



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ahmed Draïa Adrar  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des sciences de la matière

## MASTER ACADEMIQUE

**Domaine : Sciences de la matière**

**Filière : physique**

**Spécialité : physique énergétique et énergie renouvelables**

**Intitulé**

Etude Pratique et Dimensionnement d'un Système  
d'Eclairage Public Photovoltaïque Autonome  
Cas d'étude ; Unité de Recherche d'Adrar

**Présenté par :**

**M<sup>elles</sup> BOULHARES Khadidja**

**TRAKET Chahira**

Soutenu publiquement le 13/06/2018

**Devant le jury :**

<b>Président : Dr. BOUSSOUKAIA Tahar</b>	<b>M. C. B</b>	<b>Univ. Adrar</b>
<b>Promoteur : Dr. SADOK Mohammed</b>	<b>M. R. A</b>	<b>URER/MS - ADRAR</b>
<b>Examineur : OMARI Boumediene</b>	<b>M. A. A</b>	<b>Univ. Adrar</b>

**Année Universitaire : 2017/2018**

## Remerciement

Arrivées au terme de ce travail, On remercie **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous somme heureuses de pouvoir remercier toutes les personnes qui ont permis ou facilité la réalisation de ce travail par leur appui scientifique, leur collaboration et leur précieuse assistance

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr M.SADOUK**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience et sa rigueur.

Notre remerciement s'adresse à **Mr M.ATMANI** et **Mr A.CHIBANI**. Pour ses aides pratiques et ses encouragements. Et un grand remerciement à **Mr L.AMER** pour leur aide.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait **Mr T.BOUSSOUKIA** En étant président du jury **Mr B.OMARI** D'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous ne pouvons pas oublier de remercier à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve.

Nous remercions toutes les institutions :

- ✓ Sarl Vorax Technologies (**Mr S.ATMANI**)
- ✓ Groupe kadri lumineaire.
- ✓ Dimel.

Qui n'ont pas renoncé à l'information

## *Dédicace*

Avec toute mon affection, ma profonde reconnaissance, je dédie ce travail :

A mes Très chers parents, *Said* et *Djamila*,

A ma chère sœur, Fatima Zohra, son mari Ali et son fils Abde Lbassette,

A mes chères sœurs, Imane, Ikhlas, Wahiba,

A ma sœur amie Fatima Zahra DALIL,

Spécialement A Mes grandes mères,

A ma chère tante, Rekia,

A mes chers oncles, Omar, Gacem, Abde lazize,

A tous ma famille,

A tous mes amis, Chahira, Chikha,

A tous qui m'ont toujours soutenu et encouragé au long de mon étude.

*Khadija*

## *Dédicace*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver  
les mots qu'il faut... Tous les mots ne  
sauraient exprimer la gratitude, le  
respect, Je dédie ce modeste travail à :*

*À mes chers parents Lakhmissi et  
Malika,*

*À ma sœur : Dounya.*

*À mes chers frères : Aymen,  
Abderrahmane.*

*A ma sœur amie Karima  
CHETOUAH.*

*À Ma tante Nora GOUTALE.*

*À ma cousine Sarah ABCHI,  
Et toute ma famille.*

*À tous mes amis proches, Khadidja,  
chikha, Maroua.*

*Pour l'encouragement et le soutien  
moral qu'ils m'ont donnés.*

*Toute personne ayant contribué à ce  
travail de près ou de loin*

*Chahira... *

### Résumé

Dans ce travail, on a présente une méthode simplifiée pour le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome destiné pour l'éclairage public. Cette méthode a été appliquée pratiquement en choisissant l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien comme cas d'étude. Les kits d'éclairage ont été évalués financièrement dans le but de faire une comparaison avec les systèmes conventionnels. Le travail a été complété par un suivi du fonctionnement des kits autonomes déjà installés ainsi que d'un diagnostic des problèmes rencontrés.

**Mots clé:** dimensionnement, éclairage public, méthode simplifiée, URERMS, photovoltaïque, batterie

### Abstract

In this work, we have presented a simplified method for sizing of stand-alone photovoltaic system intended for outdoor lighting. This method has been practically applied by choosing the Renewable Energy Research Unit in Saharan Middle as case study. The lighting kits have been financially estimated in order to make comparison with conventional systems. The work has been completed by a follow-up of functioning of stand-alone kits installed before as well as a diagnosis of encountered problems.

**Keywords:** sizing, outdoor lighting, simplified method, URER/MS, photovoltaic, battery

### ملخص

في هذا العمل قدمنا طريقة مبسطة لحساب أبعاد نظام كهروضوئي مستقل للإضاءة العمومية. تم تطبيق هذه الطريقة عملياً من خلال اختيار وحدة البحث في الطاقات المتجددة في الوسط الصحراوي كمثال للدراسة. كما تم تقييم أنظمة الإضاءة مالياً قصد القيام بمقارنة مع الأنظمة التقليدية. تم تكملة العمل بمتابعة اشتغال أنظمة مستقلة تم تركيبها من قبل وكذا تشخيص المشاكل المصادفة.

**كلمات مفتاحية:** حساب الأبعاد، الإضاءة العمومية، طريقة مبسطة، و.ب.ط.م.و.ص، كهروضوئي، بطارية

## Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

### Chapitre 1 : Eclairage public

<b>1.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b>	<b>Eclairage public .....</b>	<b>4</b>
1.2.1	But de l'éclairage public .....	4
<b>1.3</b>	<b>Historique.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4</b>	<b>Grandeurs photométriques .....</b>	<b>5</b>
1.4.1	La lumière .....	5
1.4.2	Le flux lumineux.....	5
1.4.3	L'efficacité lumineuse .....	6
1.4.4	L'intensité lumineuse.....	6
1.4.5	L'éclairement .....	6
1.4.6	La luminance.....	6
1.4.7	L'éblouissement.....	7
1.4.8	L'indice de rendu couleur .....	7
1.4.9	Le diagramme photométrique .....	7
<b>1.5</b>	<b>Moyens d'éclairage public .....</b>	<b>7</b>
1.5.1	Les lampes .....	7
1.5.2	Le lampadaire.....	12
A.	Le mât (support) .....	12
B.	Le luminaire.....	12
1.5.3	Le lampadaire solaire .....	13
1.5.4	Types d'implantation : .....	14
1.5.5	Câblage .....	15
<b>1.6</b>	<b>Contrôle du temps d'allumage .....</b>	<b>16</b>
1.6.1	Horloges.....	16
1.6.2	Cellule photoélectrique .....	16

1.6.3	Détecteurs de présence.....	17
1.6.4	Réducteurs de puissance .....	17
<b>1.7</b>	<b>Sources d'énergie pour l'éclairage public.....</b>	<b>17</b>
1.7.1	Eclairage public autonome solaire .....	17
1.7.2	Générateur photovoltaïque.....	17
1.7.3	Batteries d'accumulation .....	18
1.7.4	Régulateur de charge.....	19
<b>1.8</b>	<b>Normes mondiales .....</b>	<b>20</b>
<b>1.9</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>21</b>

## **Chapitre 2 : Dimensionnement d'un kit solaire**

<b>2.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Définition et but du dimensionnement .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3</b>	<b>Méthodes de dimensionnement .....</b>	<b>24</b>
2.3.1	Méthodes numériques .....	24
2.3.2	Méthodes analytiques .....	24
2.3.3	Méthodes simplifié (Intuitives) .....	24
<b>2.4</b>	<b>Dimensionnement d'un kit solaire .....</b>	<b>25</b>
2.4.1	Estimation de la consommation .....	25
2.4.2	Estimation de l'énergie solaire reçue .....	26
2.4.3	Dimensionnement du générateur photovoltaïque .....	29
2.4.4	Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs .....	32
2.4.5	Dimensionnement du régulateur de charge/décharge .....	33
2.4.6	Câblage.....	35
2.4.7	Dimensionnement des pièces du lampadaire.....	36
2.4.8	Choix de types d'implantation .....	36
2.4.9	Distances inter-luminaires.....	37
2.4.10	Estimation de coût .....	38
<b>2.5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>38</b>

## **Chapitre 3 : Etude de dimensionnement d'un kit solaire**

<b>3.1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.</b>	<b>Description du travail effectué.....</b>	<b>40</b>

3.3. Analyse spatial .....	40
3.3.1 Présentation du site du projet (ADRAR) .....	40
3.3.2 Site d'expérimentation.....	41
3.4. Les points qui nécessitent de l'éclairage .....	42
3.5. La géométrie des différents types de lampadaires solaire .....	43
3.6. Dimensionnement d'un kit solaire .....	44
3.6.1 Estimation de l'énergie solaire reçue.....	44
3.6.2 Estimation de la consommation .....	46
3.6.3 Source lumineuse et luminaire.....	46
3.6.4 Dimensionnement de générateur photovoltaïque.....	47
3.6.5 Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs .....	48
3.6.6 Dimensionnement du régulateur de charge.....	49
3.6.7 Choix des poteaux.....	50
3.6.8 Câblage .....	51
3.6.9 Autre besoin .....	53
3.7. Estimation du coût global .....	53
3.8. Estimation de coût par énergie conventionnel .....	55
3.9. Comparaison entre les coûts globaux.....	56
3.10. Surveillance des systèmes installés .....	57
3.11. Conclusion.....	62
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>63</b>

## **Bibliographie**

---



---

## Liste des figures

### Chapitre 1 : Eclairage public

Figure 1.1 : diagramme photométrique .....	7
Figure 1.2 : Lampe incandescence classique.....	8
Figure 1.3 : lampe à incandescence halogéné .....	9
Figure 1.4 : lampes LED .....	10
Figure 1.5 : Spectre électromagnétique des lampe LED .....	11
Figure 1.6 : lampadaire solaire.....	13
Figure 1.7 : les différents types d'implantation.....	14
Figure 1.8 : Agencement aléatoire.....	15
Figure 1.9 : Agencements structurés.....	15

### Chapitre 2 : dimensionnement d'un kit solaire

Figure 2.1 : ensoleillement annuelle de différente latitude .....	28
Figure 2.2 : nombre des heures équivalents .....	29
Figure 2.3 : le mat .....	36
Figure 2.4 : avancée et inclinaison .....	37
Figure 2.5 : largeur et hauteur .....	38

### Chapitre 3 : Etude de dimensionnement d'un kit solaire

Figure 3.1 : Site d'ADRAR.....	41
Figure 3.2 : Site d'URERMS .....	41
Figure 3.3 : Les points qui nécessitent de l'éclairage (archive de URER/MS).....	42
Figure 3.4 : Lampadaire solaire avec une seule crosse .....	43
Figure 3.5 : Lampadaire solaire avec deux crosses .....	43
Figure 3.6 : Crosse fixé au mur .....	44
Figure 3.7 : Insolation journalière de site d'ADRAR (Météonorm) .....	44
Figure 3.8 : L'énergie journalière reçue à Adrar (décembre 2017) .....	45
Figure 3.9 : durée d'insolation pour un jour de mois de décembre 2017(Adrar).....	45
Figure 3.10 : Profil de charge de lampe en hiver .....	46
Figure 3.11 : Luminaire ST-30.....	47
Figure 3.12 : Régulateur LS2024B .....	50
Figure 3.13 : Poteau KADRI ZIRCON .....	50
Figure 3.14 : Plan de câblage de 1 <sup>er</sup> cas .....	51
Figure 3.15 : Plan de câblage de 2 <sup>ème</sup> cas .....	52
Figure 3.16 : Plan de câblage de 3 <sup>ème</sup> cas .....	52
Figure 3.17 : Les points de l'éclairage de chaque cas .....	55
Figure 3.18: Distribution des systèmes existents en l'URERMS.....	57

---

---

## Liste des tableaux

### Chapitre 1 : Eclairage public

Tableau 1.1 : les caractéristiques des lampes .....	11
Tableau 1.2 : les technologies des cellules solaires .....	18
Tableau 1.3 : Les types des batteries solaires.....	19

### Chapitre 2 : dimensionnement d'un kit solaire

Tableau 2.1 : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête [10] .....	32
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### Chapitre 3 : Etude de dimensionnement d'un kit solaire

Tableau 3. 1 : Calcul de la consommation journalière.....	46
Tableau 3.2 : différentes luminaires existent dans le marché local .....	47
Tableau 3.3 : Calcul de puissance crête de générateur PV .....	48
Tableau 3. 4 : Différents générateurs photovoltaïques existent dans le marché .....	48
Tableau 3.5 : Calcul de la capacité de batterie .....	49
Tableau 3.6 : Les batteries existent en marché .....	49
Tableau 3.7 : Modèles des régulateurs existent dans le marché international .....	50
Tableau 3.8 : les poteaux existent en marché .....	50
Tableau 3.9 : Les prix des câbles .....	53
Tableau 3.10 : Tableau résumé les besoins additive au matériels .....	53
Tableau 3. 11 : Calcul de prix total de (1 <sup>er</sup> cas) .....	53
Tableau 3.12 : Calcul de prix total de 2 <sup>ème</sup> cas .....	54
Tableau 3.13 : Calcul de prix de 3 <sup>ème</sup> cas .....	54
Tableau 3.14 : Calcul de prix global de l'URERMS .....	55
Tableau 3.15 : Calcul d'investissement par éclairage conventionnel .....	56
Tableau 3.16 : Tableau résume la comparaison.....	56
Tableau 3.17 : les caractéristiques des systèmes en lampes fluorescent .....	58
Tableau 3.18 : Les caractéristiques des systèmes en lampes LED .....	59
Tableau 3.19 : Les valeurs des tensions aux bornes des batteries (les trois premiers jours) .....	60
Tableau 3.20 : les valeurs des tensions des batteries mesurées pendant les jours centraux .....	61
Tableau 3.21 : les valeurs de tensions des batteries mesurées des deux derniers jours .....	62

## Introduction Générale

Pendant la journée, où la lumière du soleil lui sert de source de lumière l'homme pratique sa vie normale et ne trouve pas de difficultés de voir et distinguer les objets, les obstacles, les dangers et les voies. Mais quand la nuit arrive, l'homme doit faire face à l'obscurité de la nuit, l'homme se trouve dans la nécessité absolue de chercher des moyens adéquats lui facilitant la perception visuelle afin d'assurer son confort et garantir sa sécurité. C'est pour cela, l'homme a utilisé l'éclairage comme moyen pour la vision à l'intérieur de sa résidence ou à l'extérieur. L'éclairage extérieur ou communément appelé éclairage public signifie 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 publiques.

Les moyens d'éclairage ont connu un très grand développement depuis son apparition en l'an 1000 à Cordoba (Al-Andalous). De la lampe à l'huile utilisée au 18<sup>ème</sup> siècle aux nouvelles lampes LED, les dispositifs utilisés dans l'éclairage ont connu une progression notable. On distingue différentes source d'énergie servant à alimenter les lampes d'éclairage public : les lampes à combustible (huile, gaz, pétrole) et les lampes électriques. Ces dernières sont les plus utilisées ces jours-ci. Cependant, l'utilisation de l'éclairage conventionnel (centrales conventionnelles comme les centrales thermiques, hydrauliques,...) est accompagnée de problèmes causés par les grandes pertes d'énergie au cours du transport (effet de joule).

Selon les statistiques, la ville d'Adrar, par exemple, a consommé, en 2017, plus de 25 GWh rien que pour l'éclairage public, ce qui a coûté à l'état une facture colossale de plus 155 millions de dinars algériens [1]. À cela s'ajoute les dangers sur l'environnement. Il est donc indispensable de chercher d'autres alternatives qui permettent à la fois d'alléger une telle facture et protéger l'environnement. Ainsi, l'utilisation des systèmes d'éclairage autonomes par voie photovoltaïque émerge comme une solution incontournable. Les systèmes photovoltaïques autonomes possèdent de multiples avantages [2] :

- faible coûts d'entretien et de maintenance,
- source primaire propre et non polluante,
- technologie maîtrisée,
- disponibilité de la source primaire (énergie solaire).

L'énergie solaire est disponible sur tout le globe terrestre. Théoriquement, elle représente 900 fois la demande énergétique mondiale [3]. Dans le même contexte, la région d'Adrar située au sud ouest algérien est privilégiée par un fort gisement solaire parmi les meilleurs au monde. Avec une durée d'insolation dépassant les 3000 heures par année [3] et une irradiation journalière moyenne annuelle de  $7\text{kwh/m}^2$ , cette région peut être un pôle d'excellence pour l'utilisation et la promotion de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie.

Dans ce mémoire, on se propose de faire une étude pratique et un dimensionnement de systèmes autonomes pour l'éclairage public en utilisant l'énergie solaire photovoltaïque comme source primaire. Le cas d'étude choisi est le siège de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER/MS) sise à Adrar. L'étude commence par une évaluation des besoins en matière de l'éclairage public pour effectuer un dimensionnement des kits autonomes. L'étude comprend, également, une évaluation financière en vue de comparer avec les systèmes d'éclairage conventionnels. À la fin, on complète par une étude et un suivi de quelques kits déjà installés à l'URER/MS dans le but d'évaluer leurs performances et comparer avec les résultats trouvés dans le cadre de cette étude proposée.

La mémoire de ce travail est scindée en trois chapitres. Au chapitre premier, on a fait un résumé sur les notions ainsi que sur les grandeurs utilisées pour l'étude et l'installation des systèmes l'éclairage public. Le deuxième chapitre a inclus une brève présentation des différentes méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes. La méthode simplifiée, choisie a été détaillée dans ce chapitre.

Le dernier chapitre a été consacré à l'aspect pratique du travail. La méthode de dimensionnement simplifié a été appliquée au cas d'étude choisi pour déterminer le nombre, le type et la puissance des kits d'éclairage. Une étude financière et comparative avec les systèmes conventionnels a été effectuée également dans ce chapitre sans oublier le suivi du fonctionnement de plusieurs systèmes déjà installés au niveau de l'URER/MS.

# Chapitre 1

## Eclairage public

## 1.1 Introduction

La lumière constitue un élément fondamental pour l'activité humaine, la journée est déjà éclairée par le soleil mais quand la nuit arrive la lumière artificielle est obligatoire. De nos jours, l'éclairage artificiel est devenu plus qu'un moyen d'obtenir de la lumière, il est un élément indispensable de la vie humaine en général et en milieu urbain en particulier [1].

L'éclairage des lieux publics, des voies de circulation, des monuments et sites des villes et campagnes est devenu aujourd'hui une préoccupation majeure des distributeurs d'énergie électrique et des autorités administratives et politiques (représente 19% de toute l'électricité consommée). L'éclairage Public joue un rôle très important dans les villes aussi bien sur le plan économique que social [2, 3].

## 1.2 Eclairage public

Dans les chaussées, les jardins et même à l'extérieurs des villes (en tout espaces d'existence des piétons ou des véhicules), il y a des moyens pour éclairer, soit par des poteaux, soit par des lanternes ou des lampes des maisons. C'est qu'on appelle éclairage public ou bien éclairage extérieure.

Les moyens d'éclairage sont divers et différents, tous pour objectif d'améliorer la visibilité et de créer un sentiment de sécurité. Il est donc nécessaire d'avoir un bon éclairage soit de façon que la lumière doit être confort à l'œil humaine, soit de façon de sécurité. Et en outre la facilité de maintenance des moyennes d'éclairage est importante.

