour les voies de circulation motorisées (M4).

C : pour les zones de conflit.

P : pour les voies piétonnées et les voies de circulation à faible vitesse (P4).

Les consignes s'affichent selon la catégorie de la route choisie.

Étape4 :

Cliquer sur le menu "luminaire", pour configurer les arrangements lumineux. Nous trouvons des catalogues des différents fabricants de luminaires où on peut choisir les luminaires qui nous conviennent le plus.

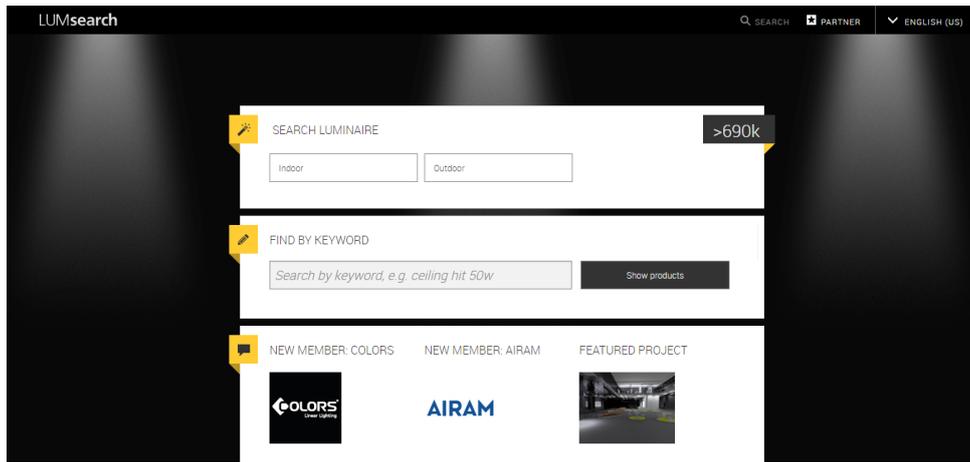


FIGURE 2.16: Catalogues des luminaires

Étape 5 :

Après avoir choisi des luminaires avec les mêmes caractéristiques que ceux implantés dans la rue Mekki Khelifa «LEIPZIGERLEUCHTEN COSMA I» pour une puissance de 250 W et un flux lumineux total de 26624 lm qui nous convient plus.

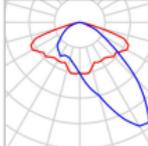
| | | | |
|---|---|---|----------|
|  |  |  | |
| Fabricant | LEIPZIGERLEUCHTEN | P | 250.0 W |
| Article n° | 9.101.2086.01 | Φ_{Lampe} | 33200 lm |
| Désignation | COSMA I | $\Phi_{Luminaire}$ | 26624 lm |
| Composants | personnalisé | η | 80.19 % |

FIGURE 2.17: Caractéristiques de luminaire

Étape 6 :

Dans cette étape, nous avons choisis les caractéristiques des luminaires à savoir l'implantation par rapport à la route, l'espacement entre les luminaires, la hauteur du mat, le nombre de luminaires par poteau...

- Le choix de l'implantation bilatérale axiale est fait suivant les règles de la figure (2.6).
- Le choix de la hauteur du feu h , la largeur de la chaussée L , et l'espacement E entre les foyers est fait suivant les critères de la figure (2.6).

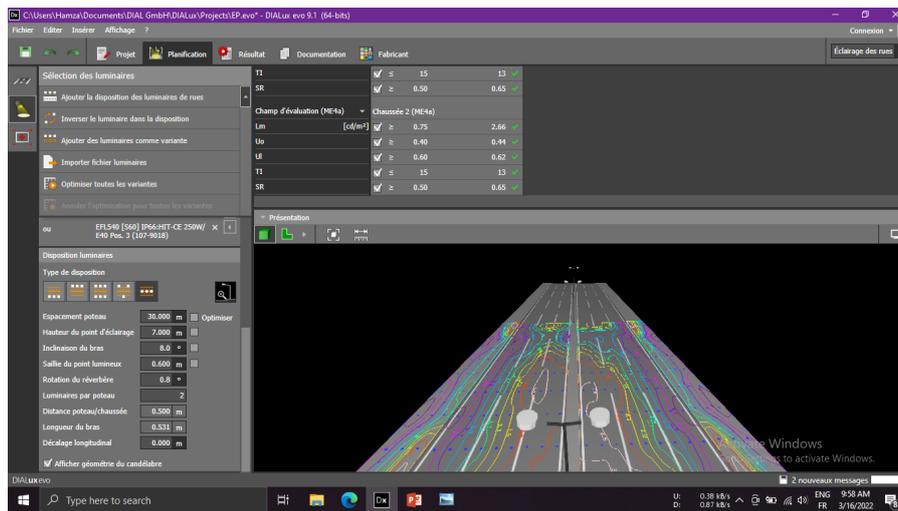


FIGURE 2.18: Identification des caractéristiques de la route

Étape 7 :

Une fois tous les paramètres sont saisis, on peut visualiser en 2D l'éclairage de la route étudiée.

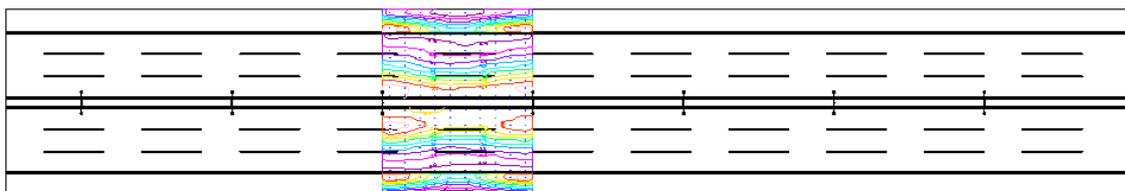


FIGURE 2.19: Visualisation en 2D de l'EP de la route.

Étape 8 :

Les résultats de simulation s'affichent instantanément à chaque modification des paramètres.

Selon la figure (2.20), on constate que l'éclairage moyen est égale à 16.7 lux (valeur proche à celle calculée par la méthode classique), les résultats affiche aussi l'intensité lumineuse, l'uniformité générale et longitudinale, le taux d'éblouissement (inversement proportionnel à la pollution lumineuse) et l'éclairage des alentours.

| | Taille | Calculé | Consigne | Contrôlé |
|-------------------|-----------|------------------------|-------------------------------|----------|
| Trottoir 2 (CE5) | E_{moy} | 16.69 lx | ≥ 7.50 lx | ✓ |
| | U_o | 0.52 | ≥ 0.40 | ✓ |
| Chaussée 2 (ME4a) | L_{moy} | 2.66 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.44 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.62 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | TI | 13 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.65 | ≥ 0.50 | ✓ |
| Chaussée 1 (ME4a) | L_{moy} | 2.63 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.44 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.60 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | TI | 13 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.65 | ≥ 0.50 | ✓ |
| Trottoir 1 (CE5) | E_{moy} | 16.69 lx | ≥ 7.50 lx | ✓ |
| | U_o | 0.52 | ≥ 0.40 | ✓ |

FIGURE 2.20: Résultat de simulation de l'état actuel

- Commentaire :

D'après le résultat de simulation par le logiciel DIALux, nous avons constaté que notre route (Mekki Khelifa) est bien éclairée, et remplissent les exigences de la norme 13 201.

Les valeurs affichées satisfont largement les consignes imposées, pour cela nous proposons une diminution de la puissance des luminaires utilisés tout en gardant la même efficacité de l'éclairage.

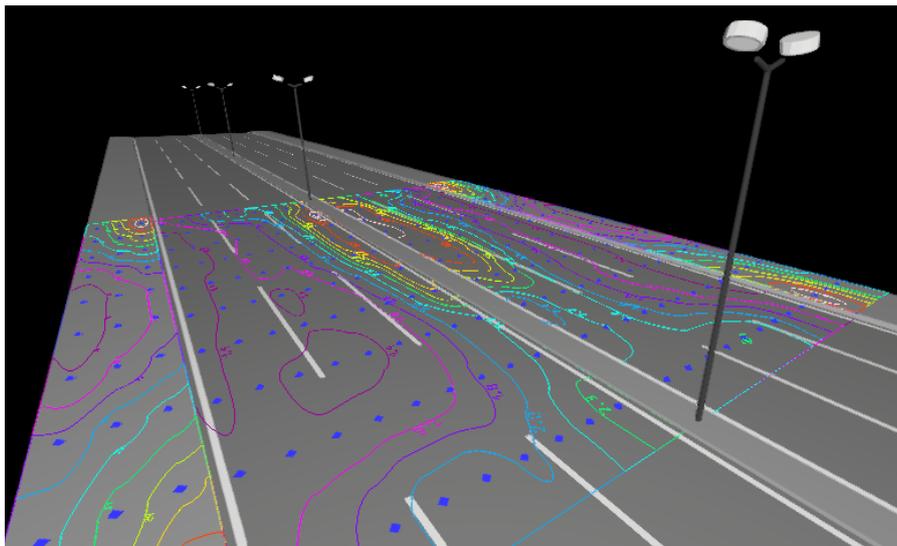


FIGURE 2.21: Vue en 3D de l'EP de la route

2.16.3 Solutions proposés

1 ère variante : Utilisation des luminaires SHP de 150 W

Nous allons remplacer les luminaires actuels de 250 W avec des luminaires moins énergivore d'une puissance de 150W, en suivant les mêmes étapes de simulation par DIALux.

Nous avons gardé les mêmes caractéristiques de la route et les mêmes consistances des supports (longueurs et distances entre les supports EP).

Étape 05 : Nous avons choisis le luminaire "EFL540[S60]" voir la figure (2.22) d'une puissance de 150W et avec un flux lumineux total de 17500 lm (soit 116 lm/W).

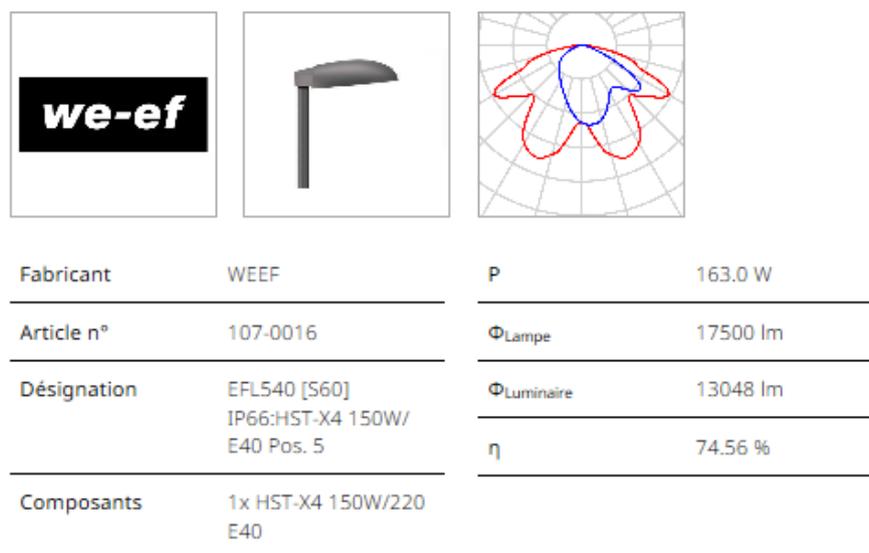


FIGURE 2.22: Caractéristiques du luminaire SHP 150W

Étape 06 : Les résultats de simulation de L'EP, ont montré que l'utilisation des lampes SHP de 150 W remplissent les consignes imposées par la norme 13 201 tout en gardant la même disposition des supports EP existants. Donc les puissances des luminaires de 150W sont largement suffisantes pour éclairer la route Mekki Khelifa.

| | Taille | Calculé | Consigne | Contrôlé |
|-------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------|----------|
| Trottoir 2 (CE5) | E_{moy} | 12.24 lx | ≥ 7.50 lx | ✓ |
| | U_0 | 0.54 | ≥ 0.40 | ✓ |
| Chaussée 2 (ME4a) | L_{moy} | 1.07 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_0 | 0.49 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.63 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | $Tl^{(2)}$ | 8 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.51 | ≥ 0.50 | ✓ |
| Chaussée 1 (ME4a) | U_0 | 0.49 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.63 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | $Tl^{(2)}$ | 6 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.51 | ≥ 0.50 | ✓ |
| | $L_{moy}^{(1)}$ | 1.08 cd/m ² | - | - |
| Trottoir 1 (CE5) | E_{moy} | 12.24 lx | ≥ 7.50 lx | ✓ |
| | U_0 | 0.54 | ≥ 0.40 | ✓ |

FIGURE 2.23: Résultat de simulation avec de luminaires SHP 150W

2ème variante : Utilisation des luminaires LED de 55 W

Nous allons maintenant remplacer les luminaires SHP avec une autre technologie de luminaires, il s'agit des luminaires LED d'une puissance 55W encore moins énergivores et avec de haute performances.

Nous avons gardé les mêmes caractéristiques de la route et les mêmes consistances des supports (longueurs et distances entre les supports EP).

Étape 05 : Nous avons choisi le luminaire "R2L2 S 36L50 WR L740 CL2 [STD]" voir la figure (2.24) d'une puissance de 55W et avec un flux lumineux total de 8422 lm (soit 153 lm/W).

| Fabricant | Thorn | P | 55.0 W |
|-------------|--------------------------------|--------------------|----------|
| Article n° | 96274987 | Φ_{Lampe} | 8422 lm |
| Désignation | R2L2 S 36L50 WR L740 CL2 [STD] | $\Phi_{Luminaire}$ | 8422 lm |
| Composants | 1x LED 55 W | η | 100.00 % |

FIGURE 2.24: Caractéristiques du luminaire LED 55W.

Étape 06 : Résultats de simulation

Les résultats de simulation ont montré que l'utilisation des lampes LED 55 W de haute technologie remplissent suffisamment les consignes imposées par la norme 13 201 tout en assurant un éclairage efficace et adéquat suivant les besoins de la route en question.

| | Taille | Calculé | Consigne | Contrôlé |
|-------------------|------------|------------------------|-------------------------------|----------|
| Trottoir 2 (CE5) | E_{moy} | 7.50 lx | ≥ 7.50 lx | ✓ |
| | U_o | 0.83 | ≥ 0.40 | ✓ |
| Chaussée 2 (ME4a) | L_{moy} | 0.84 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.40 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.74 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | $Tl^{(2)}$ | 11 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.54 | ≥ 0.50 | ✓ |
| Chaussée 1 (ME4a) | L_{moy} | 0.84 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.40 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.74 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | $Tl^{(2)}$ | 11 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.54 | ≥ 0.50 | ✓ |
| Trottoir 1 (CE5) | E_{moy} | 7.50 lx | ≥ 7.50 lx | ✓ |
| | U_o | 0.83 | ≥ 0.40 | ✓ |

FIGURE 2.25: Résultat de simulation avec de luminaires LED 55W

- Synthèse :

D'après la simulation par logiciel DIALux de l'éclairage public de la route Mekki Khelifa, nous avons constaté que :

- Les consigne imposés par la norme 13201 version 2004 sont remplis que ce soit par l'utilisation de lampes de technologie SHP de 250W/ 150W ou bien par l'utilisation des lampes à LED 55W.

-En revanche l'utilisation de luminaires moins puissants mais avec un flux lumineux satisfaisant, permet de maîtriser au mieux l'utilisation de l'énergie et diminuer le gaspillage, réaliser des économies en poches et réduire la pollution lumineuse.

- Du coup, les lampes à LED coûtent initialement plus chers par rapport aux lampes SHP traditionnelles mais ils consomment 30 à 50 % d'énergie en moins et réduit considérablement les coûts énergétiques tout au long de leur durée de vie, mais coûte généralement 2 à 4 fois plus cher par lampe que la technologie (SHP) traditionnelle. Cependant, il consomme 30 à 50 % d'énergie en moins et réduit considérablement les coûts énergétiques tout au long de sa durée de vie.

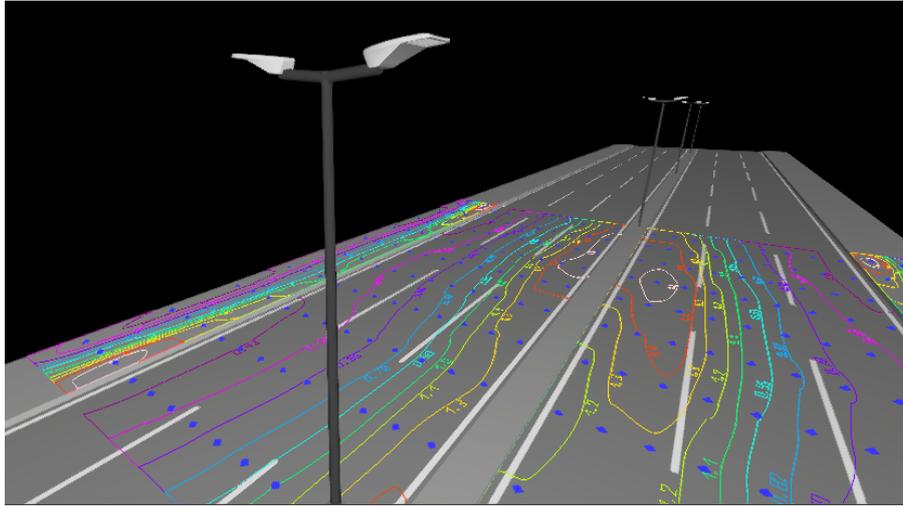


FIGURE 2.26: Vue 3D de L'EP avec des lampes LED

2.17 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté la problématique de la MDE, cette problématique se heurte aux habitudes et routines qui guident les comportements des usagers. En effet nous avons exposé les stratégies envisagées et les solutions proposés pour maîtriser la demande en énergie de l'éclairage public et par conséquent minimiser son impact sur l'environnement, l'épuisement des ressources tout en réduisant la facture d'électricité.

