



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



Université Saâd Dahlab, Blida-1  
Faculté de Technologie  
Département des Énergies Renouvelables

Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Energies Renouvelables  
OPTION : Conversion Photovoltaïque

## *Thème*

*Eclairage publique solaire*

Présenté par : - Elmakhsouss Ahmed  
-Ikfaouine Abdelhamid

Soutenu devant le jury composé de :

Mr Doumaz Toufik	USDB	Président
Mr Benahmed Abdelmoumene	USDB	Encadreur
Mr Bouzaki Mohammed Moustaf	USDB	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

# REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, nous remercions Dieu le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toute la Période consacré à la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à notre encadreur, Monsieur Benahmed Abdelmoumene Enseignant à l'université SAAD DAHLEB de blida1, pour avoir accepté d'encadrer et de diriger ce travail, Nous le remercions aussi pour ses précieux conseils qui nous ont permis une progression concrète dans ce projet, son aide et sa grande patience*

*Nos sincères remerciements vont aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour l'honneur qu'ils nous font de bien vouloir le juger.*

*Tous mes hommages, à nos amis qui ont été la source d'espoir Aux moments Difficiles,*

*Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à la Réalisation de ce travail, de loin ou de près et tout au long de notre parcours Universitaire Nous tenons aussi à remercier tous nos collègues pour leur aide matériel et leur soutien moral durant notre formation*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A l'esprit de mon père et à la  
pureté de ma chère mère que Dieu la protège et bénisse son âge*

*A mes chères frères : Abderrahmane, Saleh, Messoud et Labri*

*A mes chères sœurs*

*A Toute ma famille*

*A tous mes enseignants chacun par son nom*

*A tous mes amis et mes collègues*

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

**Ahmed Elmakhsous**

# Résumé

L'éclairage public photovoltaïque est l'un des moyens d'obtenir un éclairage à partir d'une source propre et durable.

Dans ce travail nous avons fait un résumé sur les notions les plus utilisées dans l'étude des systèmes d'éclairages publics. nous avons également présenté une étude détaillée sur les différentes étapes de dimensionnement de système d'éclairage solaire, ainsi que les critères de choix de ses composants à partir de la lampe jusqu'à la batterie solaire.

**Mots clé:** dimensionnement, éclairage public, photovoltaïque, batterie solaire

## Abstract :

Photovoltaic street lighting is one way to get lighting from a clean and sustainable source.

In this work we have made a summary about the most concepts used in the study of public lighting systems, we have also presented a detailed study about the different steps of sizing of a solar lighting system, as well as the selection criteria of its components from the lamp to the solar battery.

**Keywords:** sizing, outdoor lighting, photovoltaic, solar battery

## ملخص :

تعد إضاءة الشوارع باستخدام الطاقة الشمسية وسيلة من وسائل الحصول على الإنارة من مصدر نظيف و مستدام للطاقة. في هذا البحث قمنا بعمل ملخص عن أهم المفاهيم المستعملة في دراسة أنظمة الإنارة العمومية، كما تم التطرق إلى أهم مكونات نظام كهر وضوئي مستقل للإنارة العمومية، كما قدمنا دراسة مفصلة عن مراحل تصميم هذا النظام وأسس إختيار مكوناته بدءا بالمصباح وصولا إلى البطارية.

كلمات مفتاحية : حساب أبعاد، الإنارة العمومية، كهر وضوئي، بطارية شمسية.

## Liste des abréviations

Indice	Mot clé	Unité
PV	Photovoltaïque	
MPPT	Maximum power point tracking	
Pc	La puissance crête	[W]
Pmpp	Puissance au point de puissance maximale	W
Icc	Courant de court circuit	A
Voc	Tension de circuit ouvert	V
Vbatt	tension de batterie	V
Ibatt	courant de batterie	A
$\eta$ batt	Rendement de la batterie	
T	Temps de décharge de la batterie	H
Bj	Besoin journalier	Wh/j
Ne	Ne : nombre d'heure d'équivalent	H
DC	Direct Current (courant continu (CC)).	
AC	Alternatif Current (Courant Alternatif (CA)	
Ec	Energie consommé	W
S	Section des câbles	(mm <sup>2</sup> )
DOD	max Le niveau de décharge	
C(Ah)	La capacité du stockage	Ah
E	chute de tension	(%)
Ni-Cd	Nickel-Cadmium	
Ni-MH	Nickel-Metal-Hydride	
MPP	Maximum Power point	
SHP	Lampe au sodium haute pression	
LED	Light Emitting Diode	
IRC	Indice de re ndude couleur	
STC	standard test condition	

# Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description sur l'éclairage public solaire	
I.1. Introduction .....	3
I.2 .Eclairage public .....	3
I.2.1 But de l'éclairage public .....	4
I.3 Histoire de l'éclairage public : .....	4
I.4 Grandeurs photométriques : .....	5
I.4.1 La lumière : .....	5
I.4.2 Le flux lumineux : .....	5
I.4.3 L'efficacité lumineuse .....	6
I.4.4 L'intensité lumineuse : .....	6
I.4.5 L'éclairement .....	6
I.4.6 La luminance : .....	6
I.4.7 L'éblouissement : .....	7
I.4.9 Le diagramme photométrique : .....	7
I.5. Moyens d'éclairage public classique : .....	8
I.5.1 Les lampes : .....	8
I.5.1.1.Les lampes à incandescence : .....	8
I.5.1.2.Les lampes luminescence : .....	10
I.5.2. Le lampadaire : .....	15
I.5.2.1. Le mât (support) : .....	15

I.5.2.2. Le luminaire :.....	15
I.5.3.Types d’implantation des lampadaires : .....	16
I.6. Gestion et Commande d’éclairage public : .....	18
I.6.1. Interrupteurs à tension de secteur.....	18
I.6.2.Interrupteurs à basse tension :.....	18
I.6.3.Horloges.....	18
I.6.4 Cellule photoélectrique :.....	19
I.6.5. Détecteurs de présence : .....	19
I.6.6. Réducteurs de puissance :.....	19
I.7. Normes mondiales .....	19
I.8.Conclusion :.....	20

## Chapitre II

II.1 Introduction.....	22
II.2. Système d’éclairage public photovoltaïque autonome : .....	22
II.2.1.description de système : .....	22
II .2.2.Principe de fonctionnement : .....	22
II .2.3. Les différents composants du système d’éclairage solaire photovoltaïque :.....	23
II.3.La description détaillée de chaque composant du système d’éclairage solaire	24
II.3.1.Le module photovoltaïque :.....	24
II.3.1.1. Les différents types des cellules solaires : .....	25
II.3.1.2.Comparaison des différentes technologies de la cellule .....	27
II.3.1.3. Caractéristiques d’un module :.....	28
II.3.1.4. Facteurs limitatifs du rendement : .....	28
II.3.1.4.1. Influence de l’éclairement : .....	28
II.3.1.4.2. Influence de la température : .....	29
II.3.2. Le batteries : .....	31

II.3.2.1 Les caractéristiques d'une batterie : [7] .....	31
II.3.2. Les différents types de batteries solaires : .....	33
II.3.3. Le Régulateur : .....	34
II.3.3.1 Principe de fonctionnement des régulateurs : .....	34
II.3.3.2. Différents types de régulateurs : .....	35
II.3.4. les câbles .....	37
II.4. Avantages et inconvénients de l'éclairage solaire PV : .....	37
II.5. Conclusion : .....	38

### Chapitre III

III.1. Introduction .....	40
III.2. le but du dimensionnement .....	40
III.3. Choix des méthodes de dimensionnement .....	40
III.3.2. Méthode de la moyenne annuelle .....	41
III.3.3 .Méthode de probabilité d'erreur sur la charge .....	41
III.4. Les étapes de dimensionnement d'installation de l'éclairage solaire . .....	41
III.4.1. Estimation de la consommation des besoins journaliers de l'utilisateur : .....	42
III.4.1.2 Energie consommé .....	42
III.4.2.1 Estimation de l'ensoleillement .....	42
III.4.2.2. Orientation et inclinaison des modules [10] .....	43
III.4.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque .....	45
III.4.3.1. Choix de la tension du système .....	45
III.4.3.2. Choix de module photovoltaïque .....	45
III.4.3.3 Calcule la puissance crête de générateur photovoltaïque .....	46
III.4.4 Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie .....	46
III.4.5 Dimensionnement du régulateur de charge/décharge .....	47

III.4.5.1 Les critères de choix des régulateurs .....	48
III.4.6. Dimensionnement des câbles et plan de câblage .....	48
III.4.7. Critère de choix d'un luminaire .....	50
III.5. Choix de types d'implantation .....	50
III.5.1 Calcul des distances inter-luminaires .....	51
III.6 Estimation de coût du système .....	52
III.7. Conclusion .....	52
 Chapitre VI 	
VI.1 Introduction : .....	54
VI.2. Présentation du site du projet (ADRAR) : .....	54
VI.3.1 Dimensionnement de la batterie : .....	56
VI.3.2 Dimensionnement de panneau photovoltaïque .....	57
VI.3.3 Dimensionnement du régulateur de charge : .....	57
VI.3.4 Dimensionnement des câbles: .....	58
VI.3.5. Calcul le nombre de poteaux nécessaire : .....	60
VI.3.6. Installation de système : .....	60
VI.4. Conclusion : .....	60
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>62</b>

# Liste des figures

## Chapitre I

<i>Figure I- 1 :Eclairage publique</i> .....	4
Figure I- 2:diagramme photométrique .....	7
Figure I- 3: Lampe incandescence classique .....	9
Figure I- 4: lampe à incandescence halogéné .....	10
Figure I- 5: lampes à décharge .....	11
Figure I- 6: lampe à vapeur de mercure.....	12
Figure I- 7: lampes LED .....	13
Figure I- 8: Spectre électromagnétique des lampes LED[15].....	13
Figure I- 9:les différents types d'implantation .....	18

## Chapitre II

Figure II- 1:exemple de système d'éclairage solaire.....	23
Figure II- 2:les composants de système d'éclairage public autonome .....	24
Figure II- 3:photopile ou cellule photovoltaïque .....	25
Figure II- 4:la cellule mono –cristallin .....	26
Figure II- 5:la cellule poly cristalline .....	26
Figure II- 6:Les cellules amorphes.....	27
Figure II- 7:L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ .....	29
Figure II- 8:L'influence de l'éclairement sur la caractéristique .....	29
Figure II- 9:L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ .....	30
Figure II- 10:L'influence de la température sur la caractéristique $p=f(V)$ .....	31
Figure II- 11:Régulateur .....	35
Figure II- 12: Schéma du régulateur shunt .....	35
Figure II- 13:Schéma du régulateur série .....	36
Figure II- 14: Câble électrique .....	37

## Chapitre III

Figure III- 1:nombre des heures équivalents .....	43
Figure III- 2:Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau .....	44

Figure III- 3:Paramètres d'implantation des points lumineux .....	52
---	----

### **Chapitre VI**

Figure VI- 1:durée d'insolation pour un jour de mois de décembre (Adrar).....	55
---	----

## **La liste des tableaux**

### **Chapitre I**

<b>Tableau I- 1:les caractéristiques des lampes [14].....</b>	<b>14</b>
---	-----------

### **Chapitre II**

<b>Tableau II- 1:les technologies des cellules solaires .....</b>	<b>27</b>
---	-----------

Tableau II- 2:l'influence de la température sur la capacité de batterie .....	32
---	----

<b>Tableau II- 3:les différents types de Batteries [8].....</b>	<b>34</b>
---	-----------

### **Chapitre III**

Tableau III .1:Les tensions recommandées pour les systèmes photovoltaïques en fonction de leurs puissances.....	45
---	----

<b>Tableau III. 2:Récapitulatif des principaux types d'implantation des points lumineux [13] .....</b>	<b>50</b>
--	-----------

### **Chapitre VI**

Tableau VI- 1:caractéristiques de luminaire ST-60.....	56
--	----

Tableau VI- 2: les caractéristiques de régulateur LS-EU.....	58
--	----

# 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.

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays émergents auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

L'efficacité énergétique désigne le fait d'utiliser moins d'énergie qu'avant pour fournir des services énergétiques équivalents. Avec moins d'énergie, nous réduisons du même coup l'émission de gaz à effet de serre, protégeons ainsi l'environnement et la sécurité de l'approvisionnement en énergie s'en trouve également renforcée.

La mémoire de ce travail est préparé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, on a présenté les notions et les grandeurs utilisées pour l'étude et l'installation des systèmes d'éclairage public.

Le deuxième chapitre a inclus une brève présentation des différents composants de système d'éclairage photovoltaïque et ses caractéristiques.

## **Introduction générale**

---

Le troisième chapitre sera consacré à une présentation de la méthode de dimensionnement simplifié a été appliquée au cas d'étude de dimensionnement d'un système d'éclairage photovoltaïque.