### 1.2.1 But de l'éclairage public

En effet, l'éclairage public permet de :

- Augmenter la sécurité, la fluidité de la circulation sur les chaussées et réduire la gravité et le nombre d'accidents de nuit. . La recherche a montré que l'éclairage public peut réduire de 30% les accidents de la route pendant la nuit [3, 2].
- Vital la nuit ce qui ravive l'économie et facilite la vie [2].
- Assurer le confort des conducteurs, des piétons et des riverains [2].
- Assurer une perspective du cadre de vie et valoriser la ville (décorer les espaces les plus prestigieux (avenues centrales, gares, parcs et espaces d'exploitations.))

## 1.3 Historique

Depuis des millénaires le mot éclairer présente un problème pour l'humanité. Mais l'éclairage public n'est effectuée qu'en l'an 1000 en Cordoba, Al-Andalous [4].

Pendant le temps, l'éclairage public a plusieurs innovations et inventions de lampe à huile aux lampes LED.

Lampes à huile évoluent du simple bol rempli d'huile où flotte une mèche, au véritable profond avec une ouverture supérieur réduite et une anse verticale [5], ces lampes à huile au **18ème** siècle visèrent à perfectionner l'éclairage et à stabiliser la flamme [6].

Au 19ème siècle un nouveau type des lampes (lampes à gaz) connut une expansion grâce à la production industrielle de gaz par distillation de l'huile [6], en suite et a partir **1860** les lampe à pétrole connaît un grande succès à cause de la découverte d'importants gisement de pétrole aux Etats-Unis [7].

En **1879**, Edison utilise le principe de l'incandescence. La lampe à incandescence d'Edison, introduite en Europe en **1882** permit à l'électricité de pénétrer les foyers et les commerces [6], à partir de 1930, les lampes à décharge qui ont un spectre de raies discontinu. Ces lampes ne possèdent plus de filament, mais deux électrodes placées dans une enveloppe remplie d'un gaz ou d'une vapeur métallique [6].

En 1970 la LED a commencé à se développer d'un point de vue industriel dans un premier temps dans la signalétique, et s'est vraiment diffusée dans l'éclairage général depuis les années 2000/2010 [8].

## 1.4 Grandeurs photométriques

Avant de détailler dans les types des lampes utilisées dans l'éclairage public, il est mieux de définir quelque grandeur qui a une partie dans les caractéristiques d'éclairage.

### 1.4.1 La lumière

Est les ondes électromagnétiques visibles par l'œil humaine (longueur d'onde compris entre 0.38 et 0.78  $\mu\text{m}$ ), caractérisés par sa fréquence  $f$  et sa longueur d'onde  $\lambda$  pendant une durée  $T$  [9, 10].

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

Avec :  $c$  : vitesse de la lumière dans le vide =  $3.10^8 \text{ m/s}$  [9].

### 1.4.2 Le flux lumineux

Le flux lumineux est la grandeur caractéristique d'un flux de rayonnement exprimant son aptitude à produire une sensation lumineuse sur un récepteur sélectif [2], de plus est la quantité d'énergie lumineuse émis par une source par second dans toutes les directions (débit de lumière) [11].

En général on utilise le symbole  $\varphi$  pour ce paramètre son unité est LUMEN (lm) [2].

### 1.4.3 L'efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse d'une lampe ou d'un ensemble est le rapport du flux lumineux émis par une lampe, soit par la puissance consommée (lampe), soit par la puissance totale (lampe + auxiliaire). Son unité est LUMEN par Watt (lm/W) [2].

### 1.4.4 L'intensité lumineuse

Elle qualifie le flux élémentaire émis dans une direction de l'espace par une source quasi ponctuelle, plus précisément est le rapport du flux ( $d\varphi$ ) émis par une source dans un cône infiniment petit entourant la direction, à la valeur de l'angle solide du cône ( $d\Omega$ ) [2, 9].

En général on utilise le symbole  $I$  pour ce paramètre son unité est CANDELA (cd) [2].

### 1.4.5 L'éclairement

Est la densité de flux lumineux tomber sur une surface. Il indépendant de la nature de la surface mais à l'intensité lumineuse, s'exprime par la formule [2, 9].

$$E = \frac{\varphi}{S} \quad (1.2)$$

Où :

$E$  : Est l'éclairement son unité est le LUX (L)

$\varphi$  : Est la valeur du flux lumineux atteignant la surface et  $S$  l'aire de cette surface réceptrice [2]

LUX : 1 lm/m<sup>2</sup> [2].

### 1.4.6 La luminance

Cette grandeur permet de tenir compte des sources de lumière présentes dans le champ visuel d'un observateur. Son unité est le CANDELA par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>). La luminance se mesure avec un luminance-mètre. Il est possible de déterminer par exemple la luminance des chaussées, qui sert de base d'évaluation des projets d'éclairage public [2].

La luminance en un point d'une surface dans une direction donnée est égale au quotient de l'intensité lumineuse ( $dI$ ) dans la direction donnée d'un élément infiniment petit de la surface ( $dS$ ) entourant le point, par l'aire de la projection orthogonale de cet élément sur un plan perpendiculaire à cette direction [9].

$$L = dI / dS \cos \alpha \quad (1.3)$$

### 1.4.7 L'éblouissement

L'éblouissement exprime une contrainte désagréable dans la perception visuelle, causée par une lumineuse particulièrement intensité ou en passant rapidement d'un milieu obscur à un endroit fortement éclairé [8]. L'éblouissement peut limiter la capacité à distinguer des objets ou des obstacles ou crée inconfort visuel [12].

### 1.4.8 L'indice de rendu couleur

L'indice de rendu des couleurs (IRC) représente la qualité de la lumière ; à savoir sa faculté à rendre fidèlement la vraie nature des couleurs telles qu'on peut les voir sous la lumière naturelle du soleil. Normalisé par la Commission internationale de l'éclairage (CIE). Plus cet indice se rapproche de 100, plus la qualité de la lumière est excellente [2].

### 1.4.9 Le diagramme photométrique

C'est une courbe fermée dont le "rayon" dans une direction donnée, donne l'intensité de l'émission dans cette direction (en lumen/stéradian/lumen ou candela/lumen)

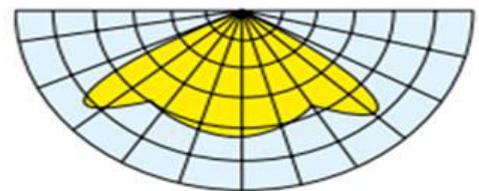


Figure 1.1 : diagramme photométrique [13]

comme la figure ci-contre représente, ce diagramme fixe les valeurs plafond en condition d'installation  $ULR_{\alpha}$  et  $ULR_{\alpha}$ , et garantit de maîtriser les émissions de lumière artificielle dans l'environnement et de contrôler de la pollution lumineuse [13].

L' $ULR$  (Upward Light Ratio) qualifie le luminaire en conditions d'installation horizontale. Il est déduit du diagramme photométrique [13].

L' $ULR_{\alpha}$  qualifie le luminaire en conditions d'installation avec prise en compte d'une inclinaison du support d'un angle  $\alpha$ . Il est déduit du diagramme photométrique, pivoté de l'angle  $\alpha$  [13].

## 1.5 Moyens d'éclairage public

L'éclairage public est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, généralement en bordures des voiries et places.

### 1.5.1 Les lampes

Pour produire de la lumière, Il existe essentiellement deux techniques principales : l'incandescence (classique et halogène), luminescence (décharge et LED).

## A. Les lampes à incandescence

L'incandescence consiste à faire chauffer un filament à haute température [14].

### a) **Les lampes à incandescence classiques :**

Les lampes « classiques » figure (1.2) sont utilisées pour l'éclairage domestique intérieur, elle est dispositif inventé en 1879 par JOSEPH SWAN et 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 à cause de la plus grande partie de

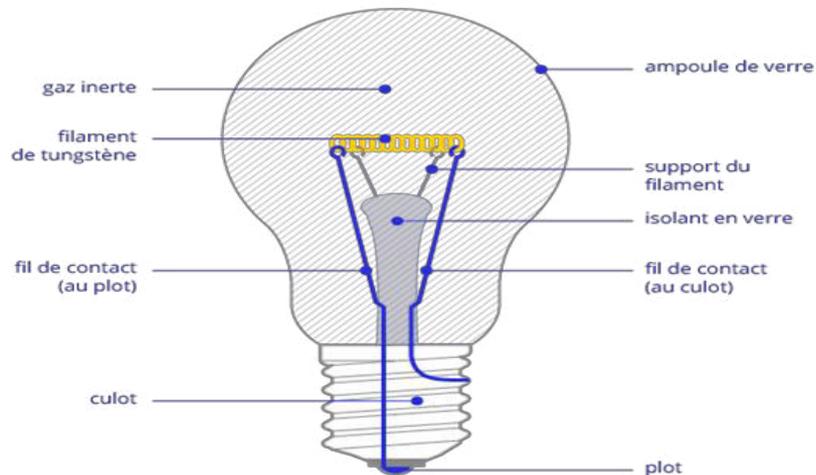


Figure 1.2 : Lampe incandescence classique

L'énergie électrique est convertit en chaleur plus qu'en lumière [14].

#### **Les avantages des lampes classiques sont :**

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

#### **Les inconvénients sont :**

- 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) Les lampes à incandescence halogéné

Comme dans une lampe à incandescence classique est un filament de tungstène qui est porté à haute température pour rayonner dans le visible et produire de la lumière, l'ampoule doit alors être réalisée dans un matériau résistant à ces hautes températures : quartz ou verres spéciaux (d'où l'appellation courante de lampe quartziodé) à cause de la température plus élevée que les lampes classiques [14].

Ces sont des lampes à incandescence remplies d'un gaz diatomique appartenant à la famille des halogènes ou un de leurs dérivés. De plus en évitant la sublimation, il n'y aura pas (ou moins

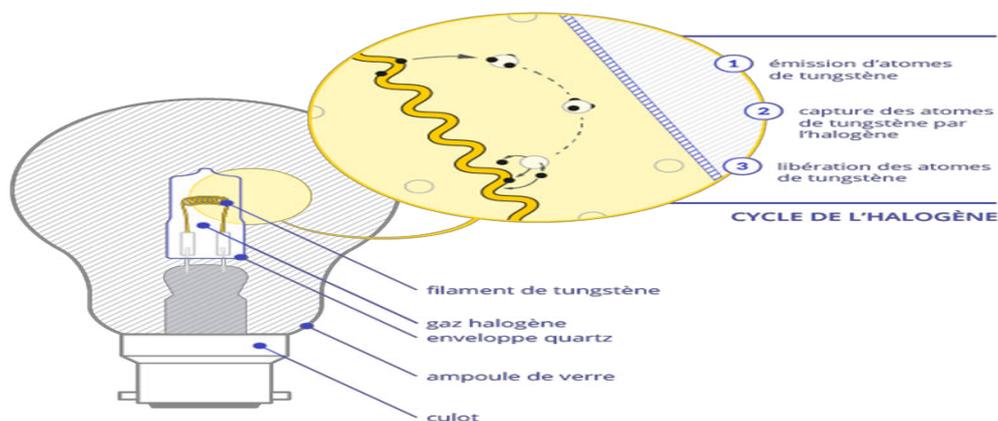


Figure 1.3 : lampe à incandescence halogéné et moins rapidement) de vapeurs de tungstène qui se déposeront sur les parois [14].

#### Les avantages des lampes à incandescence halogéné sont :

- 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.

#### Leurs inconvénients sont :

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

### B. Les lampes luminescence

Le principe de la luminescence est utilisé dans les lampes à décharge et LED. Ce type de lampes est caractérisé par un grand rendement énergétique [14]

a) Lampes à décharge

La lampe à décharge est une lampe électrique constituée d'un tube ou d'une ampoule en verre remplie de gaz ou de vapeur métallique sous haute ou basse pression, travers duquel il fait passer un courant électrique il s'ensuit une conversion en photons donc de lumière [14]

**Les types de la lampe de décharge :**

➤ **Lampe à décharge basse pression :**

Les lampes à décharge basse pression sont des lampes à décharge qui possèdent un gaz à basse pression et elles ont un fort encombrement et proposent des puissances faibles jusqu'à 180W. Différentes vapeurs peuvent y être intégrées sodium mercure etc. En fonction des mélanges des couleurs différentes sont obtenues [14]

➤ **Lampe à décharge haute pression**

Les lampes à décharge haute pression ont des caractéristiques communes inverses aux lampes basse pression, elles ont un faible encombrement et proposent des puissances qui peuvent aller jusqu'à plus de 3000W, il existe 3 différents types de lampes à décharge haute pression sont vapeur de sodium vapeur de mercure et halogénure métalliques [14]

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

- Le néon donne une couleur rouge.
- Le mercure s'approche du bleu.
- Le sodium rayonne dans le jaune.
- Le xénon est le gaz qui permet s'approche le blanc pur.

c) **Les lampes LED**

La LED – light-emitting diode, ou DEL, diode électroluminescente (figure 1.4) – est un composant électronique à semi-conducteur. Lorsqu'un courant traverse la diode dans le sens passant, celle-ci émet de la lumière, Contrairement aux sources lumineuses conventionnelles, les LED sont des composants électroniques, à savoir de minuscules puces électroniques en cristaux semi-conducteurs. Les LED se passent de filtres chromatiques : leur lumière est directement produite en diverses couleurs grâce à différents matériaux semi-conducteurs [15].



Figure 1.4 : lampes LED [15]

➤ **Spectre électromagnétique**

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 [15].

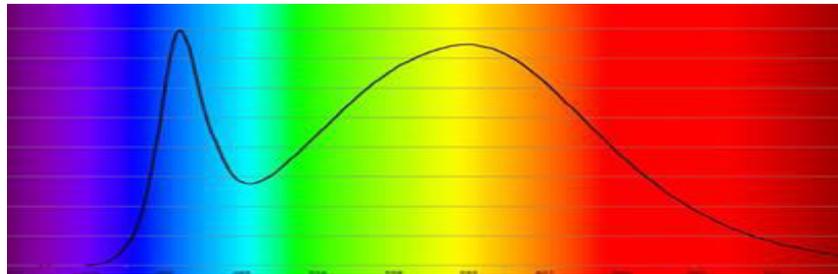


Figure 1.5 : Spectre électromagnétique des lampes LED [15]

**Les avantages de ces lampes sont :**

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

**Leurs inconvénients sont :**

- Le prix est élevé.

**C. Les caractéristiques des différents types des lampes**

Le tableau suivant représente les caractéristiques des différents types des lampes

	Les lampes				
	incandescence		luminescence		
	classique	halogène	A décharge		LED
			Basse pression	Haute pression	
Durée de vie (H)	1 000	2 000	6000 à 16000	6000 à 22000	25000 à 100000
Efficacité L (Lm/W)	3 à 17	12 à 25	30 à 180	40 à 130	80 à 100
Flux L(Lm)	21 à 4850	60 à 9900	120 à 32000	1300 à 225000	140 à 950
IRC	100	100	20 à 85	20 à 95	80 à 90
Puissance(W)	7 à 300	5 à 500	4 à 1000	20 à 2100	1 à 18

Tableau 1.1 : les caractéristiques des lampes [14]

### 1.5.2 Le lampadaire

Lampadaire est un dispositif d'éclairage public placé en périphérie des voies de circulation publiques, les parcs et les jardins, etc. Un lampadaire photovoltaïque est constitué principalement : le mât et le luminaire [14, 16].

#### A. Le mât (support)

Les luminaires sont fixés sur des consoles ou des candélabres. Le support permet de placer un ou plusieurs luminaires dans la position désirée dans l'espace. Le mât est une pièce généralement verticale est forcément fixé au sol. Il se compose de plusieurs parties [14]:

- Le fût : Partie principale ou unique d'un poteau ;
- La plaque d'appui (option) : Cette plaque assure la liaison entre le massif de fondation et le fût
- La crosse : Elle assure le déport du luminaire au-dessus de la chaussée.

#### Les types de mât

- Poteaux en acier : Ils constituent la majeure partie des poteaux couramment utilisés.
- Poteaux en alliage d'aluminium : Ils ont une excellente tenue à la corrosion même en atmosphère polluée et ne nécessitent aucun entretien.
- des poteaux en béton fonte et bois

#### Le mât doit pouvoir :

- Résister au vent, aux chocs et aux vibrations [16].
- Résister aux intempéries (pluie, vents, températures, neige) et à la corrosion [16].
- Être ancré solidement au sol (massif en béton) ou sur une façade d'immeuble [16].
- Disposer d'une trappe de visite en pied de support pour recevoir un coupe-circuit électrique [16].

#### B. Le luminaire

Le luminaire contient la source lumineuse ainsi que les éventuels auxiliaires. Son rôle est triple [17] :

- dirige, au moyen de l'optique, la lumière fournie par la source lumineuse vers l'espace à éclairer ;
- protège la lampe et les éventuels auxiliaires contre les influences externes (coups, eau, poussières, etc.) ;

- joue un rôle esthétique particulièrement important dans les applications résidentielles ou touristiques de par sa forme, ses couleurs et ses matériaux.

Même si la fonction principale du luminaire est de répartir au mieux la lumière, tout luminaire absorbe une partie plus ou moins importante du rayonnement lumineux de la source qu'il contient. Leur rendement (LOR – Light Output Ratio) est définie comme le pourcentage de lumière de la lampe émis au-dessus de l'horizontale [13]

Il est importante d'éviter tous les émissions vers le haut et l'horizontal, dans ce raison les fiches matériel doivent être accompagnées d'un diagramme photométrique (§ I.4.9) [13].

Selon la forme de luminaire il existe plusieurs types d'éclairage :

a) **Eclairage direct :**

La lumière est directement projetée sur une surface à éclairer. De ce fait, les puissances installées nécessaires au confort visuel sont généralement faible [18].

b) **Eclairage indirect :**

Le rayonnement lumineux est réfléchi une première fois sur un autre plan avant de parvenir à la surface à éclairer. Cette lumière assure un bon confort visuel. [18].

c) **Eclairage diffus :**

Les rayons lumineux sont transmis à travers un matériau translucide. L'éclairage diffus permet de gommer ou d'adoucie les ombres. [18].

d) **Eclairage orienté :**

L'adjonction d'un bouclier ou d'une grille paralume limitant la propagation de la lumière ou l'éblouissement opère une sélection des rayons lumière émis par la lampe. [18]

### 1.5.3 Le lampadaire solaire

Le lampadaire solaire ou candélabre solaire est un type de lampadaire qui est alimenté par l'énergie solaire, c'est-à-dire qu'il est équipé d'un ou des modules photovoltaïques qui convertissent pendant le jour, la lumière du soleil en électrique, ainsi produite est stockée dans une batterie d'accumulateurs électrochimiques pour être restituée à la lampe pendant la nuit. Le lampadaire solaire comme la figure (1.6) présente est constitué des éléments suivants : Un module photovoltaïque, des batteries, un régulateur, le luminaire, un poteau [14].



Figure 1.6 : lampadaire solaire

### 1.5.4 Types 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 :

#### A. Des voiries :

##### a. L'implantation unilatérale :

Ce type est constitué d'un seul rangé des lampadaires (figure 1.7 (a)), dans la même côté de route. Avantageux par un investissement limité et l'encombrement limité d'un seul trottoir, mais il est adaptée aux chaussées de largeur limitée (Voiries urbaines, Cheminements piétons...) [18].

