

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de Master en énergies renouvelables
Spécialité: Energie renouvelable en électrotechnique

Thème

*Etude d'un système d'éclairage hybride à
énergie solaire*

Réaliser par :

Mr Aslouni YOUBA

Mr Hariche LOTFI

Promoteur :

Pr .T.Rekioua

Co- promoteur :

N. Mebarki

Promotion 2019

Remerciement

Nous louons dieu pour nous avoir prêtés la vie, aide et patience tout le long de ce cycle universitaire.

Nous tenons vivement à exprimé tout notre reconnaissance à

Notre encadreur Mr T. Rekioua professeur à l'université de Bejaia d'avoir accepté de diriger ce travail. Pour sa confiance, la disponibilité qu'il nous a attribué.

Mr N. Mebarki notre co-promoteur qui nous a acompagné durant tout notre travail

Aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Toutes les personne qui ont contribue de prêt ou de loin à ce que nous sommes aujourd'hui, merci à tous.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À mes très chère parents : Omar et Zohra que dieu les
garde et les bénis*

*Pour leur soutien, leur encouragement et les sacrifices
Qu'ils ont enduré ;*

À mes frères : Bibes et sa fiancé, à Gougou et Kakous ;

À ma chère et grande Sœur : Wahiba ;

À mon oncle Farid ;

À toute ma famille en général;

*À mes chers amis Bilal, les deux Yidir, Lvachir, Takfa, Djidji
Hakim, Massi*

À mon pote et binôme : Lotfi Hariche ;

*Une attention particulière à mademoiselle Taninna pour son
aide précieuse ;*

À tout mes amis en dette ;

À toute la promotion de Génie électrique ;

Dédicace

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.
Que dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

À mes frères et sœur Tayeb, Nassim, Nabila et leur famille ;

À mes adorables neveux ;

À mes chères cousins et cousines ;

À toute ma famille ;

*À mes chères amis Belkacem, Nonor, Azdine, Ghilas et
Lamine*

À toute la promotion de Génie électrique ;

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude bibliographique sur l'éclairage public à énergie solaire	
I.1 Introduction	3
I.2 Eclairage public à énergie solaire.....	3
I.3 Impacte de l'éclairage public a énergie solaire sur le milieu urbain	4
I.3.1 Impacte environnementale.....	4
I.3.2 Impacte Economique	4
I.3.3 Impacte Sociale.....	4
I.4 Principe de fonctionnement d'un éclairage public hybride à énergie solaire	5
I.5 La description détaillée des composantes d'un système d'éclairage public hybride à énergie solaire.....	6
I.5.1 La ressource solaire	6
I.5.2 Source Alternative	6
I.5.3 Le module photovoltaïque	7
I.5.3.1 Caractéristiques de la cellule photovoltaïque	7
I.5.4 Batteries	9
I.5.4.1 Principe de fonctionnement d'une terie.....	9
I.5.4.2 Types de batteries.....	10
I.5.4.2.1 Batterie Acide/plomb.....	10
I.5.4.2.2 Batterie Nickel-Cadmium Ni -Cd.....	13
I.5.4.2.3 Batterie nickel-hydrure métallique (Ni–MH).....	14
I.5.4.2.4 Batteries lithium-ion (Li-Ion).....	14
I.5.6 Système de régulation.....	16
I.5.6.1 Shunt et Série.....	17
I.5.6.2 Compensation de température.....	17
I.5.7 Eclairage	17
I.5.7.1 Le luminaire.....	17
I.5.7.2 Photométrie.....	18
I.5.8 Quelques types de lampes utilisé dans l'éclairage public.....	18
I.5.8.1 Lampes à incandescence standard (classique).....	18
I.5.8.2 Les lampes DHI (Décharge de Haute Intensité).....	19
I.5.8.2.a Les lampes à vapeur de Mercure.....	19
I.5.8.3 Luminaires à lampes à vapeur de sodium sous basse pression (LPS).....	20

I.5.8.4	Les lampes à vapeur de sodium sous haute pression SHP (HPS).....	21
I.5.8.5	Lampe à LED	22
I.5.9	Dispositif de contrôle du temps d'allumage du luminaire.....	23
I.5.9.1	Détecteurs de lumière du jour	23
I.5.9.2	Minuterie.....	24
I.5.10	Eléments d'un poteau	24
I.5.10.1	Divers types de poteaux	24
I.5.10.2	Types d'implantations.....	25
I.11	Conclusion.....	26
Chapitre II: II Etude et simulation du schéma électrique d'un éclairage solaire		
	hybride.....	27
II.1	Introduction.....	27
II.2	Supervision du système.....	28
II.2.1	Mode fonctionnel	29
II.3	Dimensionnement énergétique du système photovoltaïque.....	29
II.3.1	Dimensionnement du PV	29
II.3.2	Calcul du Besoins journaliers du lampadaire	29
II.3.3	calcul de la taille du générateur photovoltaïque.....	29
II.3.4	calcul de nombre de panneaux	30
II.3.5	Estimation de l'ensoleillement	30
II.4	Dimensionnement de Batterie.....	32
II.5	Modélisation du système d'éclairage public solaire hybride Sous PSIM.....	33
II.5.1	Modélisation du panneau Solaire	33
II.5.2	Les paramètres du panneau solaire.....	33
II.5.2.1	Visualisation du courant et de la tension aux bornes du panneau	
photovoltaïque.....		34
II.5.3	Le Points de puissance maximale (MPPT).....	35
II.5.3.1	Principe de la méthode P&O	35
II.5.3.2	Visualisation du courant et de la tension aux bornes du panneau avec MPPT	
.....		36
II.5.4	Modélisation de la source Alternative.....	37
II.5.4.1	Les paramètres de la source AC.....	37
II.5.4.2	Visualisation du courant et de la tension a la sortie de la source AC.....	38