Le dernier chapitre a été consacré à l'étude la dimensionnement d'un système d'éclairage solaire de la route de l'aéroport d'Adrar.

# **Chapitre I : Description de l'éclairage public classique**

### **I.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 public est l'ensemble des moyens d'éclairage et des dispositifs qui convertissent l'énergie électrique en lumière mis en œuvre dans les espaces public à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voies nécessaires à la sécurité ou à l'agrément de l'homme.

### **I.2 .Eclairage public**

Dans les chaussée, 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'oeil humaine, soit de façon de sécurité. Et en autre la facilité de maintenance des moyennes d'éclairage est importante.



**Figure I- 1 : Eclairage public**

### **I.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.))

### **I.3 Histoire de l'éclairage public :**

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

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 à partir 1860 les lampes à pétrole connaît grande succès à cause de la découverte d'important 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].

#### **I.4 Grandeurs photométriques :**

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

##### **I.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].

$$\lambda = cT = c/f. \quad (I.1)$$

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

##### **I.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 émise 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].

#### **I.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].

#### **I.4.4 L'intensité lumineuse :**

Elle qualifie le flux élémentaire émis dans une direction de l'espace par une source quasi ponctuelle, plus précisé est le rapport du flux ( $d$ ) 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).

#### **I.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 lumineux, s'exprime par la formule [2, 9].

$$E = \varphi/S \quad (I.2)$$

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].

#### **I.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 ( $d$ ) 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].

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

#### **I.4.7 L'éblouissement :**

L'éblouissement exprime une contrainte désagréable dans la perception visuelle, causée par une lumineuse particulièrement intense 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 créer un inconfort visuel [12].

#### **I.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].

#### **I.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)

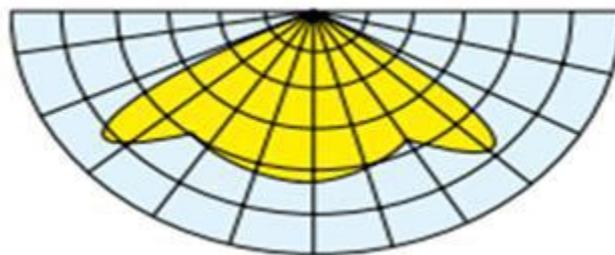


Figure I- 2:diagramme photométrique [13]

comme la figure ci-contre représente, ce diagramme fixe les valeurs plafond en condition d'installation  $ULR_{\alpha}$  et  $ULR_{\cdot}$ , et garantie de maîtrise les émissions de lumière artificielle dans l'environnement et de contrôle 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].

### **I.5. Moyens d'éclairage public classique :**

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.

#### **I.5.1 Les lampes :**

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

##### **I.5.1.1. 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 (I.3) 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  $2823^{\circ}\text{K}$ ) 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 l'énergie électrique est convertit en chaleur plus qu'en lumière [14].

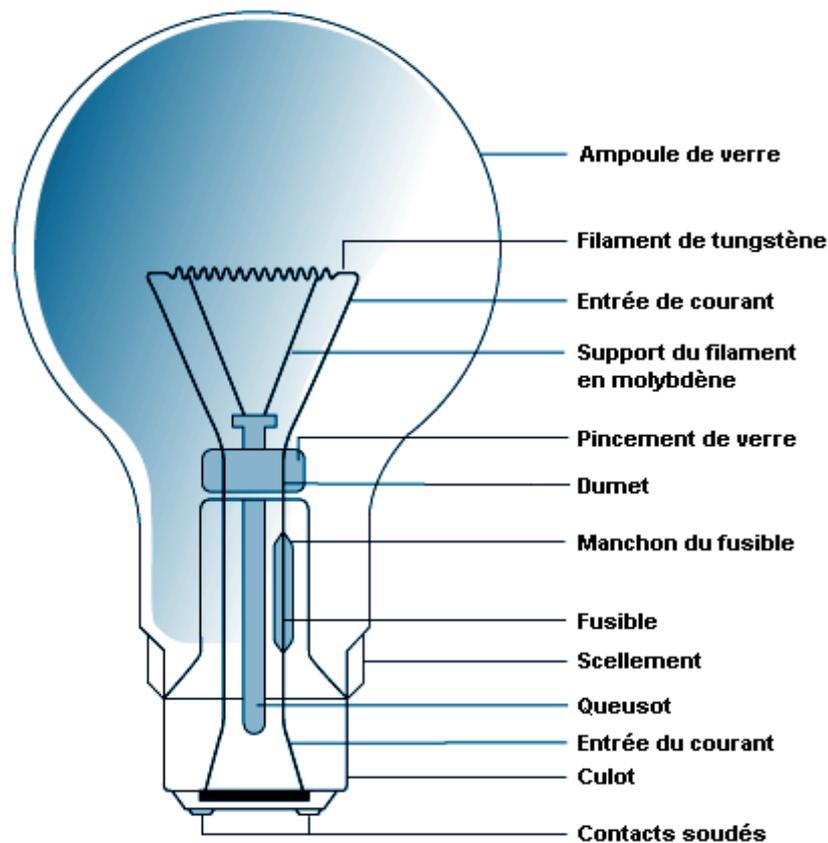


Figure I- 3: Lampe incandescence classique

**Les avantages des lampes classiques :**

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

**Les inconvénients :**

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

**b) 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 quartz iode) à cause de la température plus élevée que les lampes classiques [7].

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 et moins rapidement) de vapeurs de tungstène qui se déposeront sur les parois [14].

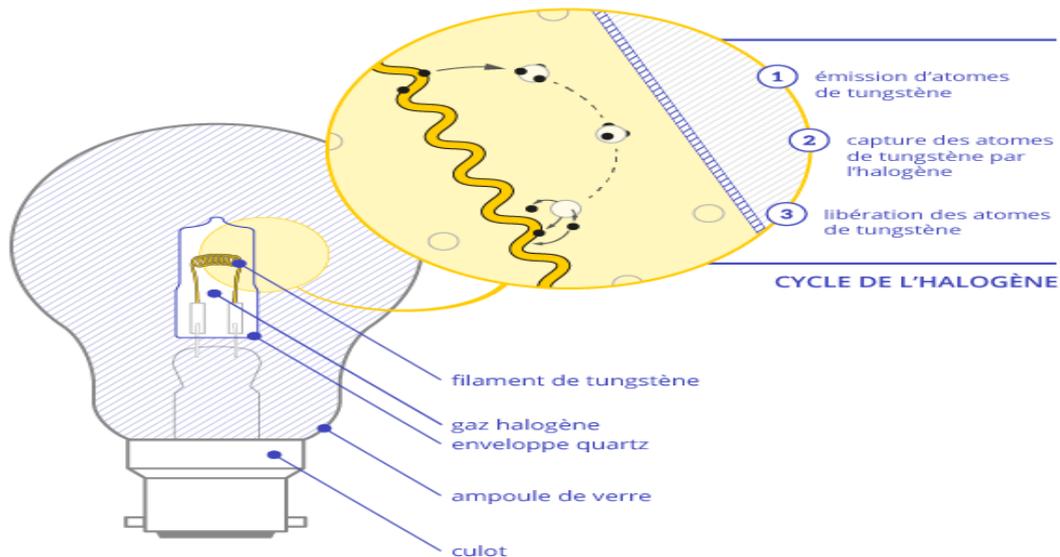


Figure I- 4: lampe à incandescence halogéné

**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.

**I.5.1.2. 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]



Figure I- 5: lampes à décharge

**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 trois différents types de lampes à décharge haute pression sont vapeur de sodium et vapeur de mercure et halogénure métalliques. [14]

Et la couleur de la lumière émise par cette lampe dépende 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.

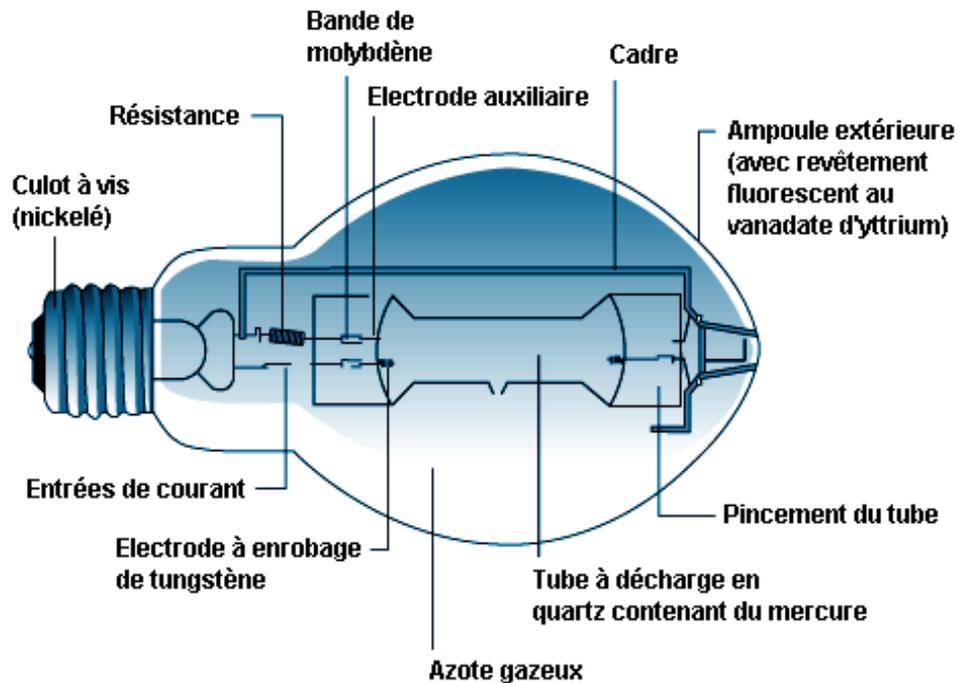


Figure I- 6: lampe à vapeur de mercure

### c) Les lampes LED :

La LED – light emitting diode, ou DEL, diode électroluminescente –(figure I.7) – 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]. En matière d'éclairage public, les LED ont l'avantage d'admettre une alimentation en courant continu (ce qui rend possible l'utilisation de sources d'énergies renouvelables) et un allumage très rapide.

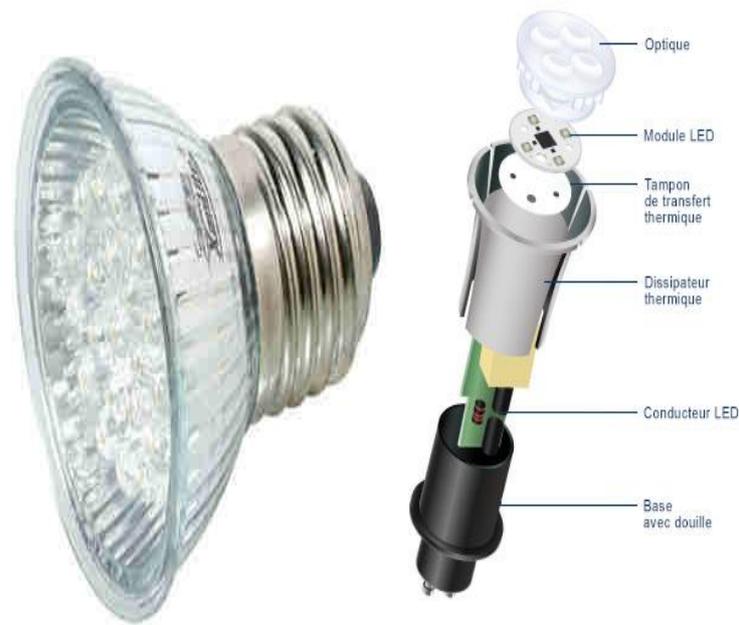


Figure I- 7: lampes LED

➤ **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].