##### b. L'implantation bilatérale en vis-à-vis :

Ce type constitué de deux rangés des lampes vis-à-vis de les deux côtés de route (figure 1.7 (b)). Avantageux par son adaptation aux chaussées de largeur plus importante, et la limitation possible de la hauteur de feu ( $H=L/2$ ), mais il est un Investissement plus important [18].

##### c. L'implantation bilatérale en quinconce :

Ce type constitué de deux rangés dans les deux côtés de route, mais non vis-à-vis (figure 1.7 (c)). Avantageux par son esthétique, mais il a un investissement plus important et l'uniformité de luminance plus complexes à obtenir, il peut utiliser pour les voiries de desserte et les parcs et les jardins [18].

##### d. L'implantation axiale :

Ce type constitué d'un rangé des lampes au milieu de route (axe) (figure 1.7 (d)). Avantageux par un investissement limité (une seule rangée de mâts), mais l'uniformité de luminance réduite à le côté opposé et la maintenance est difficile. Utilisé dans les voiries mixtes [18].

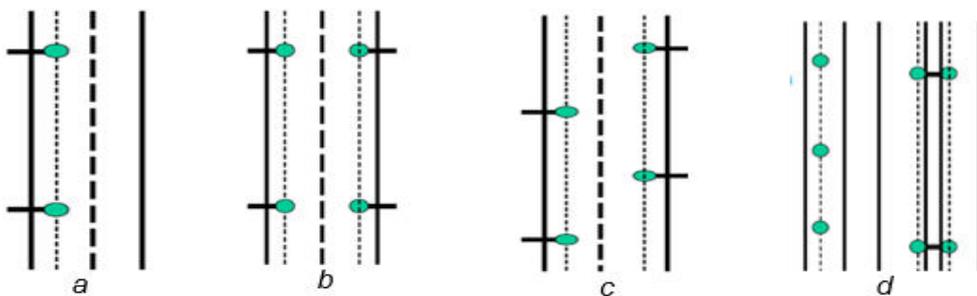


Figure 1.7 : les différents types d'implantation

## B. espaces publics, places :

Dans cela l'implantation prend deux configurations :

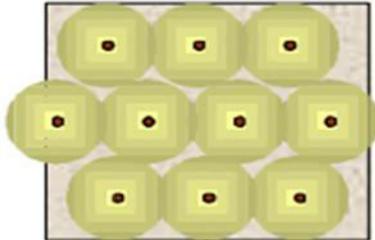


Figure 1.9 : Agencements structurés

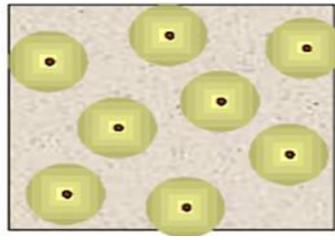


Figure 1.8 : Agencement aléatoire

### 1.5.5 Câblage

Un câble électrique est un ensemble des fils destiné à transporter l'énergie électrique. Il est utilisé pour alimenter différents types de matériel électrique en courant fort ou courant faible. En effet, il est employé pour alimenter en énergie les appareils électriques [19].

Résistance d'un câble électrique

La résistance d'un câble électrique est la propriété des conducteurs électriques de s'opposer au passage des électrons. et la formule de la résistance écrire comme suite [20] :

$$R = (l/s)\rho \quad (1.4)$$

- R= Résistance  $\Omega$  ohm
- l=longeur de cable(m)
- S=section de cable(m<sup>2</sup>)
- $\rho$ =La résistivité de matériau ( $\Omega/m$ )

**Les sections et les pertes de câble électrique :**

Les sections de câbles (fils) doivent être adaptées aux paramètres de l'installation, On peut calculer la section de câble en appliquent la formule suivant [20] :

$$S = (r_0 \times L \times I) / (V \times \epsilon) \quad (1.5)$$

- $r_0$ = résistivité du cuivre ( $\Omega/m$ )
- L=longueur total du câble(m)
- I=courant (A)
- V=tension origine de câble (V)
- $\epsilon$ =chute de tension (V).

Il faut aussi déterminer la perte engendrée par cette résistance des câbles électriques. Une petite partie de l'électricité transportée par un câble électrique se transforme en chaleur (effet de joule) et pour de calcul cette perte, il y a la relation suivante [20].

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

Avec P=Perte (W).

R=Résistance ( $\Omega$ ).

I=Intensité (A).

## 1.6 Contrôle du temps d'allumage

Les appareils dispensables à assurer l'allumage et l'extinction des lampes de façon autonome sont les horloges, cellules photoélectriques, détecteurs de présence et le réducteur de puissance.

### 1.6.1 Horloges

Horloge ou bien Minuterie elle exerce un contrôle temporel. Est un relais "mémorisant" sa position (contact fermé) pendant un certain temps réglable. Il y a deux types de ce dispositif de contrôle [21, 14].

**Horloge mécanique** permet de n'autoriser l'allumage des luminaires seulement pour des horaires déterminés. Ce système n'est pas avantageux puisqu'il ne prend pas en compte la variation de luminosité pendant l'année [21, 14].

**Horloge astronomique** est très précise et déterminent automatiquement, par des calculs mathématiques, l'heure à laquelle il est nécessaire de déclencher l'allumage de l'éclairage et de l'éteindre. Contrairement aux horloges mécaniques, l'horaire 'allumage varie donc de jour en jour [21, 14].

### 1.6.2 Cellule photoélectrique

Elle commande l'éclairage en fonction de la luminosité, c'est la commande automatique la plus simple qui prend le mieux en compte les conditions atmosphériques réelles (variations de l'éclairage ambiant détectées par la cellule photo-électrique commandent le fonctionnement du détecteur). Cette appareille doit être orientée de sorte à ne pas subir l'effet de sources lumineuses aléatoires, Toute cellule photoélectrique doit être située hors de la portée du public [21, 14].

Avantageuse par leur encombrement réduit, et qu'elle est moins chère que l'horloge astronomique.

### **1.6.3 Détecteurs de présence**

Un détecteur de présence allume une lampe uniquement lorsque quelqu'un s'approche de celui-ci. Les avantages de ce type d'appareils sont qu'ils s'adaptent parfaitement aux besoins réels, qu'ils permettent d'éviter tout gâchis énergétique. [14]

### **1.6.4 Réducteurs de puissance**

Réducteur de puissance permet de réduire l'éclairage en pleine nuit, donc réduire un peu la pollution lumineuse et génère d'importantes économies d'énergie tout en maintenant un niveau d'éclairage suffisant pour les besoins [14]

## **1.7 Sources d'énergie pour l'éclairage public**

En pratique il est connu que la première source d'énergie de l'éclairage public est l'énergie conventionnelle (centrale de production électrique : thermique, nucléaire...), mais après que l'énergie renouvelable saisi un rôle principal dans la production d'énergie [22], il ne faut que l'éclairage public prend sa part. Pour ce dernière on distingue deux système d'éclairage soit l'éclairage conventionnelle (raccordé au réseau), soit l'éclairage autonome solaire uniquement ou solaire plus éoliennes (hybride), le deuxième type produit son énergies de fonctionnement tout seul sans le besoins d'être rejoindre un réseau électrique.

### **1.7.1 Eclairage public autonome solaire**

C'est un éclairage public (§ 1.2) sauf que la source d'énergie de son fonctionnement est produite à partir de l'énergie solaire. Dans ce type d'éclairage plus que les moyens utilisent dans l'éclairage conventionnelle (les lampes et les lampadaires) il présente comme moyens : un générateur photovoltaïque, une batterie d'accumulation et un régulateur.

### **1.7.2 Générateur photovoltaïque**

Le principe est de convertir l'énergie de la lumière solaire directement en énergie électrique par des cellules solaire à cause de l'effet photoélectrique. Ces cellules sont fabriquées à base d'un semi-conducteur généralement le silicium -Si-, un partie de ce matériau est dopé par le Bor (type P : des espèces -trou- libre) et l'autre par le phosphore (type N : des électrons libre), quand la lumière pénètre la surface de cellule la zone dopé N va transmise l'énergie des photons aux atomes périphérique est libéré des électrons. Ces dernières laissent derrière lui des trous, et vont recombine les trous de zone dopé P par une connexion extérieure, le passage des électrons crée le courant électrique (continu) [23].

Le groupage des cellules constitué un panneau solaire, caractérisé par son puissance crête (puissance dans les conditions STC, 1000 w/m<sup>2</sup> à 25°C) et son tension nominale [24, 23].

### 1.7.2.1 Les technologies des cellules solaire

Le tableau ci-dessus représente les différentes technologies des cellules solaires à base de silicium.

	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>le matériau le plus répandu.</li> <li>Très bon rendement, entre 12% et 16%.</li> </ul>	Prix faible que celle de silicium monocristallin [24]	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 [24]	Rendement entre 11% et 14%. [24]	Rendement très faible 5 à 7% [24].

Tableau 1.2 : les technologies des cellules solaires

### 1.7.3 Batteries d'accumulation

Les batteries accumulateurs sont des systèmes électrochimiques, qui stockent de l'énergie sous forme chimique et la restituent sous forme électrique, il existe plusieurs types des batteries [25] :

1. Batteries stationnaires : Ce sont les batteries qui fournissent de l'énergie en cas d'urgence aux systèmes de contrôle et d'allumage, stations de pompage.
2. Batteries pour traction : Ce sont les batteries pour les chariots élévateurs, véhicules électriques.
3. Batteries de démarrage : Ce sont les batteries destinées à mettre en marche des moteurs thermiques des voitures, etc.

4. Batteries pour stocker de l'énergie régénératrice : Ce sont les batteries destinées aux systèmes indépendants de distribution d'énergie des maisons individuelles, lieux de villégiature et campings et installations d'énergie solaire.

**Les caractéristiques des batteries :**

- Capacité de la batterie : Une batterie stocke de l'énergie pour la restituer lorsque vous en avez besoin. L'énergie stockée s'exprime en Watt-heure [26].
- Nombre de cycle : Une batterie ne peut supporter qu'un nombre limité de cycle charge-décharge. Le nombre de cycles dépend fortement de la profondeur de décharge que vous utilisez [26].
- Durée de vie : indépendamment du nombre de cycle la durée de vie d'une batterie est limitée par l'oxydation des électrodes et des bornes. Ce phénomène peut être relativement rapide si la batterie est utilisée à une température élevée, dans ce cas il sera inutile de choisir une batterie possédant un très grand nombre de cycle [26].
- L'autonomie : c'est la période durant laquelle la batterie est capable de fournir de l'énergie sans avoir besoin d'être rechargée. Autrement dit, c'est le nombre de jours pendant lesquels l'installation peut fonctionner sans lumière [26].

On utilise principalement 3 types de batteries tableau (1.3) pour une installation solaire, en fonction des besoins, de la spécificité du local qui va contenir les batteries, de la température de la pièce de stockage et des besoins précis en énergie [27].

	Batterie au plomb ouverte.	Batterie AGM	Batterie GEL
Capacité(Ah)	220	Max 250	Max 250
Dure de vie (ans)	2 à 4	5	10
Nombre de cycle	200 à 400	200 à 900	300 à 1300

Tableau 1.3 : Les types des batteries solaires

**1.7.4 Régulateur de charge**

Le régulateur est un élément très efficace dans les installations solaire malgré son faible cout (5% de coût total) [23], cet élément contrôle les flux d'énergie, pour protéger la batterie d'accumulation et maximiser sa durée de vie, et évite les surcharge et les décharges. Au plus le régulateur peut régler la recharge par autre source [23].

Il y a plusieurs technique soit mesure de tension soit courant entrant et sortant pour la régulation de batterie, mais en effet la plus utilise est la mesure de tension à cause de sa simplicité [23].

**a) Régulateur shunt « tout ou rien »**

C'est le modèle le plus répandu car simple à fabriquer. Le principe du circuit est un simple aiguillage : tout le courant du panneau passe normalement dans la batterie et lorsque le seuil de coupure est atteint, tout le courant passe dans l'interrupteur (peut être MOSFET, transistor bipolaire..) [23].

**b) Régulateur shunt linéaire :**

Ce type de régulateur maintient une tension constante aux bornes de la batterie lorsque celle-ci atteint sa pleine charge. La puissance non utilisée du panneau en fin de charge doit être dissipée par le transistor en parallèle [23].

**c) Régulateur série « tout ou rien »/ linéaire :**

Ce régulateur devient de plus en plus répandu et devrait à terme supplanter le régulateur shunt. L'interrupteur de charge est ici en série avec la batterie et il s'ouvre lorsque la fin de charge est atteinte [23].

**d) Régulateur PWM :**

Ce type de régulateur utilise un interrupteur actif modulé par impulsions de largeurs variable (PWM, pulse width modulation), il peut maintenir une tension constante aux bornes de la batterie pour terminer la charge tout en dissipant dans le transistor uniquement les pertes de commutation et celle dues à la résistance de passage [23].

**e) Régulateur MPPT**

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximal (MPPT, max power tracker). Ceci permet de garantir que le maximum d'énergie sera récupéré, quels que soient la température et l'ensoleillement [23].

De plus les régulateurs proposent parfois d'autres fonctions comme la compensation en température et la temporisateur de connexion de charges (allumage des lampes par exemple), ampèremètre [23].

## **1.8 Normes mondiales**

L'éclairage public doit apporter beaucoup plus aux usagers que le seul sentiment de « confort », encore faut-il que ses performances photométriques permettent d'accéder de nuit aux exigences indispensables à l'accomplissement des différentes tâches visuelles de chaque catégorie d'usagers. C'est la raison pour laquelle la notion « d'éclairer juste » s'impose et se décline au travers de valeurs d'éclairages et de luminances minimales à maintenir. Et pour

cela, nous comptons sur les normes et ce dernier varie d'une paye à l'autre par exemple les normes plus utilisé dans le monde est les normes européennes [28].

## **1.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a exposé brièvement quelques grandeurs photométriques, le système d'éclairage public et ses moyens (lampes, lampadaire), ainsi le contrôle d'allumage des lampes et les normes mondiales de l'éclairage. Et on a présente aussi quelques moyens utilisé dans l'éclairage photovoltaïque (les cellules solaire, les batteries solaire et le régulateur).

# Chapitre 2

## Dimensionnement d'un kit solaire

## 2.1 Introduction

L'énergie est un facteur essentiel pour le développement social et économique de n'importe quel pays. Alors que la population mondiale augmente à un rythme de plus en plus rapide, ce qui pose une augmentation de la demande d'énergie et des ressources [1, 2].

L'épuisement rapide et les prix, la volatilité des ressources en combustibles fossiles à l'échelle mondiale a nécessité une recherche urgente d'autres sources d'énergies afin de répondre aux exigences actuelles (le monde aura besoin de doubler la capacité énergétique installée les 40 prochaines années) tout en minimisant les impacts environnementaux négatifs [2, 1].

L'énergie solaire est une source propre, libre, disponible, favorable à l'environnement et sûre. La meilleure façon pour récolter la puissance du soleil est la technologie photovoltaïque [1, 2]. 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 l'emporte sur le faible coût initial du générateur et met le photovoltaïque au coût le plus rentable à long terme [1, 3].

Avant toute installation d'un système photovoltaïque il est nécessaire de faire des calculs pour le dimensionnement des principaux éléments constituant ce système. Le dimensionnement est indispensable pour assurer la fiabilité de l'installation. Des erreurs de dimensionnement provoquent deux conséquences : un prix élevé (cas d'un surdimensionnement) et déficit d'énergie (cas d'un sous-dimensionnement).

## 2.2 Définition et but du dimensionnement

Le dimensionnement précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance-crête du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie de stockage et cela en fonction des paramètres d'entrée qui sont, d'une part, les données d'ensoleillement du site d'implantation et d'autre part, les besoins électriques demandés par l'utilisateur (profil de charge) [4, 5].

Il existe deux types d'installations photovoltaïques : raccordés au réseau et autonome, ces deux types nécessitent une étude de dimensionnement avant sa réalisation, même si celle de première type est plus simple que le deuxième type [5].

Jusqu'à présent, plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour le dimensionnement de systèmes photovoltaïques autonomes, ces méthodes reposent sur les

données moyennes mensuelles de l'éclairement solaire et utilisent des calculs simplifiés. D'autres méthodes sont basées sur la simulation du fonctionnement du système photovoltaïque en prenant comme données d'entrées les valeurs horaires de l'éclairement solaire rayonnement [6]. L'utilisation d'une méthode ou de l'autre dépend de plusieurs facteurs, à savoir la précision, la disponibilité des données initiales,... [7].

## 2.3 Méthodes de dimensionnement

Parmi les méthodes, on cite :

### 2.3.1 Méthodes numériques

Ou bien **numerical methods** utilisent une simulation de système. Pour chaque période de temps considérée (généralement un jour ou une heure), on fait une simulation du fonctionnement du système photovoltaïque et une évaluation du taux de satisfaction de la charge. Ce type de méthodes offre l'avantage d'être plus précises, mais nécessite d'avoir des données suffisantes en matière de gisement solaire pour des périodes suffisamment longues [7]. Un autre inconvénient est qu'elles nécessitent beaucoup de temps pour atteindre la convergence escomptée.

### 2.3.2 Méthodes analytiques

Ou bien **analytical methods** tentent de décrire la taille du système en fonction de la fiabilité. L'inconvénient majeur de telles méthodes est qu'elles ne sont pas précises ou nécessitent la détermination de coefficients pour expressions pour chaque emplacement du système. Leur plus grand avantage est que le calcul de différentes tailles de sous-systèmes est très simple [7].

### 2.3.3 Méthodes simplifiées (Intuitives)

Un calcul simplifié de la taille du système est effectué sans établir toute relation entre les différents sous-systèmes ou en tenant compte du hasard de la nature du rayonnement solaire. L'une des approches les plus fréquemment utilisées est le «mauvais mois» méthode. La raison de cette méthode est que si cela fonctionne ce mois-ci, cela fonctionnera pour le reste de l'année [7]. Basée sur les étapes suivantes [5]:

- Détermination des besoins de l'utilisateur (estimation de la consommation).
- Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique (estimation de l'énergie solaire reçue).
- Définition des modules photovoltaïques (Dimensionnement du générateur photovoltaïque).
- Définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie (Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs).

- Choix d'un régulateur (Dimensionnement du régulateur de charge/décharge).
- Plan de câblage.
- Estimation de coût du système.

## 2.4 Dimensionnement d'un kit solaire

Nous allons par la suite, donner une explication détaillée de chaque étape pour dimensionner un kit solaire de l'éclairage public.

### 2.4.1 Estimation de la consommation

#### 2.4.1.1 Choix du type de lampes

La plupart des ampoules utilisées dans l'éclairage ne donnent pas toujours des résultats satisfaisants, il faut rapidement les éteindre, ou être mal éclairé, pour cela les chercheurs travaillent à améliorer les lampes d'éclairage.