II.5.5 Modélisation du système de gestion des deux sources.....	38
II.5.5 .1 Principe de fonctionnement du système de gestion.....	39
II.5.6 Modélisation de la Batterie et du SOC de stockage	39
II.5.6 .1 Estimation du SOC de la batterie.....	39
II.5.7 Modélisation du schéma électrique du système entier	40
II.5.7 .1 Résultats de la simulation.....	42
II.5.7.1.a Alimentation de la batterie avec le panneau solaire.....	42
II.5.7.1.b Alimentation de la batterie par la source secondaire (la sourceAC).....	43
II.6 conclusion.....	45
Chapitre III: Estimation du cout et de la puissance électrique consommée par des lampadaires de l'UTO	
III.1 Introduction.....	46
III.2 Estimation de puissance	46
III.2.1 Estimation de la puissance consommée par les lampadaires au sein de l'UTO .	46
III.2.1.1 Modèle utilisant des ampoules à vapeur de Mercure de 125 W	46
III.2.1.2 Modèle utilisant des ampoules à vapeur de sodium sous haute pression	
HPS de 400 W.....	48
III.2.2 Modèle fonctionnant avec des LED.....	49
III.2.2.1 Modèle A (Modèle utilisant des LED de 50 W	49
III.2.2.2 Modèle B (Modèle utilisant des LED de 100W).....	49
III.2.3 Calcul de la puissance consommée par l'éclairage extérieur au sein du campus universitaire de Targa ouzmmour.....	50
III.3 Estimation financière.....	51
III.3.1 La puissance totale consommé par le campus de Targua Ouzemmour	51
III.3.2 Calcule de la moyenne mensuelle de la consommation électrique au de l'UTO .	52
III.3.3 Calcule du cout et de la consommation mensuelle d'électricité par l'éclairage extérieur de l'UTO.....	52
III.4 Solutions et perspectives.....	53
III.4.1 Première solution	53
III.4.2 Deuxième solution	53
III.5 Conclusion	54
Conclusion générale	55

Liste des figures

Figure 1 : Éclairage public à énergie renouvelable.....	3
Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un éclairage public hybride à énergie solaire.....	5
Figure 3 : Spectre du rayonnement solaire.....	6
Figure 4 : Une photopile	7
Figure 5 : Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	8
Figure 6 : Les différents types de cellules photovoltaïques.....	8
Figure 7 : Batterie en charge (a) et en décharge (b).....	9
Figure 8 : Batterie Acide/plomb.....	10
Figure 9 : Composantes d'une batterie solaire.....	11
Figure 10 : Batterie Nickel-Cadmium Ni -Cd.....	13
Figure 11 : Batterie nickel-hydrure métallique (Ni -MH)	14
Figure 12 : Batteries lithium-ion (Li-Ion)	14
Figure 13 : Fonction du régulateur.....	16
Figure 14 : Exemple de régulateur solaire.....	16
Figure 15 : Exemple de luminaire existant dans le marché.....	17
Figure 16 : Exemple d'un bon luminaire.....	18
Figure 17 : Ampoule incandescente standard (classique)	18
Figure 18 : Les lampes à vapeur de Mercure.....	19
Figure 19 : Lampes à vapeur de sodium sous basse pression (LPS)	20
Figure 20 : Les lampes à vapeur de sodium sous haute pression SHP (HPS)	21
Figure 21 : Lampes a LED utilisé dans l'éclairage public.....	23
Figure 22 : Eléments d'un poteau.....	24
Figure 23 : Représente une implantation unilatérale	25
Figure 24 : Représente une implantation bilatérale en quinconce.....	25
Figure 25 : Représente une implantation bilatérale.....	25
Figure 26 : Représente une Implantation axiale.....	25
Figure 27 : Schéma de la supervision du système	28
Figure 28 : Donnés d'irradiation et de température dans la région de Bejaïa	30
Figure 29 : Caractéristique du module solaire (Physical model)	31
Figure 30 : Modélisation de la source photovoltaïque.....	33
Figure 31 : Les paramètres du panneau solaire	34
Figure 32 : Allure du courant et de la tension au borne du panneau.....	34
Figure 33 : Modélisation de la MPPT du panneau photovoltaïque.....	35
Figure 34 : MPPT avec la méthode P&O.....	35
Figure 35 : Allure du courant et de la tension aux bornes du panneau avec MPPT.....	36
Figure 36 : Modélisation de la source alternative.....	37
Figure 37 : Les paramètres de la source AC.....	37
Figure 38 : Allure du courant et de la tension à la sortie de la source AC.....	38
Figure 39 : Modélisation du système de gestion des deux sources.....	38
Figure 40 : Modélisation de la batterie.....	39
Figure 41 : Modélisation du schéma électrique complet du système partie 1.....	40

Figure 42 : Modélisation du schéma électrique complet du système partie 2.....	41
Figure 43 : Allures du courant et de la tension aux bornes de la batterie.....	42
Figure 44 : Allure du SOC de charge avec le panneau solaire.....	42
Figure 45 : Allure du SOC de décharge avec le panneau solaire.....	43
Figure 46 : Allures du courant et de la tension aux bornes de la batterie	43
Figure 47 : SOC de charge de la batterie avec la source alternative.....	44
Figure 48 : SOC de décharge de la batterie avec la source alternative.....	44
Figure 49 : Lampadaire Model A.....	45
Figure 50 : Lampadaire Modèle B (B1 B2 B3)	46
Figure 51 : Ampoules à vapeur de Mercure de 125 W	46
Figure 52 : Lampadaire Model C (C1, C2)	47
Figure 53 : Ampoules à vapeur de sodium sous haute pression SHP (HPS) de 400 W... ..	47
Figure 54 : Modèle A (A1, A2)	48
Figure 55 : Modèle B à LED à 100W.....	48
Figure 56 : Facture électrique de l'UTO datant du mois de novembre.....	50
Figure 57 : Facture électrique de l'UTO datant du mois d'octobre.....	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des cellules photovoltaïques utilisé dans l'éclairage public solaire.....	8
Tableau 2: Caractéristiques des différentes batteries	15
Tableau 3 : Irradiations moyennes mensuelles journalières.....	31
Tableau 4 : La puissance consommée par l'éclairage extérieur dans UTO.....	49
Tableau 5 : La moyenne mensuelle de la consommation d'électricité au sein de l'UTO.....	51
Tableau 6 : Le cout de la consommation mensuel d'électricité par l'éclairage extérieur de l'UTO.....	51
Tableau 7 : Redimensionnement de puissance de l'éclairage en utilisant des luminaires à LED	52