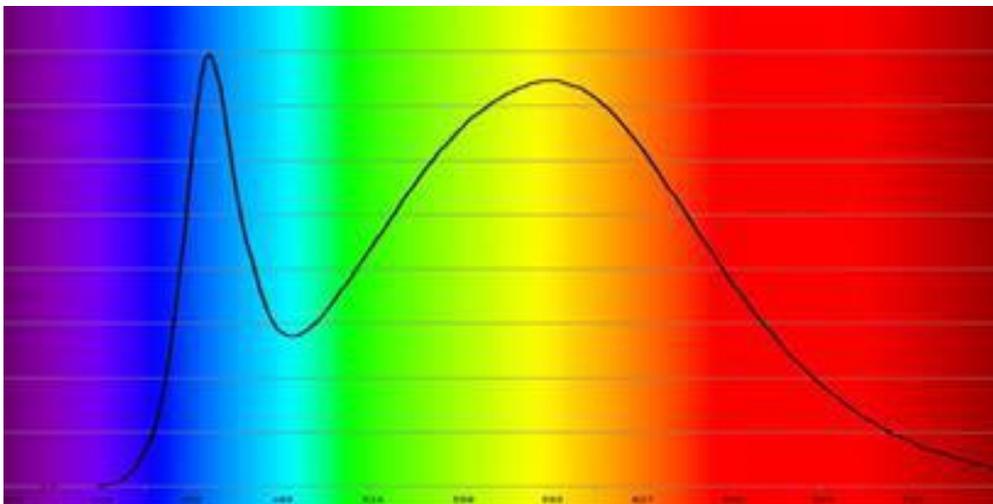


Figure I- 8: Spectre électromagnétique des lampes LED[15]

**Les avantages de ces lampes sont :**

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

- Allumage instantané (contrairement aux lampes ou tubes fluorescents) ;
- Durée de vie importante (50 000 à 100 000 heures) ;
- Fiabilité : grande résistance aux chocs, vibrations et écrasement ;
- Insensibilité aux allumages répétés et aux basses températures
- Possibilité de contrôle de l'intensité lumineuse très facile, par simple variation de la tension d'alimentation ;
- Possibilité de contrôle de la température de couleur (cas du mélange de LED colorées)
- Utilisation possible à basse puissance et basse tension (utilisation directe sur batteries).
- Faible à très faible consommation électrique (quelques dizaines de milliwatts) grâce à un très bon rendement ;
- Taille beaucoup plus petite que les lampes classiques. En assemblant plusieurs LED, on peut réaliser des éclairages avec des formes novatrices ;
- facilité de montage et absence de mercure et elle sont recyclables.

**Leur inconvénient est :**

- Le prix est élevé.

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

Le tableau suivant représente les caractéristiques des différents types des lampes :

**Tableau I- 1:les caractéristiques des lampes [14]**

	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	25000à 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

### **I.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].

#### **I.5.2.1. 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 à une certaine hauteur. Le mât est une pièce généralement verticale et 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.

#### **I.5.2.2. 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 [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'adoucir 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]

### **I.5.3.Types d'implantation des lampadaires :**

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. L'implantation unilatérale :**

Ce type est constitué d'un seul rangé des lampadaires (figure I.9(a)), dans le même côté de route. Avantageux par un investissement limité et l'encombrement limité d'un seul trottoir, mais il est adapté 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 des deux côtés de route (figure I.9(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 I.9(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 I.9 (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. Elle est utilisée dans les grandes voiries mixtes Ce type d'implantation peut également devenir la seule solution acceptable [18].

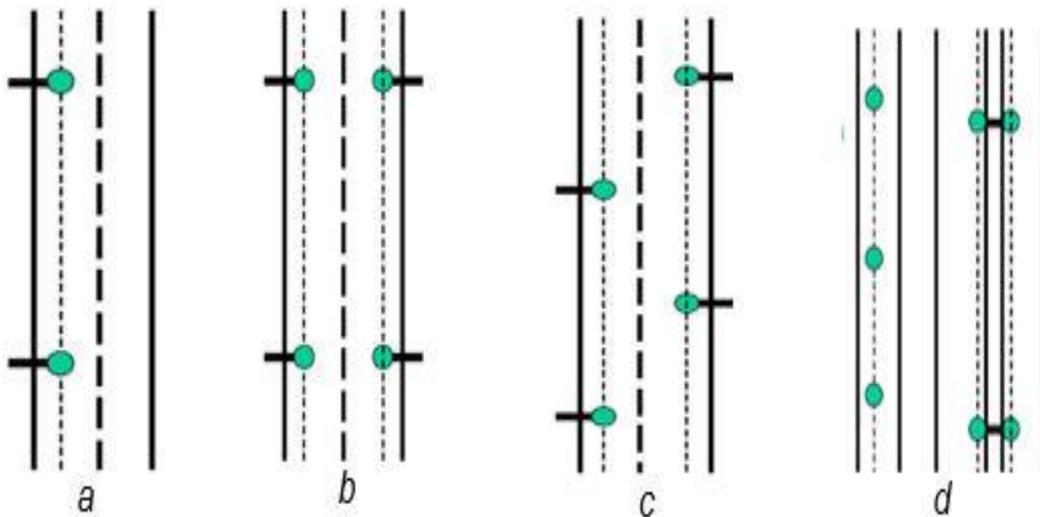


Figure I- 9:les différents types d'implantation

## I.6. Gestion et Commande d'éclairage public :

L'un des moyens les plus simples d'économiser l'énergie consiste à éteindre les appareils d'éclairage situés dans des zones non occupées. La commande de l'éclairage public peut s'effectuer de différentes façons, parmi ces moyennes on distingue : les interrupteurs locaux, de détecteurs de mouvement, de cellules photoélectriques, d'horloges programmables [19].

### I.6.1. Interrupteurs à tension de secteur

Offrent une commande manuelle locale. Application la plus courante, coût d'installation le plus bas. Chaque interrupteur commande un circuit d'éclairage. [19]

### I.6.2. Interrupteurs à basse tension :

Initialement installés pour servir de commandes d'éclairage à tension plus haute, notamment les éclairages; semblables aux interrupteurs de tension de secteur standard. Un interrupteur peut commander de nombreux circuits d'éclairage. [19]

### I.6.3. 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 :

- **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 [20, 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 d'allumage varie donc de jour en jour [20, 14].

#### **I.6.4 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 appareil 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 [20, 14].

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

#### **I.6.5. Détecteurs de présence :**

Un détecteur de présence allume une lampe uniquement lorsque quelqu'un s'approche de celui-ci. Il peut être intégrés au luminaire ou bien être installés isolément au mur ou au plafond, bien étudier leur implantation , leur angle de détection ainsi que leur temporisation. Il permet d'éviter tout gâchis énergétique. [14]. [3].

#### **I.6.6. Réducteurs de puissance :**

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

#### **I.7. 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'éclairagements et de

luminances minimales à maintenir. Et pour cela, nous comptons sur les normes et ce dernier varie d'une pays à l'autre par exemple les normes plus utilisées dans le monde est les normes européennes [21].

### **I.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons fait brièvement une description générale sur l'éclairage public classique et on a présenté les différents moyens de système d'éclairage ainsi que ses dispositifs de gestion et commande l'allumage des lampes.

## Chapitre II : éclairage public solaire

### II.1 Introduction

L'éclairage public représente une part conséquente de la consommation d'énergie. Il ya beaucoup de façons de réduire la consommation d'énergie, tels que la qualité des lampes utilisées et la stratégie de commande d'éclairage ... etc. alors que la bon façon est l'utilisation des sources renouvelables comme l'énergie photovoltaïque.

Dans ce chapitre, nous allons aborde les différents composants de système d'éclairage public solaire (batterie, régulateur, lampe LED...etc.), ses types et ses caractéristiques

### II.2. Système d'éclairage public photovoltaïque autonome :

#### II.2.1.description de système :

L'éclairage public solaire n'utilise pas l'énergie du réseau électrique, seulement il utilise l'énergie électrique produite naturellement par la conversion des rayons du soleil en courant électrique à partir du module photovoltaïque, cette énergie stockée dans des batteries solaires puis restituée la nuit pour assurer l'éclairage, L'option de l'éclairage par solaire photovoltaïque offre des coûts d'entretien et de maintenance faibles, et ne nécessite pas une grande expertise. Cette technologie est non polluante, silencieuse, renouvelable, génère une énergie propre.

c'est pour ça nous avons proposés l'éclairage public photovoltaïque comme un solution pour les sites isolés.

#### II .2.2.Principe de fonctionnement :

Le système d'éclairage public autonome photovoltaïque a été conçu et dimensionné pour fonctionner durant 12 heures chaque nuit avec une réduction du flux lumineux si cela s'avère nécessaire. Le système possède une autonomie d'environ 4 jours en cas de période sans soleil prolongée.

Le circuit électronique fonctionne sous une tension nominale de 12V ou 24V et intègre un régulateur de charge de type PWM équipé de la technologie MPPT (Maximum Power Point Tracking). Le régulateur possède aussi un système avancé de gestion de l'énergie (algorithme d'autogestion) destiné à réguler dynamiquement et automatiquement

## Chapitre II: éclairage public solaire

---

l'intensité du flux lumineux de la lanterne en fonction de la programmation horaire souhaitée et de la quantité d'énergie produite durant la journée (variation du coefficient d'irradiation solaire selon les périodes de l'année et variation de la durée des journées et des nuits selon les saisons) [1]



Figure II- 1: exemple de système d'éclairage solaire

### II .2.3. Les différents composants du système d'éclairage solaire photovoltaïque :

Le système d'éclairage solaire photovoltaïque avec batterie peut être comparé à une charge alimentée par une batterie qui est chargée par un générateur photovoltaïque.

Le système comprend généralement les composantes de base suivantes:

- **le panneau photovoltaïque** : Un ou deux module(s) photovoltaïque dont la puissance totale est calculée spécifiquement en fonction de:
  - ✓ L'irradiation solaire.
  - ✓ Le nombre d'heures de fonctionnement.
  - ✓ Le mode de fonctionnement (automatique, pleine puissance, réduction de flux, etc.)
- **la batterie** : alimente la charge (luminaire) et assure un stockage de l'énergie électrique issue de la conversion de l'énergie solaire ;
- **le régulateur de charge** : protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par les modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie.

- **Un dispositif électronique** : pour la gestion d'alimentation des LEDs.
- **les câbles** : un kit complet comprenant tous les câbles nécessaires au raccordement des différents composants du système.
- **le luminaire** : est un appareil qui assure l'éclairage des lieux cibles ;
- **le poteau ou le mât** : est une longue pièce rigide plantée verticalement et servant de support de l'ensemble des composants énumérés ci-dessus.

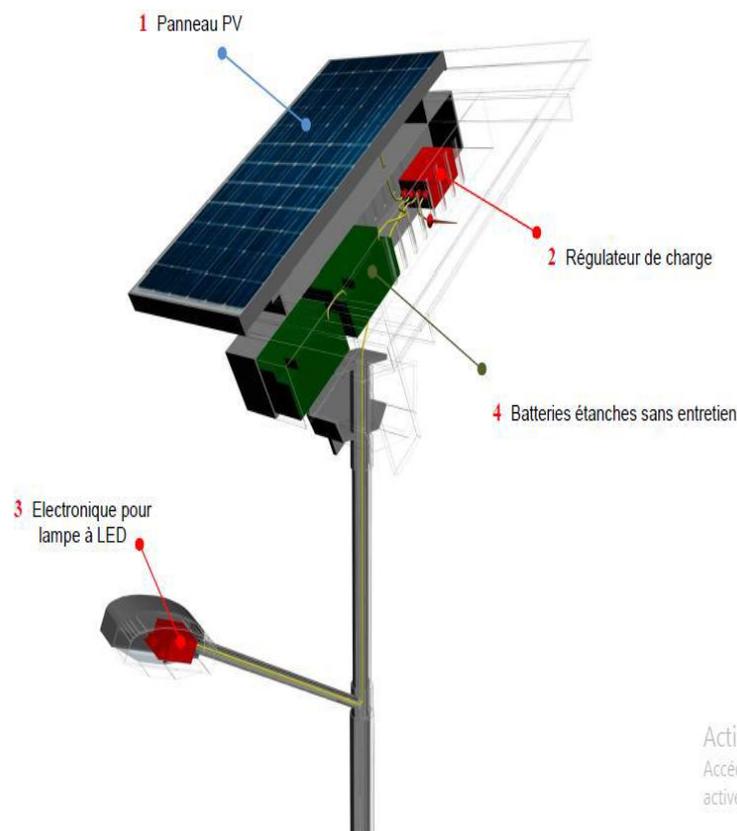


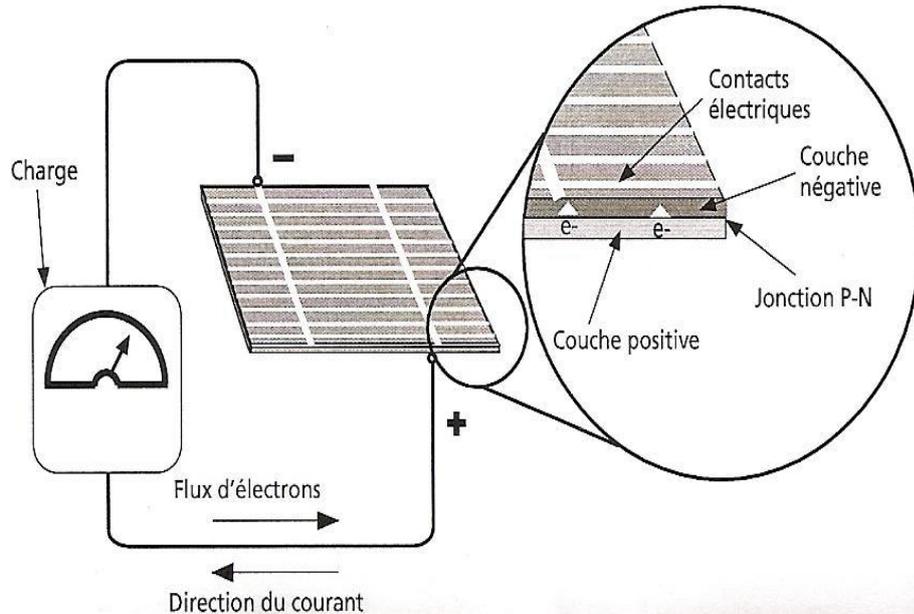
Figure II- 2: les composants de système d'éclairage public autonome

### II.3. La description détaillée de chaque composant du système d'éclairage solaire :

#### II.3.1. Le module photovoltaïque :

Un module photovoltaïque (également appelé panneau solaire photovoltaïque) est un générateur électrique de courant continu. Il utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité. Autrement dit, c'est un appareil qui crée de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière du soleil.