Pour choisir un bon type de lampe d'éclairage, et préciser le choix, il faut suivre les critères suivants :

- **Durée de vie** : chercher toujours l'achat de lampes de longue durée de vie, pour éviter tous les problèmes d'achat [8].
- **Watt, la puissance** : le watt est l'unité de mesure de la puissance électrique produit par l'ampoule, plus le nombre de watt est élevé plus l'ampoule consomme de l'électricité [8].
- **Indice de rendu des couleurs** : Toutes les lampes de l'indice de couleur défini au chapitre 1 (§ 1.4.8) entre 80 et 100 sont les meilleurs pour l'utilisation de l'éclairage [8].
- **l'efficacité lumineuse** : (chapitre 1 § 1.4.3) elle est souvent utilisée notamment par les professionnels de l'éclairage pour déterminer le type de lampe choisi [8].

Après les critères présenté précédemment, et les caractéristiques de chaque lampe (chapitre 01 « les lampes et le tableau de caractéristique »), il est facile de conclure que le meilleur choix des lampes, sont les lampes LED car elles sont économiques dans le domaine de l'énergie, conservent leurs propriétés pendant une très longue durée et sont plus efficaces. Donc, ce type de lampe est le meilleur choix.

#### 2.4.1.2 Energie nécessaire

L'énergie nécessaire est la quantité de l'énergie que le panneau photovoltaïque doit fournir pour répondre à la demande des charges (dans ce cas les charges sont les lampes LED) et compenser les déperditions de l'installation. Pour calculer cette énergie, il faut suivre les étapes ci-dessous [9]:

- **Choisir le courant des charges** (courant continu ou courant alternatif)

- **Calcul du besoin énergétique journalier total des charges** en watts-heure : Le besoin énergétique journalier est la quantité d'énergie nécessaire chaque jour pour alimenter les charges (les lampes). L'énergie électrique nécessaire ( $E_n$  (Wh)) transformée par une lampe est égale au produit de la puissance  $P$  (W) par la durée  $t$  (h) de son fonctionnement [9].

$$E_n = P * t \quad (2. 1)$$

- **Estimation des pertes électrique** : toute l'énergie produite par les modules n'est pas disponible pour les charges (lampes). une partie est dissipée par les câbles, les batteries et les régulateurs de charge [9].
- **Calcul du besoin énergétique journalier total de l'installation** : totaliser la demande énergétique journalière et les pertes estimées [9].
- **La tension de l'installation** : déterminer la tension de l'installation (généralement la tension est égale 12V) [9].

#### 2.4.2 Estimation de l'énergie solaire reçue

Sans l'estimation de l'énergie solaire reçue sur le site d'implantation, le dimensionnement de la chaîne photovoltaïque n'a aucun sens, puisque la production des panneaux dépend des conditions météorologiques du site.

L'estimation de cette énergie doit tenir compte :

- Des données statistiques concernant l'énergie solaire reçue dans la région d'installation.
- Des caractéristiques propres au site et susceptibles d'empêcher le panneau photovoltaïque de recevoir toute l'énergie possible (ombrage)

##### 2.4.2.1 Données statistiques

Il est nécessaire de connaître avec une assez bonne précision l'énergie solaire reçue en moyenne par jour ou par mois, les données annuelles de cette énergie solaire peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie, par des calculs (outil informatique) ou par des logiciels d'optimisation pour récupérer les données d'ensoleillement (Métronome, PVSYST) [5, 10].

Mais quelle que soit la moyenne pour atteindre ces quantités des énergies il est nécessaire de considérer les paramètres ou bien les valeurs statistiques ci-dessous

- Latitude : distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur.
- Altitude : généralement la référence de cette valeur est le niveau de la mer.
- L'irradiation moyenne reçue au sol (plan horizontal) :
- L'irradiation globale sur un plan incliné.

- Nombre moyen d'heures d'ensoleillement par jour (ou durée d'insolation).

Les deux premiers paramètres sont des paramètres de base (fixe pour chaque lieu) qui sont influencés par les trois suivants, ainsi que par l'inclinaison (l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte en degrés) et l'orientation (le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau) des panneaux [5].

Les trois dernières (valeurs statistiques) présentent l'énergie solaire reçue. Plus l'énergie reçue est importante, moins il y a de panneaux à installer et inversement. La terre reçoit cette énergie sous forme de rayonnement. L'éclairement solaire représente la quantité d'énergie solaire incidente sur une surface donnée. C'est une mesure de l'intensité lumineuse du soleil par une surface d'un mètre carré. L'éclairement est mesuré en Watts/mètre carré. Il est décomposée en trois types [5, 3]:

- L'éclairement direct : est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil
- L'éclairement diffus : est le rayonnement émis par des obstacles (nuage, bâtiments)
- L'éclairement albédo : est La quantité de rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre.

L'irradiation reçue sur un plan horizontal est la somme des rayonnements directs et diffus, et sur un plan incliné est l'addition du rayonnement albédo. Le rayonnement direct sur un plan horizontal est inférieur à celui sur un plan incliné, en revanche le rayonnement diffus sur plan horizontal est supérieur à celui sur un plan incliné donc l'état du ciel dominant annuellement conduit le choix du degré d'inclinaison [5].

L'insolation ou bien l'ensoleillement est la quantité d'énergie solaire reçue sur une zone donnée, mesurée en kilowattheures par mètre carré (ou  $mW/cm^2$ ), cette valeur varie d'une saison à l'autre en raison de la relation changeante de la terre et du soleil, ce changement (trajet de soleil), tant quotidien qu'annuel, quel que soit l'endroit sur la terre. L'élévation du soleil change d'environ  $47^\circ$  du solstice d'hiver au solstice d'été. Ce qui explique le fait qu'il y ait des heures plus ensoleillées que d'autres et des mois plus ensoleillés que d'autres [3]. Pour un dimensionnement plus rapide, il est préférable de se servir de valeur la plus faible de la période de fonctionnement de l'application [5].

- Comment orienter et incliner les panneaux

L'orientation idéale de module est soit vers le sud dans l'hémisphère nord soit vers le nord dans l'hémisphère sud. Mais dans certains cas le type d'implantation (chapitre 1 : § 1.5.4) et les ombrages s'ils existent, ont un rôle à l'orientation [5].

L'inclinaison est un peu plus compliquée, puisque il faut adapter de façon à ce que les panneaux récupèrent le maximum d'énergie solaire possible. Le trajet du soleil n'est pas fixe et varie avec la saison ce qui implique que le suivi de ce trajet entraîne un coût d'installation élevé (system tracking). Donc le choix de ce degré d'inclinaison s'effectue à latitude de lieu [5, 3].

De plus, la latitude influence surtout sur le rayonnement horizontal. Dans les zones équatoriales et tropicales on observe assez peu de variations entre le mois le plus et le mois le moins ensoleillé. Mais plus la latitude est élevée, et plus les différences sont marquées.

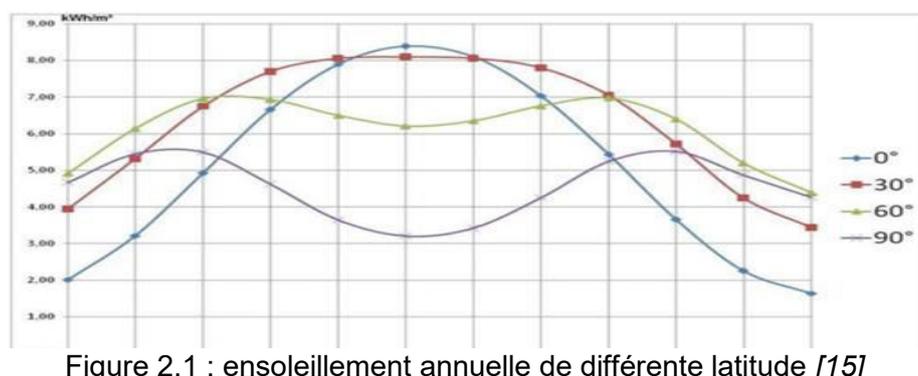


Figure 2.1 : ensoleillement annuelle de différente latitude [15]

Figure ci-dessus montre l'évolution annuelle d'un bon jour selon la latitude

Pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à latitude du lieu soit  $+10^\circ$ , ce qui favorise la captation de l'énergie solaire en hiver (quand le soleil est bas) [5, 10].

### 2.4.2.2 Caractéristiques propre au site

Ou bien les ombrage, quand les modules sont placés au milieu des bâtiments, ou face à un autre type d'obstacle (montagne, arbre...) lui masquant partiellement le soleil. Malheureusement, ces effets d'ombrages sur le rayonnement reçu sont très difficiles à estimer intuitivement. Quand ces obstacles provoquent des ombrages pendant plusieurs heures à certaines périodes de l'année. Dans ce cas, la quantification des pertes causées est fonction des données horaires (courbes de l'intensité de rayonnement en fonction de l'heure de la journée) [5].

L'effet de l'ombrage partiel ou ponctuel est très intéressant, car si une seule cellule est ombrée, le courant de toute la chaîne des cellules en série est limité et cela peut avoir de graves conséquences si les panneaux ne sont pas équipés de diode shunt [5].

### 2.4.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Pour déterminer la taille des modules ou panneaux solaires requis, il faut connaître le besoin énergétique journalier total, la ressource solaire disponible, et les caractéristiques techniques des modules photovoltaïques.

#### 2.4.3.1 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque

Pendant cette étape il faut prendre en considération que le module photovoltaïque n'est pas toujours entouré par ses conditions optimales STC (1000 W/m<sup>2</sup> à 25°C avec un spectre solaire AM1,5 spectre de ciel clair), pour produire sa puissance crête (puissance délivré par le module à condition STC), donc il y a des pertes qui doivent entrer en jeu dans les calculs [5].

Pour calculer la taille de générateur à installer il existe des étapes à suivre :

- **Insolation journalière**

L'ensoleillement n'est pas constant pendant la journée. Donc pour éviter cette vérité, on va assimiler l'énergie solaire ( $E_{sol}$  en Wh/m<sup>2</sup>.j) au produit du rayonnement instantané 1000 W/m<sup>2</sup> par un certain nombre d'heures  $N_e$ , l'équation (2.1) [5].

$$E_{sol} = N_e \cdot 1000 \quad (2.2)$$

$N_e$  est le nombre des heures équivalents comme le montre la figure ci-dessous : les aires sous la courbe sont les mêmes : celle du rayonnement réel, de forme arrondie, et la courbe équivalent carrée [3, 5].

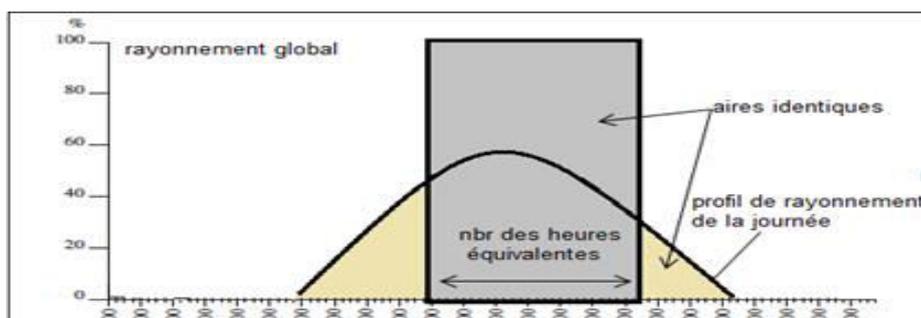


Figure 2.2 : nombre des heures équivalents

- **Pertes électriques**

Dans ce qui suit les pertes électriques sont représentées ainsi que leurs solutions si elles existent :

➤ En l'entrée de rayonnement solaire :

- a) La salissure du panneau, la neige, sable et parfois le vitrage placé devant provoque un réduit dans l'absorption, donc une modification de courant de charge [5].

Solution : nettoyage régulier, placer les panneaux légèrement en hauteur.

➤ Les pertes en ligne :

- b) Aux bornes des diodes série, régulateur série et les câbles (selon leur longueur, section et ampérage transporté) [5].

Solution : utilisation des régulateurs MPPT.

➤ Effet de température :

- c) La température élevée provoque une baisse de tension [5].

Solution : cette perte est seulement retrouvée dans les pays chauds, l'utilisation de ventilation peut être une solution

• Effet de l'éclairement :

- d) En début et en fin de journée, l'éclairement est faible donc il y a une diminution de courant [5].

Solution : déjà abordé dans le calcul d'énergie solaire journalière.

• La batterie :

- e) Rapport entre l'énergie restituée et l'énergie fournie [5].

Remarque : les modules photovoltaïques devant alimenter un système 12 V nominale doivent avoir une tension au point de puissance maximale au moins égale à 17-18 V pour l'utilisation en pays chauds et 15-16 pour l'utilisation en pays tempérés (pour un système 24V, doublé ces valeurs) [5].

Les pertes en courant (a, e) sont introduits dans les calculs énergétiques en A (ampère) ou Ah (ampère heure) sous forme d'un coefficient de pertes en courant ( $C_p$ ).

Evaluation de  $C_p$ :

Dans les modules qui ont une réserve en tension suffisante pour pallier les pertes en tension (remarque), les pertes en courant (a) et (e) sera restreint le  $C_p$  entre 0.65 et 0.9.

• **Calcul du courant de charge de l'installation**

La production moyenne des modules doit être égale au besoin énergétique journalier moyen, donc si le panneau à une puissance crête  $P_c$ (W), est exposé au soleil, l'énergie produite par le panneau est calculée par l'équation suivante [5, 9]

$$E_{prod} = E_{sol} \cdot P_c \quad (2.3)$$

Puisque le  $C_p$  est un coefficient de pertes de courant, et pour calculer la puissance pratique de module, l'équation (2.3) sera divisée par la tension et multipliée par  $C_p$ . [5] Comme suit :

$$Q_{prod} = C_p \cdot E_{sol} \cdot I_m \quad (2.4)$$

Avec  $Q_{prod}$ : énergie produite dans la journée (Ah/j)

$I_m$  : Courant à la puissance maximal STC du module (A)

Pour calculer la puissance nécessaire à l'application, l'énergie produite dans l'équation (2.4) sera remplacée par l'énergie consommée (§ 2.3.1.2) :

$$I_m = \frac{E_n}{E_{sol} \cdot C_p} \quad (2.5)$$

Remarque : la détermination de puissance crête dispose l'énergie électrique correspondant au besoin de l'application, est à base des données météo retenues dans le cadre de l'application, et les calculs se feront dans les conditions d'ensoleillement les plus défavorables [5].

### 2.4.3.2 Choix de type de modules

Il faut tout d'abord identifier les modules disponibles sur le marché et récupérer toute l'information nécessaire sur leurs caractéristiques techniques. Ensuite, il faut déterminer l'intensité de courant (en ampère) que chaque module peut produire en fonction de la tension de l'installation, et des conditions de température et d'éclairement du site projeté puis choisir la technologie (chapitre 1 : tableau (1.2)), selon [5, 9] :

- **Matériau à mettre en œuvre**

Pour puissance <10 Wc, il est préférable d'utiliser le silicium amorphe.

Pour les puissances entre 50 et 150 Wc et pour les systèmes autonomes, le silicium cristallin est le choix le plus adéquat [5].

- **Type de climat**

Le Silicium amorphe possède de bonnes performances au faible éclairement et sous rayonnement diffus, en revanche, son rendement est faible devant le silicium cristallin [5].

- **Coût :**

Le prix du silicium amorphe est compétitif, mais à faible puissance, et faible rendement, ce qui augmente la surface, donc pour les systèmes autonomes les siliciums cristallins est le meilleur choix [5].

### 2.4.3.3 Choix de tension de modules

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité des matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application [10].

Puissance crête ( $W_c$ )	$<500 W_c$	$500 W_c - 2KW_c$	$>2KW_c$
Tension système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

Tableau 2.1 : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête [10]

#### 2.4.4 Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs

L'utilisation d'une batterie va permettre de palier aux problèmes des variations climatiques, sur une échelle allant de quelques minutes à quelques jours. Un certain nombre de paramètres entre en jeu dans le choix de la batterie. Ils sont aussi bien d'ordre technique qu'économique. Il faut également noter que la batterie est le composant le moins durable d'un système photovoltaïque. Il faudra donc le remplacer avant les panneaux [9].

##### 2.4.4.1 Déterminer l'offre locale compatible avec le budget

La démarche consiste à dresser la liste des batteries disponibles entrant dans les limites du budget, les batteries utilisées doivent être disponibles localement et de bonne qualité, et dépendent également du prix [9].

- **Prix** : Le coût est important et est l'un des premiers paramètres à considérer en fonction des nécessités de l'installation.[9]
- **Capacité** : la batterie doit, bien évidemment avoir de la capacité [9].
- **Durée de vie** : la durée de vie de la batterie dépend de sa qualité.[9]
- **Remplacement et disponibilité** : le choix d'une batterie disponible localement est un choix de bon sens .il faudra remplacer l'ensemble et cela a une importance [9].
- **Entretien** : l'entretien de la batterie doit rester dans les limites des besoins et des possibilités [9].
- **Taille** : la batterie doit occuper l'emplacement prévu et être mise à l'abri et en sécurité dans un local fermé [9].
- **Mobilité** : si la batterie doit être déplacée, il faut choisir un type de batterie qui résiste aux vibrations et qui peut être inclinée sans risque [9].

##### 2.4.4.2 Calcul de la capacité de la batterie

La capacité nominale d'une batterie est donnée généralement pour une décharge en 20 h (notée  $C_{20}$ ) à la température de 25° C [9].

La capacité de batterie requise dépend de trois facteurs essentiels :

- **La capacité de charge journalière en ampères-heures** requise les charges chaque jour (les modules devront fournir chaque jour pour alimenter la totalité des charges) [9].
- **La profondeur de décharge maximale admissible** correspondant à la plus grande profondeur de décharge acceptable pour la batterie considérée dans des conditions normales. la profondeur de décharge des batteries à décharge peu profonde [9].
- **Le facteur de stockage ou le nombre de jours d'autonomie**, variable selon les sites. Ce facteur est Plus élevé dans des installations situées dans des zones très nuageuses mais limitée à un jour ou deux lorsque l'ensoleillement est important [9].

La forme de la capacité de batterie est [9] :

$$C_u = \frac{Q_{cons} * N_{ja}}{V_b * D_{mb}} \quad (2.6)$$

Avec  $C_u$  : La Capacité de la batterie en Ah.

$V_b$ : La Tension de la batterie (V).

$Q_{cons}$  : Consommation journalière requise en Ah par jour.

$N_{ja}$ : Le Nombre de jours d'autonomie

$D_{mb}$ : La profondeur de décharge maximale de la batterie.

#### 2.4.4.3 Type de batterie et réglage du régulateur de charge

Les batteries scellées, les batteries au plomb AGM et les batteries à électrolyte gélifié requièrent un réglage spécifique du régulateur de charge, il faut donc connaître les contraintes imposées par le type de batterie choisi au niveau du régulateur de charge [9].

#### 2.4.4.4 Contraintes d'entretien et durée de vie de la batterie

Les batteries constituent un élément importante de l'installation photovoltaïque non raccordée au réseau, et quel que soit le type de batterie choisi, il faudra l'entretenir : la nettoyer (une fois par mois) et la contrôler (vérifications de l'état de charge et du niveau de l'électrolyte et remplissage (2 fois par mois)), il faut également connaître la durée de vie probable de la batterie afin de pouvoir dire à l'utilisateur quand il devra la remplacer [9].