Introduction générale

Les énergies renouvelables semblent être l'une des réponses parmi les plus crédibles au défi du changement climatique, et une alternatives prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de nature fossile et nucléaire, écologiques elles sont faiblement émettrices de gaz à effet de serre de plus la production d'énergie se fait à partir de sources gratuite et renouvelable, leur gisement et casé inépuisable, cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz, elle est donc une énergie totalement propre. [1]

Parmi les énergies renouvelables existantes, l'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables les plus utilisé actuellement a travers le monde, en raison de son gisement solaire gratuit, de sa performance et de sa flexibilité, le rayonnement solaire est reparti sur toute la surface de la terre et ne cause aucun conflit entre les pays contrairement au pétrole son chams d'application et très large, on la retrouve quasiment dans tout les domaine ou l'énergie électrique est présente, une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (Technique du solaire thermique) ou de l'électricité (Technique du solaire photovoltaïque). Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique via les panneaux photovoltaïques, (la durée de vie d'un module photovoltaïque est estimé généralement par les experts à 30 ans). [9].

En raison de son cout élevé, et de sa consommation excessif de l'énergie électrique l'éclairage public représentent aujourd'hui une préoccupation majeure des distributeurs d'énergie à travers beaucoup de pays dans le monde, par ce, le déficit est de trouver les moyens permettant de limiter au maximum la consommation d'énergie fossile et polluante de l'éclairage public et de la compensé par la voie d'énergies renouvelables.

La contribution de notre étude est liées à l'éclairage public, pour cela nous proposons l'étude d'un système d'éclairage public hybride, à énergie solaire photovoltaïque autonome munis d'une batterie d'accumulateur et couplé a une autre source de soutien dans notre cas une source alternative, afin d'avoir un éclairage gratuit et disponible à tout temps, cette technologie sera non polluante silencieuse, renouvelable, et offrira des couts d'entretien et de maintenance faibles.

Notre travail est structuré en trois chapitres, le premier chapitre se porte sur le principe de fonctionnement de l'éclairage hybride solaire, et la description détaillé des différentes composantes constituant sa réalisation.

Dans le deuxième chapitre, une analyse de dimensionnement est présenté, la modélisation et la simulation du fonctionnement électrique du système sont effectué via le logiciel PSIM pour assurer la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque une méthode de commande MPPT est développée, utilisant l'algorithme de type P&O (Perturb and Observe).

Ce travail est complété par un troisième chapitre qui se porte sur l'étude de la consommation d'énergie électrique des lampadaires de l'université de Targua Ouzemmour, et à la

détermination du prix que coûte leur consommation, ainsi qu'aux solutions et perspectives que celle-ci pourra recourir.

I.1 Introduction

La lumière n'avait au siècle dernier que des intérêts fonctionnels. Les notions d'éblouissement, de sur-éclairage n'étaient jamais abordées, il fut longtemps considéré jusque dans les années 80, comme un équipement purement fonctionnel répondant surtout à des besoins sécuritaires, mais à la fin des années 90 la tendance s'inverse, l'homme prend conscience que l'éclairage extérieur joue sur l'esthétique des lieux, au fil du temps notamment à partir des années 2000, des idées nouvelles se développent. Les débats autour de la planète, de l'énergie qu'on y puise sont d'actualité, on prend conscience qu'il est nécessaire d'utiliser l'éclairage public mais de façon raisonnable et juste. [13].

Dans ce chapitre nous allons parler sur l'éclairage public solaire d'une manière générale, son impact sur le plan environnemental, économique et social puis nous parlerons sur notre éclairage public hybride à énergie solaire qui utilisera une source continue (panneau photovoltaïque) et une source alternative, son mode de fonctionnement, et en fin nous aborderons les composantes essentielles à sa réalisation.

I.2 Eclairage public à énergie solaire

Le lampadaire solaire ou candélabre solaire est un type de lampadaire qui est alimenté par l'énergie solaire, c'est-à-dire qu'il est équipé de panneaux solaires qui captent la lumière du soleil pendant la journée, ce qui permet de produire de l'électricité, qui est stockée dans des batteries, puis restituée la nuit pour l'éclairage.

La technologie d'éclairage solaire vise à promouvoir une nouvelle approche de l'éclairage public qui minimise son impact environnemental et économique sans diminuer la qualité des réponses aux besoins qu'il doit rencontrer, au cours de ces dernières décennies, d'autres aspects sont venus se greffer à cette préoccupation, qualité de vie, ambiance urbaine, et marketing urbain... etc. [2], cette tendance a entraîné une amélioration esthétique, et fonctionnelle de l'éclairage public de tel sort à crée des systèmes d'éclairage hybride et divers qui consiste a combiné deux sources d'énergie, ou plus [3]



Figure 1 : Éclairage public à énergie renouvelable

I.3 Impacte de l'éclairage public a énergie solaire sur le milieu urbain

I.3.1 Impacte environnementale

La lumière solaire composée de particules appelées photons qui sont projetées en permanence sur notre planète, lorsqu'elles sont projetées sur un panneau photovoltaïque, celui-ci produit de l'électricité, donc l'éclairage solaire en générale est un geste pour la planète car :

- L'éclairage solaire est écologique, car il utilise une énergie propre
- Il diminue la pollution lumineuse du ciel nocturne [2]

I.3.2 Impacte Economique

On peut résumer son impacte économique par ce qui suit :

- L'éclairage à l'aide du solaire peut être une option économiquement viable dans de nombreuses applications il diminue non seulement dans les zones où le coût de la fourniture d'électricité est trop cher, mais aussi dans des situations où la réduction des coûts de fonctionnement est une priorité.
- les Lampes solaires de l'éclairage public fonctionnent à l'énergie solaire Gratuite, en toute autonomie, elles permettent de réduire la consommation électrique, pour des économies d'énergies [5]

I.3.3 Impacte Sociale

L'éclairage public solaire est un service au cœur de la politique de l'urbanisme, son impact social est en grand majorité le même avec celui de l'éclairage publique classique et il se résume comme suit :

- Il est garant de la sécurité publique, (des piétons, des cyclistes...etc.) [12]
- Il joue un rôle dans l'amélioration du cadre de vie des habitants, car il intervient parmi les outils de revitalisation de territoires noyaux commerciaux et touristiques, centres historiques, quartiers périurbains.
- intégration esthétique
- Il permet aussi de prolonger l'activité nocturne des lieux les plus fréquenté.
- Il valorise le patrimoine construit et naturel
- Disponibilité maximale vue que sa source est inépuisable [2]

I.4 Principe de fonctionnement d'un éclairage public hybride à énergie solaire

L'énergie solaire accumulée tout le long de la journée sera utilisée en période d'obscurité par les lampadaires solaires pour éclairer les voies.