Pour fabriquer les cellules photovoltaïques qui sont les éléments de base du module, on utilise le silicium. Il s'agit du cristal semi-conducteur responsable de l'apparition du courant électrique. Selon son mode de production, la cellule photovoltaïque peut être constituée d'un cristal unique (monocristallin) ou de plusieurs plus petits (polycristallin). On peut la représenter comme une diode plate qui est sensible à la lumière. (Figure II.3). [ 2]



**Figure II- 3:photopile ou cellule photovoltaïque**

### II.3.1.1. Les différents types des cellules solaires :

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant quelque soit le type, le rendement reste assez faible entre : 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Les cellules les plus utilisées sont :

Les cellules mono -cristallines :

On appelle cellule monocristalline une cellule issue d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Ce genre de cellule est rond, parfois presque carré, et possède une couleur uniforme. Les panneaux à cellules monocristallines offrent un rendement de 14 à 18%. Leur méthode de production restant complexe et coûteuse (il faut beaucoup

d'énergie pour obtenir du cristal de silicium pur), ces panneaux sont donc chers [3]



**Figure II- 4:la cellule mono –cristallin**

### **B.Les cellules poly cristallines:**

Les cellules poly-cristallines sont fabriquées à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Elles ont souvent un aspect rectangulaire. Ils ont un rendement plus faible que ceux à cellules monocristallines (de 11 à 15%). Leur coût de production étant moins élevé, elles offrent le meilleur rapport qualité/prix [3]

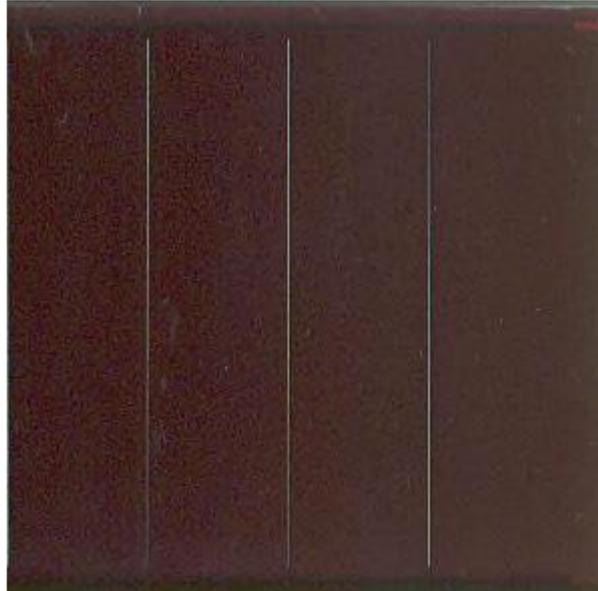


**Figure II- 5:la cellule poly cristalline**

### **C. Les cellules amorphes :**

Les cellules photovoltaïques amorphes sont produites à partir d'un « gaz de silicium », qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Cette technique permet d'utiliser des couches très minces de silicium.

Les cellules photovoltaïques amorphes sont moins coûteuses à produire que les précédentes, mais leur rendement n'est que de 7 à 9% [3].



**Figure II- 6: Les cellules amorphes**

### II.3.1.2. Comparaison des différentes technologies de la cellule

photovoltaïque :

Les types et technologies de cellules photovoltaïques citées ci-dessus diffèrent et ces différences ont permis d'élaborer un tableau comparatif.

Tableau suivant (II.1) présente les différents types des cellules solaires.

**Tableau II- 1: les technologies des cellules solaires**

Technologie	Le silicium monocristallin	Le silicium polycristallin	Le silicium amorphe
Rendement	14% et 18%	11% et 15%	7% et 10%
Durée de vie	25ans	20 ans	<10 ans
Avantages	Très bon rendement le matériau le plus répandu.	Prix faible que celle de silicium monocristallin	Répond néanmoins à de nombreux besoins liés à l'éclairage
Inconvénients	Le prix, à cause d'un procédé de fabrication long et énergivore	Prix élevé.	Rendement très faible

### II.3.1.3. Caractéristiques d'un module :

- **La puissance maximale :**

C'est la puissance électrique maximale que peut fournir le module, qui est associé à une tension maximale  $V_m$  et à une intensité maximale  $I_m$   **$P_{max}=V_m \cdot I_m$** . Lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement **STC** standard (**25°** et un éclairement de **1000w/m<sup>2</sup>**), on parle alors de puissance crête, mesurée en watts-crête.

- **Le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ):**

C'est la plus grande valeur de courant générée par la cellule sous les conditions de court-circuit où  **$V=0$**  (**Pratiquement  $I_{cc} = I_{ph}$** ).

- **Tension de circuit-ouvert ( $V_{CO}$ )**

C'est la tension pour laquelle courant débité par le générateur **PV** est nul (la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur **PV**).

- **Facteur de forme :** C'est le rapport de la puissance maximale qui peut être délivré à la charge sur le produit de ( **$I_{CC}$** ,  **$V_{CO}$** ).

$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} =$  (II.1) Pour les cellules ayant moyen rendement, le FF des valeurs d'ordre 0.7 à 0.85. Le facteur de forme FF diminue si la température augmente.

- **L'efficacité (rendement) de la conversion :**

C'est le rapport de la puissance électrique maximale pouvant être extraite, à la puissance de rayonnement incident sur la surface **X** de la cellule.

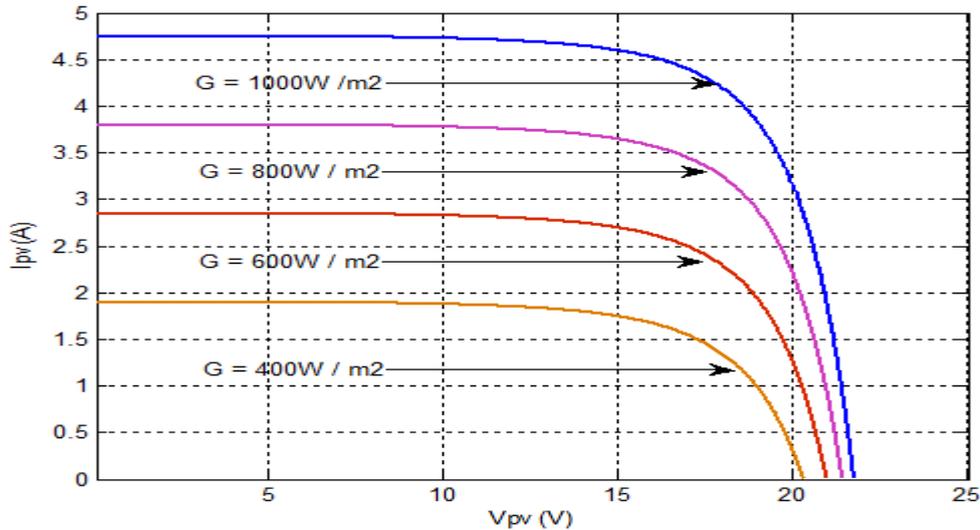
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \quad (II.2)$$

Avec  $P_{inc}$  est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

### II.3.1.4. Facteurs limitatifs du rendement :

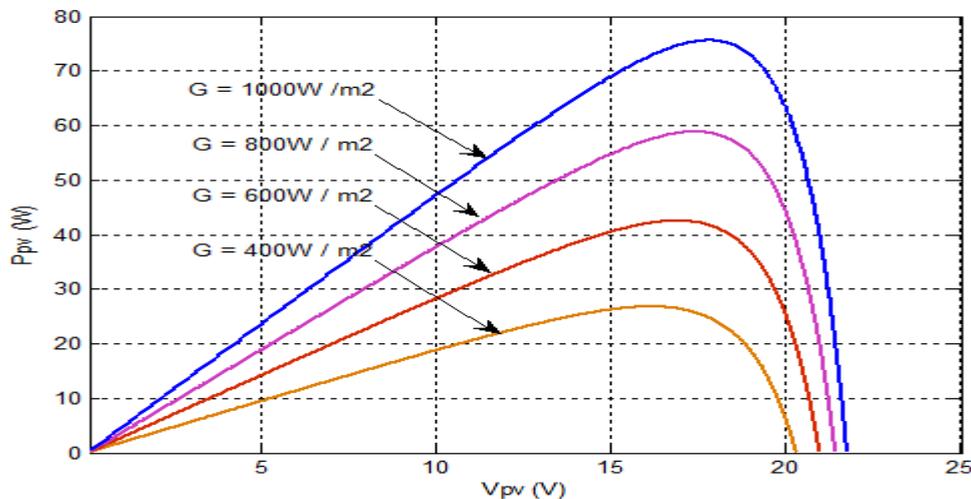
#### II.3.1.4.1. Influence de l'éclairement :

Les caractéristiques électrique de **la figure (II.6) et (II.7)**, montrent bien la variation du courant du panneau **PV** ainsi que la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairement



**Figure II- 7:L'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$**

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La figure (II.7) représente la caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l'air ambiant constantes. Le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l'éclairement [5].



**Figure II- 8:L'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $P=f(V)$**

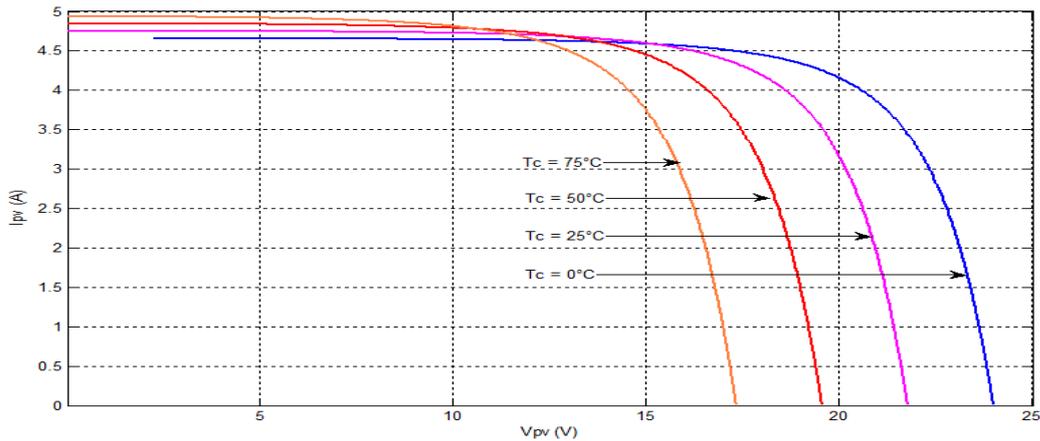
La figure (II.8) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $P=f(V)$ .

### II.3.1.4.2. Influence de la température :

## Chapitre II: éclairage public solaire

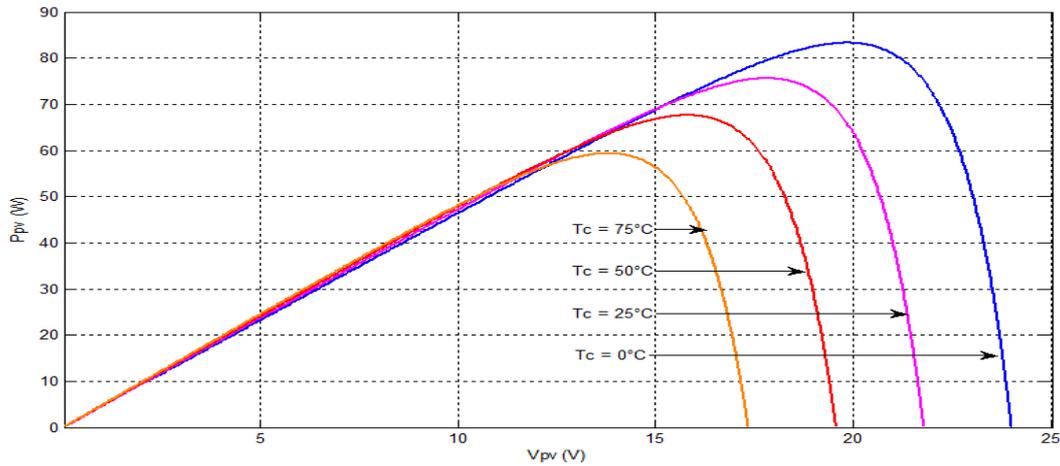
L'influence de la température est importante et a des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques.