#### 2.4.5 Dimensionnement du régulateur de charge/décharge

Dans un système photovoltaïque autonome, le régulateur de charge a une fonction primordiale. Il protège toute l'installation et notamment la batterie qui est l'élément le plus sensible. Il est donc essentiel de choisir un bon régulateur car ce composant influence grandement la durée de vie du système, et le prix du kWh final. Il existe de nombreux modèles

de régulateurs du plus simple au plus sophistiqué. Son rôle est de protéger la batterie contre les surcharges et décharges profondes. Le régulateur augmente donc la durée de vie de la batterie en lui évitant des états extrêmes [11].

Les régulateurs de charge photovoltaïques sont caractérisés par 4 éléments principaux :

- le courant maximum de charge.
- le courant maximum de décharge.
- sa tension maximale admissible.
- le type de batteries auxquels ils sont destinés.

Le dimensionnement du régulateur s'effectue selon les 4 critères suivants :

Tension nominale (12, 24 ou 48 VDC) : elle doit être celle du champ photovoltaïque [11].

- 1) La puissance maximale du champ photovoltaïque doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur.
- 2) La tension à vide du champ photovoltaïque (majorée par le coefficient de sécurité) doit être inférieure à la tension maximale.
- 3) Le courant de sortie du champ photovoltaïque ne doit pas dépasser le courant maximal admissible par le régulateur.
- 4) Le régulateur doit être compatible avec la tension du parc de batteries

### 2.4.5.1 Les critères de choix des régulateurs

- **Consommation interne** : (Choisir la bonne intensité de courant et la bonne tension) [11].
- **Précision des seuils** : Les seuils de coupure et de décalage du régulateur doivent rester stables à plus ou moins 2% de leur valeur nominale durant la vie du système [11].
- **Facilités de montage** : Les bornes de connexion doivent être facilement accessibles et permettre le câblage avec des sections suffisantes
- **Garantie** : Les régulateurs sont garantis pour un an en général [11].

### 2.4.5.2 Gestion de régulateur de charge

- Apprendre à gérer et entretenir leur installation [9].
- Installer des dispositifs de sécurité comme des interrupteurs centralisés et des fusibles [9].
- Protéger la batterie en gérant soigneusement d'énergie pour éviter de perdre leur investissement [9].
- Prévoir la mise en place d'un régulateur de charge dès que possible [9].
- Vérification du régulateur au moins 1 fois par mois [9].

## 2.4.6 Câblage

Toute installation solaire photovoltaïque comporte des câbles permettant le passage de l'électricité du panneau à la batterie puis aux charges (les lampes). Pour déterminer la section et longueur de câble entre chaque composante il faut suivre les étapes ci-dessous [9]:

### 2.4.6.1 Plans du site

Commencez par dessiner le plan d'installation dans l'espace prévu à cet effet. Le plan d'échelle (Mini échelle) permet d'estimer les longueurs de câble et de localiser chaque lampe, prise ou interrupteur ainsi que la batterie, le régulateur et les modules [9].

### 2.4.6.2 Section de câbles de chaque circuit

La section du câble reliant l'unité ou les unités au régulateur de charge, d'une part, la régulation de charge de la batterie, d'autre part, devrait être beaucoup plus élevée, pour optimiser le rendement de l'installation. Pour déterminer la longueur totale de type de câble requis, il faut mesurer chaque parcours de câble entre tous les composants de l'unité [9].

### 2.4.6.3 Calcul de la chute de tension le câble électrique

Pour conserver une efficacité optimale de l'installation, il faut limiter la chute de tension dans les câbles électriques de l'installation solaire et pour diminuer le phénomène de chute de tension, il suffit d'augmenter la section du câble électrique. On peut ainsi calculer la chute de tension telle que [9] :

$$\varepsilon = \frac{r \times L \times I^2}{S} \quad (2.7)$$

Avec S=section de câble (mm<sup>2</sup>)  
L=longueur de câble(m)  
I=courant max utilise(A)  
r= résistivité du cuivre (Ω<sup>2</sup>/m)

Si le câblage a été réalisé dans les règles, il ne devrait poser absolument aucun problème pendant toute la durée de vie de l'installation. La vitrification est à réaliser une fois par mois. Il faut également inspecter les parcours de câble notamment lorsque les fils anciens sont exposés afin de vérifier qu'aucun d'entre eux ne soient ni dénudés ni en ronges [9].

Remarque :

- Toute l'installation solaire photovoltaïque comporte des câbles permettant le passage de l'électricité du panneau à la batterie puis de la batterie aux charges et pour que la

transmission soit efficace, il faut que les câbles et appareillages soient bien adaptés en termes de section et caractéristiques [9].

- Les installations photovoltaïques utilisent au moins du  $2.5 \text{ mm}^2$ . Les câbles tresse souples, et deux brins de  $2.5 \text{ mm}^2$ , sont idéaux pour des nombreux circuits de distribution en 12V [9].
- Les installations AC ou DC de plus forte puissance on utilise des câbles à trois fils comportant un fil de terre [9].

### 2.4.7 Dimensionnement des pièces du lampadaire

Les luminaires d'éclairage public peuvent être installés de façons multiples : soit en tête de mât d'éclairage, soit sur une console d'éclairage [12].

**Les consoles d'éclairage public** permettent l'installation d'éclairage extérieur grâce à un système de fixation murale ou sur un mât d'éclairage [12].

**Le mât** est une pièce généralement verticale (support est forcément fixé au sol)[12].

Caractéristiques de mat d'éclairage :

- Hauteur de Mat : 3.5 à 7 m.
- Hauteur total (mat + panneau) : 5 à 10 m.
- Diamètre : 0.2 à 0.3 m.
- Epaisseur Moyenne (m) : 0.012 m.
- Poids de mat : 83.6 à 196.1 kg.
- Section max de luminaire : 0.17 m<sup>2</sup>.
- Poids max de luminaire : 16 kg.
- Dimension max de panneau solaire : 1.6\*1 m.
- poids max du panneau solaire + support : 50 kg.
- Fixation au sol : 0.896 à 2.304 m<sup>3</sup>.



Figure 2.3 : le mat

### 2.4.8 Choix de types d'implantation

Les type d'implantations présentés en chapitre 1 (§ 1.5.4), dépendent de certains critères [13] :

- de la largeur à éclairer et donc des « hauteurs de feu ».
- de la configuration de la voirie (trottoirs, pistes cyclables, couloirs bus...)
- des aménagements (plantations, mobilier urbain...)
- de l'image diurne souhaitée (perspective de la rue – encombrement...)
- de l'ambiance nocturne escomptée

## 2.4.9 Distances inter-luminaire

### 2.4.9.1 Critère de choix d'un luminaire

- Choix en fonction du rendement lumineux :

Tout en respectant les autres critères de choix, on choisira toujours les luminaires ayant le meilleur rendement lumineux. Pour un même niveau d'éclairage, il faudra un nombre plus important de luminaires à faible rendement ce qui engendrera une surconsommation et un surinvestissement [14].

- Choix en fonction de l'assemblage, du montage et de la maintenance

Tous les luminaires doivent être construits de manière à pouvoir supporter des contraintes normales de montage et d'utilisation [14].

- Choix en fonction de la puissance des lampes :

Un luminaire est conçu pour être équipé de lampes d'une certaine puissance et il est impératif de se limiter à cette puissance. En effet, la dissipation thermique doit être suffisante pour assurer une durée de vie normale de la lampe et les performances du luminaire [14].

- Choix en fonction de la qualité acoustique :

Un léger ronronnement peut être transmis du ballast au luminaire et être amplifié. Il faut donc utiliser certains dispositifs pour minimiser la transmission de bruit sans perturber les transferts de chaleur. Ce problème n'existe pas avec les ballasts électroniques (chapitre 1) [14].

- Choix en fonction du prix

Le choix d'un luminaire se fera également en fonction du prix de revient de l'installation. À critère de confort égal [14], celui-ci dépend :

- du prix du luminaire et de son placement,
- du prix des lampes,
- de la consommation sur sa durée de vie,
- du coût de remplacement des lampes.

### 2.4.9.2 Les configurations conditionnent le choix du luminaire

- Avancée (saillie)
- Inclinaison (0 à 15°)
- Hauteur de feu : selon la largeur à éclairer
- Inter distances entre points lumineux.



Figure 2.4 : avancée et inclinaison

### 2.4.9.3 Calcul des distances inter-luminaire

Pour chaque type d'implantation, et pour chaque hauteur de feu, il y a un intervalle de distances inter luminaire [13].

Tel que « e » est la distance, si le luminaire est

Défilé : e est mini

Semi-défilé : e est max

- Implantation unilatérale et axiale :

$$h/l \geq 1$$

$$e = 3 \text{ à } 3,5 h$$

- Implantation bilatérale :

$$h/l \geq 1/2$$

$$e = 3 \text{ à } 3.5 h$$

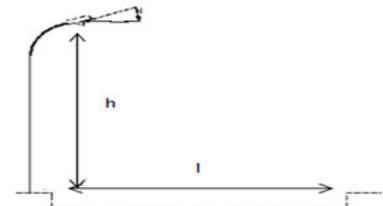


Figure 2.5 : largeur et hauteur

### 2.4.10 Estimation de coût

Pour estimer le coût il faut prendre en considération tout ce qui implique une dépense financière : matériels, les équipements, les manœuvres. Des accessoires peuvent également être ajoutés comme le système de trekking dans l'inclinaison des panneaux.

Tous ces éléments sont rassemblés dans l'équation suivante

$$B = \sum(m * p) \quad (2.8)$$

Avec : B : est le coût total

m : est soit matériel, équipement ou manœuvre

p : est le prix de chaque m

## 2.5 Conclusion

Tous les étapes déjà présentées dans ce chapitre sont dépendantes les unes des autres. Une erreur dans une étape provoque inéluctablement une erreur dans les étapes suivantes. C'est donc une opération itérative qui nécessite de l'attention dans les calculs. Ce chapitre décrit de façon théorique le dimensionnement, la pratique de ces étapes sera détaillée dans le chapitre suivant.

# Chapitre 3

## Etude de dimensionnement d'un kit solaire

### **3.1. Introduction**

Après avoir présenté théoriquement la méthode simplifiée de dimensionnement d'un kit solaire photovoltaïque, on va l'appliquer dans ce chapitre pour évaluer le coût global de l'installation de l'éclairage extérieur par voie photovoltaïque. Ce travail a été entrepris dans l'Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien (URERMS) d'ADRAR.

Dans cette étude, on cherche à garder la même efficacité d'un éclairage conventionnel avec une réduction de consommation énergétique (électrique), en plus de la diminution de l'émission des gaz à effet de serre. L'objectif escompté est de proposer une installation photovoltaïque qui soit la moins coûteuse avec une faible maintenance.

### **3.2. Description du travail effectué**

Dans ce travail, on va dimensionner un kit solaire photovoltaïque. Ce kit doit être adapté aux normes internationales et garder la même efficacité avec un faible coût. On va attribuer les différents types des lampadaires solaires. Le cas d'étude choisi pour le dimensionnement est l'Unité de Recherche en Energie Renouvelables en Milieu Saharien (par abréviation: URER/MS) implantée au centre de la ville d'ADRAR. Les données radiométriques et météorologiques utilisées concernent le site d'ADRAR.

Le travail passe par différentes étapes. Au début, on va définir les différentes aires de l'URERMS et préciser les points stratégiques qui nécessitent un éclairage. L'étape suivante consiste à dimensionner le kit solaire d'éclairage et à estimer son coût global. En outre, on effectuera une comparaison entre le coût obtenu et le coût de la même installation mais en utilisant l'électricité conventionnelle.

À la fin de cette étude, on présentera quelques résultats obtenus lors du suivi de fonctionnement de 10 systèmes d'éclairage photovoltaïque installés au niveau d'URER/MS. La durée de fonctionnement est de 8 jours. Quoique cette durée fût insuffisante, ce suivi a permis de faire une simple évaluation du fonctionnement de ces systèmes et faire un diagnostic des problèmes rencontrés.

### **3.3. Analyse spatial**

Avant le dimensionnement de l'installation photovoltaïque à l'URERMS, il est nécessaire de présenter et spécifier ses caractéristiques géographiques et météorologiques.

#### **3.3.1 Présentation du site du projet (ADRAR)**

La wilaya d'Adrar est située au sud-ouest de l'Algérie à plus de 1500 km d'Alger. Les coordonnées géographiques d'Adrar sont :



Figure 3.1 : Site d'ADRAR

- Latitude :  $27,87^{\circ}$  ( $27^{\circ}52,45'N$ ).
- Longitude :  $-0,29^{\circ}$  ( $0^{\circ}17,63'W$ ).
- L'altitude par rapport au niveau de la mer : 257 m.

La wilaya d'Adrar enregistre des écarts de températures considérables. Durant les mois de l'été (juin, juillet, août), les températures atteignent des seuils maximaux (plus de  $50^{\circ}C$ ). Par contre, aux mois de décembre et janvier, les températures peuvent atteindre parfois les  $0^{\circ}C$ . De plus, la région d'Adrar est caractérisée par des vents de sable très fréquents durant toute l'année. Généralement, la saison du printemps (mars-avril), connaît une grande fréquence de vent de sable avec des vitesses moyenne supérieures à 6 m/s [1].

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région d'Adrar ne dépasse pas 27.25 %. La Pluviométrie est extrêmement faible, elle est annuelle moins de 100 mm [1].

### 3.3.2 Site d'expérimentation

L'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER/MS) est une entité de recherche créée par l'arrêté ministériel n° 76 du 22 mai 2004. Rattachée au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER). L'URER/MS a comme vocation principale la recherche scientifique appliquée et le développement technologique dans le domaine des Energies Renouvelables. L'URERMS est situé au centre du chef-lieu de la wilaya d'ADRAR. Elle a, donc, les mêmes caractéristiques météorologiques [2].

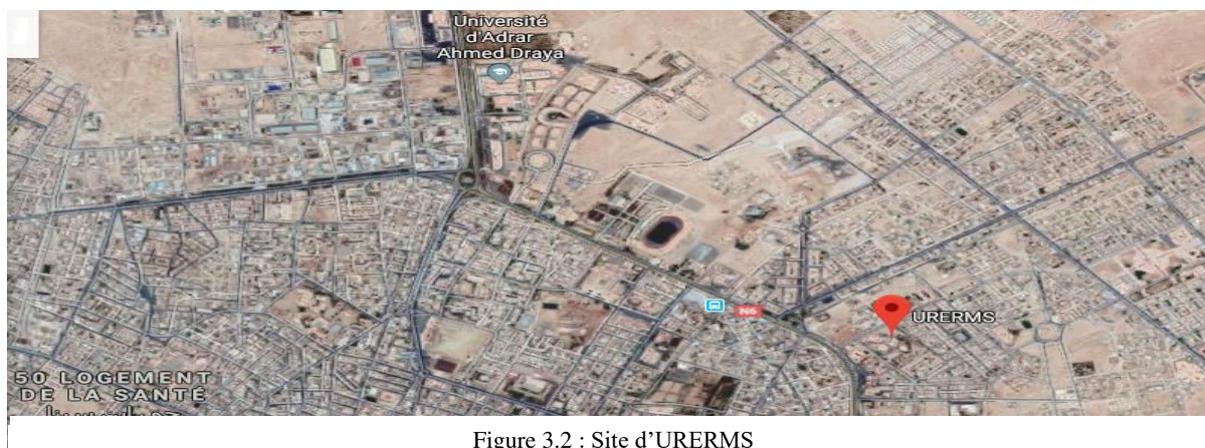


Figure 3.2 : Site d'URERMS

Les coordonnées du site (URER/MS) sont : latitude = 27.68°, longitude :-0.27°,  
L'altitude par rapport au niveau de la mer : 257 m

La surface de l'URERMS est: 29328 m<sup>2</sup> (2,93 ha).

Les hauteurs des blocs sont :

- 1er étage : 4m.
- 2eme étage : 8m.

### 3.4. Les points qui nécessitent de l'éclairage

Afin de définir les points qui nécessitent un éclairage, on a fait une tournée à l'intérieur du siège d'URERMS. Cette tournée a permis de faire une inspection et une localisation des endroits sombres et qui ont besoin d'être éclairés, sans oublier les ombrages possibles. Les points sombres sont indiqués sur le plan de l'URERMS décrit dans la figure 3.3.



Figure 3.3 : Les points qui nécessitent de l'éclairage (archive de URER/MS)

La figure ci-dessus contient différents points colorés qui présentent les points d'éclairage. Chaque couleur rejoint une proposition :

- Jaune : les entrées des blocs devant être éclairés.
- Rouge : l'entourage de l'URERMS et celle des blocs. Ces points ont de l'importance, car l'entourage représente la protection de l'URERMS contre les voleurs. Et celle des blocs, car les blocs contiennent les bureaux donc les informations de recherche que doit être bien sécurisé.

- Bleu : sont des points où se trouve quelques projets de recherche, ces points ne nécessitent par un éclairage, mais de bien être éclairé surtout dans le cas d'une éventuelle vérification pendant la nuit.

### 3.5. La géométrie des différents types des lampadaires solaire

Il existe plusieurs types des lampadaires solaires. Dans ce chapitre, on se contente de présenter trois différentes géométries.

#### 1<sup>er</sup> cas : Lampadaire à une seule crosse

L'utilisation de ce type présenté en figure (3.4) est principalement dans l'implantation unilatérale ou bilatérale vis-à-vis.

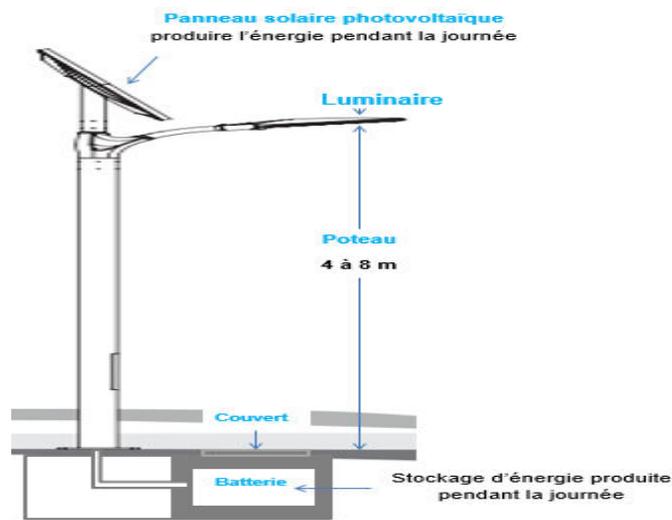


Figure 3. 4 : Lampadaire solaire à une crosse

#### 2<sup>ème</sup> cas : Lampadaire à deux crosses

L'utilisation de ce type présenté en figure (3.5) est principalement dans l'implantation axiale

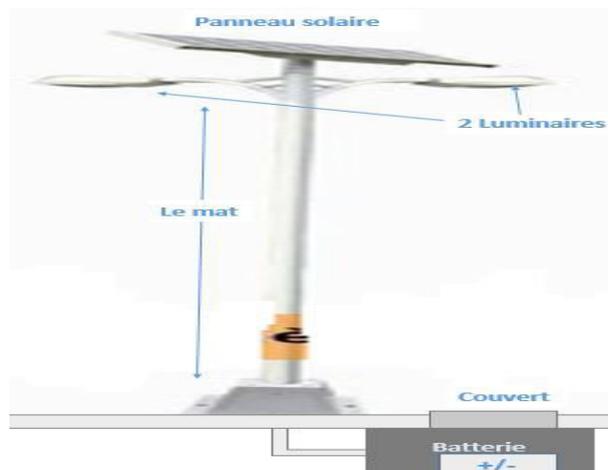


Figure 3. 5 : Lampadaire solaire à deux crosses

### 3<sup>ème</sup> cas : Crosse fixée au mur

Ce type de fixation de luminaire, comme le montre la figure ci-dessous, est utilisée souvent dans les espaces urbains (fixation aux murs des bâtiments).