En effet, l'éclairage public solaire, au moyen de son panneau photovoltaïque, reçoit les rayonnements solaires puis les convertissent en énergie électrique qui est ensuite stockée dans des batteries, au coucher du soleil ou en période d'obscurité, le système d'éclairage se met en marche et éclaire ainsi les lieux. [4].

Dans le cas où il y'a pas assez d'ensoleillement ou il y'a un dysfonctionnement de la première source (l'énergie solaire), la deuxième source (le réseau alternatif) qui est une source de soutien entre en jeu pour charger les batteries, à fin d'assurer la disponibilité de l'éclairage.

Ce fonctionnement est contrôlé au moyen d'un dispositif électronique permettant de choisir le temps d'allumage du luminaire et de modifier ce temps selon l'énergie disponible dans les accumulateurs de charges, il permet aussi la conversion AC/DC, permettant à la batterie de se charger avec la source alternative au cas de besoin [4]

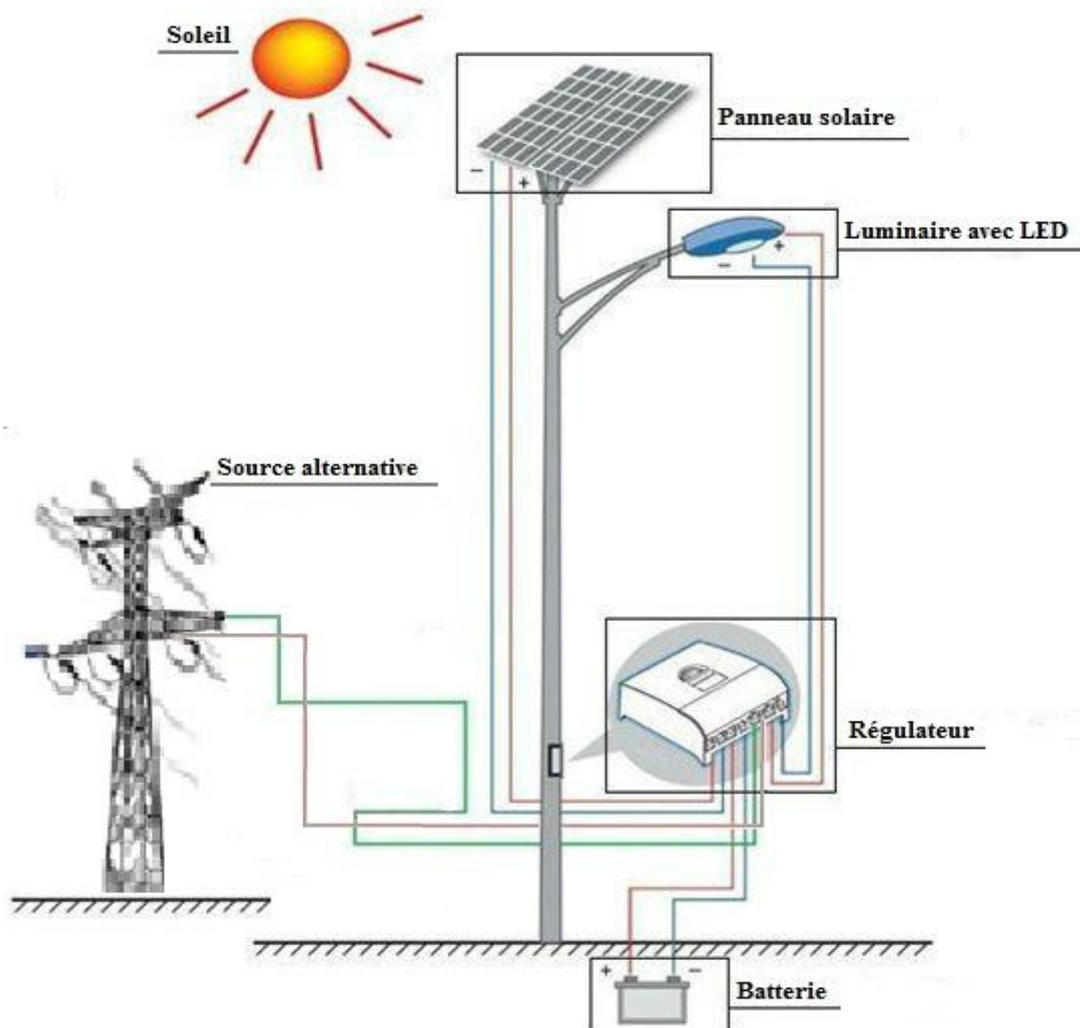


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un éclairage public hybride à énergie solaire

I.5 La description détaillée des composantes d'un système d'éclairage public hybride à énergie solaire

I.5.1 La source solaire

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm). La figure 1 représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi [4]:

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($> 0,8 \mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1,2\text{kW}/\text{m}^2$ ($1200\text{W}/\text{m}^2$). La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus. [4]