En deuxième lieu, nous avons exposé la méthodologie de pré- dimensionnement de l'éclairage public où nous avons établi un cas d'étude réel sur l'une des rues de la ville d'Oran.

Les résultats de simulation par logiciel DIALux ont permis de redimensionner l'éclairage de la rue en question de façon plus efficace tout en réalisant des économies d'énergie.

Dimensionnement d'un système d'éclairage public

3.1 Introduction

Après avoir présenté un état de l'art sur les fondements de l'éclairage public et les stratégies envisagées pour la maîtrise de la consommation de l'énergie, il est nécessaire maintenant de faire un bon dimensionnement des principaux éléments constituant notre installation EP. Ce dimensionnement est indispensable pour assurer la fiabilité de l'installation, des erreurs dans le calcul provoquent deux conséquences : un prix élevé dans le cas de surdimensionnement ou bien un déficit d'énergie dans le cas de sous-dimensionnement de l'installation.

L'énergie solaire est une source propre, disponible, gratuite, favorable à l'environnement, et est considérée comme alternative des énergies conventionnelles. La meilleure façon pour la récolter est la technologie photovoltaïque, son prix reste élevé par rapport aux énergies conventionnelles. Pourtant, il existe de nombreuses applications où le faible coût d'exploitation et de maintenance du système photovoltaïque met le photovoltaïque au coût le plus rentable à long terme [2].

Dans cette étude, on cherche à garder la même efficacité d'un éclairage conventionnel avec une réduction de consommation énergétique, en plus de la diminution de l'émission des gaz à effet de serre. Ce chapitre décrit de façon théorique le dimensionnement des éléments constituant de l'installation, la simulation est faite par le logiciel PV Système.

3.2 Éclairage public solaire

L'éclairage public solaire est défini comme un système d'éclairage qui utilise la lumière du soleil comme source d'énergie. Ce genre d'éclairage est de surcroît de plus en plus répandu, il convient notamment pour les pays où la ressource solaire est importante et régulière au fil de l'année.

Le lampadaire solaire est équipé de panneaux solaires qui captent la lumière du soleil pendant la journée, ce qui permet de produire de l'électricité, qui est stockée dans des batteries, puis restituée la

nuit pour l'éclairage. Le lampadaire devient ainsi autonome en énergie.

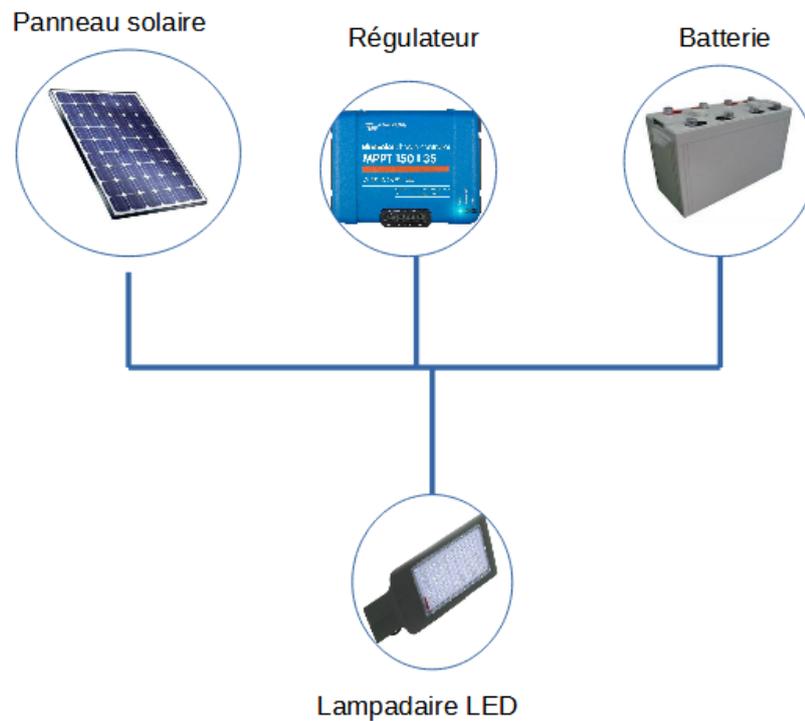


FIGURE 3.1: Schéma de base d'une installation d'EP solaire

3.3 Module photovoltaïque

Le principe est que les cellules solaires utilisent l'effet photoélectrique pour convertir directement l'énergie solaire en l'énergie électrique. Ces cellules sont constituées d'un semi-conducteur, généralement du silicium-Si-, qui est partiellement dopé au bore (type P : trous d'espèces) et partiellement dopé au phosphore (type N : électrons libres) lorsque la lumière pénètre la surface de la cellule la zone dopée N va transmettre l'énergie des photons aux atomes périphériques libérés des électrons. Ce dernier quitte les spires et recombine les trous dans la région dopée P par une connexion externe, et le passage des électrons produit un courant (DC) [2].

3.3.1 Technologies des cellules solaire

Le tableau suivant indique les différentes technologies de cellules solaires à base de silicium [2].

TABLE 3.1: Les technologies des cellules solaires [2]

| | Le silicium monocristallin | Le silicium polycristallin | Le silicium amorphe |
|---------------|---|---|--|
| Définition | les cellules sont fabriquées avec du silicium parfaitement cristallisée | les cellules sont fabriquées avec des atomes ne sont pas tous cristallisés. | les atomes sont disposés de manière désordonnée du fait que les cellules sont fabriquées par projection de silicium sur un autre matériau (verre, plastique) Constitué des couches très mince. |
| Avantages | - le matériau le plus répandu. - bon rendement, entre 12% et 16% | Prix faible que celle de silicium monocristallin | Répond néanmoins à de nombreux besoins liés à l'éclairage (extérieur ou intérieur) |
| Inconvénients | Le prix, à cause d'un procédé de fabrication long et énergivore | Rendement entre 11% et 14% | Rendement très faible 5 à 7% |

Il existe maintenant de nombreuses technologies de deuxième et troisième génération, parmi les , on présente ces trois technologies :

Panneaux solaires bifacial

Contrairement aux panneaux solaires traditionnels recouverts d'aluminium, qui ont un aspect opaque et la capacité de générer de l'énergie d'un seul côté, les panneaux solaires double face sont fabriqués à partir de matériaux opaques. Les panneaux solaires sont constitués de feuilles arrière transparentes ou de verre trempé double face.

En ce qui concerne la composition des cellules, les panneaux double face sont généralement fabriqués à partir de cellules monocristallines, mais des cellules polycristallines peuvent également être utilisées [34].

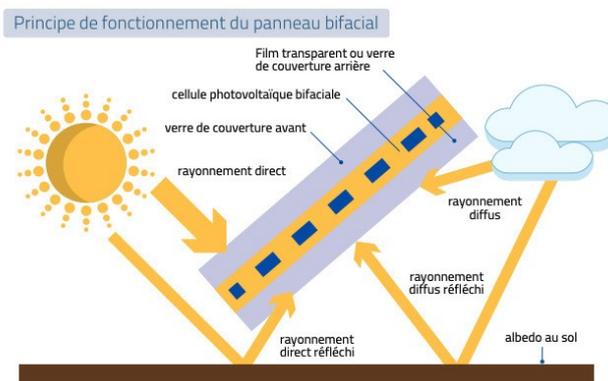


FIGURE 3.2: Les panneaux solaires bifaciale [35]

Avantages :

- meilleur rendement solaire.
- La plupart des panneaux bifaciaux ont une garantie plus proche de 30 ans, contrairement à la garantie habituelle de 25 ans pour les panneaux solaires traditionnels .
- Capacité à générer de l'électricité à partir de la lumière réfléchiée traversant ces panneaux.
- Le verre à panneau double face aide à protéger contre les menaces liées à l'exposition aux UV et améliore la perméabilité du panneau à l'humidité et aux intempéries .
- Les modules sont protégés de la corrosion chimique grâce à la haute résistance du verre .
- La solidité du verre permet aux panneaux de résister aux fissures.

Inconvénients :

- Pour profiter pleinement des panneaux solaires double face.
- Ils doivent être montés sur une surface réfléchissante .
- Prix d'installation élevé.
- En raison du verre, le poids est lourd.

Panneaux solaires en pérovskite

Les pérovskites sont une classe de matériaux avec une structure cristalline spécifique, nommée d'après les minéraux qui composent leur structure. Ils font partie des panneaux solaires de nouvelle génération les plus prometteurs. Les pérovskites utilisées pour fabriquer des cellules solaires présentent un réel potentiel à la fois en termes d'efficacité énergétique et de coûts de production.

Les feuilles de pérovskite peuvent générer plus d'énergie solaire que tout autre matériau à une fraction du prix des panneaux solaires conventionnels (silicium). En fait, l'efficacité des cellules solaires en pérovskite augmente plus rapidement en laboratoire que tout autre matériau photovoltaïque, passant de 3 % en 2009 à plus de 25 % en 2020 [34].

Avantages :

- Rendement supérieur à 22
- Très peu coûteux et simples à fabriquer ;
- Utilisent moins de matériaux pour absorber la même quantité de lumière que le silicium.

Inconvénients :

- Encore très peu commercialisés ;
- Se décomposent rapidement en raison de l'exposition à la chaleur, à l'humidité, à la neige, etc.



FIGURE 3.3: Les panneaux solaires en pérovskite

Panneaux solaires "half-cut"

Le principe de fonctionnement de la technologie des cellules solaires half cut est très simple. Il s'agit simplement de réduire la taille des cellules pour avoir de la place pour plus de cellule, il est possible de produire plus d'énergie, même si la moitié d'entre elles sont à l'ombre.

Les cellules sont divisées en deux à l'aide d'un laser (une découpe de haute précision et délicate). Couper les cellules en deux signifie couper le courant en deux. Ainsi, les pertes résistives dues au transfert de courant diminuent, ce qui permet d'augmenter la puissance produite. En outre, le fait de couper le panneau solaire en deux permet d'obtenir deux parties distinctes : le haut et le bas. Deux parties séparées signifient que la production d'énergie ne s'arrêtera pas si une partie est entièrement à l'ombre [36].

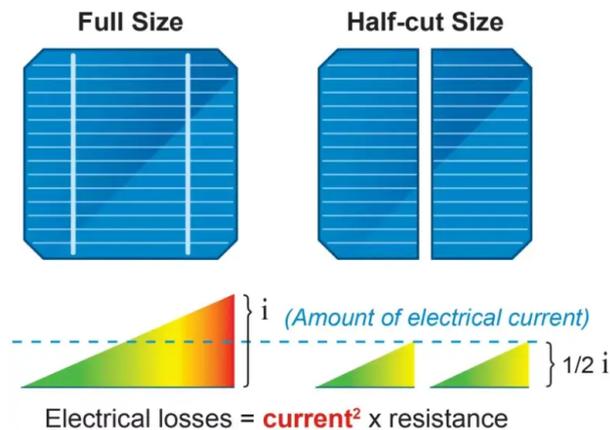


FIGURE 3.4: Différence entre "Half-cut size" et "Full size" des panneaux solaires [36]

Avantages :

- Réduction des pertes résistives.
- Meilleure tolérance à l'ombre.
- Moins d'effets de points chauds.

- Les modules solaires half cut ont une puissance CTM (Cell-to-Module) plus élevée, ce qui augmente la puissance de sortie. Les panneaux solaires conventionnels à cellules entières ont une puissance CTM de 94,8 %. En revanche, les panneaux solaires half cut en fournissent 99,4 %, sans tenir compte des pertes dues à la découpe au laser.

Inconvénients :

- Les fabricants de cellules solaires half cut ont besoin de lasers de découpe et de longerons haut de gamme pour découper les cellules solaires. D’après les études, ces modules coûtent 0,6 à 1,2 % de plus que les modules à cellules entières.
- En coupant la cellule en deux, on double le nombre de connexions soudées, ce qui augmente le risque de mauvais contacts.

3.4 Batteries

Les batteries sont des systèmes électrochimiques qui stockent l’énergie sous forme chimique et la récupèrent sous forme électrique, les batteries solaires sont adaptées au cyclage quotidien et à la charge lente par panneaux solaires. Leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne est inférieure à 50% de la capacité totale pour les batteries plomb et jusqu’à 70% pour les batteries lithium [2, 37, 38].

3.4.1 Types de batteries solaires

Il existe quatre principaux types de batteries utilisés pour stocker l’électricité produite par les installations solaires photovoltaïques :

- Batterie plomb-acide à régulation par valve (VRLA), disponible en trois types : Plomb-Acide scellé (SLA), Gel Cell, Mat de verre absorbant (AGM).
- Batterie lithium-ion.

Batterie Plomb-Acide Régulée Par Vanne (VRLA)

La batterie plomb-acide régulée par vanne est communément appelée batterie sans entretien. Elle est annoncée commercialement comme une batterie que vous pouvez placer et oublier jusqu’à ce qu’elle finisse par céder. Il n’est pas nécessaire d’ajouter de l’eau à la batterie comme le font les cellules inondées.

Les trois types courants de batteries VRLA sont :

- Batterie plomb-acide scellée (cellule humide régulée par soupape scellée).
- Batterie à matelas de verre absorbant.
- Batterie au gel.

Batteries AGM

Les batteries AGM (également appelées batteries à électrolyte pauvre) comportent un maillage en fibre de verre très fin entre les plaques de la batterie, qui sert à contenir et à immobiliser l'électrolyte. L'électrolyte est retenu dans les mats de verre, au lieu d'inonder librement les plaques. Ces fibres de verre très fines sont tissées en une natte afin d'augmenter la surface pour retenir une quantité suffisante d'électrolyte (jusqu'à 95 %) sur les cellules pour les utiliser pendant toute leur durée de vie. Grâce au matelas de verre et à l'électrode de plomb, les plaques ne bougent pas en cas de vibration, ce qui les rend insensibles aux vibrations. Elles sont également performantes à des températures de congélation. Cependant, elles sont plus chères que leurs homologues en gel ou SLA.

Batteries à GEL

Les cellules à gel ajoutent de la poussière de silice ou d'autres agents gélifiants à l'électrolyte, formant ainsi un gel épais semblable à du mastic. On trouve couramment de l'acide sulfurique mélangé à de la silice fumée. La gélification de l'électrolyte réduit l'évaporation de l'électrolyte, les déversements et offre une meilleure résistance aux chocs et aux vibrations. L'antimoine des plaques de plomb est remplacé par du calcium pour permettre la recombinaison des gaz qui se produit dans la cellule. Pendant la surcharge, l'oxygène dégagé par la plaque positive traverse le gel jusqu'à la plaque négative où l'oxygène et l'hydrogène absorbés à la surface de la plaque négative en plomb éponge sont recombinaisonnés en eau.

Les cellules AGM et Gel ont leur électrolyte immobilisé, ce qui est un avantage supplémentaire pour de nombreuses applications portables dans lesquelles vous pouvez placer la batterie à la verticale, couchée dans n'importe quelle direction, et même à l'envers.

Batteries au lithium

La batterie au lithium-ion, ou batterie Li-ion, est un type de batterie rechargeable dans laquelle les ions de lithium se déplacent de l'électrode négative vers l'électrode positive pendant la décharge, et le mouvement inverse de l'électrode positive vers l'électrode négative pendant la charge.

Les batteries lithium-ion sont des batteries rechargeables courantes que l'on trouve dans les appareils électroniques portables (téléphones portables, véhicules électriques, etc.). Elles présentent

une densité énergétique élevée, un faible effet de mémoire et un faible taux d'auto décharge.

Le cycle de vie des batteries au lithium-ion varie également selon le fabricant et la technologie. La plupart sont évaluées à 500-1000 cycles, les plus élevées pouvant atteindre 10 000 cycles si la cellule est basée sur des anodes en carbone. La dégradation dépend principalement de la température, à l'exception de la profondeur de décharge [39].

3.4.2 Caractéristiques des batteries

Capacité de la batterie

La capacité d'une batterie est communément appelée Ampère-heure (AH). Elle correspond à la quantité de courant qu'elle peut délivrer pendant un nombre d'heures déterminé, dans une condition de température de base (souvent 20°). La capacité C est donc le produit du courant de charge I(A) et du temps de décharge t(h).

$$C = I.t$$

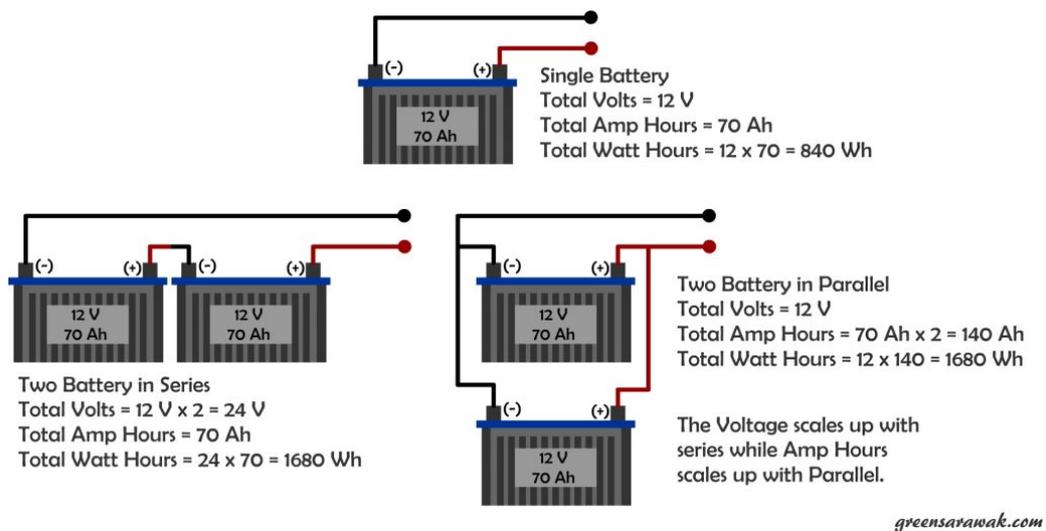


FIGURE 3.5: Différents connecteurs des batteries [38]

Nombre de cycles

La batterie ne peut supporter qu'un nombre limité de cycles de charge-décharge. Le nombre de cycles dépend en grande partie de la profondeur de décharge utilisée.