La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique, il se dissipe sous forme de chaleur ; c'est pourquoi la température de la cellule ( $T_c$ ) est toujours plus élevée que la température ambiante ( $T_a$ ).



**Figure II- 9: L'influence de la température sur la caractéristique  $I=f(V)$**

La figure (II.9), montre l'influence de la température sur la caractéristique  $I=f(V)$ . Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique  $I=f(V)$ . Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influence négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution[5].



**Figure II- 10:L'influence de la température sur la caractéristique  $p=f(V)$**

La figure (II.10) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique  $P=f(V)$ .

### II.3.2. Les batteries :

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires est une batterie à décharge lente. Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires. elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.

Des batteries de tensions différentes : il existe des batteries solaires fonctionnant en 2 V, 6 V ou 12 V. La capacité (en Ampères heure, Ah) est inversement proportionnelle à la tension : les batteries ayant la capacité de stockage la plus élevée sont les batteries 2V.

#### II.3.2.1 Les caractéristiques d'une batterie : [7]

##### a) Capacité nominale :

C'est la quantité maximum d'énergie que contient une batterie (sous température idéale de 25°). Elle s'exprime en Ampère heure (Ah).

Théoriquement, par exemple, une batterie de **200 Ah** peut fournir **200 A** pendant une heure, ou **50 A** pendant **4 heures**, ou **4 A** pendant **50 heures**.

##### b) Rapports de chargement et déchargement:

## Chapitre II: éclairage public solaire

---

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer.

Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite

### c)Température :

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 25 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement .Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

Tableau II- 2:l'influence de la température sur la capacité de batterie

Température	0	10	15	20	25	Au delà de30°c
Capacité	80%	92%	95%	100%	103%	C % diminue

### d)La durée de vie :

La durée de vie est définie par le nombre de cycles charge-décharge, sachant que le cycle charge-décharge correspond à une décharge de 80 % de la capacité et à une recharge à 100 %. Entre 100 et 1000 cycles qui dépend de la technologie.

### e)Profondeur de décharge(PDD) :

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale maximum que l'on peut retirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie.

### f)La tension nominale :

C'est la de tension de fonctionnement. à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge. ex : 12V, 24V.

**g)le courant de charge maximale :** suivant la taille de la batterie et le type, pour les batteries étanches est entre 20 A et 40 A.

### h)Le rendement :

## Chapitre II: éclairage public solaire

---

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

### **i) Le taux d'autodécharge :**

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. Suivant la norme la batterie dite solaire si la facteur d'autodécharge est 3% par mois de la capacité totale.

### **j) Autonomie de la batterie :**

C'est le nombre de jours pendant lequel le système peut fonctionner en absence d'énergie produite par les panneaux PV. Généralement l'autonomie est fixée entre (2 et 5) jours suivant le degré d'importance du système d'alimentation. Cette durée influe directement sur la taille du batterie ainsi que sur le budget d'installation.

### **II.3.2. Les différents types de batteries solaires :**

Il existe différents types de batteries, on peut citer:

#### **II.3.2.1. La batterie solaire Plomb- Acide :**

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Cette batterie est composée de plusieurs plaques de Plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de Plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. Elle nécessite un entretien (niveau d'électrolyte). [7]

**II.3.2.2. La batterie au Nickel Cadmium:** Elle est le plus chers, mais aussi très résistant aux surcharges et aux décharges, et résistent bien aux basses températures.

#### **II.3.2.3. La Batterie au Lithium :**

La batterie au lithium est légère, sans entretien et résiste bien aux décharges profondes. Elle nécessite une charge spécifique. Elles est réservées aux systèmes photovoltaïques portables où sa grande capacité de décharge (six fois mieux que le plomb étanche) est sa grand intérêt. Son prix est encore prohibitif mais elle fournit en général, environ 1 300 cycles à 100 % de décharge.

**Tableau II- 3:les différents types de Batteries [8].**

Technologie	Energie massique Wh/kg	Puissance w/kg	Nombre de Cycles	Rendement	Plage de température
Plomb acide	40-50	140-250	400-500	70-85	20 à 40
Nickel Cadmium	60-80	120-350	800-1500	70-80	-40 à 50
Lithium LiIon	110-220	200-600	800-1500	85-90	-20à 60

### II.3.3. Le Régulateur :

Le régulateur de charge/décharge est l'électronique entièrement automatique à laquelle sont reliés le panneau photovoltaïque, la batterie, ainsi que les équipements destinataires de l'électricité solaire.

Sa fonction principale est de contrôler l'état de la batterie .Il autorise la charge complète de celle-ci en éliminant tout risque de surcharge et interrompt l'alimentation des destinataires si l'état de charge de la batterie devient inférieur au seuil de déclenchement de la sécurité anti décharge profonde. Prolongeant ainsi la durée de vie de la batterie qui est le seul composant fragile du générateur photovoltaïque.

Ils n'utilisent plus de relais mécaniques. On trouve généralement sur leur face avant deux diodes électroluminescentes (LED) qui renseignent l'une sur l'état de charge de la batterie et l'autre sur l'état de fonctionnement de tout le générateur et leur propre consommation d'énergie est réduite (faible auto consommation).[2]

#### II.3.3.1 Principe de fonctionnement des régulateurs :

Le régulateur de charge assure plusieurs fonctions :

- Régulation de la charge de la batterie par limitation de la tension pour protéger la batterie contre la surcharge.
- Limitation de la décharge par délestage de l'utilisation, pour protéger la batterie contre les décharges trop profondes risquant d'endommager la batterie.

- Contrôle du fonctionnement du système par voyant ou affichage LCD.

Il doit être installé au plus près de la batterie pour limiter la longueur des câbles et donc les pertes d'énergies. Il est préférable de choisir un emplacement hors gel, au sec et ventilé. Se référer à la notice fabricant. [9].



Figure II- 11: Régulateur

### II.3.3.2. Différents types de régulateurs :

#### 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.. ) [10].

#### 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 [10].

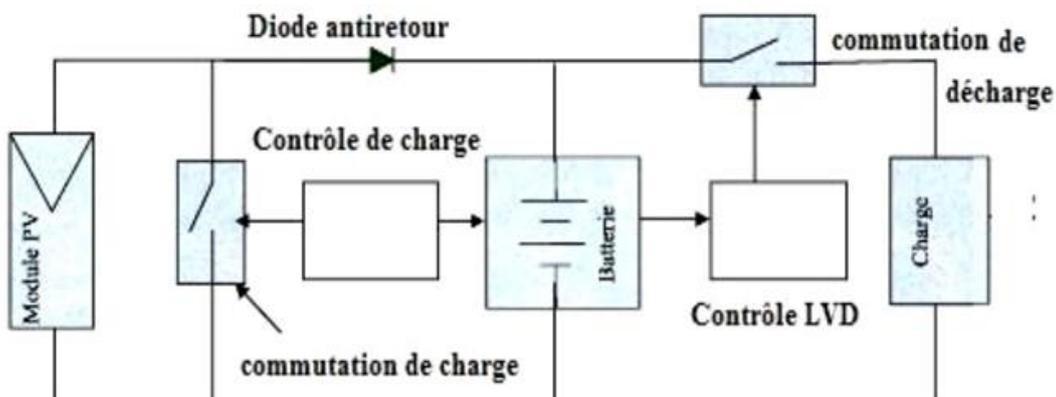


Figure II- 12: Schéma du régulateur shunt

#### 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 [10].

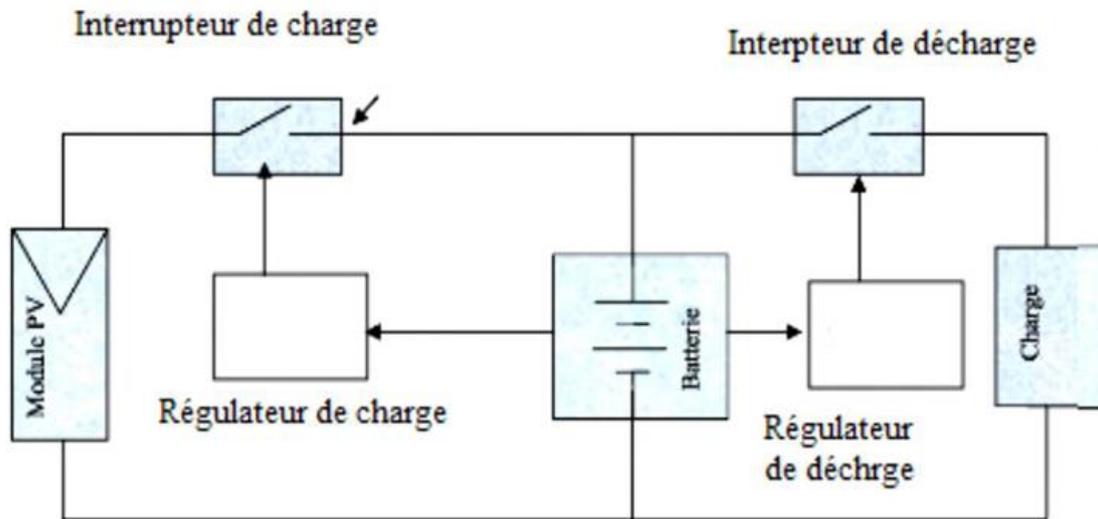


Figure II- 13:Schéma du régulateur série

### 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 [10].

### e) Régulateur MPPT :

Un régulateur de charge solaire MPPT modifie régulièrement la tension délivrée aux batteries en fonction de la tension de sortie des panneaux solaires. La technologie MPPT permet d'optimiser le rendement de l'installation en augmentant la production d'énergie. Ceci permet de garantir que le maximum d'énergie sera récupéré, quelque soient la température et l'ensoleillement.

Le MPPT est rentable uniquement pour les grands systèmes pouvant utiliser toute l'énergie produite toute l'année dans une grande plage de température ; sinon il est plus économique de monter des panneaux avec une tension adaptée à la charge et à la saison du plus grand besoin d'énergie.[9][10] [11].

### II.3.4.les câbles

Les câbles sont les éléments qui raccordent les diverses parties de l'installation photovoltaïque, ils permettant le passage de l'électricité du panneau à la batterie puis aux charges (les lampes).

Un câble électrique est constitué de plusieurs fils électriques réunis dans une gaine protectrice en plastique comme représenté sur la **figure II.14** : [12]

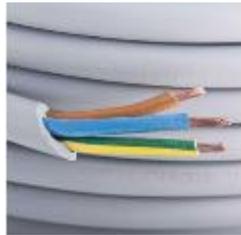


Figure II- 14: Câble électrique

- **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 [12] :

$$R = \frac{l}{s} \rho \quad (\text{II. 3})$$

- R= Résistance ( $\Omega$ )
- l=longueur de câble(m)
- S=section de câble( $m^2$ )
- $\rho$  =La résistivité de matériau( $\Omega/m$ ).

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

$$P = R \times I^2 \quad (\text{II.4})$$

Avec P=Perte(W).

R=Résistance ( $\Omega$ ).

I=Intensité (A).

### II.4.Avantages et inconvénients de l'éclairage solaire PV :

#### Avantages :

Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

## Chapitre II: éclairage public solaire

---

- Ils sont de fonctionnement sûr, non polluants et silencieux;
  - Ils sont très fiables;
  - Ils n'exigent presque aucun entretien;
  - Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales;
  - Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité;
  - Ils ont une longue durée de vie.
  - Le de réalisation d'une centrale pv est minimal
  - Ils sont des systèmes décentralisés
- .Ils évitent ainsi des couts élèves de raccordement au réseau électrique.

### **Inconvénient :**

L'inconvénient majeur d'énergie d'origine photovoltaïque est le cas d'absence de l'ensoleillement, ciel couvert ou pendant la nuit, ce qui exige un stockage d'énergie produite par le système durant les jours ensoleillés sous forme chimique dans des accumulateurs, qui sont souvent des batteries à plomb, sachant que ces batteries impose la contrainte de décharge pas plus de 60% ou 70% au maximum de leur capacité maximal, l'énergie stockée n'est pas intégralement restituée, le coût additionnelle de système de stockage est capital en outre ses système ont une durée de vie limitée de 3 à 5 ans, qui alourdit l'investissement.[13].