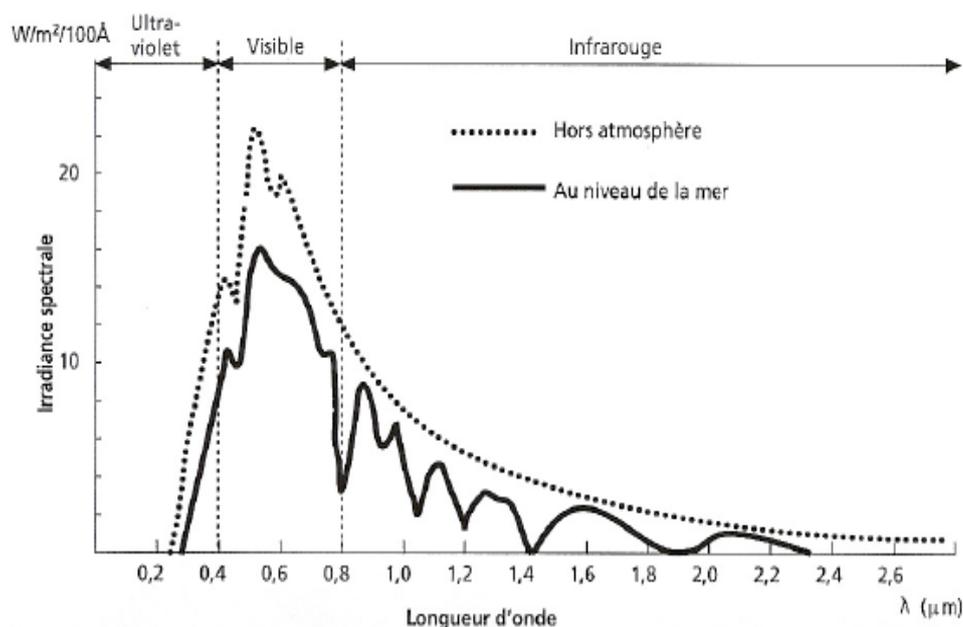


Figure 3: Spectre du rayonnement solaire

I.5.2 La source alternative

Cette dernière est généralement assurée par la société nationale de l'électricité et du gaz (Sonelgaz) au niveau national elle est caractérisé par une tension de 220 v, une fréquence de 50Hz, elle jouera un rôle de seconde source, car elle interviendra seulement en cas de défaillance du panneau solaire ou dans le cas où il n'y a pas assez d'ensoleillement.

I.5.3 Le module photovoltaïque

Un module photovoltaïque est un générateur électrique de courant continu. Il utilise une photopile (figure 4) 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. [4]

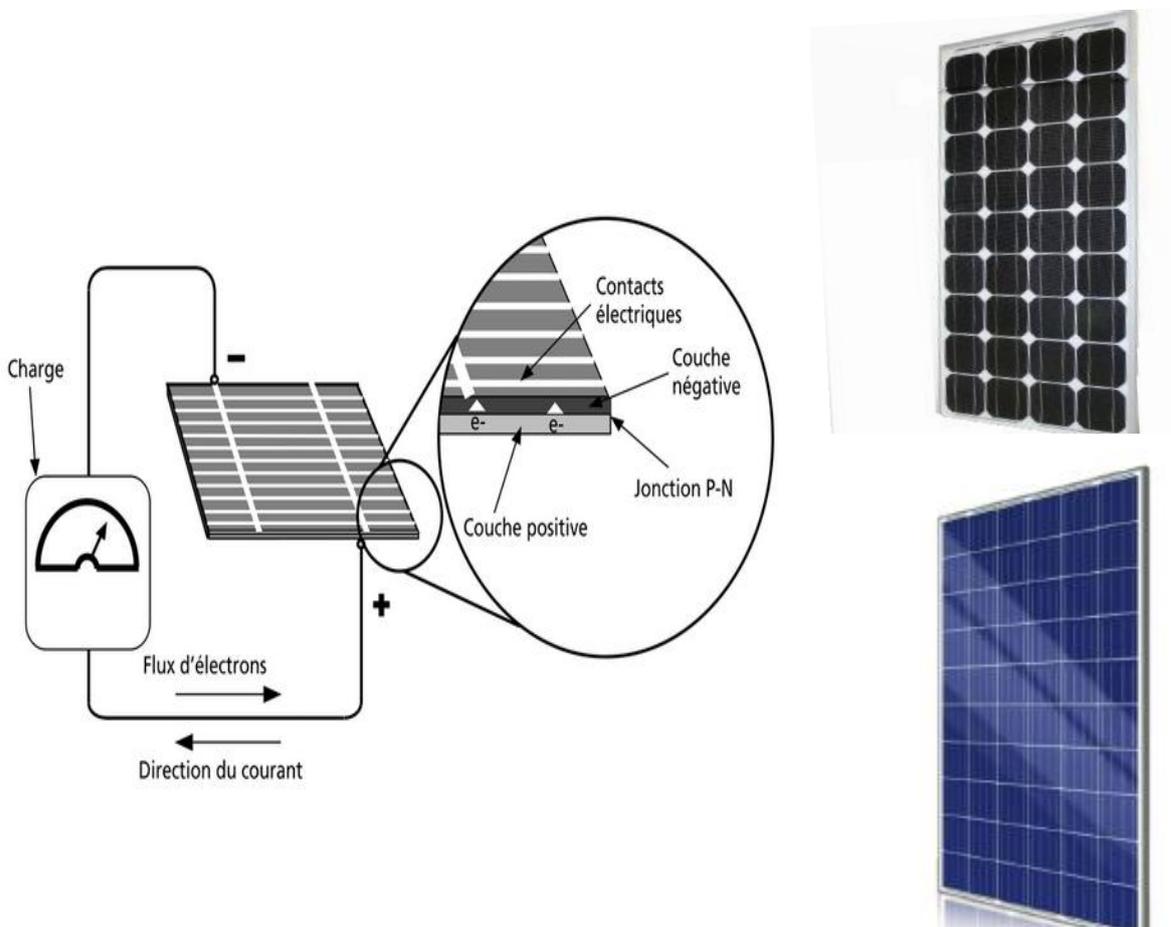


Figure 4 : Principe de la photopile dans un panneau solaire

I.5.3.1 Caractéristiques de la cellule photovoltaïque

La puissance-crête (W_c) d'un module photovoltaïque est la puissance électrique maximale qu'il peut fournir, dans les conditions de mesures normalisées suivantes:

- lorsqu'il est connecté à une charge optimale
- lorsqu'il reçoit du soleil une puissance de $1\ 000\text{W/m}^2$. Ceci correspond approximativement à une exposition perpendiculaire aux rayons du soleil le midi par temps clair ;
- lorsque la température à la jonction des cellules est de $25\ ^\circ\text{C}$.

Il s'agit donc de conditions idéales conventionnelles qui sont très rarement remplies dans la pratique.