- Durée de vie : Quel que soit le nombre de cycles, la batterie a une durée de vie limitée par oxydation des électrodes et des cosses. Si la batterie est utilisée à haute température, ce phénomène sera plus rapide, dans ce cas, il est inutile de choisir une batterie avec un nombre de cycles très élevé.

État de charge

L'état de charge d'une batterie peut être facilement compris comme le degré de charge d'une batterie au cours d'un cycle de charge.

Profondeur de décharge

La profondeur de décharge (DoD) est l'inverse de l'état de charge d'une batterie. Une batterie complètement chargée avec un SoC de 100% aura une DoD de 0%. Un chiffre augmente et l'autre diminue et vice versa.

DoD est le rapport entre la quantité d'électricité déchargée à un instant t et la capacité de la batterie.

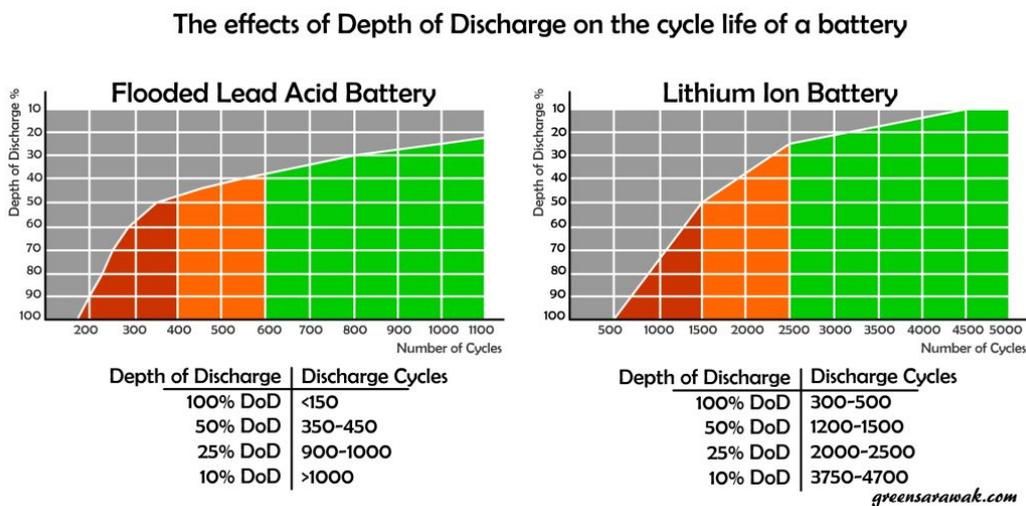


FIGURE 3.6: durée de vie : batterie plomb-acide vs lithium-ion [38]

Autonomie

C'est la période pendant laquelle la batterie peut fournir de l'énergie sans se recharger. En d'autres termes, c'est le nombre de jours pendant lesquels l'appareil peut fonctionner sans lumière .

C-Rates

Les taux de charge et de décharge sont souvent désignés par C ou C -rate, qui est une mesure de la vitesse à laquelle une batterie est chargée ou déchargée par rapport à sa capacité.

Une batterie de 1 Ampère-heures sera chargée à un taux de C de 1 C si elle est chargée pendant une heure avec 1 Ampère (de vide à plein), ou se déchargera à un taux de C de 1 C si elle est déchargée pendant une heure avec 1 Ampère (de plein à vide). La même batterie se déchargeant à 0,5 C devrait fournir 500mA pendant deux heures, ou à 2 C elle fournit 2A pendant 30 minutes.

De même, si elle est utilisée dans une batterie de 10 ampères, elle se chargera à un taux de 1 C si elle est chargée pendant une heure avec 10 ampères (de vide à plein).

TABLE 3.2: C-rate explication

| C-rate | Temps |
|-------------|------------------------|
| 5C | 12 minutes (1/5 heure) |
| 1C | 1 heures |
| 0.5C ou C/2 | 2 heures |
| 0.2C ou C/5 | 5 heures |
| C/x | x heures |

3.5 Régulateur

Pour éviter la surcharge et la décharge excessive de la batterie, on utilise les régulateurs solaires (appelés aussi régulateurs de charge) pour gérer le niveau d'énergie stockée dans la batterie [40] :

- Limiter la charge lorsque la batterie est complètement chargée
- Il ralentit la décharge pour éviter une décharge profonde

Il y a 2 choses principales à considérer :

- Tension entre panneau et batterie : le régulateur doit pouvoir accepter Cette tension (typiquement 12V, 24V ou 48V).

- Intensité maximale du régulateur : L'intensité du régulateur (en Ampères, A) doit être supérieure à l'intensité de court-circuit du panneau solaire auquel il est connecté. Il existe deux sorte de régulateur de charges :

3.5.1 Régulateur PWM

Ce type de régulateur utilise des commutateurs actifs qui sont modulés par des impulsions à largeur variable (PWM, Pulse Width Modulation), qui maintiennent une tension constante aux bornes de la batterie pour terminer la charge tout en ne consommant que les pertes de commutation dans les transistors et dues à la résistance des transitions [41].



FIGURE 3.7: Régulateur PWM

Le système PWM présente les avantages suivants :

- Efficacité de charge supérieure.
- Durée de vie de la batterie plus longue.
- Réduction de la surchauffe de la batterie.
- Minimise le stress sur la batterie.
- Possibilité de désulfater une batterie.

3.5.2 Régulateur MPPT

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour puiser de l'énergie au point de puissance maximum (MPPT, maximum power tracker). Cela garantit que la quantité maximale d'énergie peut être récupérée indépendamment de la température et de la quantité d'ensoleillement [41].



FIGURE 3.8: Régulateur MPPT

Les MPPT sont plus efficaces dans ces conditions :

- Temps froid : les panneaux solaires fonctionnent mieux à des températures froides, mais sans un MPPT, on perd une grande partie de cette énergie. Le temps froid est plus probable en hiver, la période où les heures de soleil sont faibles et où on a le plus besoin d'énergie pour recharger les batteries.
- Faible charge de la batterie : plus l'état de charge de la batterie est faible, plus le MPPT y injecte du courant, plus le MPPT les alimente en courant.

3.6 Dimensionnement d'éclairage public solaire

L'EP solaire repose sur le système photovoltaïque qui consiste à transformer l'énergie solaire durant le jour en électricité pour faire éclairer durant la nuit ou en cas de besoin. Il est autonome et facile à installer, ne nécessitant aucun raccordement électrique, c'est aussi un système d'éclairage écologique.

De manière générale, toute conception de taille d'un système PV autonome comprend d'abord l'identification des besoins énergétiques de l'application. Dans ce cas, en tant qu'éclairage solaire autonome, les données de base peuvent être résumées comme suit [24] :

- 1- Puissance de la source lumineuse (selon les besoins d'éclairage).
- 2- Qualité de la lumière (température, indice de rendu des couleurs, spectre)
- 3- Temps d'utilisation quotidien.
- 4- Rayonnement solaire caractéristique local.
- 5- L'autonomie requise dans les jours sans soleil.

3.7 Dimensionnement du champ PV

Après avoir évalué les besoins en puissance d'une installation PV et estimé les pertes de puissance de ses différents éléments, la taille du champ PV suit, qui comprend le calcul de la puissance de crête nécessaire au bon fonctionnement de l'installation [42].

3.7.1 Formule de calcul de la puissance crête photovoltaïque

La puissance crête, exprimée en watts crête (W_c), est la puissance maximale qu'une cellule, un module ou un champ photovoltaïque peut fournir dans des conditions de mesure optimales, qui sont :

- L'irradiation solaire de puissance de 1000 W/m^2 .

- La température du panneau est de 25°C.
 - Rayonnement solaire à travers 1,5 fois l'épaisseur de l'atmosphère (AM 1,5).
- L'énergie fournie par le module PV est définie par la formule suivante :

$$E_{Elec} = \frac{P_c}{P_i} \cdot E_i \cdot P_R \quad (3.1)$$

Avec :

- E_{Elec} : l'énergie électrique journalière produite par le champ PV (kWh/jour).
- P_c : la puissance crête du champ PV.
- P_i : la puissance radiative (KW/m2).
- E_i : l'irradiation solaire journalière reçue par le champ PV de surface 1m2 (kWh/m2/jour).
- P_R : le ratio de performance de l'installation PV.

D'après l'équation précédente 3.1, la puissance de crête est :

$$P_c = E_{Elec} \cdot \frac{P_i}{E_i} \cdot P_R \quad (3.2)$$

Assurer le bon fonctionnement des différents équipements électriques alimentés par : Un champ photovoltaïque doit tenir compte d'une règle importante, qui indique que l'énergie électrique journalière produite par le champ PV (E_{Elec}) doit être supérieure ou égale à l'énergie électrique consommée par ces appareils (E_{Besoin}).

soit :

$$E_{Elec} \geq E_{Besoin} \quad (3.3)$$

Dans ce cas ,la puissance crête doit être :

$$P_c \geq E_{Besoin} \cdot \frac{P_i}{E_i} \cdot P_R \quad (3.4)$$

3.8 Dimensionnement du parc de batteries

La sélection des cellules dans un système photovoltaïque s'effectue selon les deux critères les plus importants : la tension et la capacité des cellules [40].

3.8.1 Choix de la tension du parc de batteries

La première limitation dans le choix des batteries est la chute de tension dans les câbles les reliant à l'onduleur, qu'il faut réduire. La chute de tension (ϵ) est donnée par l'équation suivante [42] :

$$\epsilon = \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S \cdot U_{bat}} \quad (3.5)$$

Avec :

ρ : La résistivité du matériau conducteur ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

L : Longueur des câbles (m) .

I : L'intensité électrique (A) .

S : La section des câbles (m^2).

U_{bat} : La tension des batteries .

Pour réduire ces chutes de tension, trois paramètres doivent être bien choisis :

- Les longueurs de câble doivent être aussi courtes que possible, c'est-à-dire que la batterie doit être placée à proximité de l'onduleur.
- La section de câble qui doit être augmentée.
- Choisir une tension de batterie élevée.

3.8.2 Choix de la capacité du parc de batteries

La capacité du pack batterie doit pouvoir répondre à tous les besoins électriques (E_{Besoin}) tel que [42] :

- L'autonomie des réserves (NJ) .
- Profondeur maximale de décharge (PD).
- Température du site (KT).

La formule de calcul de la capacité de la batterie est la suivante :

$$C_{Td} = \frac{N_j}{PD} \cdot \frac{E_{Besoin}}{KT} \quad (3.6)$$

Avec :

C_{Td} : capacité de la batterie associée à la durée de décharge Td

N_j : autonomie de réserve (jours)

E_{Besoin} : énergie journalière consommée (Ah/jour)

PD : profondeur maximale de décharge

KT : coefficient de température de la capacité

T_d : durée de décharge exprimé en heure $T_d = N_j * 24$.

3.9 Dimensionnement des câbles

Afin d'obtenir les meilleures performances de l'installation, le choix des câbles reliant les modules PV et le contrôleur ainsi que les batteries est très important, pour cette raison certaines conditions de fonctionnement doivent être respectées :

- Choisir la longueur la plus courte possible entre les composants installés.
- Choisir une section suffisamment grande pour réduire la chute de tension.
- Choisir un câble résistant aux changements climatiques qui entraînent une hausse et une baisse des températures [42].

3.10 Présentation du logiciel PVsyst

PVsyst est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il est utilisé pour la conception et le dimensionnement des systèmes photovoltaïques dont il propose plusieurs structures d'installations (autonome, connectée au réseau...), et offre une grande variété de technologies de cellules photovoltaïques et de batteries solaire pour différents fabricants. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet [43].

3.11 Étapes de simulation

En ce qui suit, nous allons présenter les étapes de dimensionnement de l'EP solaire de la rue Mekki Khelifa.

3.11.1 Conception préliminaire

On choisit tout d'abord le type d'installation : connecté au réseau, déconnecté du réseau ou système de pompe solaire. Pour notre étude, nous avons choisi un système solaire isolé avec batterie.

3.11.2 Dénomination du projet

Cette étape consiste essentiellement à définir le site géographique, on donne d'abord un nom au projet puis on choisit le pays et la ville ainsi que le fichier météo horaire.

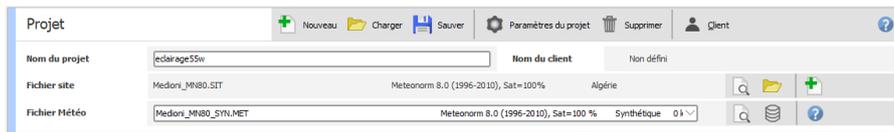


FIGURE 3.9: Dénomination du projet dans PVsys

3.11.3 Paramètres du site

Dès que la simulation du système étudié démarre, la fenêtre présentée dans la figure (3.10) s'affiche. Ainsi, on y introduit les coordonnées géographiques relatives au site, Cela permet donc de disposer de toutes les informations possibles sur le gisement solaire.

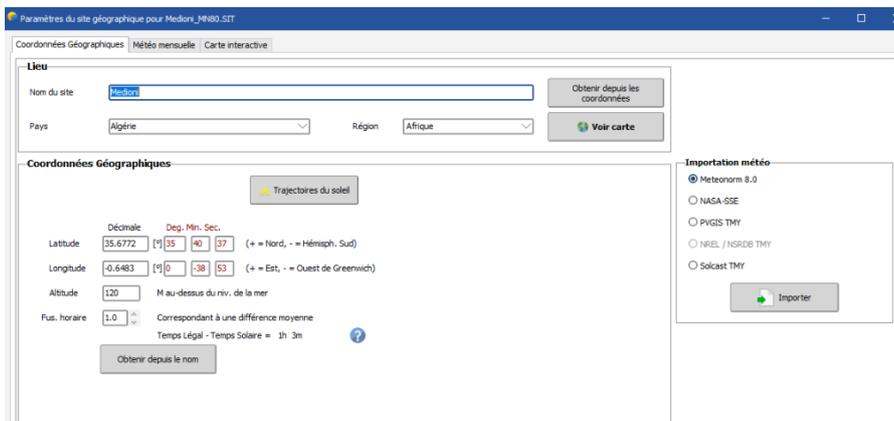


FIGURE 3.10: Coordonnées géographiques du site d'Oran

La figure (3.11) indique les moyennes mensuelles des rayonnements global et diffus et celles des températures.

| | Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois | Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois | Température °C | Vitesse du vent m/s | Turbidité Linke [] | Humidité relative % |
|--------------|---|---|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Janvier | 82.5 | 26.6 | 10.6 | 2.90 | 2.651 | 80.2 |
| Février | 97.4 | 41.3 | 11.5 | 3.30 | 2.931 | 77.2 |
| Mars | 142.7 | 58.5 | 14.1 | 3.60 | 3.703 | 73.2 |
| Avril | 171.4 | 70.4 | 16.1 | 3.90 | 3.918 | 70.9 |
| Mai | 194.9 | 88.2 | 19.6 | 3.89 | 4.395 | 66.1 |
| Juin | 214.5 | 80.7 | 23.3 | 4.00 | 4.850 | 65.8 |
| Juillet | 218.3 | 87.6 | 26.7 | 3.80 | 5.914 | 62.3 |
| Août | 201.3 | 78.8 | 27.2 | 3.59 | 5.214 | 64.4 |
| Septembre | 153.9 | 55.3 | 23.7 | 3.20 | 4.414 | 70.1 |
| Octobre | 123.3 | 48.6 | 20.2 | 2.79 | 3.697 | 73.1 |
| Novembre | 86.2 | 35.7 | 14.5 | 2.90 | 3.097 | 77.9 |
| Décembre | 74.9 | 29.5 | 11.7 | 2.59 | 2.744 | 80.4 |
| Année | 1761.4 | 703.2 | 18.3 | 3.4 | 3.961 | 71.8 |

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3%

FIGURE 3.11: Données Météorologiques mensuelles du site

La source des données utilisée est Meteonorm, c'est une combinaison unique de sources de données fiables et d'outils de calcul sophistiqués. A permet d'accéder à des données sur des années types et à des séries chronologiques historiques, offre un accès unique aux données des archives du bilan énergétique mondial (GEBA). Les données GEBA sont fournies par les services météorologiques nationaux et répondent aux critères de qualité de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

D'autre part, la figure (3.12) nous donne la direction du soleil à toute heure de la journée durant les mois de l'année en relation aux deux coordonnées : l'azimut (angle avec la direction, en négatif vers l'Est) et la hauteur du soleil (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu).