### **II.5.Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons offert un aperçu sur les différents composants de l'éclairage public solaire PV. L'objectif de ce chapitre est de simplifier la compréhension du principe de fonctionnement de système d'éclairage public solaire PV. En effet, le système d'éclairage public photovoltaïque autonome constitué d'un module photovoltaïque, d'un régulateur solaire, d'une batterie d'accumulateur et d'une lampe au LED.

Dans le but de tester et de vérifier le fonctionnement des composants de système l'éclairage public PV, on va exposer dans le chapitre suivant les étapes et les critères de dimensionnement de système l'éclairage public solaire.

## Chapitre III :

# Dimensionnement de système d'éclairage solaire

### **III.1.Introduction**

Pour la réalisation d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement reste une étape indispensable.

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments sont considérés à ce jour les éléments les plus importants en raison de leur coût élevé qui totalisent à eux deux à peu près plus de 50% de pris de l'installation. Donc c'est à savoir la taille du générateur, la capacité de stockage, le choix de la technologie.

### **III.2.le but du dimensionnement**

L'efficacité de toute installation électrique dépend fondamentalement de la rigueur de son dimensionnement et de son utilisation car il influe directement sur le coût et les performances d'une installation. Le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie, à partir des données d'ensoleillement du site d'une part et des besoins électriques de l'utilisateur d'autre part. [3]

### **III.3.Choix des méthodes de dimensionnement**

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. La méthode de probabilité d'erreur dans la consommation, de la moyenne annuelle, du mois le plus défavorable.

Dans notre travail on s'intéresse à cette dernière méthode qui est simple et sûre, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois appelé le mois le plus défavorable, ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays où la période d'hiver est rude[2].

#### **III.3.1.La méthode du mois le plus défavorable :**

L'irradiation est un élément clé dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Dans cette méthode on estime le besoin énergétique durant le mois le

moins rayonné de l'année, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est faible de l'année, où dans certains pays la période d'hiver, comme le mois de décembre choisi en Algérie. Cette période est généralement choisie en fonction du climat et de l'utilisation de l'installation, il faut définir le nombre maximal des jours d'autonomie pour que la batterie puisse assurer le fonctionnement du système pendant les jours de non ensoleillement. Cette méthode est l'une des approches les plus fréquemment utilisées. La raison de cette méthode est que si cela fonctionne ce mois-ci, cela fonctionnera pour le reste de l'année.

### **III.3.2. Méthode de la moyenne annuelle**

Elle est proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise aussi l'irradiation journalière (**kWh/m<sup>2</sup>.j**). Mais pour la moyenne qui s'étend sur toute l'année au lieu d'un seul mois. Et par conséquent on calcule la moyenne annuelle de l'énergie récupérable sur un site pour les 12 mois.

### **III.3.3 .Méthode de probabilité d'erreur sur la charge**

Elle réalise les bilans énergétiques journaliers durant une période très grande (quelques années), ensuite on applique des modèles mathématiques aux différentes charges relatives aux probabilités d'erreurs commises lors de l'étude de cette charge. Ceci garantit une bonne fiabilité des modules et les batteries. [2]

## **III.4. Les étapes de dimensionnement d'installation de l'éclairage solaire .**

Afin de bien dimensionner l'installation il faut suivre les étapes suivantes :

- L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité(en Wh/j)
- Evaluation du gisement solaire local connaître l'ensoleillement du site d'installation ;
- Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée nombre de modules)
- Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie
- Choix et dimensionnement du régulateur de charge/décharge.
- Dimensionnement des câbles et plan de câblage
- Estimation de coût du système.[6]

### III.4.1. Estimation de la consommation des besoins journaliers de l'utilisateur :

#### III.4.1.1 Choix du type de lampes

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 .
- **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 .
- **Indice de rendu des couleurs** : les lampes qui ont de l'indice de rendu de couleur entre 80 et 100 sont les meilleurs pour l'utilisation de l'éclairage .
- **l'efficacité lumineuse** : elle est souvent utilisée notamment par les professionnels de l'éclairage pour déterminer le type de lampe.[8]

#### III.4.1.2 Energie consommé

L'énergie consommé 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 car une partie de l'énergie produite par les modules n'est pas disponible pour les charges (lampes) , elle est dissipée comme des pertes électriques par les câbles, les batteries et les régulateurs de charge. L'énergie électrique consommée ( $E_n$  (Wh)) transformée par une lampe est égale au produit de la puissance  $P$  (W) de lampe par la durée  $t$  (h) de son fonctionnement [9].

$$E_c = P * t \quad (\text{III. 1})$$

#### III.4.2.1 Estimation de l'ensoleillement

L'ensoleillement est toujours choisi durant la période de l'année la moins ensoleillée. Pour calculer l'énergie solaire journalière, on assimile l'énergie produite pendant une journée d'ensoleillement au produit du rayonnement instantané  $1000\text{W}/\text{m}^2$  par un certain nombre heures appelé nombre heures d'équivalentes.

L'énergie solaire journalière est exprimée en (kWh/m<sup>2</sup>.j) ou en heure de plein ensoleillement. (heures/j 1000W/m<sup>2</sup>).

$$E_{sol} = N_{eq} * 1000$$

**Neq:** nombre d'heure équivalente d'ensoleillement dans les conditions STC [h/j]. [3]

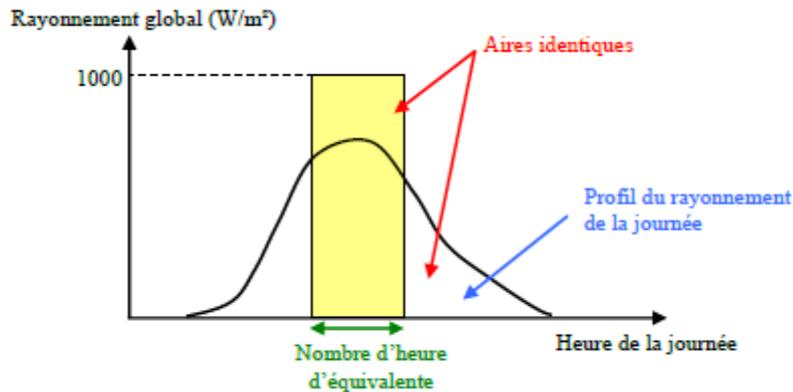


Figure III- 1: nombre des heurs équivalents

#### III.4.2.2. Orientation et inclinaison des modules [10]

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Sud-ouest...).

L'inclinaison indique l'angle

que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés.

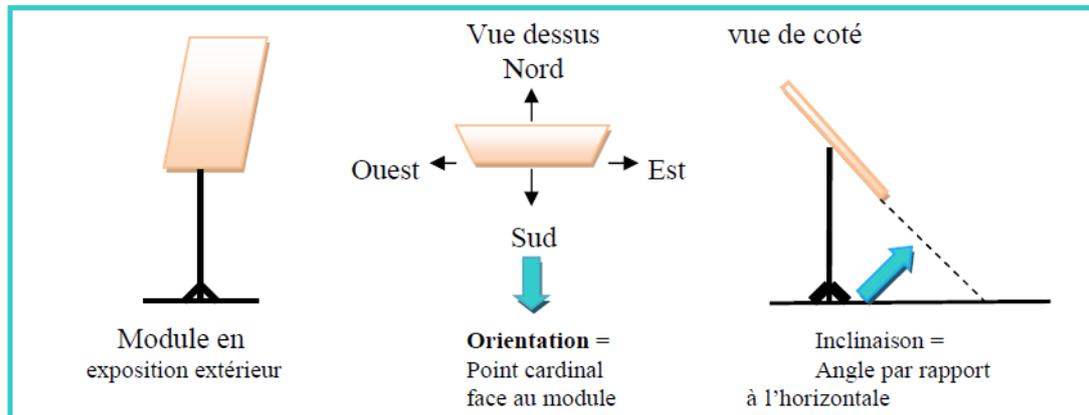


Figure III- 2: Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

L'orientation idéale d'un module photovoltaïque obéit à une règle vers l'équateur :

- Orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord
- Orientation vers le nord dans l'hémisphère Sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Si on prend le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long de l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production. Les panneaux doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil

dont la hauteur est faible .

On peut concevoir de trois façons de collecter l'énergie solaire à l'aide des panneaux photovoltaïques.

La première méthode consiste à orienter ce dernier perpendiculairement aux rayons solaire à l'aide d'un système de poursuite automatique du soleil.

Une aidée serait de changer manuellement l'orientation des panneaux à chaque saison, vers une direction où l'intensité du rayonnement sera maximale. Cette façon d'utiliser des panneaux solaire nécessite l'intervention du personnel à des moments précis de l'année.

La manière la plus élégante de se servir des panneaux solaire avec une orientation une fois pour toute, vers une direction pour laquelle l'énergie totale collecté dans l'année est maximale (en tenant compte de l'écart entre le maximum et le minimum d'énergie reçu par les modules). [6].

Il en résulte qu'en Algérie pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu + 10° (pour une orientation sud).[10]

### III.4.3 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

#### III.4.3.1. Choix de la tension du système

C'est très important de choisir la tension de travail du système en courant continu, car cette tension en fonction de la charge influe directement sur le choix des systèmes de conversion et de régulation, ainsi que sur le câblage et aussi sur les appareils à usage domestique.

On peut citer un exemple de choix de la tension suivant la puissance de la charge [5]:

Tableau III .1: Les tensions recommandées pour les systèmes photovoltaïques en fonction de leurs puissances

Puissance crête (W <sub>c</sub> )	< 500 W <sub>c</sub>	500W <sub>c</sub> - 2KW <sub>c</sub>	>2KW <sub>c</sub>
Tension du système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

#### III.4.3.2. Choix de module photovoltaïque

En choisissant le panneau en fonction de :

- La puissance crête
- Tension à vide
- Courant de court-circuit
- Point de fonctionnement optimal
- Rendement
- Facteur de forme
- La disponibilité sur le marché locale
- Le prix et la qualité.

### III.4.3.3 Calcule la puissance crête de générateur photovoltaïque

pour calculer la puissance crête du champ photovoltaïque, la première condition nécessaire à satisfaire, c'est que l'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les équipements électriques.

Il est à noter que l'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque varie au cours de l'année. En effet, en hiver les jours étant plus courts, l'énergie produite par les modules photovoltaïques est moins importante qu'en été (où les jours sont plus longs).

Pour calculer la puissance crête du générateur photovoltaïque on utilise la formule suivante :

$$P_c = \frac{E_c * P_i}{K_p * I_r} \quad (III.2)$$

- $P_c$  : puissance crête
- $E_c$  : énergie journalier consommé (Wh/j)
- $K_p$  : coefficient des pertes sans unité
- $I_r$  : Irradiation du mois le plus défavorable en (Wh/m<sup>2</sup>/j)
- $P_i$  : est l'ensoleillement de référence en condition STC (1kw/m<sup>2</sup>)

[3]

### III.4.4 Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la Technologie

#### III.4.4.1 Caractéristiques de choix de batterie

Lors du choix de la batterie, on doit tenons en compte des éléments suivants :

- Prix. En générale les batteries ont des coûts très élevés dans l'installation PV,
- Capacité. Le choix de la taille de batterie adaptée aux besoins est important,
- Durée de vie du cycle. En général, plus la batterie est bonne, plus la durée du cycle est longue.
- Remplacement et disponibilité. Il est sage de choisir une batterie disponible localement. Lorsque vient le temps de remplacer l'ensemble, il est plus probable que vous serez en mesure de trouver un type similaire. Le transport de batteries dans le monde entier est coûteux, long et énergivore.

- Maintenance. Choisissez une batterie qui répond à vos besoins d'entretien et à vos capacités. S'il est peu probable que les batteries soient maintenues, pensez à dépenser un peu plus pour des appareils " sans entretien ". Mais aucune batterie n'est vraiment " sans entretien " parce que le système doit être géré, sinon il ne fonctionnera pas bien,
- Taille. Soyez conscient de la taille physique de la batterie et de l'endroit où elle va être placée.
- Mobilité. Si votre batterie doit être déplacée (non recommandée mais parfois nécessaire), choisissez un type qui ne sera pas endommagé par les vibrations et l'inclinaison. [7]

#### III.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].

Pour calculer cette capacité on utilise l'équation suivante :

$$C = \frac{E_c \cdot N_j}{DOD_{max} \cdot V_b} \quad (III.3)$$

Avec :

- $DOD_{max}$  : La profondeur maximale de décharge de la batterie.
- $N_j$ : nombre de jours d'autonomies.
- $C$  : Capacité en (Ah) (ampère heure)
- $V_b$  : tension nominale de la batterie.