Les caractéristiques du courant $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque peuvent être schématisées comme suit [4] :

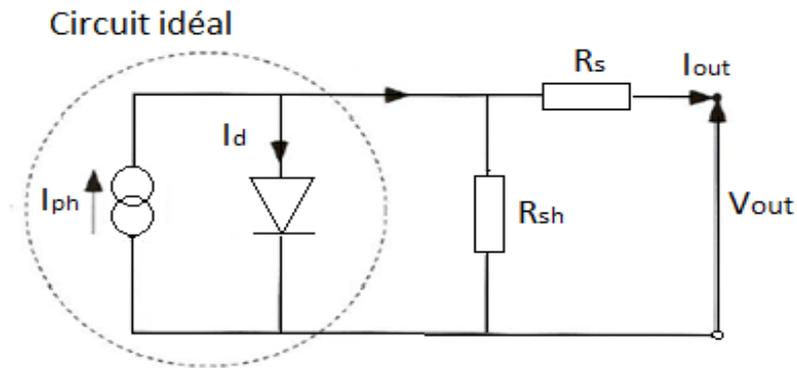


Figure 5: Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque

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 cristaux (polycristallin). Ou tout simplement On peut la représenter comme une diode plate qui est sensible à la lumière [22]

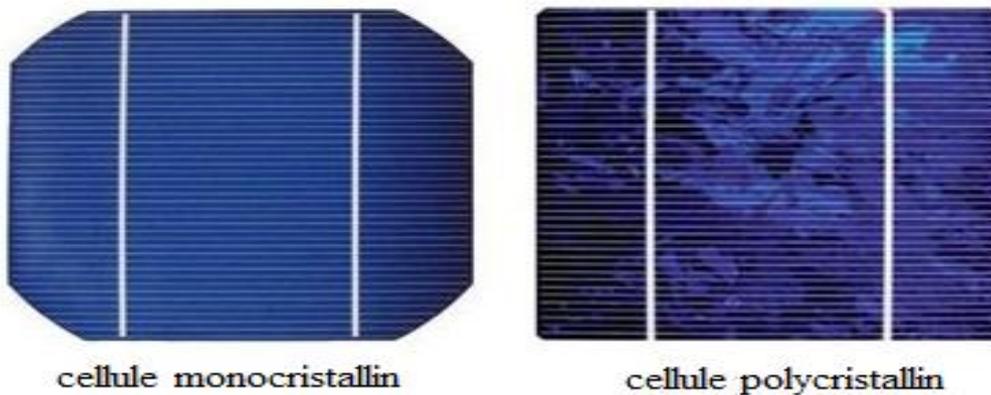


Figure 6: Les différents types de cellules photovoltaïques

Le tableau ci-dessous représente les caractéristiques des trois cellules photovoltaïques utilisé dans la fabrication de panneaux solaires

Technologies	Durée de vie	Rendement (%)
Silicium monocristallin	20 à 30 ans	16 – 18 %
Silicium poly cristallin	20 à 30 ans	13 - 15 %

Tableau 1 : Caractéristiques des cellules photovoltaïques utilisé dans l'éclairage public solaire

Remarque: pour des raisons de rendement seul les cellules monocristallin et polycristallin sont utilisées dans l'éclairage public solaire

I.5.4 la Batterie

I.5.4.1 Principe de fonctionnement d'une batterie

Un accumulateur est un dispositif électrochimique qui permet la conversion réversible d'énergie chimique en énergie électrique. En charge, l'énergie électrique est convertie et stockée sous forme d'énergie chimique à travers des réactions d'oxydoréduction. En décharge, l'élément fonctionne en mode générateur. Dans ce cas, l'énergie chimique est convertie en énergie électrique, et les réactions inverses se produisent aux électrodes. [9]

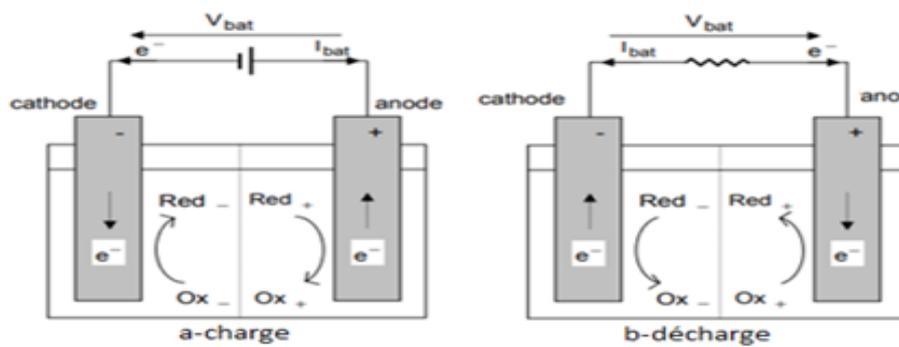


Figure 7: Batterie en charge (a) et en décharge (b)

Un accumulateur est constitué principalement, de deux électrodes qui permettent de stocker les électrons à l'issue des réactions électrochimiques d'oxydoréduction. Ces électrodes sont immergées dans l'électrolyte qui permet le transport des espèces ioniques d'une électrode à l'autre. Le séparateur permet l'isolation électrique pour assurer le passage des électrons via le circuit électrique extérieur. [9]

I.5.4.2 Types de batteries

I.5.4.2.1 Batterie Acide/plomb

La batterie au plomb a toujours été et y'est toujours actuellement - la source d'énergie la plus répandue



Figure 8 : Batterie Acide/plomb

On y trouve deux sortes de batterie de ce genre :

- Les batteries au plomb ouvertes avec un électrolyte d'acide sulfurique dilué d'eau distillée. Elles ont la particularité d'être des accumulateurs fiables, dont la technologie est bien connue depuis le XIXe siècle et maîtrisée. Elles ont l'inconvénient d'être influencées fortement par la température ambiante qui baisse fortement leur capacité. De plus, elles demandent un entretien régulier (remise à niveau avec de l'eau distillée), leur électrolyte s'évaporant avec le temps.
- Les batteries au plomb ouvertes avec un électrolyte d'acide sulfurique dilué d'eau distillée. Elles ont la particularité d'être des accumulateurs fiables, dont la technologie est bien connue depuis le XIXe siècle et maîtrisée. Elles ont l'inconvénient d'être influencées fortement par la température ambiante qui baisse fortement leur capacité. De plus, elles demandent un entretien régulier (remise à niveau avec de l'eau distillée), leur électrolyte s'évaporant avec le temps.