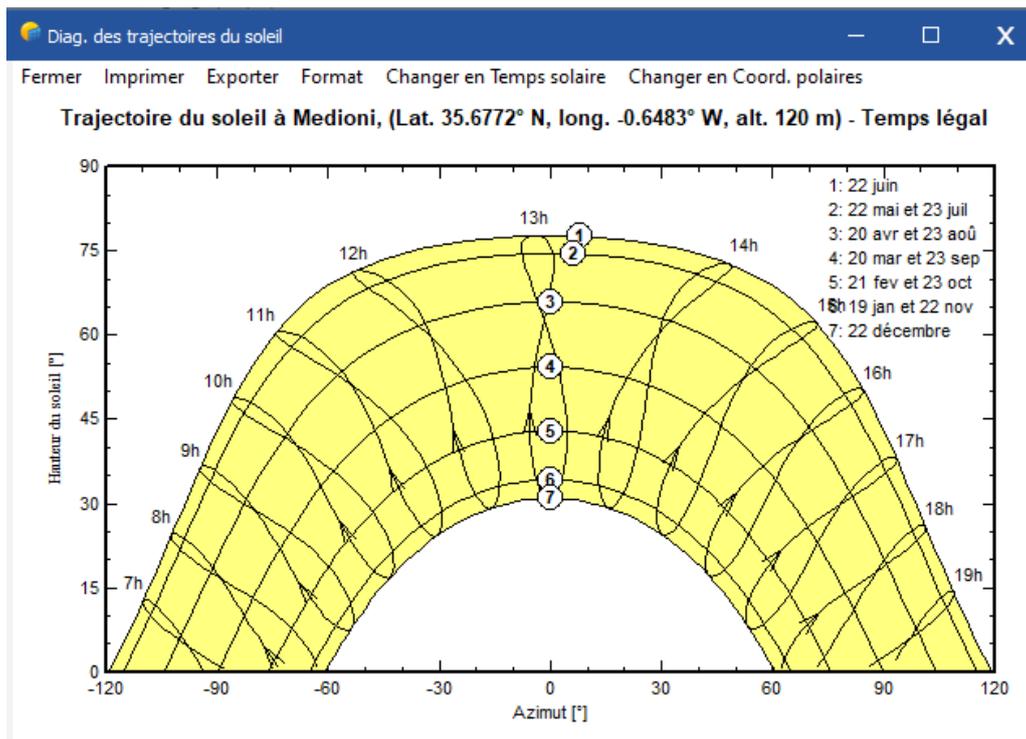


FIGURE 3.12: Diagramme de la trajectoire du soleil à Medioni

3.11.4 Orientation des panneaux

Afin de permettre un meilleur rendement des panneaux solaires, il faut avoir une estimation optimale des angles d'inclinaison des modules. Dans cette région pour que le gain énergétique soit le plus efficace, nous avons retenu une inclinaison de 33° fixe durant toute l'année, comme il est montré sur la figure (3.13) .

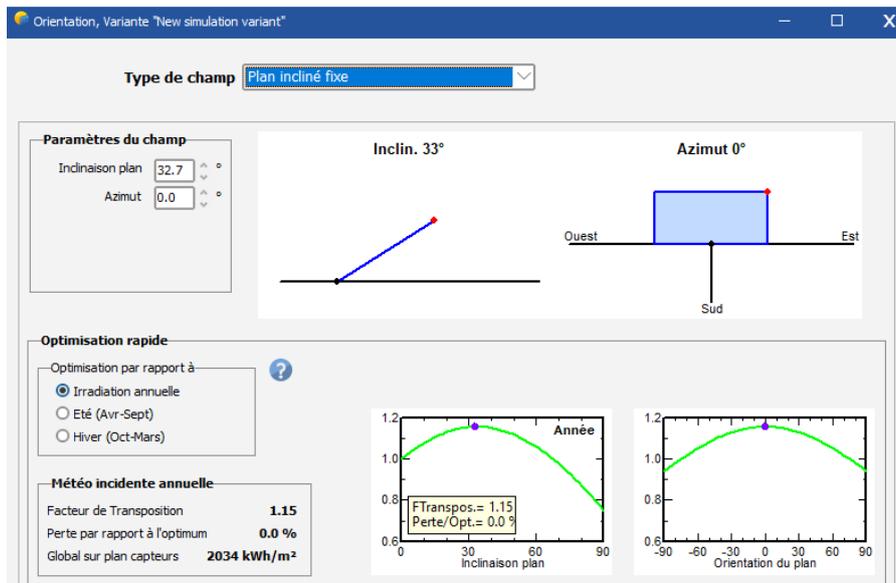


FIGURE 3.13: Orientation des panneaux

3.11.5 Évaluation des besoins électriques

Pvsys possède une fenêtre où nous choisissons la consommation estimée, pour notre cas nous avons que des lampes LED fonctionnant 12 heures par jours durant la semaine.

La figure (3.14), représente la consommation moyenne quotidienne et mensuelle estimée.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Consommation quotidienne d'énergie : 1320 Wh/jour
- Consommation mensuelle d'électricité : 39.6 kWh/mois

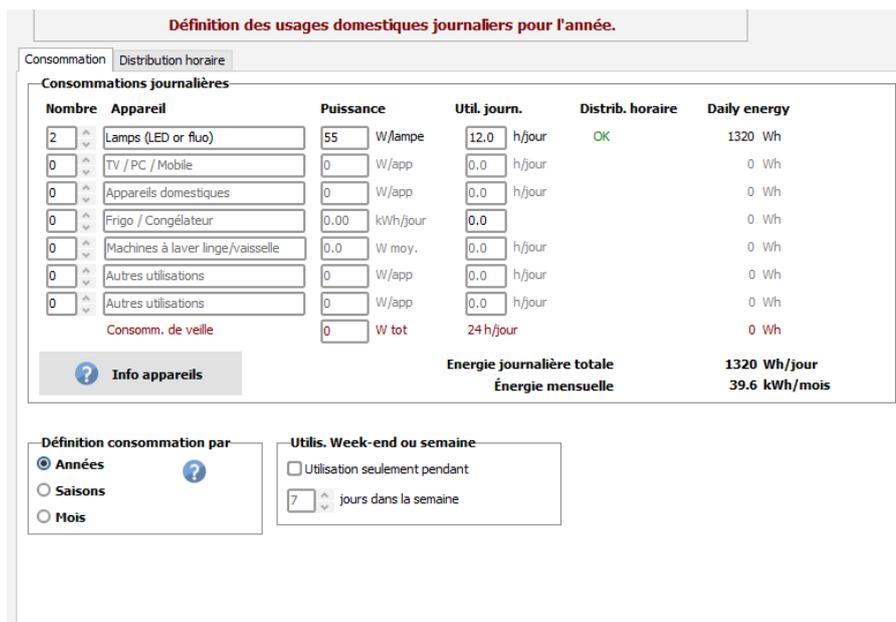


FIGURE 3.14: Définition des besoins électriques

3.11.6 Dimensionnement des panneaux PV

On commence par introduire les spécifications générales des panneaux solaire, soit sa taille, sa puissance nominale ou sa production d'énergie annuelle. Le principe ici est de choisir une technologie de panneaux de meilleur efficacité permettant un bon rendement.

Comme il est montré dans la figure (3.15) le type de module adopté dans notre cas d'étude est le : TP660P(H)-300-L, ce panneau est une nouvelle technologie de type "half-cell" ayant l'avantage de bien fonctionner même en présence d'ombrage (Plus de 30% de l'énergie est perdue lorsqu'une cellule est dans l'ombre, avec la demi-coupure, seulement 15% sont perdues), ainsi la réduction de la quantité de courant circulant dans le panneau solaire réduit également les pertes résistives (voir paragraphe 3.3.1).

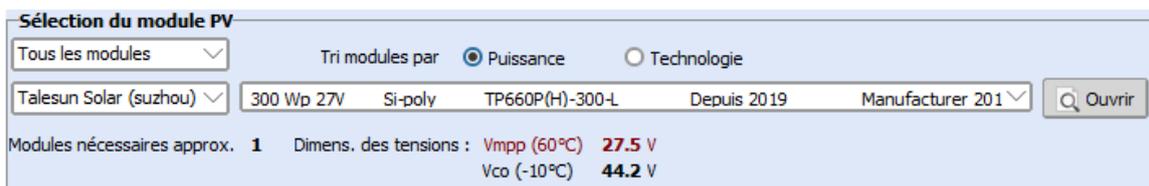


FIGURE 3.15: choix des panneaux PV

Les caractéristiques du panneau choisi sont présentées dans la figure (3.16) suivant :

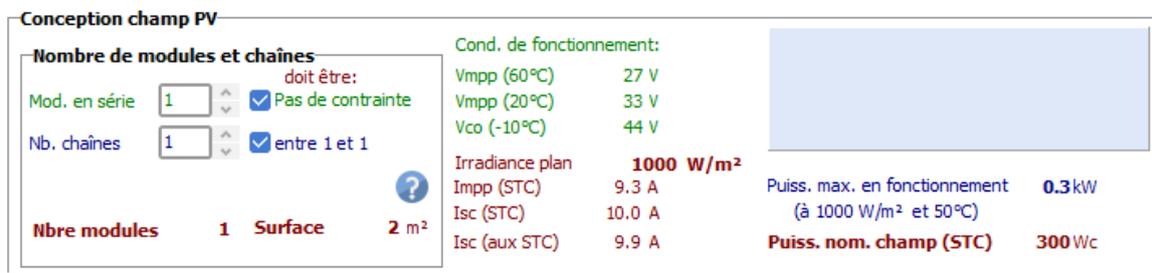


FIGURE 3.16: Les caractéristiques du Panneau

3.11.7 Choix du régulateur

Nous avons choisi un régulateur MPPT qui a une efficacité de charge de 30 % supérieure à celle du type PWM [44].

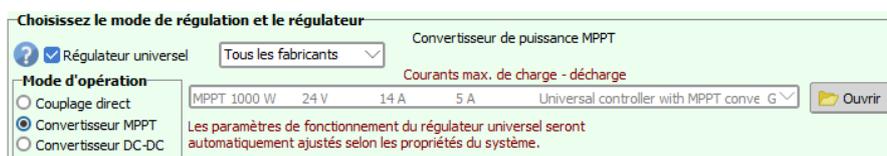


FIGURE 3.17: Caractéristiques du régulateur

3.11.8 Dimensionnement du parc de batteries

Nous avons choisi une batterie de pb acide Gel pour le stockage d'énergie .

Selon la figure (3.18), pour une tension continue de 24 V et une autonomie de 2 jours à peu prêt, on va utiliser 2 batterie en série de 143 Ah pour chacune. On peut diminuer la capacité utilisée si on diminue l'autonomie mais pour garder les lampes assez allumées pour une longue durée sans ensoleillement durant la journée nous avons mettre 2 jours.

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Newmax 12 V 143 Ah Pb Sealed Gel SG1500H Depuis 2014

Pb-acide

2 batteries en série batteries en parallèle

1 batteries en parallèle

100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)

100.0 % Etat d'usure initial (statique)

Nombre de batteries 2

Nombre d'éléments 12

Tension du pack batteries 24 V

Capacité globale 143 Ah

Energie stockée (80 % DOD) 2.7 kWh

Poids total 90 kg

Nbre de cycles à 80 % DOD 820

Energie totale stockée durant la vie de la batterie 2416 kWh

FIGURE 3.18: Dimensionnement du parc de batteries

3.11.9 Composants des support EP de la route Mekki Khelifa

La figure (3.19) représente les composants nécessaires pour chaque support d'éclairage public de la route Mekki Khelifa. Pour le bon fonctionnement des lampes LED installés ayant une puissance de 2*55W, chaque support EP solaire doit contenir un panneaux PV double (de puissance de 150W pour chaque luminaire), une batterie de capacité de 143 Ah afin garantir une autonomie dépassant les deux jours (En cas d'absence du soleil) et un régulateur de charge MPPT de 261W.

| | | | |
|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------|
| Besoins utilis. | Utilis. domestique | Puissance moy. | 55 W |
| | Fraction nuit | 49.6 % | Énergie jour |
| Pack de batteries | 1 en parallèle, 24 V | Capacité | 143 Ah |
| | Autonomie | 2.1 jr | Energie stockée |
| Champ PV | 1 chaînes de 1 modules | Puissance nom. | 300 Wc |
| | PV/PLoad | 5.5 | Énergie moy. jour |
| Régulateur | MPPT universel | Puissance nom. | 261 W |
| | PV/PConv | 1.15 | Seuils |

FIGURE 3.19: Récapitulatif des composants des supports EP

Les paramètres de dimensionnement de l'installation EP sont résumés dans la figure (3.20).

| Caractéristiques du champ de capteurs | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|--|------------------------|
| Module PV | | Batterie | |
| Fabricant | Generic | Fabricant | Generic |
| Modèle | TP660P(H)-300-L | Modèle | SG1500H |
| (Base de données PVsyst originale) | | | |
| Puissance unitaire | 300 Wc | Technologie | Pb-acide, scellée, Gel |
| Nombre de modules PV | 1 unité | Nombre d'unités | 2 en série |
| Nominale (STC) | 300 Wc | Décharge : min. SOC | 20.0 % |
| Modules | 1 Chaîne x 1 En série | Energie stockée | 2.8 kWh |
| Aux cond. de fonct. (50°C) | | Caractéristiques du banc de batteries | |
| Pmpp | 270 Wc | Tension | 24 V |
| U mpp | 29 V | Capacité nominale | 143 Ah (C10) |
| I mpp | 9.4 A | Température | Fixée 20 °C |
| Régulateur | | Seuils de régulation batterie | |
| Régulateur universel | | Seuils de commande selon | Calcul SOC |
| Technologie | Convertisseur MPPT | Charge | SOC = 0.92 / 0.75 |
| Coeff. de temp. | -5.0 mV/°C/Élém. | environ | 27.3 / 25.1 V |
| Convertisseur | | Décharge | SOC = 0.20 / 0.45 |
| Efficacité maxi et EURO | 97.0 / 95.0 % | environ | 23.5 / 24.4 V |
| Puissance PV totale | | | |
| Nominale (STC) | 0 kWc | | |
| Total | 1 modules | | |
| Surface modules | 1.7 m ² | | |
| Surface cellule | 1.5 m ² | | |

FIGURE 3.20: paramètres de dimensionnement de l'installation EP

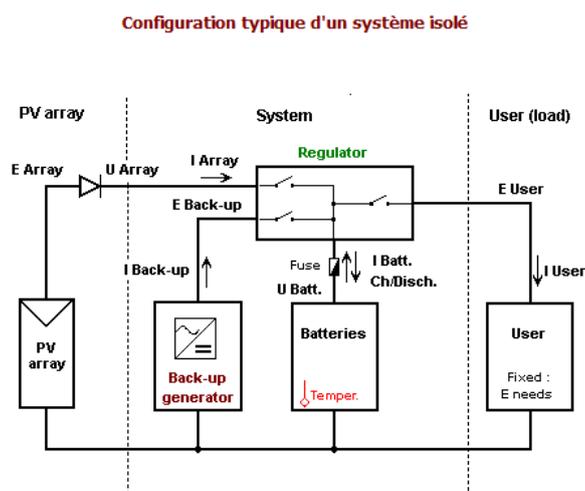


FIGURE 3.21: Schéma synoptique de l'installation isolée d'EP

3.11.10 Discussion des résultats

En cliquant sur résultats on obtient un graphique (3.22), illustrant l'énergie fournie à la charge (les lampes LED pour notre cas) en fonction de ce que l'on avait déterminé dans la rubrique évaluation des besoins énergétiques, ainsi que les différentes pertes soit les pertes des panneaux PV, les pertes de charge de batterie et les pertes d'énergie non utilisée.

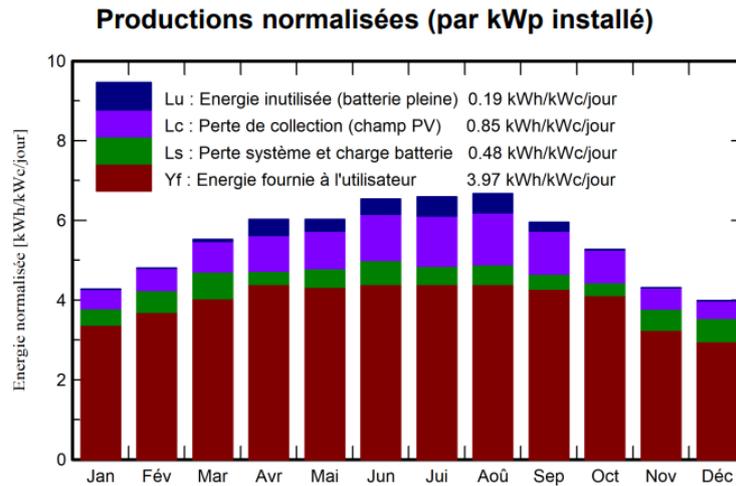


FIGURE 3.22: Résultats de simulation

On remarque que l'énergie fournie à l'utilisateur est presque stable car la charge des luminaires est constante, et que l'énergie électrique produite varie proportionnellement avec l'énergie solaire incidente ce qui explique l'importance de l'éclairage pour un bon rendement des modules.

Les pertes de collection (champ PV) et les pertes dues à l'énergie inutilisée (batterie pleine) augmentent notamment pour les mois d'été, cela est due d'abord à l'augmentation d'irradiation pour ces mois de l'année (journée plus longue durant la période estivale et vice versa), mais aussi en raison de dimensionnement de l'installation sur la base des conditions météorologiques les plus défavorables (période hivernale).

3.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes nécessaires au dimensionnement des éléments de la chaîne photovoltaïque d'éclairage public solaire.

La simulation par PV sys nous permet de connaître le nombre, les caractéristiques et la puissance des panneaux, et de la batterie pour un fonctionnement fiable et sûr durant la nuit, et pendant les jours non ensoleillés.

Le site d'implantation des support EP est pris en considération, les paramètres de simulation changent avec le changement de l'emplacement et par conséquent le bilan énergétique se modifie.

L'objectif est compté dans ce chapitre est de proposer une installation photovoltaïque gardant la même efficacité d'un éclairage conventionnel avec une réduction de consommation énergétique et avec une faible maintenance.

Gestion de l'énergie dans le secteur de l'éclairage public

4.1 Introduction

L'éclairage public pose aujourd'hui un véritable problème en raison de l'augmentation de sa demande d'énergie d'une part et l'épuisement rapide, les prix qui augmentent, et la volatilité des ressources en combustibles fossiles à l'échelle mondiale d'une autre part.