Le nombre de batteries  $N_b$  à installer est le rapport de la capacité totale  $C$  par la capacité d'une seule batterie  $C_{bat}$  est définie par :

$$N_b = C / C_{bat}$$

**$C_{bat}$**  : Capacité d'une seule batterie (Ah), donnée par le constructeur.

#### III.4.5 Dimensionnement du régulateur de charge/décharge

Parmi les différents types de régulateurs, on doit choisir, celui qui est le mieux adapté à notre installation. Afin de déterminer ses caractéristiques on sépare souvent les deux fonctions de régulateur ; (charge et décharge).

La régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur, donc du courant produit par les modules. La régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs donc du courant consommé par ces derniers.

- **Tension nominale:** elle doit être celle du champ photovoltaïque

- **Le courant d'entrée:** doit être supérieur à la valeur maximale produite par le générateur. Pour estimer ce courant, on prend 1.5 fois le courant de court – circuit total des modules pour un régulateur shunt (pour de faible puissance), pour un régulateur série 1.5 fois le courant total au point de puissance maximale ( pour moyenne puissance) et de même pour un régulateur MPPT (pour de grande puissance).
- **Le courant de sortie :** doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs l'ors qu'ils fonctionnent tous au point maximum de leur puissance de fonctionnement.[1]

#### III.4.5.1 Les critères de choix des régulateurs

- **Consommation interne :**(Choisir la bonne intensité de courant et la bonne tension).
- **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.
- **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 [10].

#### III.4.5.2 Gestion de régulateur de charge

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

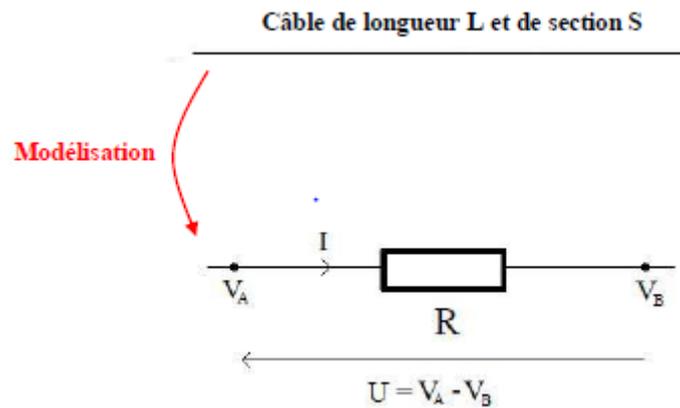
#### III.4.6.Dimensionnement des câbles et plan de câblage

Pour assurer le transport de l'énergie, nous utilisons des câbles solaires en cuivre qui assurent une longue durée de vie et supportent les variations de température (pouvant aller de -20°C à 80°C).

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.

Il est nécessaire de limiter la longueur des liaisons entre le champ photovoltaïque et les récepteurs. Pour limiter les pertes en ligne sous forme thermique dues à l'effet joule qui va causer des chutes de tension. Le guide de l'UTE C15-712 relatif aux installations photovoltaïques indiquent que la chute de tension dans la partie DC devra être inférieure à 3%, idéalement 1%. Cela signifie

$$\varepsilon = \frac{V_A - V_B}{V_A} < 0.03$$



Donc :

$$\varepsilon = \frac{U}{V_A} = \frac{RI}{V_A} = \frac{\rho LI}{SV_A}$$

Dans la pratique, la longueur des câbles est connue. On calcule alors la section de ceux-là sous la contrainte d'une chute de tension maximale de 3 %. Ainsi, la section des câbles se calcule par la formule suivante [3]

:

$$S = \frac{\rho LI}{\varepsilon V_A}$$

Avec :

- R : résistance du câble (Ohm)
- $\varepsilon$  : chute de tension
- $\rho$  : résistivité linéaire du conducteur constitutif du câble (Ohm.m)
- I: intensité de courant (Ampère)
- S : section du câble ( $mm^2$ )
- L : longueur du câble (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 rongé [9].

#### III.4.7. Critère de choix d'un luminaire

Parmi les critères de choix des luminaires ,on trouve:

- **L'étanchéité** : L'indice de protection IP détermine le degré de protection du matériel contre la pénétration des corps solides (1er chiffre) et liquides (2em chiffre).
- **La solidité** : l'indice IK détermine le degré de protection du matériel contre les chocs d'origine mécanique.
- **Les matériaux et leur assemblage** :  
Les lanternes sont généralement fabriquées en aluminium, d'un seul bloc ou par assemblage des différentes parties.  
La vasque de la lanterne est généralement en verre ou en polycarbonate
- **Le prix** : Le choix d'un luminaire se fera également en fonction du prix de revient de l'installation. [4]

#### III.5.Choix de types d'implantation

Les type d'implantations dépendent de certains critères [12] :

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

Le tableau suivant synthétise les principaux types d'implantation des points lumineux en fonction de la hauteur des feux et la largeur de la chaussée.

**Tableau III. 2:Récapitulatif des principaux types d'implantation des points lumineux [13]**

Type d'implantation recommandé	Rapport entre h et L	Type de chaussée	Observations
Implantation unilatérale	$L \leq h$	Chaussée simple à double sens de circulation	La luminance de la partie de la chaussée située loin des luminaires est plus faible que celle située du même côté
Implantation bilatérale en quinconce	$H < L \leq 1,5 h$		Un soin particulier doit être apporté à l'uniformité de luminance de la chaussée
Implantation bilatérale vis-à-vis	$1,5 < h$		
Implantation axiale (rétro-bilatérale)	$L \leq h$	Chaussée double deux sens de circulation	

### III.5.1 Calcul des distances inter-luminaires

Les hauteurs de feux sont à préciser sur la base d'une étude photométrique lors de choix du matériel.

Les distances inter-luminaires nommées inter-distances dépendent également de la hauteur de feu.

À titre d'ordre de grandeurs :

La largeur de la chaussée (L) peut être égale à la hauteur de feux (H)

Donc  $H=L$

L'inter-distance mini  $e=3.5*H$

L'inter-distance max  $e=4*H$

Il est à noter que certains luminaires LED permettent d'atteindre des inter - distances allant jusqu'à 6fois la hauteur de feux ,ce qui contribue a la diminution du nombre de points lumineux et par conséquent ce qui réduit les frais d'exploitation de maintenance et la facteur énergétique.

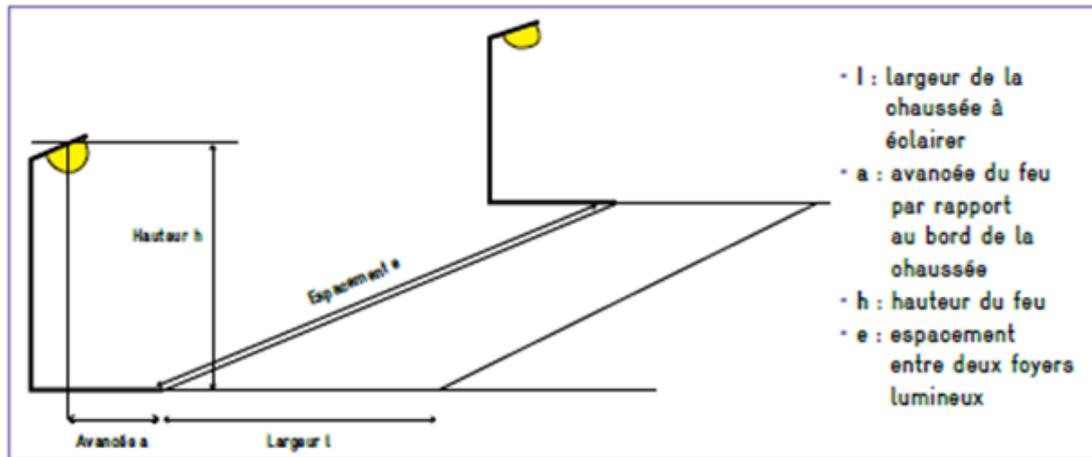


Figure III- 3:Paramètres d'implantation des points lumineux

### III.6 Estimation de coût du système

Pour le calcul du prix de revient de l'installation, on fait la somme des prix de chaque équipement ou accessoire utilisé, et cela à la fin du dimensionnement du système pour savoir le nombre de modules et celui des batteries ainsi que les divers appareillages intervenant lors

de la mise en place de l'installation [11].

### III.7. 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 VI :**  
**Etude de dimensionnement**  
**d'éclairage solaire**

### VI.1 Introduction :

Après avoir présenté théoriquement la méthode simplifiée de dimensionnement d'un kit solaire photovoltaïque, on va l'appliquer dans ce chapitre en choisissons 1km de la route de l'aéroport d'Adrar comme une cas d'étude .

On va faire le dimensionnement de kits solaire pour éclairage solaire de cette partie de route en utilisant les données météorologiques de le site d'ADRAR.

### VI.2.Présentation du site du projet (ADRAR) :

L'aéroport d'Adrar est situé dans la région d'Adrar qui se situe dans le sud-ouest de l'Algérie à plus de 1500 km d'Alger.

#### Les coordonnées géographiques d'Adrar sont :

- 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.

Elle est parmi les sites les plus intéressants pour les applications solaires avec un gisement qui dépasse le 6 kWh /m<sup>2</sup>.

### VI.3.Dimensionnement d'un kit solaire pour éclairage photovoltaïque :

Pour dimensionner un système autonome on a besoin de connaître l'ensoleillement de cite et définir la consommation journalière de notre luminaire .

#### Ensoleillement du site :

Avant tout, il faut estimer l'énergie solaire disponible au point d'implantation du système.

Les données d'ensoleillement (KWh/m<sup>2</sup>/j) sont essentielles à la conception d'un système photovoltaïque efficace.

Dans notre cas dans la région D'Adrar pendant le mois le plus défavorable « Décembre » ,on estime que le nombre d'heures de l'ensoleillement est de presque 11heures par jour.

Donc pour un éclairage de 600Wh/m<sup>2</sup>.j. on trouve que l'énergie solaire journalière reçue sur les surfaces des modules est : 6.5KWh/m<sup>2</sup>.j

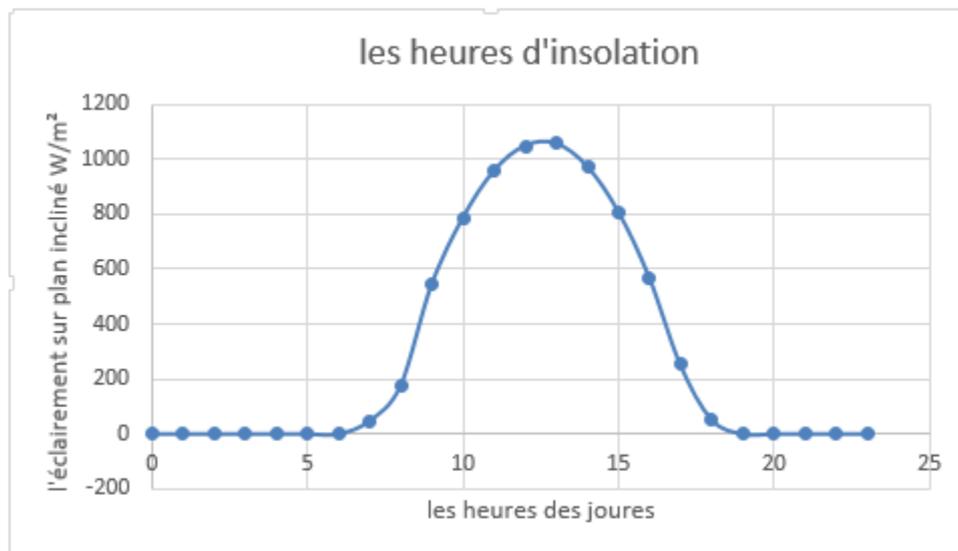


Figure VI-1: durée d'insolation pour un jour de mois de décembre (Adrar)

### Calcul de besoin journalier :

Dans notre cas d'étude, on a choisis une lampe de 60w/12v et une hauteur de lampadaire de 6m .

les lampes sont fonctionne la nuit, et en a précis notre étude par la méthode de mois le plus défavorable qui est en référence le mois de décembre , alors on trouve que la durée de fonctionnement des lampes

est presque 13h par jour .

donc l'énergie consommé par une lampe est :

$$E_c = 60w * 13h = 780wh/j$$

### Le choix de luminaire :

A partir les critères de choix de luminaire qui sont présenté dans le chapitre précédent on a choisi la luminaire LED de model (ST-60) .