La réaction chimique réversible mise en jeu est donnée par :



et parmi les différentes types de batteries Acide/Plomb qui existe sur le marché on trouve la Batterie solaire Plomb- Acide qui nous intéresse

Ces batteries sont composées 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 marquetée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte

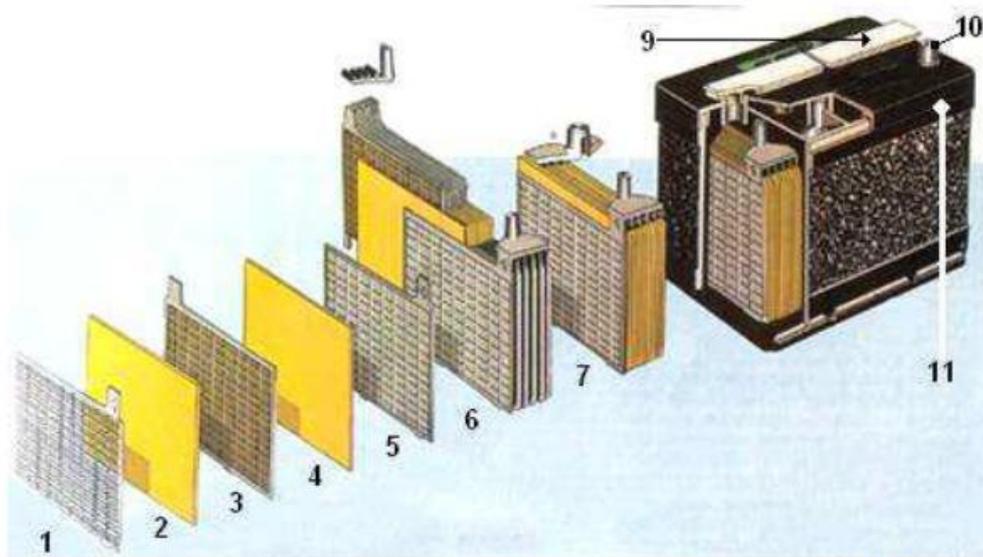


Figure 9 : Composantes d'une batterie solaire

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1 : Grille | 7 : Élément complet |
| 2 : Séparateur | 8 : Pont |
| 3 : Plaque positive | 9 : Rampe de bouchons |
| 4 : Plaque négative | 10 : Borne |
| 5 : Barrette | 11 : Bac |
| 6 : Faisceau négatif | |

Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la batterie. [7]

L'alliage en question est en plomb avec 2-6% d'Antimoine. Moins la contenance en antimoine sera grande, moins résistante sera la batterie pendant le processus de charge. Une petite quantité d'Antimoine réduit la production d'hydrogène et d'oxygène pendant la charge, et par conséquent la consommation d'eau. D'autre part, une plus grande proportion d'Antimoine permet des décharges plus profondes sans endommager les plaques, ce qui implique une plus grande durée de vie des batteries. Le Cadmium et le Strontium sont utilisés à la place de l'Antimoine pour fortifier la grille. Ceux-ci offrent les mêmes avantages et inconvénients que l'Antimoine, mais réduisent en outre le pourcentage d'autodécharge quand la batterie n'est pas en utilisation. [7]

Le Calcium fortifie aussi la grille et réduit l'autodécharge. Toutefois, le Calcium réduit la profondeur de décharge recommandée dans non plus de 25%. D'autre part, les batteries de plomb- Calcium sont de type "cycle peu profond". Les plaques sont alternées dans la batterie, avec des séparateurs entre elles, qui sont fabriqués d'un matériel poreux qui permet le flux de l'électrolyte. Ils sont électriquement non

conducteurs, ils peuvent être des mélanges de silice et de matières plastiques ou gommées. Les séparateurs peuvent être des feuilles individuelles ou des "enveloppes". Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un "élément". Un élément dans un container plongé dans un électrolyte constitue une "cellule" de batterie. Des plaques plus grandes, ou en plus grand nombre, entraînent une plus grande quantité d'ampères heure que la batterie peut fournir. Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension qui varie entre 1,7 et 2 volts suivant l'état de charge en conductions nominales de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85%.(pour plomb- Acide) [7]

Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou des éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques. Pour cette raison, une batterie de 6 V est composée de trois cellules, et une de 12 V de 6. Les plaques positives d'une part, et les négatives de l'autre, sont interconnectées au moyen de terminaux externes dans la partie supérieure de la batterie.[7]

Les éléments des batteries sont souvent montés dans des bacs isolés du sol pour éviter le refroidissement de l'électrolyte par l'intermédiaire de support de bois, ces bacs sont réalisés en plastique transparent afin de bien visualiser le repérage de niveau de l'électrolyte. Les liaisons entre les éléments doivent être dimensionnés de manière à avoir une chute de tension très faible quel que soit le régime [7].

I.5.4.2.2 Batterie Nickel-Cadmium Ni -Cd

En 1899, le suédois Waldemar Junger (June 19, 1869 – August 30, 1924) invente la première batterie rechargeable nickel-cadmium NiCd. [7]



Figure 10 : Batterie Nickel-Cadmium Ni -Cd

Ce type d'accumulateur est plus récent que celui au plomb, parmi ses avantages on retrouve:

- il a la capacité de réaliser un grand nombre de cycle de charge/décharge
- sa résistance interne très faible, ce qui minimise les pertes de puissances
- son stockage est simple, adapté à différents niveaux de charge
- sa charge est très rapide (60% de la capacité de charge totale en 20 minutes).