La recherche urgente d'autres sources d'énergies et la gestion de l'énergie dans ce domaine est devenu aujourd'hui une nécessité à ne pas ignorer, L'éclairage public solaire est désormais l'alternative pour répondre aux exigences actuelles. Le système de gestion de l'énergie (EMS) permet de programmer de manière optimale les ressources énergétiques et les systèmes de stockage de l'énergie afin de maintenir l'équilibre entre la demande et la production.

Via ce chapitre, nous allons étudier la régulation et la gestion d'une installation d'éclairage public connecté au réseau.

4.2 Gestion de l'énergie de l'éclairage public

Le système de gestion de l'énergie offre une planification optimale des ressources énergétiques et des systèmes de stockage d'énergie dans l'éclairage public afin de maintenir un équilibre entre la demande et la consommation.

Le dispositif de gestion de l'énergie comprend les valeurs de charge prévues, les ressources énergétiques distribuées (photovoltaïque dans notre cas), l'état de charge du système de stockage et les valeurs de demande de charge.

La gestion de l'énergie pour l'éclairage public se fait selon deux approches principales, la première présente un système sans batterie de stockage, qui a pour objectif de voir l'échange d'énergie entre l'éclairage et le réseau principal. Tandis que pour la deuxième stratégie où le système est associé à un système de stockage, dans ce cas l'objectif est de maximiser l'utilisation des énergies renouvelables

et de réduire l'importation d'énergie du réseau. Les règles sont les suivantes :

- L'énergie photovoltaïque est utilisée pour charger les batteries.
- La charge (lampes LED) est alimentée principalement par les batteries de stockage.
- Le réseau alimente la charge lorsque le système de stockage n'est pas suffisant.
- En l'absence du système de stockage, l'énergie excédentaire est injectée dans le réseau et en cas de besoin, l'énergie est retirée du réseau pour satisfaire la demande.
- Lorsque le système de stockage de l'énergie électrique est chargé, l'énergie photovoltaïque excédentaire est directement injectée dans le réseau.

4.3 Modélisation des éléments du système

4.3.1 Modélisation des panneaux photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont des systèmes qui permettent de convertir directement la lumière du jour en électricité, comme le montre la figure (4.1) :

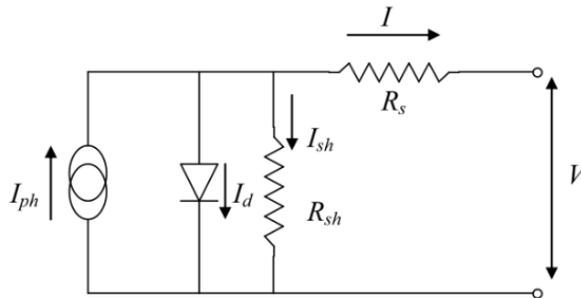


FIGURE 4.1: Schéma électrique équivalent du modèle PV

L'énergie produite par un générateur photovoltaïque, dans un emplacement particulier où l'irradiation solaire et la température sont connues, de même que les données du fabricant des panneaux photovoltaïques. La puissance de sortie du générateur P_{pv} (W), peut être calculée selon les équations suivantes[45] :

$$P_{pv}(t) = \eta \cdot S \cdot G \quad (4.1)$$

Avec :

- η : Le rendement instantané du module photovoltaïque.
- S : La surface du module photovoltaïque (m^2).
- G : L'irradiation globale sur un plan incliné (W/m^2).

Le rendement instantané est donné par l'équation suivante :

Avec :

$$\eta = \eta_r \cdot (1 - \gamma \cdot (T_c - T_0)) \quad (4.2)$$

- η_r : Le rendement de référence du module photovoltaïque sous les conditions standards ($T = 25^\circ\text{C}$, $G = 1000\text{W/m}$ et $\text{AM} = 1,5$).
- γ : Coefficient de température ($^\circ\text{C}$) déterminé expérimentalement, il est défini comme étant la variation du rendement du module pour une variation de 1°C de la température de la cellule. Il varie entre 0,004 et 0,006 ($^\circ\text{C}$).
- T_0 : La température standard ($^\circ\text{C}$).
- T_c : est la température du module, qui varie en fonction de l'éclairement et de la température ambiante. Elle peut être décrite par la relation suivante :

$$T_c = T_a + \left(\frac{\text{NOCT} - 20}{80} \right) \cdot G \quad (4.3)$$

Avec :

- NOCT : La température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (Nominal Operating Cell Temperature)
- T_a : La température ambiante ($^\circ\text{C}$). Ainsi, la puissance totale du champ photovoltaïque s'écrit comme suit :

$$P_{pvt}(t) = P_{pv}(t) \cdot N_{pv} \quad (4.4)$$

Avec :

- P_{pv} : La puissance produite par un seul module photovoltaïque (W).
- N_{pv} : Le nombre de module constituant le champ photovoltaïque.

4.3.2 Modélisation du système de stockage

Dans cette étude, le principal système de stockage de l'énergie électrique possible est celui de la batterie de stockage électrochimique. La batterie au plomb est la plus utilisée dans les installations photovoltaïques .

Une batterie possède deux modes de fonctionnement : un mode de charge et un mode de décharge.

Quand la production énergétique locale est supérieure (respectivement inférieure) à l'énergie exigée, la batterie est en mode charge et l'énergie en excès y est stockée (respectivement, la batterie est en mode décharge et l'énergie est évacuée afin de compléter le manque d'énergie). Ce sont ces deux modes de fonctionnement qui sont désignés par le modèle proposé. Ainsi, l'état de la batterie à chaque instant est lié à son état précédent ainsi qu'à la production et à la consommation d'énergie du système

à chaque instant. En conséquence, deux équations nous permettent de décrire le fonctionnement de la batterie. La capacité de la batterie en mode charge (respectivement en mode décharge) à l'instant est donnée par (4.5) (respectivement (4.8)) [46].

Mode charge

Dans le cas où l'énergie produite est supérieure ou égale à l'énergie demandée $E_{pr} \geq E_d$, les batteries sont dans le processus de chargement. La capacité de stockage instantanée $EDC(t)$ en (W) est donnée par la formule suivante [45] :

$$EDC(t) = EDC(t-1) + \eta_{bat} \times (E_{pr}(t) \times \eta_{conv} - \frac{E_d(t)}{\eta_{conv}}) \quad (4.5)$$

Avec :

- $E_d(t)$: L'énergie instantanée demandée par la charge (W).
- $E_{pr}(t)$: L'énergie totale produite par les générateurs du système hybride à l'instant t, donnée

par :

$$E_{pr}(t) = E_{pv}(t) \quad (4.6)$$

Avec :

$$E_{pv}(t) = P_{pv}(t) \cdot \Delta t \quad (4.7)$$

Sachant que :

- Δt : Est le pas de simulation.
- η_{bat} : Le rendement des batteries.
- η_{conv} : Le rendement du convertisseur.

Mode de décharge

Or, dans le cas où l'énergie produite est inférieure à l'énergie demandée $E_{pr} \leq E_d$, les batteries sont en train de se décharger. La capacité de stockage instantanée $EDC(t)$ est donnée par l'expression suivante [45] :

$$EDC(t) = EDC(t-1) + (E_{pr}(t) \times \eta_{conv} - E_d(t)) \quad (4.8)$$

A savoir, peu importe le mode, l'état de charge des batteries EDC doit respecter la condition suivante :

$$EDC_{min} \leq EDC(t) \leq EDC_{max} \quad (4.9)$$

Avec :

- EDC_{max} : Est la limite supérieure de chargement des batteries en (W), donnée par :

$$EDC_{max} = EDCn \cdot \omega \quad (4.10)$$

EDC_{min} : Est la limite inférieure de déchargement des batteries en (W), exprimée par :

$$EDC_{min} = (1 - PDD) \cdot EDCn \quad (4.11)$$

Avec :

- $EDCn$: L'état de charge nominale d'une batterie (W).
- ω : Coefficient donnée par le constructeur en (%).
- PDD : Représente la Profondeur De Déchargement de la batterie. L'état de charge de la batterie en (%) est donnée par :

$$EDC\%(t) = \frac{EDC(t)}{EDC_{max}} \times 100 \quad (4.12)$$

4.4 Organigramme de la gestion de l'énergie

Dans cette partie, on présente l'organigramme (4.2) de gestion de l'énergie, et les paramètres suivants sont des lettres abrégées utilisés dans le schéma .

- EPV : l'énergie de panneau solaire.
- Echarge : l'énergie de la charge.
- Esoutirée : l'énergie soutirée du réseau.
- Einjecté : l'énergie injectée au réseau .

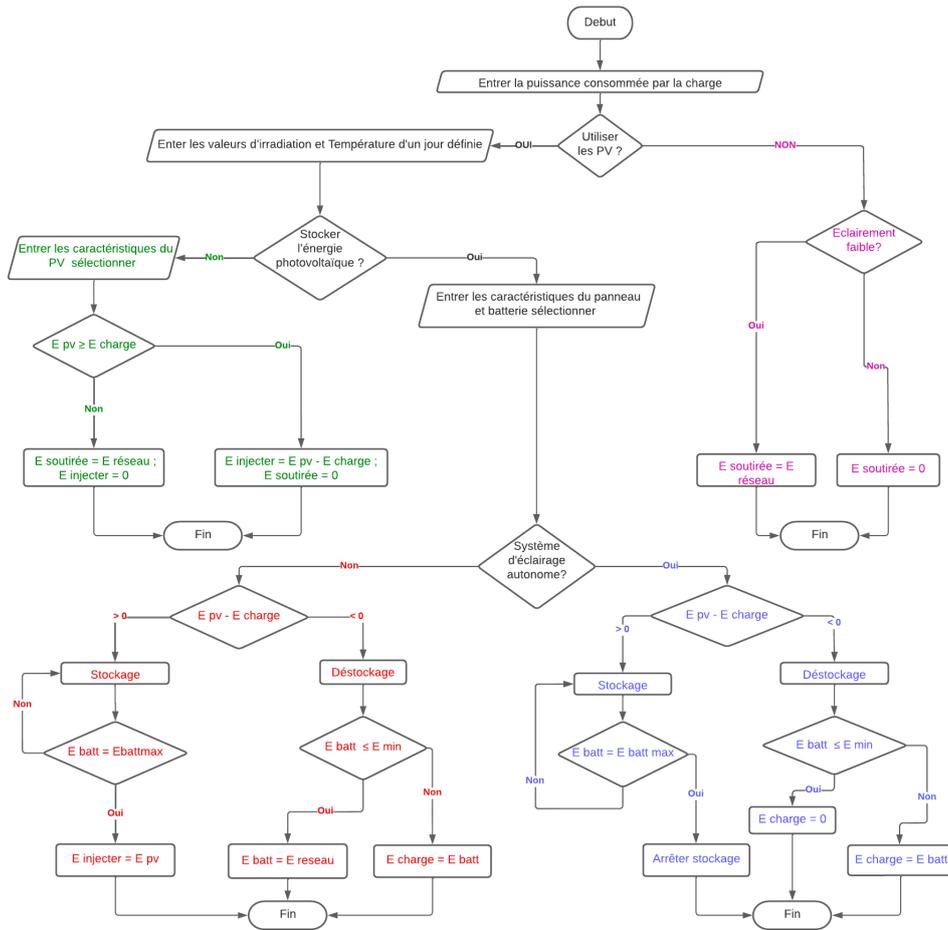


FIGURE 4.2: Organigramme de gestion de l'énergie appliqué pour l'éclairage public

4.5 Choix de configurations du système d'éclairage public

Dans cette partie, plusieurs configurations de systèmes d'éclairage public sont proposées et simulées avec les mêmes conditions climatiques précédentes (chapitre 3) utilisant des lampes LED de 55W. Le système se compose généralement des éléments suivants : les panneaux photovoltaïques, les batteries de stockage, le réseau électrique, les convertisseurs et la charge.

Étant donné le support EP est composé de deux lampes chacun, et que chaque lampe est placée l'une devant l'autre, chaque lampe est composée d'un panneau de 150w et d'une batterie de 143ah.

Différents scénarios de gestion ont été proposés afin de visualiser et d'analyser le comportement et l'efficacité du système de gestion en place pendant la nuit, tout en respectant les limites de la gestion optimale de l'énergie.

- Premier scénario (1) : Réseau d'éclairage public classique (lampes EP- réseau).
- Deuxième scénario (2) : Réseau d'éclairage public solaire isolé (PV- Lampe EP- Batterie).

- Troisième scénario (3) : Réseau d'éclairage public solaire et connecté au réseau (PV- Lampes EP- Réseau).
- Quatrième scénario (4) : Réseau d'éclairage public solaire avec batterie et connecté au réseau (PV- Batterie- Lampes EP- Réseau).

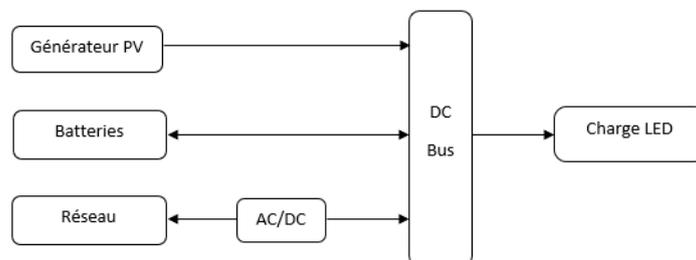


FIGURE 4.3: Configuration globale du système d'éclairage public

4.6 Résultats et discussion

La simulation est réalisée sous MATLAB, l'algorithme est développé sous la forme de "if-then-else", responsable de la mise en œuvre d'une stratégie de prise de décision en temps réel. Le but de cette simulation est d'évaluer l'efficacité du système de contrôle proposé pour un éclairage public, intégrant une source d'ENR photovoltaïque, un système de stockage par batterie et évidemment le réseau principal.

La figure (4.4) présente la variation des données météorologiques du site concerné par l'étude, les données sont prises pour une journée du mois juin à partir de la base de donnée du "Meteonorm 8.0" .

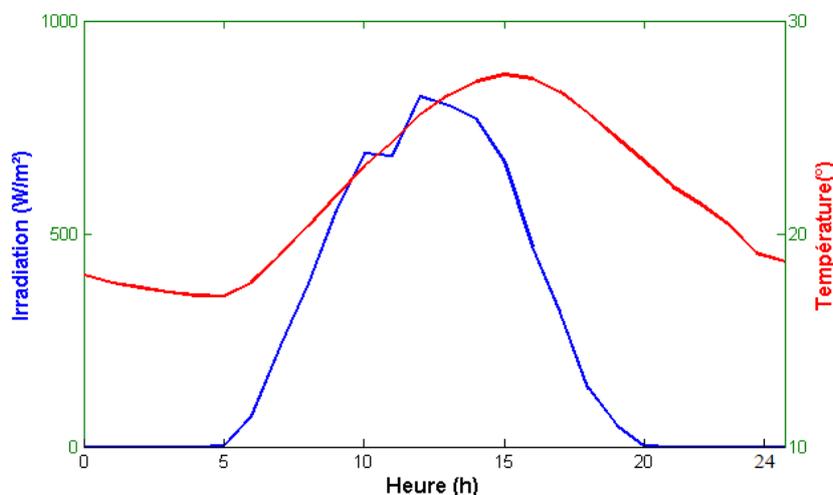


FIGURE 4.4: Les données météorologiques du site étudié

4.6.1 Premier scénario :Réseau d'éclairage public classique (lampes EP- réseau)

Dans ce scénario, la charge est directement alimentée à partir du réseau électrique, nous avons utilisées deux charges de puissances différentes (lampes LED 55W et lampes LED 100W) pour visualiser la différence dans la consommation .

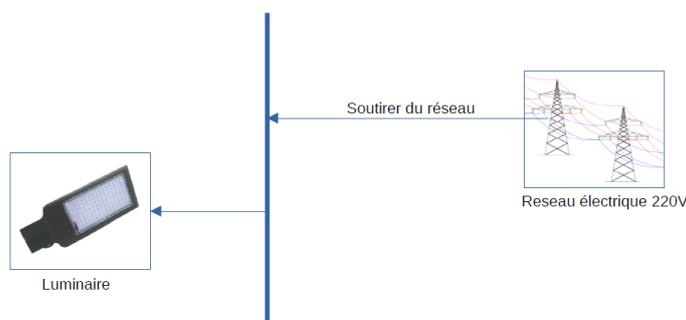


FIGURE 4.5: Réseau d'éclairage public classique

La Figure (4.6) représente l'allure des puissances échangée entre l'installation et le réseau durant 24h. On remarque que l'utilisation des lampes LED de 55W est plus économique.

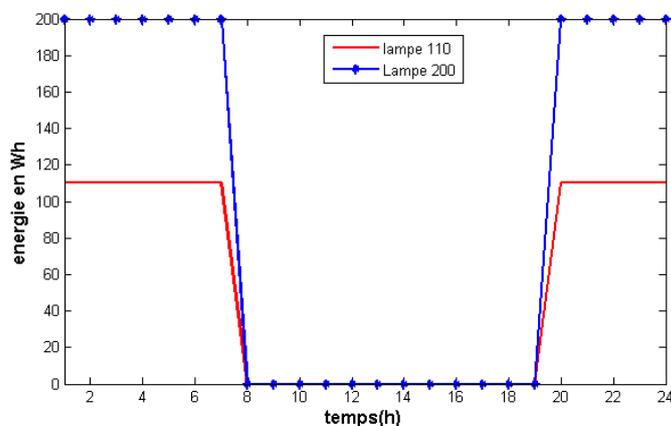


FIGURE 4.6: Énergie fournie du réseau au différentes charges

L'utilisation des nouvelles technologies de lampes plus efficace et moins puissantes réduit considérablement la demande de l'installation.

4.6.2 Deuxième scénario :Réseau d'éclairage public solaire isolé (PV- Lampe EP- Batterie)

Pour ce scénario, les lampes LED sont alimenté par un éclairage solaire isolé. L'énergie solaire est captée par le panneau photovoltaïque et convertit en électricité, puis elle est stockée dans la batterie

pour être restituée pendant la nuit pour alimenter les lampes LED, ce qui fait que ces lampes sont totalement autonomes. Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau et les figures ci-dessous.