Figure 3. 6 : Crosse fixé au mur

## 3.6. Dimensionnement d'un kit solaire

Avant d'acheter out installer un système photovoltaïque, il est indispensable de faire un plan de l'installation. Autrement, les équipements risquent d'être inadaptés, moins efficaces et plus coûteux que le souhaitable.

### 3.6.1 Estimation de l'énergie solaire reçue

Avant tout, il faut estimer l'énergie solaire disponible au point d'implantation du système. Pour cela, on va utiliser le logiciel de calcul Méteonorm. C'est un logiciel qui fournit des données météorologiques pour les applications solaire et énergétique et la conception du système à n'importe quel endroit dans le monde. Il est basé sur plus de 20 ans d'expérience. Ce logiciel s'adresse aux ingénieurs, architectes et toute personne intéressée par l'énergie solaire et la climatologie.

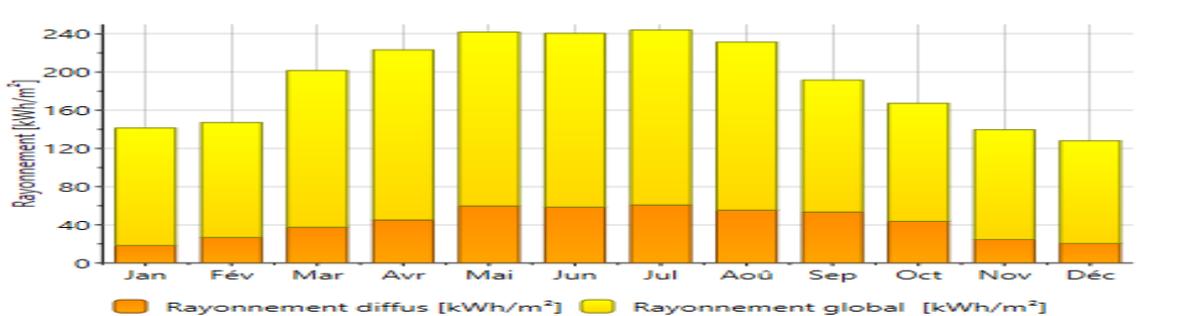


Figure 3.7 : Insolation journalière de site d'ADRAR (Météonorm)

Comme c'est illustré dans la figure (3.7) l'ensoleillement varie d'un mois à l'autre. Dans la présente étude, on a choisi le mois où l'insolation est la plus faible (mois le plus défavorable). D'après la figure 3.7, le mois de références choisi est le mois de décembre.

Pour estimer l'énergie solaire reçue par jour, on a pris l'énergie reçue en décembre 2017 mesuré à l'URER/MS en utilisant les appareils radiométriques adéquats.

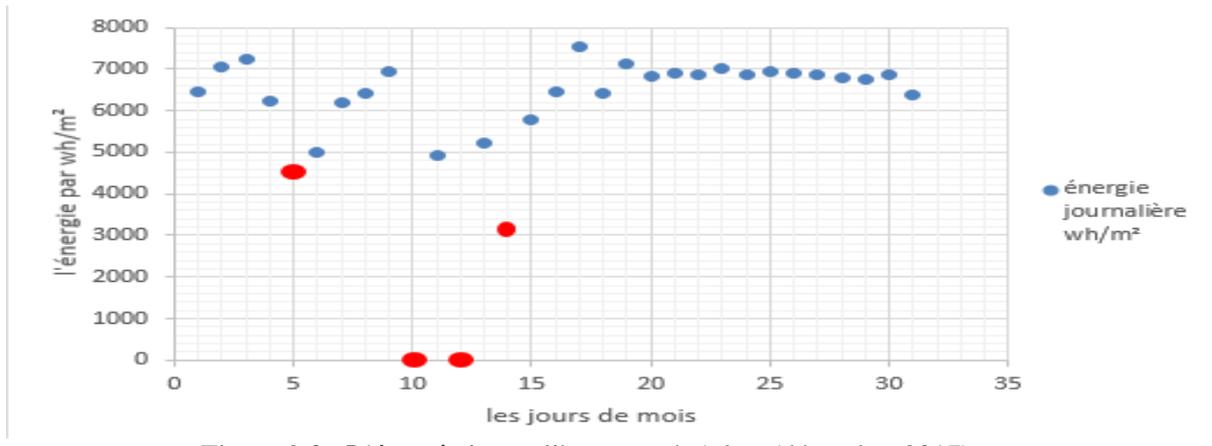


Figure 3.8 : L'énergie journalière reçue à Adrar (décembre 2017)

Les points de la figure 3.8 marqués en rouge sont des données erronées (des coupures et manque).

Donc nous pouvons estimer que l'énergie journalière reçue est la moyenne de ces données.

**L'énergie solaire journalière reçue est :  $6854.51 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{j}$**

De plus il faut spécifier le nombre des heures d'insolation. Pour cela, on a pris les données mesurées par l'unité pour un jour du mois de décembre 2017.

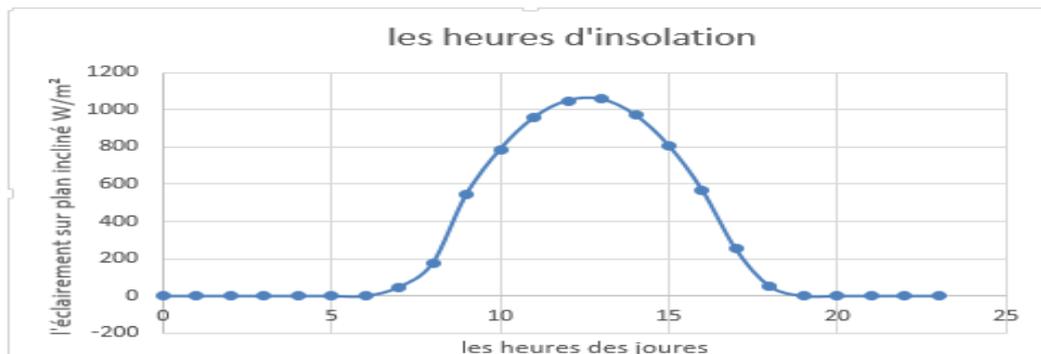


Figure 3.9 : durée d'insolation pour un jour de mois de décembre 2017(Adrar)

D'après la figure précédente, on peut déduire que le nombre d'heures d'insolation est estimé à 11 heures en hiver (décembre). Puisqu'on a déjà choisi le mois de décembre comme mois de référence, on peut dire que **le nombre d'heures d'insolation est égal à 11 heures.**

### 3.6.2 Estimation de la consommation

Les kits comportent une charge qui est la lampe. La puissance d'une lampe dépend de la hauteur du lampadaire. Dans le cas de cette étude, tous les lampadaires ont une hauteur de 4 m. Par conséquent, la puissance de chaque lampe est de 30 W/12V.

Avant de calculer la consommation journalière, il faut préciser le nombre des heures de fonctionnement. La figure ci-dessous (3.10) représente les heures de fonctionnement en hiver.

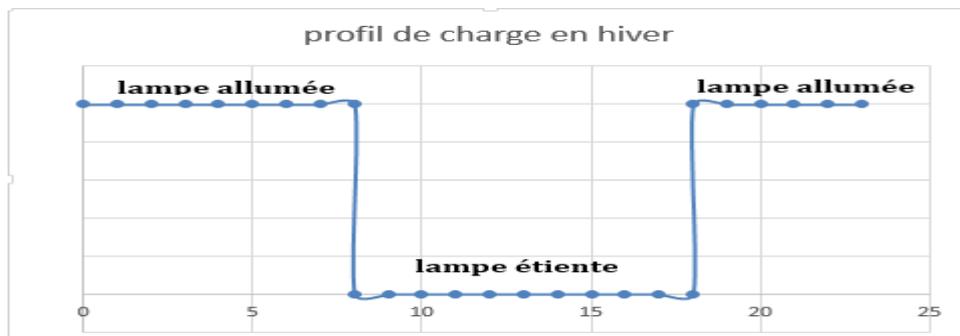


Figure 3.10 : Profile de charge de lampe en hiver

Puis on va calculer l'énergie consommée pour l'allumage des lampes pour la même saison, sans oublier de considérer la compensation des pertes (10% dans ce cas).

	puissance	nombre	heures	consommation	consommation
lampadaire	de lampe (W)	des lampes	de fonctionnement	Wh/j	plus les pertes
cas 1	30	1	13	390	429
cas 2	30	2	13	780	858
cas 3	30	1	13	390	429

Tableau 3. 1 : Calcul de la consommation journalière

**Donc l'énergie nécessaire pour la consommation est :**

**Cas 1 et 3 : 429 Wh (35.75 Ah)**

**Cas 2 : 858 Wh**

### 3.6.3 Source lumineuse et luminaire

Pour ne pas épuiser la batterie, il faut que la lampe soit éco-énergétique et basse consommation. Ainsi, il est nécessaire de faire une prospection du marché dans le but de trouver la lampe qui consomme moins d'énergie et qui soit moins coûteuse.

Le tableau ci-après regroupe quelques luminaires LED qui existent sur le marché national.

Modèles	ST-30	SYD-30	TH-30
Hauteur(m)	3-5	3-5	3-6
Puissance(w)	30		
Quantité des LED	1	16	30
Tension (v DC)	9-30		
Durée de vie (H)	50000		
Diamètre d'éclairage(m)	15-25		
Prix [DAZ]	14 200.00	13 200.00	14 200.00
garantie	1 an		

Tableau 3.2 : différentes luminaires existent dans le marché local [3]

Les caractéristiques des luminaires sont presque les mêmes sauf pour le nombre de LED qui composent la lampe. On va, donc, choisir le luminaire qui contient le moins de LED (modèle ST-30 dans ce cas).



Figure 3.11 : Luminaire ST-30

### 3.6.4 Dimensionnement de générateur photovoltaïque

- Calcul de la taille de générateur

Pour calculer la taille du générateur photovoltaïque, on va suivre les étapes suivantes :

- Pendant une journée au site d'Adrar (UREMS), en décembre, à l'orientation sud et l'inclinaison à la latitude du lieu, le soleil fournit **6854.51** KWh/m<sup>2</sup> .j, on assimile cette journée à 6.8 h d'un rayonnement de 1000 W/m<sup>2</sup>

Donc :  $E_{sol} = 6.8 * 1000 = 6800 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{j}$

- Après, on va calculer le courant à la puissance maximal STC du module :

$$I_m = \frac{E_n}{E_{sol} * 0.9} \quad (\text{Équation 2.5})$$

Puis, on détermine la puissance crête du générateur photovoltaïque en multipliant le courant par la tension nominale choisie (12 V dans cette étude).

lampadaire	energie de consommation Ah/j	energie solaire KWh/m2.j	les pertes (%)	courant nominal A	puissance crête Wc
cas 1 et 3	35,75	6,8	0,9	5,84	70,0980392
cas 2	71,5	6,8	0,9	11,68	140,196078

Tableau 3.3 : Calcul de puissance crête de générateur PV

➤ Choix du type de module photovoltaïque

Dans le tableau suivant, on présente les caractéristiques de quelques modules photovoltaïques existant sur le marché.

Modèle	DP100	DP150	DM100	DM150
Puissance maximale [Wc]	100	150	100	150
Type de cellule	Polycristalin		monocristalin	
Rendement %	14.28	15.30	15.43	14.28
Tension en circuit ouvert $V_{co}$ [V]	22.1	22.7	22.7	22.5
Courant de court-circuit $I_{cc}$ [A]	6.1	8.75	5.9	6.7
Dimensions (L*H*I) [mm]	1075*676*35	1482*676*35	1195*541*35	1482*676*35
Poids [Kg]	6	12.5	7.2	10.8
Prix [DZA]	12 600.00	14 700.00	13 100.00	15 750.00
Garantie	2 ans			

Tableau 3. 4 : Différents générateurs photovoltaïques existents dans le marché [3]

D'après les données présentées dans le tableau ci-dessus et l'énergie qui doit être produite par le module PV, le choix est porté sur le module DP100 car il a un courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) supérieur au courant que doit délivrer le générateur. De plus, il est le moins coûteux.

**3.6.5 Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs**

➤ Calcul de la capacité des accumulateurs nécessaires au système :

Pour calculer la capacité, on utilise l'équation suivante :

$$C_u = \frac{E_n * N_{ja}}{V_b * D_{mb}}$$

$N_{ja}$  : les nombres de jour d'autonomie (fixée selon le site d'installation, pour Adrar ce nombre est égal à 3 jours)

$V_b$  = tension nominale de la batterie

$D_{mb}$  = la profondeur de charge de la batterie.

	cas 1 et 3			cas 2		
	décharge	décharge	décharge	décharge	décharge	décharge
	0,6	0,75	0,8	0,6	0,75	0,8
énergie de consommation [wh]	429			858		
nbr des jours d'autonomé	3					
tension	12					
capacité de batterie Cu[Ah]	178,75	143,00	134,06	357,5	286,00	268,13

Tableau 3.5 : Calcul de la capacité de batterie

➤ Prospection du marché :

Modelés	SOLAR TECHNOLOGY	SOLAR TECHNOLOGIE	VICTRON
Tension nominale [V]	12		
Capacité nominale [Ah]	100	180	150
La Décharge max de la batterie	60%	60%	80%
Dure de vie (ans)	5		
Poids ±3% [Kg]	23.7	45.5	38
Dimension (x*y*z) [mm]	304*175*220	513*223*223	410*175*225
Prix (DAZ)	24 892.4	42 458.00	65 747.00

Tableau 3.6 : Les batteries existent en marché [4]

Après le calcul de la capacité nécessaire pour chacun des cas et pour différentes valeurs des profondeurs de décharges, on a choisi la batterie SOLAR TECHNOLOGY 180Ah pour les cas 1 et 3 et SOLAR TECHNOLOGY 100Ah pour le cas 2. Ces batteries sont mieux adaptées au besoin énergétique et sont les moins chère.

### 3.6.6 Dimensionnement du régulateur de charge

Au chapitre 2, on a déjà présenté les critères d'un choix adéquat du régulateur de charge. Le tableau suivant présente quelques modèles de régulateur et on va choisir selon les critères présentés.

Modèle	LS2024B	VS-BN	LS-EPLI
Tension du système [V]	12/24		
Tension du module PV Vco [V]	50		
Courant du module PV [A]	10		20
Courant de consommation [A]	48	45	9.1

Degré de protection	IP30	IP67	IP 68
Dimensions (L*l*h) [mm]	159.6x81.4x 47.8	108.5*64*25.6	107*68*20
Poids [kg]	0.25	0.33	0.25
Garantie (an)	1		
Prix (DAZ)	3 906.98	10 300.00	4 100.00

Tableau 3.7 : Modèles des régulateurs existents dans le marché international [3, 5]

D'après le tableau, il apparaît que le modèle LS2024B présente des caractéristiques recherchées avec un courant de consommation demandé supérieur. Le choix s'est porté sur ce modèle de régulateur.



Figure 3.12 : Régulateur LS2024B

### 3.6.7 Choix des poteaux

Dans tout dispositif d'éclairage public, le poteau est indispensable. En général, le choix du poteau est tributaire des aspects liés à la résistivité mécanique, fiabilité et l'esthétique.

Dans le tableau 3.8, on présente quelques poteaux qui existent sur le marché national.

Model	KADRI ZIRCON	KADRI BIANCA
Matériel de fabrication	Acier	
Hauteur (m)	2 à 4	3 à 4
Diamètre (mm)	0.9 à 1.39	
Nombre de crosse	1 ou 2	
Fixation au sol (m <sup>3</sup> )	0.012	
Coût (DAZ) (à 2 crosses)	21 800.00	35 000.00
Coût (DAZ) (à une crosse)	18 900.00	31 100.00

Tableau 3.8 : les poteaux existents en marché [6]

Puisque les caractéristiques des deux poteaux présentés sur le tableau 3.8 sont presque similaires, on choisira celui dont le coût est le plus bas.



Figure 3.13 : Poteau KADRI ZIRCON

### 3.6.8 Câblage

Le besoin en câblage varie selon les cas étudiés. Pour estimer le besoin de chaque cas, on va présenter les différents plans de câblages, les sections et les longueurs des câbles utilisés.