Ses caractéristiques sont présenter dans le tableau ( VI-1) :

Tableau VI- 1:caractéristiques de luminaire ST-60

Modèle	ST-60
Puissance de lampe(w)	60
Hauteur de montage (m)	4-7
Tension (v DC)	9-30
Durée de vie (H)	50000
Diamètre d'éclairage(m)	25-35
Indice de protection	IP65
Quantité des LED	1
Flux lumineuse (lm)	4500

### VI.3.1 Dimensionnement de la batterie :

Pour dimensionner la batterie on doit calcul son capacité telque :

$$C = \frac{E_c \left( \frac{wh}{j} \right) * N_{ja}}{V * DD_{max}} \quad (VI.1)$$

Avec :

$N_{ja}$  = 1 jour nombre de jour d'autonomie pour Adrar

DOD = 80% profondeur de décharge batterie

$V_b$  = 12V :tension de la batterie

$$C_{batt} = \frac{780 \times 1j}{12 \times 0.8} = 81.25Ah \quad -(VI.2)$$

- **Nombre de batteries (N batt) :**

$$N_{batt} = C_{batt} / C_{bat} \quad (VI.3)$$

Avec :  $C_{bat}$  = 100 Ah la capacité de batterie qu'on choisi

$$N_{bat} = 81.52 / 100 = 0.8$$

Donc on utilise 1 seul batterie de 100Ah de capacité

### VI.3.2 Dimensionnement de panneau photovoltaïque :

- Calcul la puissance de panneau :

$$P_c = \frac{E_c \times 1000}{E_{recu} \times K_p} \quad (VI.4)$$

Avec :

- $E_c$  : Besoin journalier en énergie=énergie consommé
- $E_{recu}$  : Energie solaire incidente sur les surfaces des modules
- $K_p$ = coefficient des pertes (entre 0.65à0.8)

On a :

$$E_c = 780 \text{Wh/J}$$

$$E_{recu} = 6500 \text{Wh/j}$$

$$K = 0.8$$

Donc on trouve que :

$$P_c = \frac{780 \times 1000}{6500 \times 0.8} = 162.5 \text{Wc} \quad (VI.5)$$

- on choisit un panneau de puissance 180wc.

- le nombre des panneaux nécessaires pour assurer la production d'électricité de notre lampadaire solaire est égale à :

$$N_p = \frac{P_c}{P_{reel}} \quad (VI.6)$$

$$N_p = \frac{162.5}{180} = 0.9$$

Donc on trouve que une seul panneau de 180w de puissance est suffisant pour notre lampadaire solaire .

### VI.3.3 Dimensionnement du régulateur de charge :

## Chapitre VI: Etude de dimensionnement d' éclairage solaire

---

A partir des critères de choix adéquat du régulateur de charge qu' on a déjà présenté au chapitre III.

On a choisi le régulateur qu'avait les caractéristiques présentées dans le tableau (VI.2)

Tableau VI- 2: les caractéristiques de régulateur LS-EU

Modele LS –EU	Caracteristiques
Tension du système [V]	12/24
Tension du module PV $V_{co}$ [V]	50
Courant du module PV $I_{sc}$ [A]	10
Courant de consommateur [A]	10
Poids [g]	100
Degré de protection	IP20
Garantie (an)	1an

Nombre de régulateur :

On utilise un seul régulateur pour chaque lampadaire .

### VI.3.4 Dimensionnement des câbles:

Pour assurer le transport de l'énergie, nous utilisons des câbles solaires en cuivre qui assurent une longue durée de vie et supportent les variations de température .

On va calculer la section de câble nécessaire entre chaque deux composants de lampadaire solaire.

par application de l'équation suivante :

$$S = \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\varepsilon \times V} \quad (\text{VI.7})$$

Avec :

- $\varepsilon$  : chute de tension ( $\varepsilon=0.02$ )

- $\rho$  : résistivité linéaire du conducteur constitutif du câble (Ohm.m)  
(en la prendre 0.018Ohm.mm<sup>2</sup>/m)
- I: intensité de courant (Ampère)
- S : section du câble (mm<sup>2</sup>)
- L : longueur du câble (m)

➤ **La Section des câbles entre le panneau et le régulateur :**

Avec : L = 5m (le régulateur placé sous le support dans une boite afin de faciliter l'accessibilité).

$$S = \frac{2 \times 0.018 \times 5 \times 4}{0.02 \times 21} = 1.71 \text{ mm}^2$$

Le choix commercial est de 2.5 mm<sup>2</sup>

➤ **La Section des câbles entre le régulateur et la batterie:**

On prendre L=0.5m Ib=5A

$$S = \frac{2 \times 0.018 \times 0.5 \times 5}{0.02 \times 12} = 0.37 \text{ mm}^2$$

Donc on utilise câble de section 2.5 mm<sup>2</sup>

➤ **La Section des câbles entre le régulateur et la luminaire :**

Avec L=5.5 m ,si on a placé la luminaire sur le maximum de la hauteur du support qui a une hauteur de 6m.

Pour 20 heure de fonctionnement en prend 4A de notre Batterie de 100Ah

Alors :

## Chapitre VI: Etude de dimensionnement d' éclairage solaire

---

$$S = \frac{2 \times 0.018 \times 5.5 \times 4}{0.02 \times 12} = 3.3 \text{ mm}^2$$

donc on utilise un câble de section  $4\text{mm}^2$  .

### VI.3.5. Calcul le nombre de poteaux nécessaire :

Dans notre cas on a 1km de route qu'on veut l'éclairer, et on a choisit la hauteur de poteau e 6m .

Puisque le diamètre d'éclairage est entre 25 et 35m , donc la distance inter-luminaire égale à :

$$e = 4 * h = 4 * 6 = 24\text{m au maximum}$$

Avec :

e : inter-distance (m)

h : hauteur de lampadaire

le nombre de poteaux nécessaire égale à la distance totale divisé par l'inter-distance entre chaque 2 lampadaire

donc on trouve :

$$N_{\text{poteaux}} = 1000\text{m} / 24\text{m} = 41.6$$

Alors il faut prendre 42 poteaux pour l'éclairage de route.

### VI.3.6. Installation de système :

#### L'orientation et l'inclinaison de module pv :

d'après les coordonnées géographiques de région d'Adrar , et puisque l'Algérie se trouve dans l'hémisphère Nord , donc il faut orienter le panneau photovoltaïques au plein sud pour collecter le maximum d'énergie .

ce que concerne l'inclinaison : puisque on a une utilisation annuelle

donc on a incliné le panneau à latitude de lieu de notre installation , donc le meilleur inclinaison est 27 degrés par rapport au plan horizontal.

### VI.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait un dimensionnement d'un système d'éclairage public photovoltaïque pour éclairage de 1km de route de l'aéroport d'Adrar.

## Chapitre VI: Etude de dimensionnement d' éclairage solaire

---

On a trouvé que l'implantation est composée de 42 lampadaires .alors que chaque lampadaire compose d'une batterie de 100Ah de capacité et une panneau de 180w de puissance.

# 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 1km de la route de l'aéroport d'Adrar.

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.

on a choisi 1km de route de l'aéroport d'Adrar comme cas d'étude.

L'application de la méthode de dimensionnement simplifié au cas choisi pour cette étude a résulté d'utiliser 42 kits pour l'éclairage de route.

Tous ces kits sont formés de modules individuels d'une puissance de 180 watts crête chacun et destiné à l'alimentation des lampes LED de 60 W.

Puisque le système d'éclairage fonctionne pendant la nuit, il est nécessaire de disposer d'un système de stockage d'énergie. On a choisi, alors, une batterie de capacités de 100 Ah pour chaque kit.

## **Conclusion générale**

---

Le système d'éclairage par lampadaire classique est très avantageux par rapport aux autres systèmes d'éclairage solaire comme le système intégré (All-in One), il est adapté à toutes les cas grâce au détachement de panneau pv de la batterie, ce que nous permet de dimensionner le système en fonction de la demande (on peut augmenter la taille de générateur photovoltaïque et encore la taille de la batterie si par exemple nous rencontrons un défi de problème d'ombrage par des arbres ou des bâtiments).

Le système d'éclairage public solaire a pour but d'éclairer beaucoup plus les zones qui ne sont pas raccordées réseau.

Pour réaliser une installation, il faut choisir le matériel dans les normes et effectuer le dimensionnement adéquat.

## Références bibliographiques

### Bibliographie de chapitre I

- [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/clairage\\_public](https://fr.wikipedia.org/clairage_public). [Accès le mars 2018].
- [5] «HISTOIRE DE L'ECLAIRAGE». disponible. <https://www.google.com>.
- [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 LAMPES 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'eclairage public,» l'association des petites villes de frances, france, 2014.
- [17] «manual technique de l'eclairage,» Agence national pour le développement des énergies renouvelable et de l'efficacité énergitique .
- [18] CETE, «formation "eclairage public",» DIR centre Est, france, 2007. [19] : Amara moussa : ‘ « Etude et réalisation d’une Commande automatique de Surveillance d’un système d’alarme », mémoire de fin d’étude pour master, Université Biskra 2015-2016
- [20] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «étude de faisabilité du projet d’éclairage public par des lampadaires solaires a conakry et dans huit(8) autres villes en république de guinee,» société africaine des biocarburants et des energies renouvelables (saber), african biofuel and renewable energy company (abrec), africa, 2011.
- [21] R. Christian, «Cahier TECHNIQUE ASSOCIATION FRANÇAISE DE L’ÉCLAIRAGE,» AmiralHamelin,, 17, rue de l’Amiral Hamelin, 75783 Paris , 16, 09\_10\_2007.

## **Bibliographie de chapitre II**

- [1] « Système d’éclairage public photovoltaïque autonome ; Hauteur 7m – Régulation MPPT - Batteries en tête de mât – Eclairage LED» ; [www.neo-energy.eu](http://www.neo-energy.eu).
- [2]M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «étude de faisabilité du projet d’éclairage public par des lampadaires solaires a conakry et dans huit(8) autres villes en république de Guinee,» société africaine des biocarburants et des energies renouvelables (saber), african biofuel and renewable energy company (abrec), africa, 2011.
- [3][www.Les cellules photovoltaïques..](http://www.Les cellules photovoltaïques..)
- [4][www.solarelectripower.org](http://www.solarelectripower.org).

- [5] W. Boucheritte, « Convertisseurs multi niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau », Mémoire de Magistère, Université de Biskra.
- [6] N. Achaïbou, A Malek, N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), Génie électrique 2000
- [7] Dirk Uwe Sauer, « Electrochemical Storage for Photovoltaics », Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, (2004
- [8]: ( [https://www.researchgate.net/ publication 281589100](https://www.researchgate.net/publication/281589100))\_ Eclairage public solaire autonome à LEDs Blanches haute puissance conférence. Octobre 11/12/2010.
- [9]. <https://www.solaris-store.com/content/39-installer-un-regulateur>.
- [10] A. LABOURET et M. VILLOZ, "énergie solaire photovoltaïque", paris: LEMONITEUR, 2006.
- [11] <https://www.memoireonline.com> )\_ Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projet A l'usage des bureaux d'ingénieurs
- [12] M. HANKINS, installation solaires photovoltaïques autonomes (conception et installation d'unités non raccordées au réseau), france: DUNOD, 2012.
- [13] BENCHERIF MOHAMMED, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Thèse de doctorat, Université De Tlemcen, Spécialité : Physique énergétique et matériaux, 2012.

### **Bibliographie de chapitre III**

- [1] Mr. ZIDANE Ammar Université Abderrahmane Mira – Bejaïa Département de Génie Electrique *MEMOIRE* En vue de l'obtention du diplôme de MASTERS spécialité : Electrotechnique
- [2] Anne Labouret-Michel Villos, « Energie solaire photovoltaïque le manuel professionnel », édition dunot, Paris Génie électrique 2003
- [3] Mme belaid << cours-energie solaire photovoltaïque >>. Cours elearning de Bejaïa. Université de Bejaïa. , Génie électrique
- [4] CHARTE DE L'ECLAIRAGE PUBLIC de Ville d'Angoulême 30/11/2016
- [5] A. LABOURET et M. VILLOZ « Energie Solaire Photovoltaïque », livre édité par DUNOD), 2006.

## Bibliographie

---

- [6] Benmahrez, B., F. Oudihat. Etude et dimensionnement d'une alimentation solaire pour les locaux administratifs de la société IFRI. Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, (2010).
- [7] JEAN-PAUL BRAUN, 'Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque', éditions techniques et scientifique françaises, 2010.
- [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 (conception et installation d'unités non raccordées au réseau), France: DUNOD, 2012.
- [10] A. BOUZID et M. AZIZI «Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme Étude de l'onduleur triphasé lié à cette application », Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, 2008.
- [11] Smaïl SEMAOUI, " Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque ", Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2004.
- [12] CETE, «formation "éclairage public",» DIR centre Est, France, 2007.
- [13] GUIDE TECHNIQUE MODULE 3: « ECLAIRAGE PUBLIC »  
Publié par : Caisse de Prêts et de Soutien des Collectivités Locales (CPSCL), Tunisie.  
2019