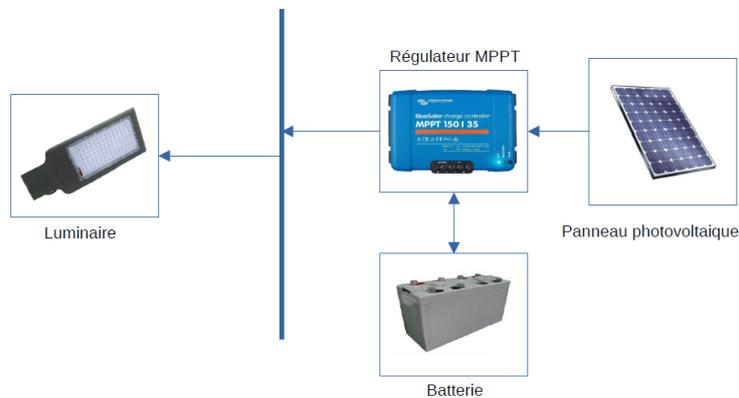


FIGURE 4.7: Réseau d'éclairage public solaire isolé

TABLE 4.1: Résultats de simulation du scénario 3

| Heure (h) | Energie fournie par les panneaux | niveau du batterie |
|-----------|----------------------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 81.2044 |
| 1 | 0 | 77.9993 |
| 2 | 0 | 74.7942 |
| 3 | 0 | 71.589 |
| 4 | 0 | 68.3839 |
| 5 | 0 | 65.1797 |
| 6 | 0.0308 | 62.5723 |
| 7 | 69.8553 | 64.6077 |
| 8 | 109.8541 | 67.8086 |
| 9 | 154.2308 | 72.3025 |
| 10 | 185.6311 | 77.7114 |
| 11 | 183.2276 | 83.0502 |
| 12 | 214.753 | 89.3075 |
| 13 | 208.4481 | 95.3812 |
| 14 | 200.8975 | 100 |
| 15 | 177.2706 | 100 |
| 16 | 128.6251 | 100 |
| 17 | 88.9319 | 100 |
| 18 | 39.7186 | 100 |
| 19 | 0.0316 | 97.2291 |
| 20 | 0 | 94.0249 |
| 21 | 0 | 90.8198 |
| 22 | 0 | 87.6147 |
| 23 | 0 | 84.4095 |

La figure (4.8) représente l'allure de l'énergie photovoltaïque produite au fil du soleil

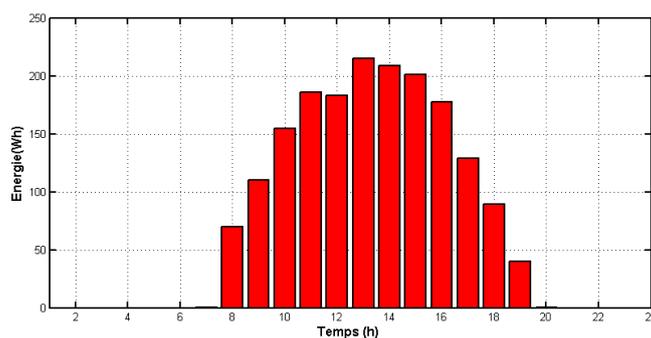


FIGURE 4.8: Allure de l'énergie PV au cours de la journée

La figure (4.9) représente l'état de charge de la batterie pendant 24h.

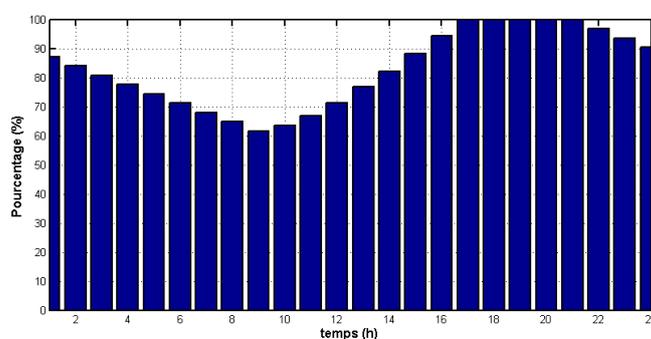


FIGURE 4.9: État de la charge de la batterie scénario 3

La figure (4.10) représente la gestion de l'énergie pour le cas d'un EP solaire isolé.

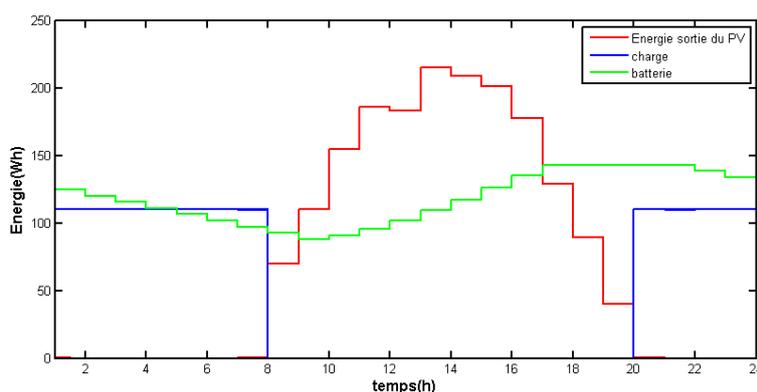


FIGURE 4.10: Gestion de l'énergie EP Solaire isolé.

De 7h jusqu'à 21h, le système PV capte le rayonnement solaire et produit de l'énergie électrique, l'énergie produite varie proportionnellement en fonction de l'irradiation (diminue avec le coucher du soleil). Cette énergie charge en même temps la batterie en passant par un régulateur de charge.

De 20h jusqu'à 8h du matin, la production par le champ photovoltaïque est nulle en raison de l'absence d'ensoleillement, ce qui incite la batterie à alimenter les lampes d'éclairage public (durant la nuit).

Nous avons simulé un autre cas dans les jours où on n'a pas d'éclairage pour voir l'autonomie dans la figure (4.11) on peut remarquer que la batterie arrête après 68 heures.

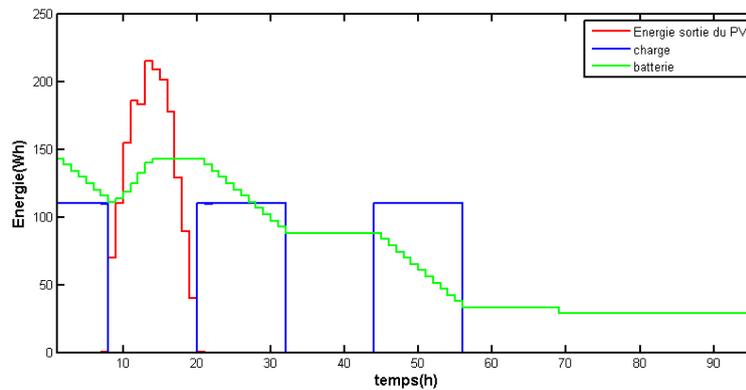


FIGURE 4.11: Autonomie de l'EP Solaire isolé (sans soleil).

Afin de vérifier l'autonomie de notre installation, nous avons déconnecté le panneau PV et observé le comportement de la batterie et de la charge. Les résultats de simulation ont montré que la batterie a assuré l'alimentation de la charge durant les 2 jours qui suivent son chargement (ce qui confirme l'exactitude du dimensionnement de l'installation réalisé par le logiciel PV Sys au chapitre 3).

4.6.3 Troisième scénario : Réseau d'éclairage public solaire et connecté au réseau (PV- Lampes EP- Réseau)

L'objectif de ce scénario est d'alimenter l'éclairage public sans avoir utilisé une batterie de stockage (élément faible dans toutes les installations, de part son coût onéreux et sa durée de vie limitée).

Dans ce scénario les panneaux photovoltaïques sont utilisés pour produire l'énergie électrique et l'injecter au réseau de distribution, cela contribue à introduire les énergies renouvelables dans la part de la production énergétique nationale, satisfaisant ainsi les directives ministérielles actuelles.



FIGURE 4.12: EP solaire en mode connecté

La figure (4.13) représente la puissance de la charge dans chaque support EP.

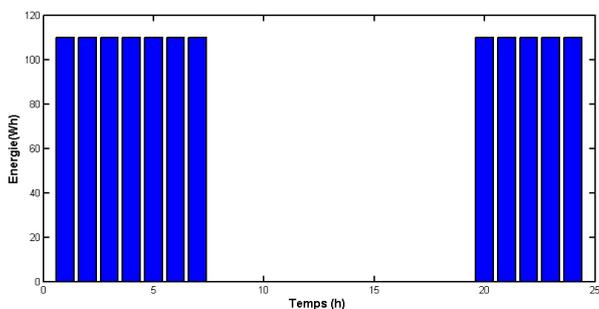


FIGURE 4.13: Énergie demandé par chaque support EP

La charge EP est appelée durant la nuit au moment d'absence d'ensoleillement, en conséquence les lampes LED sont alimentés à part entière par le réseau.

La Figure (4.14) représente la gestion des ressources pour le scénario 2.

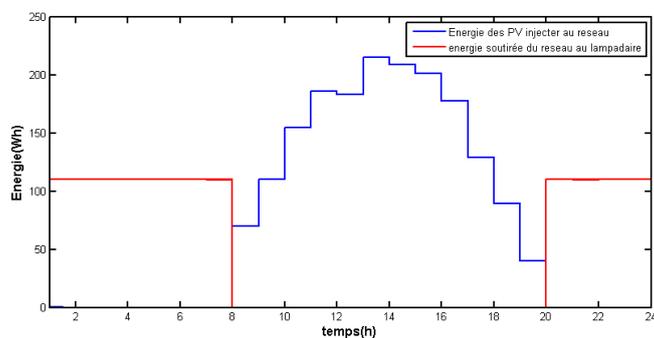


FIGURE 4.14: EP solaire sans système de stockage

De 8h jusqu'à 20h le système photovoltaïque injecte entièrement l'énergie produite sur le réseau. De 20h jusqu'à 8h du matin, la charge sera alimentée via le réseau.

Les services communaux peuvent réaliser des économies intéressantes et contribuent ainsi à la transition énergétique vers les énergies renouvelables.

4.6.4 Quatrième scénario (4) : Réseau d'éclairage public hybride (PV- Batterie- Lampes EP- Réseau)

L'objectif de ce scénario est de voir si le programme de gestion élaboré procède à l'injection de l'énergie excédentaire vers le réseau principal en cas de surplus d'énergie après avoir chargé complètement les batteries.

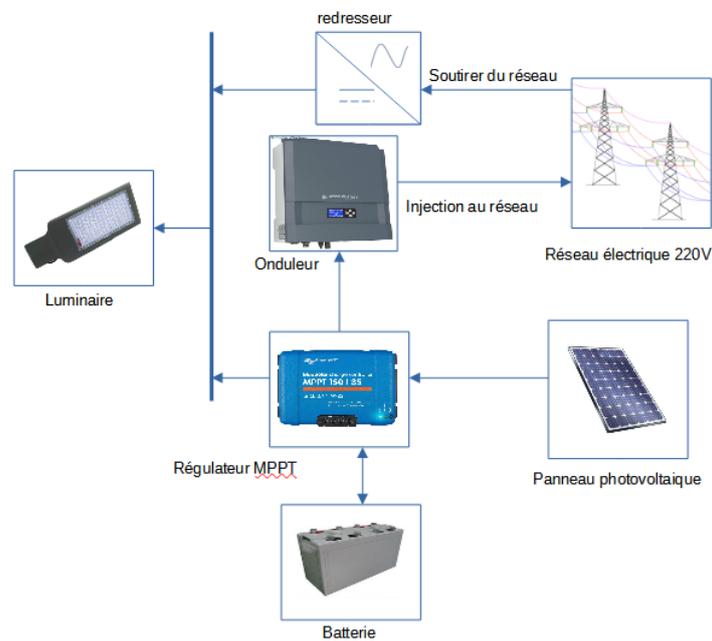


FIGURE 4.15: Réseau d'éclairage public hybride

La Figure(4.16) représente l'état de charge de la batterie pendant 24h.

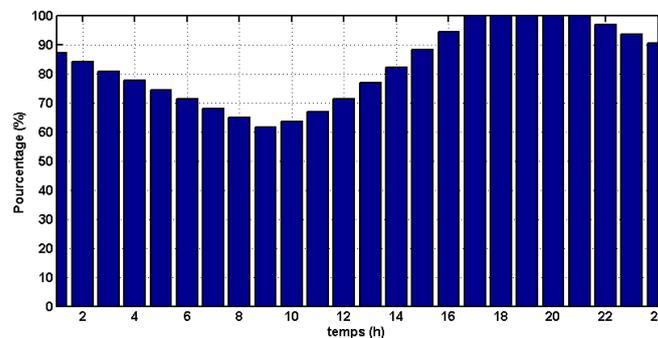


FIGURE 4.16: État de la charge de la batterie en pourcentage pendant 24h

La Figure (4.17) représente l'histogramme du surplus de l'énergie injectée au réseau.

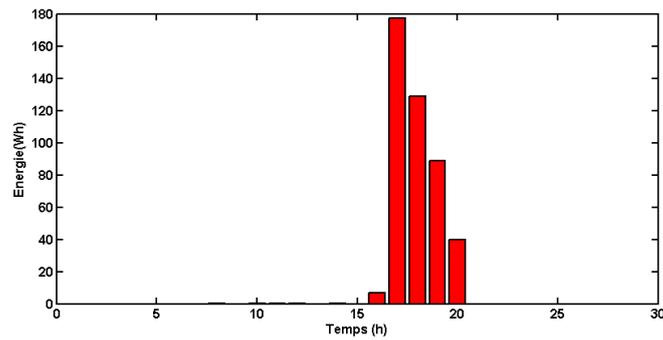


FIGURE 4.17: Énergie injectée au réseau pendant 24h

La Figure (4.18) représente l'allure des énergies issues de la gestion des différentes sources d'un éclairage public ainsi que le profil de la charge.

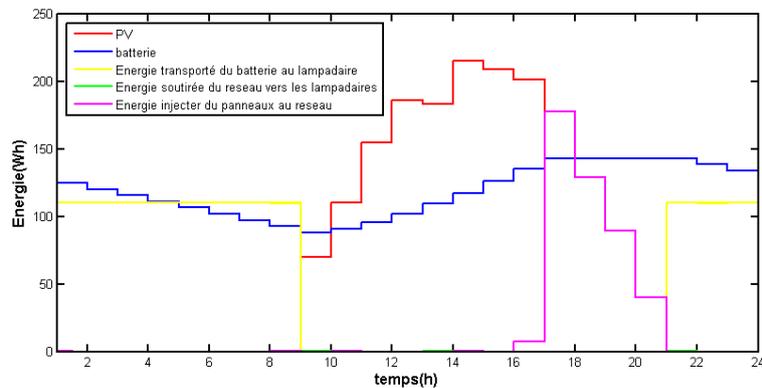


FIGURE 4.18: Gestion des ressources du réseau EP hybride

De 01h jusqu'à 8h du matin et de 20h jusqu'à minuit, l'alimentation des lampes EP est assuré par le biais des batterie.

De 8h jusqu'à 15h, l'énergie produite par le PV est stockée dans la batterie.

De 16h jusqu'à 20h, le surplus de l'énergie PV sera injecté sur le réseau.

L'apport du réseau est quasiment nul, la demande de l'énergie est couverte à part entière par les batteries, voir la figure (4.17).

4.7 Étude économique

En ce qui suit une étude économique comparant le prix d'installation des deux type d'éclairage public et en 2ème étape nous avons comparées le coût de revient sur une durée de 20 ans, le premier consiste en un éclairage classique alimenté par le réseau de distribution et le second consiste en éclairage solaire alimenté par des panneaux photovoltaïques et des batteries.

4.7.1 1ère étape : Coût d'installation

Cas d'éclairage public alimenté par le réseau

Le tableau (4.2) explique l'étude économique de la rue Mekki Khelifa :

TABLE 4.2: Étude financière du EP classique

| N° | Désignation | Unité | Q.T | Pu (DA) | Montant (DA) |
|----|---|-------|------|---------|--------------|
| 1 | Exécution de fouille en puits et confection de socle en béton dosé à 350kg/m ³ de dimension 0,6x0,6x0,7 tige d'encrage | U | 46 | 5000 | 230000 |
| 2 | Exécution de fouille en tranchée en terrain meuble (0.4X0.6) toute suggestion sable grillage avertisseur ainsi la remise en état | ML | 1500 | 500 | 750000 |
| 3 | Câble de section 4x50mm | ML | 255 | 6500 | 1657500 |
| 4 | Câble de section 4x35mm | ML | 297 | 2900 | 861300 |
| 5 | Câble de section 4x25mm | ML | 330 | 2000 | 660000 |
| 6 | Câble de section 4x16mm | ML | 495 | 1600 | 792000 |
| 7 | Câble de section 4x10mm | ML | 132 | 900 | 118800 |
| 8 | Câble de section 3x2,5mm | ML | 736 | 250 | 184000 |
| 9 | Candélabre cylindro conique H7 galvanisé thermolaqué et de tôle d'épaisseur de 4mm | U | 46 | 33000 | 1518000 |
| 10 | crosse double galvanisé | U | 46 | 9500 | 437000 |
| 11 | platine de protection y/c disjoncteur unipolaire 10A | U | 46 | 1750 | 80500 |
| 12 | luminaire a sodium 250w avec un flux lumineux supérieur à 2000lm | U | 92 | 1950 | 179400 |
| 13 | Exécution de sur massif | U | 46 | 700 | 32200 |
| 14 | Armoire de commande E.P et accessoires pour deux départ | U | 1 | 80000 | 80000 |
| 15 | photocellule électrique | U | 1 | 5500 | 5500 |
| | Total | | | | 7586200.00 |

A partir de ce dernier tableau , le coût de l'éclairage de la rue Mekki Khelifa est estimé aux alentours de 7586200.00 DA.