#### 1<sup>er</sup> cas : Lampadaire avec une seule crose

Pour ce cas, on a utilisé un panneau de 150 W<sub>c</sub> ( $V_{co}=22.7V$ ,  $I_{cc}=8.75$ ), un luminaire de puissance 30W et un régulateur de charge et une batterie. Pour le raccordement de ces éléments on doit disposer de: 9 m de câble de section 2.5 mm<sup>2</sup>, 10 m de câbles de section 4 mm<sup>2</sup>, 1 m de section 6mm<sup>2</sup>. Le plan de câblage est représenté comme suit :

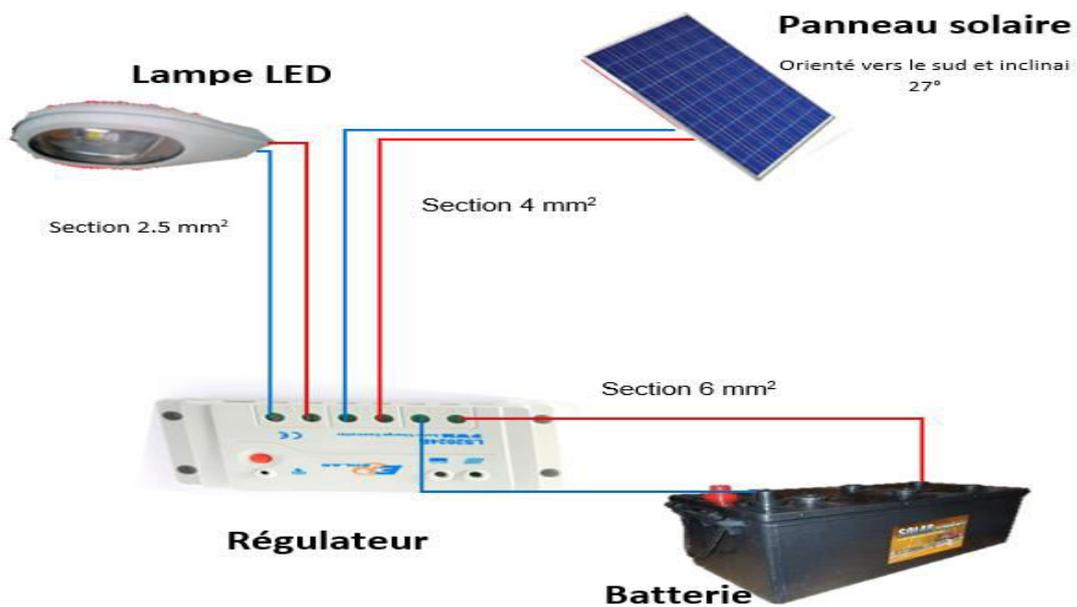


Figure 3.14 : Plan de câblage de 1<sup>er</sup> cas

#### 2<sup>ème</sup> cas : Lampadaire avec deux crosses

Pour ce cas, on a utilisé deux panneaux branchés en parallèle afin d'augmenter le courant ( $P=150 W_c$ ,  $V_{co}=22.7V$ ,  $I_{cc}=8.75$ ) et deux luminaires de puissance 30W raccordés en série, un régulateur de charge et trois batteries de 100Ah branchées en parallèle. Le raccordement de ces instruments nécessite : 10.5 m de câble section 2.5 mm<sup>2</sup> et 11 m de câbles de section 4 mm<sup>2</sup>, 1 m de section 6mm<sup>2</sup>. Le plan de câblage est représenté comme suit :



Figure 3.15 : Plan de câblage de 2<sup>ème</sup> cas

**3<sup>ème</sup> cas** : Crosse fixée au mur

Pour ce cas, on a utilisé un panneau 100 W<sub>c</sub> ( $V_{co}=22.1V$ ,  $I_{cc}=6.1$ ), un luminaire de puissance 30W et un régulateur de charge et une batterie d'accumulateur 180Ah. Le raccordement de ces instruments nécessite: 8 m de câble section 2.5 mm<sup>2</sup> (ou 16 m dans le bloc à deux étages) et 4 m de câbles de section 4 mm<sup>2</sup>, 1 m de section 6mm<sup>2</sup>. Le plan de câblage est représenté comme suit :

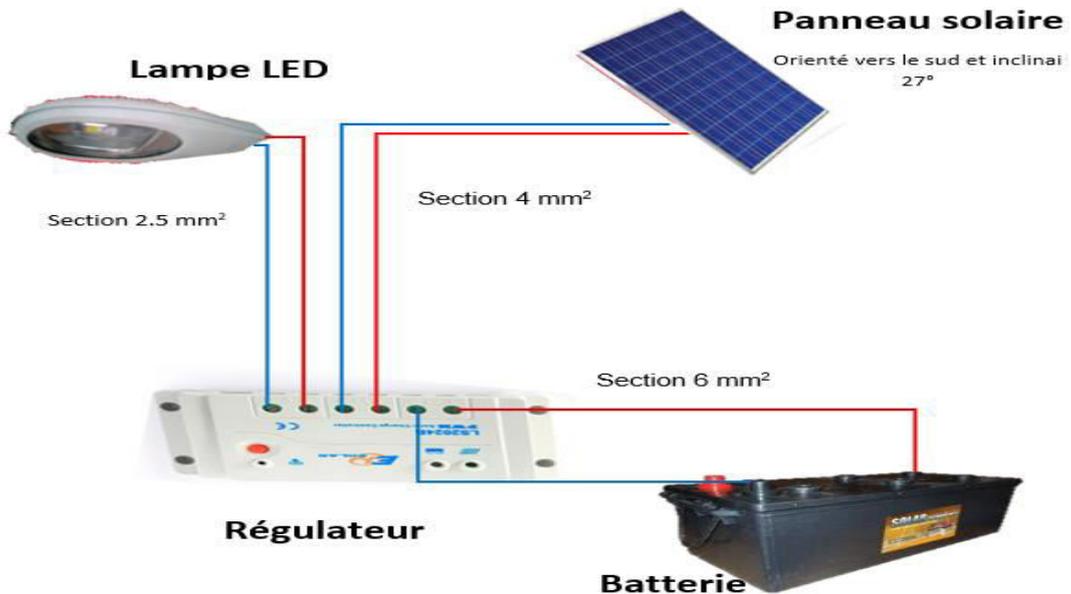


Figure 3.16 : Plan de câblage de 3<sup>ème</sup> cas

Le prix du câblage varie avec la section et la matière de fabrication. Le tableau suivant présente les différents prix.

Modèle	PV ZZ5		
Matériel de fabrication	Cuivre		
Diamètre de câble (mm <sup>2</sup> )	2.5	6	4
Résistivité	17*10 <sup>-9</sup>		
Type de câble	Souple		
Prix (DAZ/mètre)	35.00	70.00	45.00

Tableau 3.9 : Les prix des câbles d'après le marché

### 3.6.9 Autre besoin

En plus du matériel susmentionné, on aura besoin des accessoires suivants :

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Le support de panneau (DZD)	3000	4 000.00	2 500.00
Crosse (DZD)			2 000.00
Magasin de batterie d'accumulateur (DZD)	1 500.00		1 500.00
Transport (DZD)	2 000.00		900.00
Fixation de poteau et crosse (DZD)	1 500.00		600.00

Tableau 3.10 : Tableau résumé les besoins additive au matériels

### 3.7. Estimation du coût global

On va faire une estimation du prix global pour chaque cas.

1<sup>er</sup> cas :

		Prix d'unité	Quantité	Prix total
Luminaire		14 200,00 DZD	1	14 200,00 DZD
Générateur photovoltaïque		12 600,00 DZD	1	12 600,00 DZD
Batterier d'accumulation		42 458,00 DZD	1	42 458,00 DZD
Régulateur		3 906,98 DZD	1	3 906,98 DZD
Poteau avec un crosse		18 900,00 DZD	1	18 900,00 DZD
Cables (m)	2,50	35,00 DZD	9	315,00 DZD
	4,00	45,00 DZD	10	450,00 DZD
	6,00	70,00 DZD	1	70,00 DZD
Magasin de batterier		1 500,00 DZD	1	1 500,00 DZD
Support de générateur PV		3 000,00 DZD	1	3 000,00 DZD
Transport		2 000,00 DZD	1	2 000,00 DZD
Fixation de poteau		1 500,00 DZD	1	1 500,00 DZD
<b>Prix total de l'installation</b>				<b>100 899,98 DZD</b>

Tableau 3. 11 : Calcul de prix total de (1<sup>er</sup> cas)

2<sup>ème</sup> cas :

		Prix d'unité	Quantité	Prix total
Luminaire		14 200,00 DZD	2	28 400,00 DZD
générateur Photovoltaïque		12 600,00 DZD	2	25 200,00 DZD
Batterier d'accumulateur		24 892,40 DZD	3	74 677,20 DZD
Régulateur de charge		3 906,98 DZD	1	3 906,98 DZD
Poteau avec deux crosses		21 800,00 DZD	1	21 800,00 DZD
Cables (m)	2,50	35,00 DZD	10,5	367,50 DZD
	4,00	45,00 DZD	11	495,00 DZD
	6,00	70,00 DZD	1	70,00 DZD
Magazin de batterier		1 500,00 DZD	1	1 500,00 DZD
Support de générateur PV		4 000,00 DZD	1	4 000,00 DZD
Fixation de poteau		1 500,00 DZD	1	1 500,00 DZD
Transport		1 500,00 DZD	1	1 500,00 DZD
<b>Prix total de l'installation de poteau</b>				<b>163 416,68 DZD</b>

 Tableau 3.12 : Calcul de prix total de 2<sup>ème</sup> cas

 3<sup>ème</sup> cas :

		Prix d'unité	Quantité	Total
Luminaire		14 200,00 DZD	1	14 200,00 DZD
Générateur photovoltaïque		12 600,00 DZD	1	12 600,00 DZD
Batterier d'accumulateur		42 458,00 DZD	1	42 458,00 DZD
Régulateur de charge		3 906,98 DZD	1	3 906,98 DZD
Crosse		2 000,00 DZD	1	2 000,00 DZD
Cables(m)	2,50	35,00 DZD	16	560,00 DZD
	4,00	45,00 DZD	4	180,00 DZD
	6,00	70,00 DZD	1	70,00 DZD
Magazin de batterier		1 500,00 DZD	1	1 500,00 DZD
Support de panneau PV		2 500,00 DZD	1	2 500,00 DZD
Transport		900,00 DZD	1	900,00 DZD
Fixation de crosse		600,00 DZD	1	600,00 DZD
<b>Prix total de fixation de poteau</b>				<b>81 474,98 DZD</b>

 Tableau 3.13 : Calcul de prix de 3<sup>ème</sup> cas

Les prix des batteries et des régulateurs sont convertis de l'euro en dinars. Ces prix sont majorés par une taxe sur l'importation estimée à 30%.

Après l'estimation du coût pour chaque cas, on va estimer le coût global des kits d'éclairage à installer à l'intérieur de l'unité de recherche. On compte alors le nombre des lampadaires utilisés en tenant en considération chaque cas. Sur le plan de la figure 3.17, on représenté la disposition des lampadaires pour tous les cas.

Sur la figure, on a représenté les poteaux à une crosse (cas 1) en couleur rouge. Ceux à deux crosses (cas 2) sont représentés en bleu tandis qu'en jaune, on a mis les crosses fixées au mur (cas 3).



Figure 3.17 : Les points de l'éclairage de chaque cas

Puisque le diamètre maximal d'éclairage a été fixé à 25m, la distance inter-luminaire a été choisie égale à 25 m au maximum.

Les calculs ont conduit aux résultats suivants :

- 25 poteaux à une crose pour le cas 1,
- 13 poteaux à deux crosses pour le cas 2,
- 37 crosses pour le cas 3.

Les coûts estimés pour les trois cas ainsi que le coût global pour l'URERMS sont donnés au tableau 3.14.

lampadaire	le prix	nombre	prix total
cas 1	100 899,98 DZD	25	2 522 499,50 DZD
cas2	163 416,98 DZD	13	2 124 420,74 DZD
cas3	81 474,98 DZD	37	3 014 574,26 DZD
prix total de l'URERMS			7 661 494,50 DZD
prix avec TVA			9 117 178,46 DZD

Tableau 3.14 : Calcul de prix global de l'URERMS

### 3.8. Estimation de coût par énergie conventionnel

Dans cette étape, on va calculer le coût global pour un nombre équivalent de kits solaires sauf que la source d'énergie est une source conventionnelle (SDC: Société Algérienne de distribution de l'Electricité et du Gaz). Dans ce cas, le même type de poteaux sera utilisé mais les lampes LED seront remplacées par d'autres de même type mais fonctionnant en courant alternatif. Ces lampes ont une durée de vie de 30000 heures.

Le tableau suivant résume tous les besoins et les coûts de l'installation.

		Prix unitaire	Quantité	Prix total
Lampadaire (4m)	avec un crosse	18 900,00 DZD	25	472 500,00 DZD
	avec deux crosses	21 800,00 DZD	13	283 400,00 DZD
	crosse	2 000,00 DZD	37	74 000,00 DZD
Luminaire (LED 30w/220vac)		10 000,00 DZD	88	880 000,00 DZD
Les cables (m)	4*16	1 400,00 DZD	3000	4 200 000,00 DZD
	2*2,5	80,00 DZD	1000	80 000,00 DZD
Armoire de comande		800 000,00 DZD	1	800 000,00 DZD
Accessoires		30 000,00 DZD	1	30 000,00 DZD
Transport	locale	10 000,00 DZD	1	10 000,00 DZD
	national	2 000,00 DZD	38	76 000,00 DZD
Fixation	poteaux	7 000,00 DZD	38	266 000,00 DZD
	crosse	3 000,00 DZD	37	111 000,00 DZD
<b>Pix total de l'URERMS</b>				<b>7 282 900,00 DZD</b>
prix avec TVA				8 666 651,00 DZD

Tableau 3.15 : Calcul d'investissement par éclairage conventionnel

Après le calcul, on a effectué une comparaison entre les coûts globaux pour les deux sources (solaire et conventionnelle). On a constaté que les dispositifs avec la source conventionnelle reviennent moins chers que ceux avec la source solaire.

### 3.9. Comparaison entre les coûts globaux

En supposant que, dans l'URER/MS, les lampes de 30 W fonctionnent 14 heures par jour, on peut déduire que la consommation annuelle est 13490.4 kWh. Selon la société Sonelgaz, le prix d'un kilowattheure est de 6.19DA toutes taxes comprises. La production de chaque kilowattheure de l'électricité par l'énergie conventionnelle émet 883 g de CO<sub>2</sub> [7]. Le tableau suivant résume les dépenses de chaque source d'énergie pendant cinq ans d'opération (tableau 3.16).

	Energie solaire	Energie conventionnel
Investissement initial (DZD)	9 117 173.81	8 666 651.00
Consommation durant les trois premières années (kWh)	44 518.32	74 197.2
Facteur de consommation (DZD)	0	459 280.2
Production de CO <sub>2</sub>	0	65 516 127.6
Coût de trois ans (DZD)	9 117 173.81	9 171 859.73

Tableau 3.16 : Tableau résume la comparaison

Donc l'investissement en énergie solaire n'exige pas un grand temps pour être récupéré ; le temps d'amortissement est moins de cinq ans, sans oublier que la source solaire est avantageuse car c'est une source inépuisable, gratuite et non polluante (protection de l'environnement, zéro émission de CO<sub>2</sub>). Par contre l'énergie conventionnelle est polluante et nécessite un facteur d'électricité chaque année. En outre, la maintenance dans les installations d'éclairage public conventionnel augment ses dépenses. Par exemple, la durée de vie des lampes LED diminue par 20 000 heures quand il fonctionne en courant alternatif.

### 3.10. Surveillance des systèmes installés

Pendant cette étude effectuée à l'URERMS, on a constaté que quelques kits ont été déjà installés depuis l'année 2011. Ces kits utilisent des lampes fluorescentes qui fonctionnent à l'énergie solaire. En 2018, quelques lampes fluorescentes ont été remplacées par des lampes LED à courant continu. La disposition de ces kits est détaillée sur la figure suivante



Figure 3.18: Distribution des systèmes existents en l'URERMS

- En bleu : les kits solaires avec lampes fluorescentes.
- En rouge : les kits solaires avec lampes LED.

Les caractéristiques de ces systèmes sont :

➤ **Les systèmes avec lampes fluorescentes :**

Ces kits solaires utilisent des lampes qui fonctionnent pendant 12 heures par jour. Composée de deux modules photovoltaïques de 50 Wc raccordés en parallèle et une lampe fluorescent de 30W d'une durée de vie de 8 000 h, une batterie de 100 Ah, cette capacité est calculé pour une autonomie de trois jours, et une régulateur MPPT (Stica). Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces kits.

Matériel	Les caractéristiques	
Lampe fluorescent (phocos)	Durée de vie (h)	8000
	Tension (V)	12
	Puissance (W)	30
Panneau	Puissance (W)	50
	Tension $V_{co}$ (V)	22.2
	Courant $I_{cc}$ (A)	3.08
Batterie étanche	Tension nominal(V)	12
	Capacité (Ah)	100

Tableau 3.17 : les caractéristiques des systèmes en lampes fluorescent

On a fait un dimensionnement de ce système avec la méthode simplifiée, pour estimer s'il est bien dimensionné ou non. Les résultats obtenus sont :

- Consommation : 396 Wh ou 33 Ah
- Courant de panneau : 6.06 A
- Puissance de panneau : 72.79 W
- Capacité de batterie : 112.5 Ah

Le courant des panneaux (deux en parallèle 6.16A) est suffisant pour alimenter les lampes, mais la capacité des batteries est inférieure à la valeur théorique estimée et assure une autonomie de deux jours seulement. Donc, on peut dire que le système est sous-dimensionné.

Durant l'année 2017, les batteries de kits d'éclairage photovoltaïques, installés à l'URER/MS, ont été remplacées en 2017 par de nouvelles batteries. Il est à noter que ces systèmes sont restés hors de fonctionnement à cause des lampes défectueuses.

#### ➤ **Système avec LED**

Ces kits solaires utilisent des lampes qui fonctionnent pendant 12 heures par jour. Ils sont composée par un panneau 150 Wc et une lampe LED de 25W de durée de vie 50 000 h, une batterie de 100/105 Ah, cette capacité est calculé pour une autonomie de trois jours, et une régulateur MPPT (Stica). Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces systèmes.

Matériel	Les caractéristiques	
	Lampe LED	Durée de vie (h)
Tension (V)		12
Puissance (W)		25
Panneau	Puissance (W)	150
	Tension $V_{co}$ (V)	22.5
	Courant $I_{cc}$ (A)	8.81
Batterie étanche	Tension nominal(V)	12
	Capacité (Ah)	105/100

Tableau 3.18 : Les caractéristiques des systèmes en lampes LED

On a fait un dimensionnement de ce système avec la méthode simplifiée. Pour estimer s'il est bien dimensionné ou non. Les résultats obtenus sont :

- Consommation : 330 Wh ou 27.5 Ah
- Courant de panneau : 5.05 A
- Puissance de panneau : 60.66 W
- Capacité de batterie : 93.75 Ah

On peut déduire que ces systèmes sont surdimensionnés car la valeur du courant ( $I_{cc}$ ) du panneau de 150Wc est plus grande à celle désirée. Il suffit d'utiliser un panneau de 100Wc ( $I_{cc}=6.01$  A : tableau III.1).

Pour étudier le fonctionnement de ces systèmes, on a effectué le suivi de dix exemples des cas installés. On a, alors, mesuré les tensions aux bornes des batteries trois fois par jour (8h:30, 11h 30, 15h45) pendant 8 jours.

Les systèmes choisis sont orientés vers le sud avec une inclinaison de 27 degrés. De plus, ces systèmes ont été installés dans des points exempts d'ombrage. Les cas 1, 2 et 3 sont des poteaux à une crose d'une hauteur de 4m, mais les autres cas sont des crosses fixées au mur (toit du bloc administratif).

➤ **Les valeurs des trois premiers jours :**

Pendant les trois premiers jours (8, 9, 10 mai 2018), le ciel était clair et la température a varié entre 20°C le matin et 36°C après-midi. Le tableau suivant indique les valeurs mesurées des tensions des batteries en voltes.

Les cas	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6	Cas 7	Cas 8	Cas 9	Cas10
Jour 1	16.02	12.93	13.91	12.41	14.10	12.55	12.35	12.97	13.01	12.90
	15.5	13.07	13.01	13.29	14.30	12.75	12.37	13.01	14.01	13.08
Jour 2	15.79	12.70	13.15	13.24	13.08	12.54	11.85	12.84	13.39	13.07
	15.72	13.37	13.96	14.15	13.92	12.55	11.87	12.84	13.40	14.13
	15.64	12.74	13.11	13.27	13.13	12.57	11.87	12.85	13.20	13.22
Jour 3	15.02	13.08	13.36	13.16	12.54	12.47	12.31	12.82	13.19	13.16
	14.07	13.34	13.89	14.09	14.10	12.55	12.01	12.83	13.97	14.13
	15.86	12.81	13.10	13.24	13.26	12.57	11.99	12.84	13.10	13.27

Tableau 3.19 : Les valeurs des tensions aux bornes des batteries (les trois premiers jours)

On a remarqué que :

À 8h 30min : les valeurs mesurées sont presque au maximum. On a conclu que ces résultats sont dus :

- soit à un surdimensionnement des panneaux.
- soit la lampe n'a pas fonctionné ou a fonctionné durant une courte durée

À 11h 30 min : les tensions des batteries atteignent des valeurs maximales puisque c'est l'heure où l'éclairement atteint un seuil avoisinant  $1000W/m^2$ . Après que les batteries soient bien chargées, le régulateur coupe la charge. Le panneau est hors de fonctionnement dans le temps d'insolation restant, ce qui montre qu'il y a une perte d'énergie.

À 15h 45min : les tensions des batteries diminuent légèrement par rapport aux tensions mesurées à 11h 30min, c'est le résultat de l'élévation de la température à ce temps environ  $35^{\circ}C$ , à ce seuil de température les batteries étanches perdent un peu de leurs charges [3].