Si on prend en compte les frais du poste de transformation HTA/BT qui alimente l'éclairage public, le coût d'installation de l'éclairage classique va forcément augmenter.

Du coup, le tarif d'installation d'un poste (Génie civil+ équipement+ frais d'installation) = 4200000 DA.

Le coût de l'alimentation de ce poste en HTA= 1250000 DA (longueur moyenne de 250 ml avec un prix unitaire de 5000000 DA/ml).

Donc le coût d'installation total est estimé à 13036200 DA (sans prendre en considération le coût mensuel de l'énergie consommée).

Cas de l'éclairage public solaire

TABLE 4.3: Étude financière du EP solaire

| N° | Désignation | Unité | Q.T | pu | montant HT |
|----|---|-------|-----|-------|------------|
| 1 | Exécution de fouille en puits et confection de socle en béton dosé a 350kg/m3 de dimension 0,6x0,6x0,7 tige d'encrage | U | 46 | 5000 | 230000 |
| 2 | Regulateur | U | 46 | 5000 | 230000 |
| 3 | Batterie 150AH/12V "GEL" | U | 92 | 34000 | 3128000 |
| 4 | Panneau 300 (2*150 W) | U | 46 | 16000 | 736000 |
| 5 | Câble de section 3x2,5mm | ML | 736 | 250 | 184000 |
| 6 | Candélabre cylindro conique H7 galvanisé thermolaqué et de tôle d'épaisseur de 4mm | U | 46 | 33000 | 1518000 |
| 7 | Crosse double galvanisé | U | 46 | 9500 | 437000 |
| 8 | Platine de protection y/c disjoncteur unipolaire | U | 46 | 1750 | 80500 |
| 9 | Luminaire a LED 55w avec un flux lumineux supérieur a 8000lm | U | 92 | 10000 | 920000 |
| 10 | Exécution de sur massif | U | 46 | 700 | 32200 |
| 11 | Photocellule électrique | U | 1 | 5500 | 5500 |
| | Total | | | | 7501200.00 |

A partir ce dernier tableau (4.3), le coût de l'éclairage de la rue Mekki Khelifa revient aux alentours de 7501200.00 DA.

Comparaison entre les deux cas

D'après les tableaux (4.2) et (4.3) nous avons constaté que les coûts d'installation de l'EP sont approximatifs que ce soit pour l'éclairage classique ou pour l'éclairage solaire isolé. Dans le cas où l'alimentation de l'EP n'est pas disponible (cas des zones lointaines du réseau ou en cas de surcharge des postes à proximités), et nous nous retrouvons dans l'obligation d'installer un poste HTA/BT, ce qui rend l'installation du EP classique plus chère.

4.7.2 2ème étape : Coût de revient sur 20 ans

Nous allons calculé dans cette étape le coût de revient de l'éclairage public sur 20 ans pour les deux cas étudiés.

Cas d'éclairage public alimenté par le réseau

On calcul dans cette étape le coût de la consommation d'énergie pendant une année, sachant que l'énergie consommée durant l'année 2021/2022 dans cette rue est 12055 KWh, partagée sur deux périodes tarifaires, le coût de revient est calculé au tableau (4.4).

TABLE 4.4: Coût de consommation annuelle

| Périodes tarifaires | PU DA/Kwh | Energie annuelle Kwh | Coût en DA |
|---------------------|-----------|----------------------|------------|
| journee+pointe | 4.283 | 39917 | 170964.511 |
| nuite | 1.024 | 72138 | 73869.312 |
| Total | | | 244833.823 |

Cas de l'éclairage public solaire

Dans ce cas il n'y a pas de consommation d'énergie parce que ce système est autonome et génère l'énergie à partir du soleil.

Dans la durée de 20 ans, les batteries et les régulateurs doivent être remplacés chaque 10 ans.

Dans ce tableau (4.5), nous avons calculer le coût des composants remplacés :

TABLE 4.5: Coût des composants remplacés

| N° | Désignation | Unité | Q.T | pu | montant HT |
|----|--------------------------|-------|-----|-------|------------|
| 1 | Régulateur | U | 46 | 5000 | 230000 |
| 2 | Batterie 150AH/12V "GEL" | U | 92 | 34000 | 3128000 |
| | Total | | | | 3358000.00 |

Comparaison entre les deux cas

Ce tableau (4.6) présente la comparaison entre les coûts sur 20 ans des deux cas étudiés.

TABLE 4.6: Comparaison entres les coûts de revient

| | EP classique | EP solaire |
|------------------------------------|--------------------|------------|
| Coût d'installation (DA) | 13036200 | 7501200 |
| Coût d'énergie consommé 20ans (DA) | 244833*20 =4896660 | 0 |
| Coût des composants remplacés | 0 | 3358000 |
| Coût total 20 ans(DA) | 17932860 | 10859200 |

Dans le cas d'éclairage public autonome avec PV, la durée de vie du panneau PV est 20 ans, donc 1 PV par support. Les batteries et les régulateurs ont une durée de vie de 10 ans, donc ils doivent être remplacés après 10 ans.

L'énergie pendant 20 ans du système PV est gratuite, d'un autre côté l'énergie totale à partir du réseau augmente chaque année.

D'après le tableau, nous constatons que le système alimenté par réseau (17932860 DA) revient plus cher que le système photovoltaïque autonome (10859200 DA) même sur une durée de 20 ans.

4.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons adopté un système de gestion de l'énergie appliqué à une installation d'éclairage public en fonctionnement isolé ou bien connecté au réseau, constitué de panneaux photovoltaïques, un système de stockage par batteries et une charge EP (lampe LED).

En effet, plusieurs scénarios ont été soumis pour visualiser le taux d'efficacité du système de gestion dans le partage convenable des ressources pour différentes configurations. L'objectif est de minimiser l'apport du réseau principal et promouvoir le transfert bidirectionnel du flux d'énergie.

Les résultats de la simulation ont démontré l'efficacité du dispositif de gestion suggéré et valident la fiabilité de la stratégie.

En deuxième lieu, nous avons élaboré une étude comparative entre les coûts d'installation des deux types d'éclairage public soit classique ou solaire. D'après les calculs obtenus, nous avons conclu que l'éclairage solaire est plus rentable à long terme (cumul des coûts de consommation de l'EP classique) ou bien pour les zones lointaines par rapport au réseau principal où les installations EP nécessitent l'alimentation en moyenne tension d'un poste HTA/BT (causant ainsi des frais supplémentaires et un prix total onéreux).

Conclusion générale

L'éclairage public regroupe les moyens utilisés pour éclairer les espaces publics et les voiries, en effet il représente une grande part de la consommation d'énergie annuelle produite. Cette consommation excessive, est accompagnée ainsi d'effet de serre via les émissions de CO₂ liées à la production de l'énergie électrique nécessaire et de gaspillage lié à la non-conformité des installations et à un allumage rarement nécessaire.

En faisant artificiellement reculer la nuit avec ses lampadaires et ses éclairages publics, l'homme procrée la pollution lumineuse causée par la présence nocturne gênante de lumière, bouleversant la vie animale et des végétaux, les écosystèmes ainsi que les effets suspectés sur la santé humaine.

Afin de limiter les désagréments cité ci-dessus et réduire la facture de consommation d'énergie dans ce domaine, nous avons procédé d'abord à une étude de l'état des lieux de l'éclairage public dans la ville d'Oran (la rue Mekki Khelifa) et de faire un bilan de l'éclairage installé dans cette rue.

Le diagnostic de l'éclairage installé nous a permis de mettre en évidence les problèmes liés à la photométrie en l'occurrence l'intensité lumineuse, le rendu des couleurs et l'éblouissement et les traiter ensuite par le logiciel DIALux. Les résultats de simulation aboutis ont permis de choisir les lampes LED au lieu des lampes sodium SHP, en raison de leur faible consommation et haute efficacité lumineuse, notamment avec les technologies récentes des LEDs.

En second lieu, le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome pour éclairage public a été fait par logiciel PVsys, pour connaître la puissance des panneaux solaires, et la capacité de la batterie en fonction de son autonomie.

Finalement, Nous avons procédé à l'élaboration d'un processus de gestion de l'énergie du système d'éclairage en question, alimenté principalement par ressources renouvelables (panneaux photovoltaïques) et un système de stockage (Batteries). Pour cela plusieurs scénarios ont été proposés pour le pilotage et le contrôle de l'éclairage public de la dite rue, l'objectif est de minimiser la dépendance au réseau, promouvoir la contribution des énergies renouvelables pour la production de l'électricité,

augmenter l'efficacité énergétique limitant par conséquent l'impact négatif sur l'environnement.

Perspectives

A titre de perspectives nous proposons ce qui suit :

- Procéder au remplacement et la généralisation des lampes à LED.
- Dotation du réseaux éclairage public de système de production renouvelable.
- Commande à distance des luminaires grâce à la technologie embarquée sur les lampes LED.
- Contrôle à distance et en temps réel du bon fonctionnement des lampadaires.
- Introduire l'outil intelligence pour la gestion de l'éclairage public.

Bibliographie

- [1] AMIRA, B. (2020, Université Mohamed Khider de Biskra). L'éclairage public à Djamaa. État des lieux. *Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme : MASTER.*
- [2] BOULHARES, K. & TRAKET, C. (2018). *Etude Pratique et Dimensionnement d'un Système d'Éclairage Public photovoltaïque Autonome.* Université Ahmed Draia-ADRAR.
- [3] FAGBEDJI, G. K., DANDONOUGBO, I. & HETCHELI, F. (2021). L'éclairage public des rues dans les espaces périurbains de Lome (Togo) : de l'inegalite spatiale à l'injustice. *Amenagement du territoire et sentiers d'economie en Afrique : fonction du bricolage technologique : Innovatiopns sociales en Afrique.*
- [4] Guide technique module 3 : Eclairage public. (2019). *Caisse de Prêts et de Soutien des Collectivités Locales (CPSCCL), Tunisie.*
- [5] CINDY L. M, A. C. (2015). ETUDE ET MISE EN ŒUVRE DE L'ECLAIRAGE PUBLIC DU BOULEVARD DE FRANCE REDRESSE RIVIERA – ABIDJAN. *Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme : MASTER.*
- [6] SOUFIANE, S. (2013). Commande de l'éclairage public et mesure de la température à base de PIC18F4550. *Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme : MASTER, Biskra.*
- [7] Les différents types de lampes. (s. d.). Récupérée 8 juin 2022, à partir de <https://controverses.sciences-po.fr/archive/ampoules/index.php/pour-debuter/les-differents-types-de-lampes/>
- [8] 719 IFDD FichePrisme No11 Eclairage Public 4. (s. d.). *LES TECHNOLOGIES À HAUTE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE.*
- [9] FERNANDEZ, P. (2012). *La perception des environnements lumineux de chambres d'hôtels : Effets de l'éclairage, de l'usage et des caractéristiques individuelles sur le jugement d'appréciation en situation réelle* (thèse de doct.). Université Claude Bernard-Lyon I.
- [10] LEANG, T. (2014). *Etude des phénomènes de photodegradation et de polarisation dans les lasers organiques solides à cavite verticale externe* (thèse de doct.). Paris 13.

- [11] Lumière naturelle : les grandeurs physiques (partie 2). (s. d.). Récupérée 13 juin 2022, à partir de <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/lumiere-naturelle-les-grandeurs-physiques-partie-2>
- [12] REITER, S. & DE HERDE, A. (2004). *L'éclairage naturel des bâtiments*. Presses univ. de Louvain, Belgique.
- [13] MEDDOUR, S. (2008). Impact de l'éclairage zénithal sur la présentation et la préservation des oeuvres d'art dans les musées.
- [14] SEMAY, C. & SILVESTRE-BRAC, B. (2016). *Relativité restreinte*. Dunod.
- [15] AGBOUBI, D. & BELHABRI, R. (2021,ESGEE ORAN). Diagnostic Et Optimisation De L'éclairage Public De La Ville D'oran. *Mémoire de Fin d'Etudes Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique*.
- [16] BOUVIER, F., PAULE, B. & COURRET, G. (1988). *eclairage naturel*. Ed. Techniques Ingénieur.
- [17] NDIAYE, I. P. (2003). Maîtrise de la demande d'énergie appliquée à l'éclairage public : Étude du cas de la ville de DAKAR. *Mémoire de Fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception en Électromécanique*.
- [18] SLIMANE, S., BELAID, S., ABBES, W. & SIDI, G. I. (s. d.). Thème : eclaireage Public des Routes et Trottoirs en Algerie.
- [19] PELZER, Q. (2019). *etude du vieillissement des isolants synthétiques des cables moyenne tension" HTA"*. (thèse de doct.). Université Grenoble Alpes (ComUE).
- [20] NADIR, H. & (ENCADREUR), K. B. (2018). *Diagnostic D'un Câble Enterré Par Matrice Pencil* (mém. de mast.). Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel.
- [21] CHHUN, L. (2010). *Modes d'Alimentation et de Commande des lampes sodium haute pression en vue d'éviter les resonances acoustiques,Toulouse* (thèse de doct.).
- [22] radouane n'ait ZARRI & YAO, M. E. (s. d.). *Economie d'énergie dans l'éclairage public* (mém. de mast.). ENSEM Maroc.
- [23] HAFAF, 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.
- [24] YASSAA, P. N. (2021). Éclairage Public en Algerie. *CEREFÉ*.
- [25] Guide De L'élu local et intercommunal MODULE 3 : ECLAIRAGE PUBLIC. (2020). *FNCCR, Paris*.
- [26] Public Lighting management. (2015). *ESI AFRICA ISSUE*.

- [27] MEHTARI, M. & BILLAMI, C. (2021). *Régulation et gestion de l'énergie électrique dans un micro-réseau intelligent* (mém. de mast.). ESSAT , Tlemcen.
- [28] BENSAOUDI, M. S. & ARAR, S. E. (2020). *Étude et simulation d'un micro réseau intelligent (microgrid)* (mém. de mast.). ESSAT , Tlemcen.
- [29] ZELEM, M.-C. (2005). La maîtrise de la demande d'énergie. *Approche sociologique des comportements et des usages, Intervention au séminaire du GRETS*.
- [30] Reducing Energy Use in Public Outdoor Lighting : (s. d.). Récupérée 8 juin 2022, à partir de <https://www.aceee.org/toolkit/2015/01/reducing-energy-use-public-outdoor-lighting/>
- [31] Energy efficiency in streetlighting and transport infrastructure. (2020). *STEER Program of the EU*.
- [32] AFE. (2007). Guide d'application de la norme européenne éclairage public EN 13201. *Lux*.
- [33] MEFLAH, A., MAHFOUD, A., HACHEMI, R., HATTI, M. et al. (2013). Amélioration De L'efficacité énergétique en éclairage photovoltaïque à Leds de la salla de conférence de l'udes.
- [34] *5 exemples de panneaux solaires nouvelle génération*. (2022, avril 26). Récupérée 25 août 2022, à partir de <https://climate.selectra.com/fr/panneaux-solaires/nouvelle-generation>
- [35] Le solaire bifacial, à l'aube de son essor ? (s. d.). Récupérée 20 septembre 2022, à partir de <https://www.actu-environnement.com/ae/news/technologie-panneaux-solaires-photovoltaiques-bifacial-37358.php4>
- [36] Half cut solar panel : All you need to know : Vokek China. (s. d.). Récupérée 25 août 2022, à partir de <https://www.vokek.com/half-cut-solar-panel/>
- [37] CHELLAL, A. A., LIMA, J., GONÇALVES, J. & MEGNAFI, H. (2021a). Dual Coulomb Counting Extended Kalman Filter for Battery SOC Determination. *International Conference on Optimization, Learning Algorithms and Applications*.
- [38] Going solar chapter 15 : Know your battery. (s. d.). Récupérée 23 juin 2022, à partir de <https://greensarawak.com/things-to-know-before-going-solar/going-solar-chapter-15-know-%20your-battery/>
- [39] CHELLAL, A. A., LIMA, J., GONÇALVES, J. & MEGNAFI, H. (2021b). Battery Management System For Mobile Robots based on an Extended Kalman Filter Approach. *2021 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*.
- [40] CHELLAL, A. A., GONÇALVES, J., LIMA, J., PINTO, V. & MEGNAFI, H. (2021). Design of an Embedded Energy Management System for Li-Po Batteries Based on a DCC-EKF Approach for Use in Mobile Robots. *Machines*.

- [41] MEGNAFI, H., CHELLAL, A. A. & BENHANIFIA, A. (2020). Flexible and automated watering system using solar energy. *International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*.
- [42] MAHMOUDI, S. & RABEHI, S. (2018). *Etude de conception d'un système photovoltaïque autonome* (mém. de mast.). Université Mouloud Mammeri.
- [43] NESRINE, C. & FELLA, S. (2021). *Étude et dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque* (mém. de mast.). university of M'sila.
- [44] Quel régulateur Solaire Choisir? PWM ou MPPT? (s. d.). Récupérée 4 septembre 2022, à partir de https://www.myshop-solaire.com/quel-regulateur-solaire-choisir-pwm-ou-mppt--_r_80_a_183.html
- [45] BEN LAKEHAL, M. A. & AMOURA, Y. (2020). *Dimensionnement optimal par essaim particulière et par algorithme génétique d'un système énergétique hybride pour l'alimentation du bloc administratif de SARL BOUBLENTA*. (mém. de mast.). ESSA-Tlemcen.
- [46] CHABAUD, A. (2016). *Micro-réseau intelligent pour la gestion des ressources énergétiques* (thèse de doct.). école doctorale Energie Environnement et de l'unité de recherche PROMES.

A.1 Annexe 1 : Les classes des chaussées

| Classe | Eclairage horizontal | |
|--------|---------------------------|------------|
| | E en LUX Minimal maintenu | U0 Minimal |
| CE0 | 50 | 0,4 |
| CE1 | 30 | 0,4 |
| CE2 | 20 | 0,4 |
| CE3 | 15 | 0,4 |
| CE4 | 10 | 0,4 |
| CE5 | 7,5 | 0,4 |

| Classe | Eclairage horizontal | |
|--------|---------------------------|---------------------------|
| | E en LX Minimal maintenu | Emin en LX maintenu |
| S1 | 15 | 5 |
| S2 | 10 | 3 |
| S3 | 7,5 | 1,5 |
| S4 | 5 | 1 |
| S5 | 3 | 0,6 |
| S6 | 2 | 0,6 |
| S7 | Performance non déterminé | Performance non déterminé |

| Classe | Luminance de la chaussée d'une route sèche | | | Éblouissement perturbateur | Éclairage des abords SR ² |
|--------|--|----------------|----------------|-------------------------------|---|
| | L en cd/m ² Minimale maintenue | U0 Minimale | UL Minimale | | |
| ME1 | 2,0 | 0,4 | 0,7 | 10 | 0,5 |
| ME2 | 1,5 | 0,4 | 0,7 | 10 | 0,5 |
| ME3a | 1,0 | 0,4 | 0,7 | 15 | 0,5 |
| ME3b | 1,0 | 0,4 | 0,6 | 15 | 0,5 |
| ME3c | 1,0 | 0,4 | 0,5 | 15 | 0,5 |
| ME4a | 0,75 | 0,4 | 0,6 | 15 | 0,5 |
| ME4b | 0,75 | 0,4 | 0,5 | 15 | 0,5 |
| ME5 | 0,5 | 0,35 | 0,4 | 15 | 0,5 |
| ME6 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 15 | Aucune exigence |

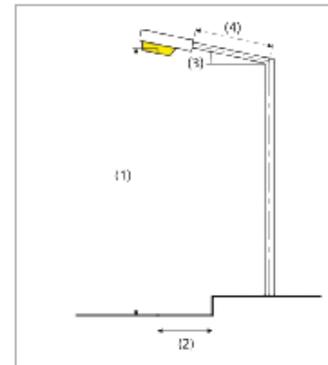
A.2 Annexe 2 : La norme 13-201

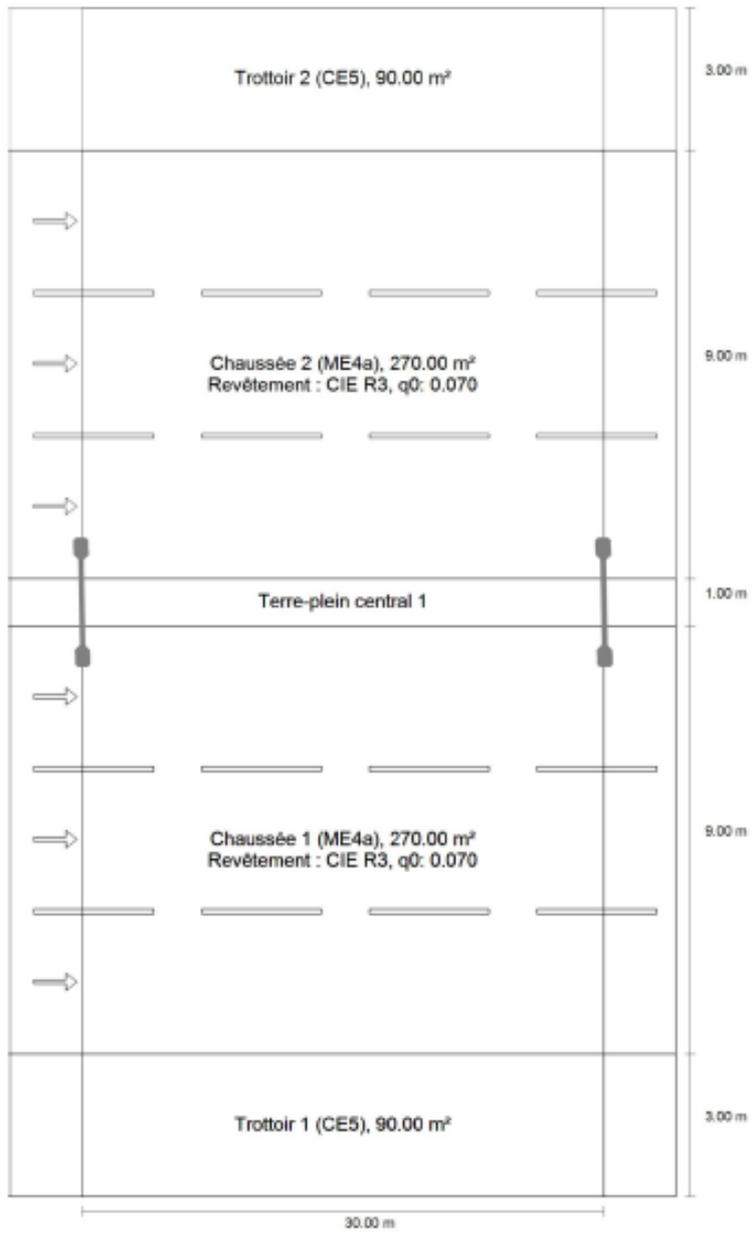
| | Voies urbaines (boulevards, avenues) | Voies urbaines secondaires (rues) | L'espace extérieur du lotissement | Cheminement piéton (Isolé de la route, trottoir) |
|---|--|---|---|---|
| Eclairage moyen (lux) | 20 | 15 | 10 à 15 | 10 |
| Uniformité min éclairage | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Eclairage min ponctuel (lux) | - | - | - | 3 |
| ULOR | <2% | <2% | <2% | <20% |
| Indice de protection min (IP) | IP65 | IP65 | IP65 | IP65 |
| Indice de protection mécanique (IK) | IK08 | IK08 | IK08 | IK08 si >3.5m IK10 si <3.5m |

A.3 Annexe 3 : «Rue Mekki khelifa »

COSMA I (Terre-plein central, 2 Par candélabre)

| | |
|--|--|
| Espacement poteau | 30.000 m |
| (1) Hauteur point d'éclairage | 7.000 m |
| (2) Saillie au point lumineux | 0.600 m |
| (3) Inclinaison de bras | 8.0° |
| (4) Longueur de bras | 0.531 m |
| Consommation | 16500.0 W/km |
| ULR / ULOR | 0.00 / 0.00 |
| Intensités lumineuses max. Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué. | 70°: 471 cd/klm 80°: 118 cd/klm 90°: 3.81 cd/klm |
| Catégorie, intensité lumineuse | G.2 |
| Catégorie, index d'éblouissement | D.1 |





Chaussée 1 (ME4a)

Résultats pour champ d'évaluation

| | Taille | Calculé | Consigne | Contrôlé |
|-------------------|-----------|------------------------|--------------------------|----------|
| Chaussée 1 (ME4a) | L_{moy} | 2.14 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.65 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.60 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | TI | 13 % | ≤ 15 % | ✓ |
| | SR | 0.57 | ≥ 0.50 | ✓ |

Résultats pour l'observateur

| | Taille | Calculé | Consigne | Contrôlé |
|---|-----------|------------------------|--------------------------|----------|
| Observateur 1 Position: -60.000 m, 4.500 m, 1.500 m | L_{moy} | 2.38 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.65 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.83 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | TI | 11 % | ≤ 15 % | ✓ |
| Observateur 2 Position: -60.000 m, 7.500 m, 1.500 m | L_{moy} | 2.26 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.65 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.66 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | TI | 13 % | ≤ 15 % | ✓ |
| Observateur 3 Position: -60.000 m, 10.500 m, 1.500 m | L_{moy} | 2.14 cd/m ² | ≥ 0.75 cd/m ² | ✓ |
| | U_o | 0.65 | ≥ 0.40 | ✓ |
| | U_l | 0.60 | ≥ 0.60 | ✓ |
| | TI | 11 % | ≤ 15 % | ✓ |

A.4 Annexe 4 : caractéristique du lampadaire



R2L2

Lanterne d'éclairage routier LED extra petit avec 36 LED alimentées en 500mA avec optique Route étroite. Driver Programmable. Classe électrique II, IP66, IK09. Corps : aluminium (EN AC-44300) injecté, thermopoudré texturé gris anthracite 900 sablé. Fermeture : trempé verre. Visserie : Acier inox, traitement Ecolubric®. Montage top (Ø 60/76 mm, incliné 0°/5°/10°) ou montage latéral (Ø 34/42/49/60 mm, incliné 0°/-5°/-10°/-15°). Pour une fixation latérale à des emmanchements Ø34/42 mm, un adaptateur (59005840 R2L2 MA34/42 NPA) doit être commandé séparément. Equipé d'un 50% circuit de réduction de puissance, qui entre en vigueur 3 heures avant et 5 heures après un minuit calculé. Il peut être désactivé à l'installation avec un interrupteur interne facilement accessible. Livré avec LED 4 000 K.

Dimensions : 598 x 232 x 149 mm
Puissance du luminaire: 55 W
Flux lumineux du luminaire: 8439 lm
Efficacité lumineuse du luminaire: 153 lm/W
Poids : 7,7 kg
Scx: 0.05 m²



TLG_R2L2_F_XS_MTP_POBANT.jpg

A.5 Annexe 5 : caractéristique du panneau

ELECTRICAL PARAMETERS

Performance at STC (Power Tolerance 0 ~ +3%)

| | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|
| Maximum Power (Pmax/W) | 280 | 285 | 290 | 295 |
| Operating Voltage (Vmpp/V) | 31.3 | 31.7 | 32.0 | 32.3 |
| Operating Current (Impp/A) | 8.95 | 9.00 | 9.07 | 9.14 |
| Open-Circuit Voltage (Voc/V) | 38.5 | 38.7 | 39.0 | 39.3 |
| Short-Circuit Current (Isc/A) | 9.57 | 9.65 | 9.73 | 9.81 |
| Module Efficiency η_m (%) | 16.6 | 16.9 | 17.2 | 17.5 |

Performance at NMOT

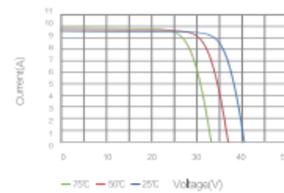
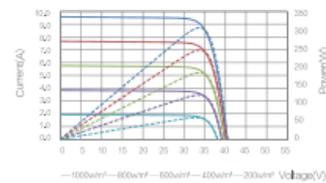
| | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|------|
| Maximum Power (Pmax/W) | 208.7 | 212.6 | 216.3 | 220 |
| Operating Voltage (Vmpp/V) | 29 | 29.2 | 29.5 | 29.7 |
| Operating Current (Impp/A) | 7.21 | 7.27 | 7.34 | 7.4 |
| Open-Circuit Voltage (Voc/V) | 35.8 | 36 | 36.2 | 36.5 |
| Short-Circuit Current (Isc/A) | 7.74 | 7.8 | 7.87 | 7.93 |

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 NMOT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Air Mass AM1.5, Wind Speed 1m/s

MECHANICAL SPECIFICATION

| | |
|--------------------------|---|
| Cell Type | Poly-Crystalline Silicon (5Busbar) |
| Cell Dimensions | 158.75*158.75mm (6inches) |
| Cell Arrangement | 120 (6*20) |
| Weight | 20.7kg (45.64lbs) |
| Module Dimensions | 1684*1002*35mm (66.3*39.45*1.38inches) |
| Cable Length (Portrait) | (+)-300mm (11.81inches) / (-)-300mm (11.81inches) |
| Cable Length (Landscape) | (+)-1200mm (47.24inches) / (-)-1200mm (47.24inches) |
| Cable Cross Section Size | 4mm ² (0.006inches ²) |
| Front Glass | 3.2mm High Transmission, Tempered Glass |
| No. of Bypass Diodes | 3/6 |
| Packing Configuration(1) | 31pcs/carton, 806pcs/40hq |
| Packing Configuration(2) | 31+4pcs/carton, 858pcs/40hq |
| Frame | Anodized Aluminium Alloy |
| Junction Box | IP68 |

I-V CURVE



70°C 80°C 25°C Voltage(V)

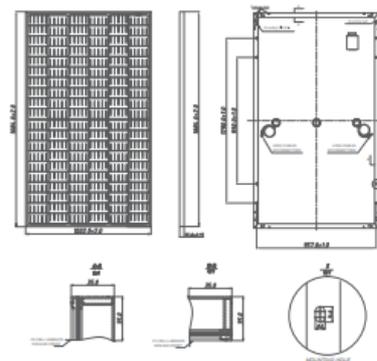
OPERATING CONDITIONS

| | |
|------------------------|---------------------|
| Maximum System Voltage | 1000V/1500V/DC(IEC) |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C |
| Maximum Series Fuse | 20A |
| Static Loading | 5400pa |
| Conductivity at Ground | ≤0.1Ω |
| Safety Class | II |
| Resistance | ≥100MΩ |
| Connector | MC4 Compatible |

TEMPERATURE COEFFICIENT

| | |
|------------------------------|------------|
| Temperature Coefficient Pmax | -0.39%/°C |
| Temperature Coefficient Voc | -0.31%/°C |
| Temperature Coefficient Isc | +0.054%/°C |
| NMOT | 43±2°C |

TECHNICAL DRAWINGS



A.6 Annexe 6 : caractéristique de la batterie

SG SERIES

Solar Gel Deep Cycle

NEWMAX Solar Gel(SG Series) batteries are true maintenance-free sealed batteries engineered specifically to satisfy the need for frequent deep cycles from photovoltaic (PV) and renewable energy storage applications. We are confident that our technology-intensive, long-lasting, and environment friendly SG Series batteries will provide stability and efficiency for your everyday renewable energy needs.





MaxPress™ Grid Technology.
Patented grid compressing technology which increases the density of the lead grains of the grids. The grain density is typically 400% greater than that of the conventional casting method. This up-to-date grid technology enables our batteries to survive even the toughest deep discharge and PeSoC applications.



ThixoPure™ GEL Technology
Application of patented thixotropic colloidal silica GEL technology to battery electrolyte has greatly increased the cycle life by both preventing plate stratification and providing extra temperature protection against heat and cold. We are the first Korean company to successfully commercialize the GEL technology in the VRLA battery industry.



FlexSealing™ Anti Explosion Filter
Patented proprietary cap filtering and sealing technology. Battery cell caps are sealed simultaneously using specially designed rings and explosion flaps to prevent leakage and prevent toxic effluvia from ever flowing.

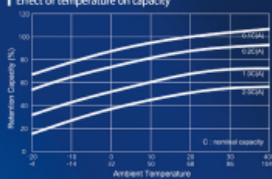


ActiveCarbon™
In every Neumax battery, proprietary micro carbon additive is used in the active material for both positive and negative plates to enhance charge acceptance and cycle endurance. ActiveCarbon™ works to strengthen charge pathways to improve performance consistency and enhance performance at partial states of charge (PeSoC) environments.

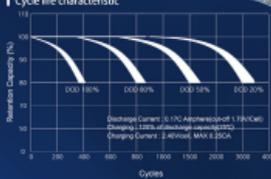


Fahrenheit Schutz™ Heat Protection Case
Specially formulated heat and flame resistant polypropylene case material is used to effectively block and limit heat being generated from related malfunctions such as thermal runaway. This proprietary high-strength case material has heat deflection ratings of 167°C and complies to RoHS Compliant EU Directive 2002/95/EC. Additional UL34-VI protection options also available.

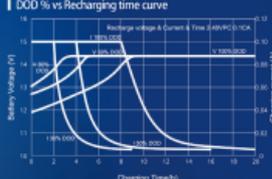
Effect of temperature on capacity



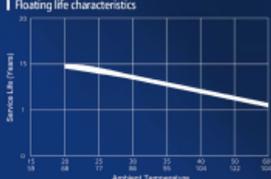
Cycle life characteristic



DOD % vs Recharging time curve



Floating life characteristics



12 Voltage SG Series Battery Specifications

| Battery Type | (V) | Nominal Capacity | | | | Dimension | | | | Approx. Weight | Terminal Type | | | | | |
|--------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----------|--------|--------|-----------|----------------|---------------|------|--------|-------|----|---|
| | | 20H | 10H | 5H | 1H | Length | Width | Height | TJ Height | | | | | | | |
| | | Final V.P.C | | | | (mm) | (inch) | (mm) | (inch) | | | (mm) | (inch) | | | |
| SG 800H | 12 | 80 | 76 | 70 | 53 | 368 | 14.49 | 172 | 6.77 | 210 | 8.27 | 219 | 8.62 | 59.4 | 27 | N |
| SG 1000H | 12 | 100 | 95 | 87 | 66 | 368 | 14.49 | 172 | 6.77 | 210 | 8.27 | 219 | 8.62 | 66 | 30 | N |
| SG 1200H | 12 | 120 | 114 | 104 | 79 | 368 | 14.49 | 172 | 6.77 | 210 | 8.27 | 219 | 8.62 | 72.6 | 33 | N |
| SG 1500H | 12 | 150 | 143 | 131 | 99 | 522 | 20.55 | 240 | 9.45 | 215 | 8.46 | 221 | 8.70 | 103.4 | 45 | N |
| SG 1800H | 12 | 200 | 190 | 174 | 132 | 522 | 20.55 | 240 | 9.45 | 215 | 8.46 | 221 | 8.70 | 125.4 | 57 | N |
| SG 2000H | 12 | 220 | 209 | 191 | 145 | 522 | 20.55 | 240 | 9.45 | 215 | 8.46 | 221 | 8.70 | 129.8 | 59 | N |