Dans ce premier cas, on a trouvé que la tension de la batterie est toujours au maximum. Chose qui prouve la nécessité de vérifier le fonctionnement de la lampe.

#### ➤ Les valeurs des trois jours suivant

Pendant ces jours (13, 14, 15 mai 2018) le ciel est clair et la température a varié entre  $24^{\circ}C$  le matin et  $41^{\circ}C$  après-midi.

Pour vérifier les deux propositions déjà citées, on a effectué des ombrages sur les modules photovoltaïques pour les deux cas. Pour le système du dixième cas, on a utilisé un vaste ombrage du module photovoltaïque. Pour le septième cas, l'ombrage est mince.

Pour le dixième cas, on a mesuré la tension la batterie après avoir laissé le module photovoltaïque ombré pendant deux jours (week-end). Pour ce qui est du septième cas, le panneau photovoltaïque demeura ombré durant un jour seulement (4<sup>ème</sup> jour le matin), puis on a mesuré la tension de la batterie.

Le tableau suivant représente les valeurs des tensions des batteries en volte mesurées dans ces jours.

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6	Cas 7	Cas 8	Cas 9	Cas 10
Jour 4	13.21	12.76	13.14	13.34	13.11	12.54	11.94	12.79	13.07	11.90
		13.32	13.72	13.94	13.88	12.54	11.95	12.80	13.89	11.92
		12.78	13.01	13.14	13.00	12.56	11.96	12.81	12.98	11.94
Jour 5		12.68	13.06	13.15	12.54	12.54	12.09	12.97	13.01	11.95
		13.30	13.69	13.90	13.80	12.54	12.50	13.01	13.89	11.96
		12.77	12.99	13.12	12.97	12.56	12.47	12.80	12.90	11.96
Jour 6		12.86	13.06	13.34	12.57	13.53	12.08	12.78	12.94	11.95
		13.32	13.70	13.92	13.80	13.55	12.12	12.89	13.80	11.96
		12.78	12.95	13.17	12.95	12.55	12.09	12.78	13.03	12.76

Tableau 3.20 : les valeurs des tensions des batteries mesurées pendant les jours centraux

Après les valeurs des tensions des batteries mesurées, on remarque que :

Pour les cas dont les modules n'ont pas subit d'ombrage, on a constaté que malgré l'augmentation des écarts des températures, les valeurs des tensions mesurées étaient presque les mêmes.

Pour le septième cas, on a constaté une diminution de la tension de la batterie, donc la batterie ne s'est pas chargée. On peut déduire que la lampe a fonctionné durant une courte durée.

Pour le dixième cas : quoi que l'ombrage du panneau photovoltaïque ne permette pas le passage de l'éclairement la tension de la batterie est resté au même niveau pendant les trois jours. On imputer cela à un surdimensionnement du module photovoltaïque qui responsable de la charge la batterie malgré l'ombrage.

Les deux propositions sont vérifiées, donc, la lampe a fonctionné durant une courte durée. et les panneaux sont surdimensionnés. Ce qui donne une tendance à une perte d'énergie.

➤ **Les valeurs des deux derniers jours :**

Pendant le septième jour (16 mai), le ciel était partiellement couvert, et la température a varié entre 23°C le matin à 38°C l'après-midi. Le 8<sup>ème</sup> jour, le ciel était nuageux le matin et mis nuageux après-midi, et la température a varié entre 19°C et 36°C.

Le tableau suivant résume les valeurs des tensions des batteries en volte mesurées.

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6	Cas 7	Cas 8	Cas 9	Cas 10
Jour 7		12.61	13.04	13.36	12.57	12.52	11.99	12.77	12.62	12.46
		13.16	13.75	13.98	13.47	12.53	12.00	12.77	13.87	12.95
		13.08	14.15	13.45	12.93	12.54	12.00	12.78	13.33	13.15
Jour 8		12.57	12.82	13.12	12.87	12.53	11.86	12.77	12.84	12.70
		12.90	13.14	13.45	12.87	12.53	11.86	12.77	13.10	13.03
		13.36	14.01	14.18	12.87	12.53	11.86	12.77	14.10	14.06

Tableau 3.21 : les valeurs de tensions des batteries mesurées des deux derniers jours

Pour le septième jour, on remarque que plusieurs tensions n'ont pas diminué l'après-midi, puisque la température à 11h 30min est plus de 35°C.

Pour le huitième jour, il y a des cas qui ont gardé les mêmes valeurs des tensions, d'autres pas c'est-à-dire qu'ils sont chargés. Car le ciel était mis nuageux.

Remarque :

Bien que les batteries étaient installées dans les mêmes conditions, on a constaté une différence entre leurs tensions ; à cause de différents facteurs, entre autres, la saleté des surfaces avant des panneaux et une défaillance du régulateur de chargé.

De plus, ces mesures ont été effectuées au mois de mai, où l'éclairement est plus important que celui du mois de décembre.

### 3.11. Conclusion

Le dimensionnement des kits solaire pour l'éclairage public au niveau de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URERMS), a résulté un coût d'investissement très lourd. Mais la comparaison entre les deux investissements (soit par kit solaire ou soit par système d'éclairage conventionnel), a montré que cet investissement lourd ne nécessite une longue durée de fonctionnement pour être récupéré. En outre, l'éclairage solaire est exempt de l'émission des gaz à effet de serre.

La surveillance de quelques systèmes installés, par la mesure des tensions aux bornes des batteries, a permis de faire un diagnostic de certains problèmes qui empêchent un fonctionnement normal des kits solaires pour l'éclairage public tels que les ombrages, la température et le stockage. Ce dernier présente un défi majeur rencontré dans les systèmes photovoltaïques autonomes et particulièrement la durée de vie et le coût de batterie. En plus, la batterie est un élément sensible à la température.

## Conclusion générale

Un système photovoltaïque autonome est un système électrique destiné à effectuer une tâche bien déterminée en utilisant l'énergie solaire comme source primaire. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires ; les batteries qui constituent le champ de stockage, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge ainsi, il règle la valeur de la tension nominale ; le câblage qui relie les différents composants du système entre eux.

Dans ce travail, on a passé en revue quelques méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome. La méthode de dimensionnement simplifiée a été détaillée et utilisée en se basant sur le mois le plus défavorable afin de déterminer les caractéristiques d'un système PV d'éclairage public. Pour ce faire, on a choisi l'Unité de Recherche en Energie Renouvelable en milieu saharien comme cas d'étude.

L'application de la méthode de dimensionnement simplifié au cas choisi pour cette étude a résulté d'utiliser 75 kits pour l'éclairage extérieur de l'enceinte de l'URER/MS dont :

- 25 poteaux avec une lampe,
- 13 poteaux avec deux lampes,
- 37 crosses fixées au mur.

Tous ces kits sont formés de modules individuels d'une puissance de 100 watts crête chacun et destiné à l'alimentation des lampes LED de 30 W. on a opté à l'utilisation d'un panneau pour les kits qui ont une lampe ; et deux panneaux raccordés en parallèle pour les kits qui ont deux lampes.

Puisque le kit d'éclairage fonctionne pendant la nuit, il est nécessaire de disposer d'un système de stockage d'énergie. On a choisi, alors, des batteries d'accumulateurs électrochimiques pour chaque kit. Une batterie de capacités de 180 Ah pour les kits à une lampe et trois batteries de 100 Ah pour ceux à deux lampes. La tension nominale des kits est 12 V et l'autonomie est de 3 jours. Un régulateur de charge est utilisé dans chaque kit.

Le coût de l'investissement initial dans les systèmes d'éclairage solaire autonome a été estimé à plus de 9 millions de dinars algériens. Celui du générateur électrique est environ 8,50 millions de dinars algériens. Cependant, le choix du kit solaire s'avère économique à moyen terme (moins de cinq ans) car les frais d'entretien sont faibles. Sans oublier que les kits solaires favorisent la protection de l'environnement (énergie propre).

La dernière tâche effectuée dans cette étude consiste en un suivi du fonctionnement de plusieurs systèmes déjà installés à l'URER/MS. À cause du facteur temps, on a effectué le suivi

de 10 systèmes seulement des 67 systèmes installés. Ces 10 systèmes utilisent des lampes LED. Ce suivi a permis de faire un diagnostic et une analyse de quelques problèmes rencontrés tels que le surdimensionnement, la sensibilité de la production à l'éclairage et à la température.

Il faut souligner un problème majeur rencontré ; c'est la durée de vie des batteries surtout dans les régions chaudes. Sans oublier, à un degré moindre le problème d'une éventuelle dégradation des modules photovoltaïques.

Comme perspective, il est important de projeter d'appliquer les méthodes numériques pour le dimensionnement ainsi que le monitoring des kits d'éclairage pour une longue durée de fonctionnement afin d'analyser le fonctionnement de tous les éléments du système (générateur PV, batteries,...).

## Bibliographies de l'introduction

- [1] SDC : Société Algérienne de distribution de l'Electricité et du Gaz-ADRAR-. «Sonalgaz».
- [2] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES A CONAKRY ET DANS HUIT (8) AUTRES VILLES EN REPUBLIQUE DE GUINEE,» SOCIETE AFRICAINE DES BIOCARBURANTS ET DES ENERGIES RENOUVELABLES (SABER), AFRICAN BIOFUEL AND RENEWABLE ENERGY COMPANY (ABREC), Africa, 2011.
- [3] S. MANSOUR, «Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé,» MEMOIRE de Master, université Abou Baker Belkaid- TLEMEN, 2014.

## Bibliographie de chapitre 1

- [1] K. LARBI et A. M'KHADMI, «utilisation de photovoltaïque en éclairage public,» mémoire MASTER, Université d'ADRAR, 2014.
- [2] G. GUIE BI, «ECONOMIE D'ENERGIE ET ECLAIRAGE PUBLIC DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU,» mémoire master, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2010.
- [3] F. James , C. Christoph et H. Gordon, «The Time Is Right for Connected Public Lighting Within Smart Cities,». article de journal, *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, p. 8, octobre 2012.
- [4] «éclairage public,» wikipédia, 7 mars 2018. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89clairage\\_public](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89clairage_public). [Accès le mars 2018].
- [5] «HISTOIRE DE L'ECLAIRAGE». disponible.  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjww4C\\_ocrbAhWHvhQKHcQXCycQFgiPATAI&url=http%3A%2F%2Fekladata.com%2FDZ7ui60SGCVTQ7OV5FWkLzdLZ\\_c%2Fhistoire-de-l-eclairage.pdf&usg=AOvVaw2rwok451N64Y-avPgTok2i](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjww4C_ocrbAhWHvhQKHcQXCycQFgiPATAI&url=http%3A%2F%2Fekladata.com%2FDZ7ui60SGCVTQ7OV5FWkLzdLZ_c%2Fhistoire-de-l-eclairage.pdf&usg=AOvVaw2rwok451N64Y-avPgTok2i)
- [6] I. Massol, «histoire de l'éclairage,». Article de journal, *joomlaArt*, 16 february 2007.
- [7] A. Vautherot, «l'éclairage: histoire et évolution,». Article, GRALON. 30 mai 2011. Disponible : <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-l-eclairage---histoire-et-evolutions-1752.htm>. [Accès le 08 03 2018].
- [8] «/SOURCE ET LAMPE les lampes,» 04 \10\2004\_20 \08\2017. Disponible : [www.leclairage.fr/led/](http://www.leclairage.fr/led/). [Accès le 2018 03 12].
- [9] J. Jean, "*Reseaux d'éclairage public*", mémoire Master: formation à distance MIGIES, 2010.
- [10] B. ZERGUINE, «modélisation d'un système de production électrique par cellule photovoltaïque,» mémoire master, université ANNABA, 2010.
- [11] F. SANDRA, "*Eclairage urbain*", ENSAG M1CV2.
- [12] L. Cholé, «guide technique et réglementaire sur l'éclairage extérieur».
- [13] «Guide des Prescriptions Environnementales,» Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes, 2016.
- [14] Y. AIT BEN ADDI et H. AMHID, «éclairage photovoltaïque,» dans le cadre de projet professionnel, faculté polydisciplinaire OUARZAZATE, 2013.
- [15] «LED-expliquée simplement,» myclimate, suisse, 2015.

## Bibliographie

---

- [16] Lexies, «guide pratique de l'éclairage public,» l'association des petites villes de France, France, 2014.
- [17] «manuel technique de l'éclairage,» Agence nationale pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique .
- [18] CETE, «formation "éclairage public",» DIR centre Est, France, 2007.
- [19] S. BRICOLEUR, «Guide de Comment choisir ses fils et câbles électriques,» Mano Mano, Puy-de-Dôme, 2017.
- [20] M. Hankins, "installations solaire photovoltaïque autonomes (conception et installation d'unités non raccordées au réseau)", 11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff, France: LEMONITEUR , 2012,.
- [21] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'ÉCLAIRAGE PUBLIC PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES A CONAKRY ET DANS HUIT (8) AUTRES VILLES EN REPUBLIQUE DE GUINEE,» SOCIETE AFRICAINE DES BIOCARBURANTS ET DES ENERGIES RENOUVELABLES (SABER), AFRICAN BIOFUEL AND RENEWABLE ENERGY COMPANY (ABREC), Africa, 2011.
- [22] «Renewables 2017 Global Status Report,» rapport de REN21, 2017. Disponible : [http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter\\_01/chapter\\_01/](http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter_01/chapter_01/). [Accès le 10 mars 2018].
- [23] A. LABOURET et M. VILLOZ, "énergie solaire photovoltaïque", Paris: LEMONITEUR, 2006.
- [24] P. HOUEE, «une installation photovoltaïque en site isolé,», article, *forum des technologies*, p. 32, octobre-novembre 2011.
- [25] J.-I. PRENSIER et C. LUSSEAU, «Annexe : Principe de fonctionnement et constituants d'une batterie (Les vélos à assistance électrique au pédalage),» C A C H A N, 01 /01 /2004.
- [26] L. THIBAUT, «Caractéristiques d'une batterie au plomb,» article 09 2011. Disponible : <http://energie-developpement.blogspot.com/2011/09/caracteristiques-dune-batterie-au-plomb.html>. [Accès le 11\03\2018\19 :57].
- [27] Franck, « le choix d'une batterie solaire,» *Responsable de la SARL Ampoule-leds France*, 2006\_2018.
- [28] R. Christian, «Cahier TECHNIQUE ASSOCIATION FRANÇAISE DE L'ÉCLAIRAGE,» Amiral Hamelin,, 17, rue de l'Amiral Hamelin, 75783 Paris , 16, 09\_10\_2007.

- [1] M. LOKANADHAM et R. BOGGALA , «OPTIMAL SIZING OF STAND ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A REVIEW,» *International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)*, n° %1ISSN: 2455-4847.
- [2] J. C. C. H. F, «The Time Is Right for Connected Public Lighting Within Smart Cities,» *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, p. 8, octobre 2012.
- [3] T. KHATIB, «A Review of Designing, Installing and Evaluating Standalone photovoltaic power systems,» *Journal of Applied Sciences*, n° %1ISSN 1812-5654, 2010.
- [4] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'ÉCLAIRAGE PUBLIC PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES A CONAKRY ET DANS HUIT (8) AUTRES VILLES EN REPUBLIQUE DE GUINEE,» SOCIETE AFRICAINE DES

- BIOCARBURANTS ET DES ENERGIES RENOUVELABLES (SABER), AFRICAN BIOFUEL AND RENEWABLE ENERGY COMPANY (ABREC), Africa, 2011.
- [5] A. LABOURET et M. VILLOZ, energie solaire photovoltaïque, paris: LEMONITEUR, 2006.
- [6] A. BALOUKTSIS, T. KARAPANTSIOS, D. PASCHALLOUDIS, A. ANTONIADIS, A. BEZERGIANNIDOU et N. BILALIS, «Sizing Stand-Alone Photovoltaic Systems,» *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, vol. 2006, n° %1ID 73650, pp. 1-8, 2006.
- [7] M. Sidrach-de-Cardona et L. Mora Lo´pez, «A simple model for sizing stand alone photovoltaic systems,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, n° %10927-0248/98/\$ , pp. 199-215, 1998.
- [8] G. GUIE BI, «ECONOMIE D'ENERGIE ET ECLAIRAGE PUBLIC DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU,» mémoire master, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2010.
- [9] M. HANKINS, installation solaires photovoltaïques autonomes (coception et installation d'unités non raccordées au réseau), france: DUNOD, 2012.
- [10] S. MERAD , «Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque d'un lieu peu fréquenté :Cas d'un Cabanon Situé à Marsat Ben M'Hidi (TLEMCEN),» L'UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, MASTER LMD, 2010.
- [11] blogger, *guide photovoltaïque, l'information photovoltaïque*, france: Aideau, 2013.
- [12] D. BLANCHON, *fabricant de mats d'éclairage public*, france: DESCHAMPS (MATS COMPOSITE), 2002.
- [13] CETE, «formation "éclairage public",» DIR centre Est, france, 2007.
- [14] Mnuual technique de l'éclairage, Maroc: Agence nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et l'Efficacité Energétique.
- [15] guide photovoltaïque , 2012. [En ligne]. Available: [http://www.photovoltaïque.guidenr.fr/III\\_effet\\_inclinaison\\_module\\_photovoltaïque.php](http://www.photovoltaïque.guidenr.fr/III_effet_inclinaison_module_photovoltaïque.php). [Accès le 23 5 2018].

### Bibliographie de chapitre 3

- [1] « direction de commerce de la willaya, d'Adrar» présentation de la wilaya, 2013. Disponible : [http://www.dcwadrar.dz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=157&Itemid=467&limitstart=2](http://www.dcwadrar.dz/index.php?option=com_content&view=article&id=157&Itemid=467&limitstart=2). [Accès le 17 5 22018].
- [2] «Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER.MS) ADRAR,». Disponible : <http://urerm.s.cder.dz/fr/>.
- [3] «DIMEL solaire, entreprise engagée dans le domaine de l'énergie solaire en terme d'études, de fourniture et d'installation. » Available : [www.Dimel-dz.com](http://www.Dimel-dz.com).

- [4] Site Internet de vente des batteries solaires édité par la société ALTERBATT SARL. Disponible : <http://www.batterie-solaire.com/batterie-a-decharge-lente-12-v-180-ah-solar-technology-c2x8045981>. [Accès le 26 5 2018].
- [5] Site internet de vente des régulateurs. Disponible : <https://www.ecolodis-solaire.com/regulateur-solaire-pwm-epsolar-162/regulateur-solaire-ls2024b-20a-12v-24v-ep-solar-2409>. [Accès le 20 5 2018].
- [6] «groupe KADRI» groupe de fabrication des poteaux pour l'éclairage. Alger.
- [7] K. LARBI et A. M'KHADMI, «utilisation de photovoltaïque en éclairage public,» mémoire MASTER, Université d'ADRAR, 2014.
- [8] «Apprenez à choisir le type de batteries solaires en fonction de votre utilisation,» SOLARMAD, 2008. Available : [http://www.solarmad-nrj.com/batteries\\_solaire\\_etanche\\_ou\\_ouverte.html](http://www.solarmad-nrj.com/batteries_solaire_etanche_ou_ouverte.html). [Accès le 17 5 2018].