Ces avantages technologiques par rapport aux batteries de plomb se répercutent fatalement sur le coût du produit, qui est 3 fois supérieur à ce dernier, pour cette raison ils sont utilisées pour les applications de puissance relativement faible. Aussi le caractère polluant du Cadmium est un inconvénient de taille pour ce modèle. Il possède également une faible densité énergétique et se décharge assez rapidement, et est sensible à l'effet mémoire. [9]

Les accumulateurs Cadmium-Nickel sont réalisés à partir de 2 électrodes immergés dans une solution (électrolyte). L'électrode positive est l'hydroxyde de Nickel, et le négative est du Cadmium. L'électrolyte est à base de Potasse, d'où le nom d'accumulateur alcalin. Leurs tension varie de 1.15 à 1.45 V par élément avec une valeur nominale à 1.2 V. [9]

La réaction réversible globale est la suivante :



I.5.4.2.3 Batterie nickel-hydrure métallique (Ni –MH)

Cette technologie est commercialisée en 1990, cet accumulateur, contrairement aux deux précédents, n'est pas polluant (absence de cadmium et de plomb). Il peut emmagasiner plus d'énergie que le Ni-Cd (capacité environ 1,8 fois supérieure) et est peu sensible à l'effet mémoire. Il a dans des meilleures performances que le Ni-Cd.

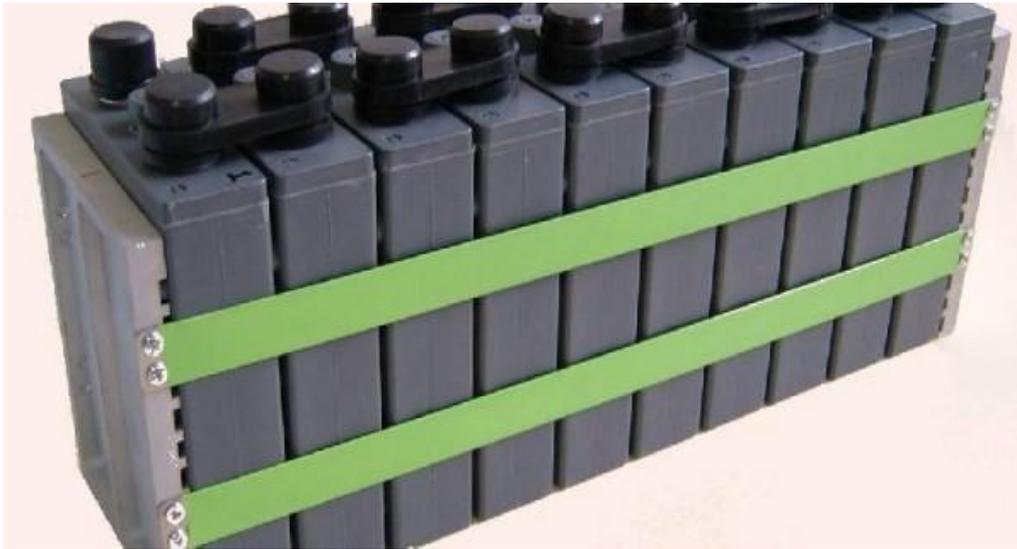


Figure 11 : Batterie nickel-hydrure métallique (Ni –MH)

Parmi ses inconvénients on trouve que son autodécharge est plus handicapante et sa durée de vie plus courte en nombre de cycle, en plus il détecte difficilement la fin de charge et ne supporte pas le dépassement de charge. [9]

I.5.4.2.4 Batteries lithium-ion (Li-Ion)

Une batterie lithium-ion, ou accumulateur lithium-ion, est un type d'accumulateur lithium. Ce dernier est un accumulateur électrochimique dont la réaction est fondée sur l'élément lithium



Figure 12 : Batteries lithium-ion (Li-Ion)

Ces batteries font partie des nouveaux types fort prometteurs. Leurs énergies massique et volumique sont très élevées, de l'ordre de respectivement 150 Wh/kg et 300 W/kg. Le lithium

est en effet le plus léger des métaux et possède un potentiel électrochimique élevé, ce qui en fait le métal le plus attractif pour constituer l'électrode négative d'une batterie. [7]

Le tableau ci-dessous compare les caractéristiques de ces 4 technologies

Batteries	Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion
Durée de vie (année)	4-5	2-3	2-4	7
Nombre de cycle de vie	800	1200	1000	1000
Rendement charge décharge (%)	50	70-90	66	90
Autodécharge(% par mois)	5	15	20	2
Tension nominal par élément (V)	2.1	1.2	1.2	3.6
Résistance interne (Ohm)	Très faible	Environ 0.06 par cellule de 1Ah	Environ 0.06 par cellule de 1Ah	Très faible
Température en fonctionnement (C)	Ambiante	-40 à +80	Ambiante	Ambiante
Energie massique (Wh/Kg)	30-50	45-80	60-110	90-180
Energie volumique (Wh/l)	75-120	80-150	220-330	220-400
Temps de charge (h)	8	1	1	2-3
Coût	Pas trop chère	Très chère	Très chère	Très chère

Tableau 2: Caractéristiques des différentes batteries

I.5.6 Système de régulation

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 [7].

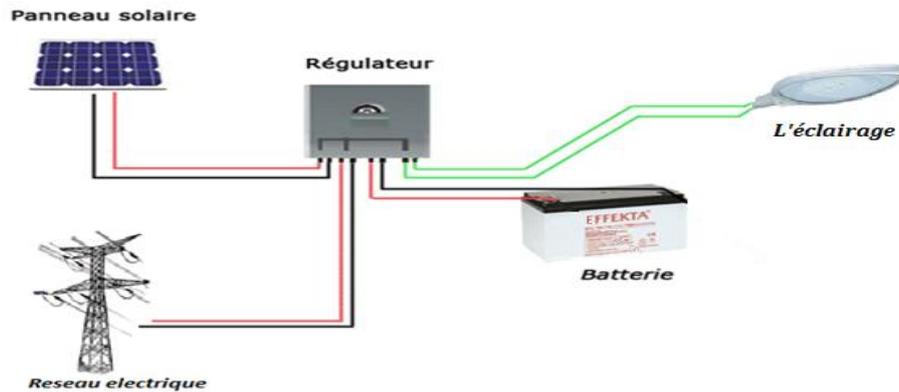


Figure 13 : Fonction du régulateur

Sa principale fonction est d'assurer le contrôle de l'état de charge de la batterie afin de maximiser la durée de vie et éviter sa destruction. Ainsi, il quantifie le courant qui arrive ou qui sort de la batterie car le niveau de charge ne doit être ni trop bas (décharge profonde) ni trop haut (surcharge). Il protège la batterie contre une surcharge du courant qui arrive du panneau photovoltaïque par réduction du courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée d'un côté et de l'autre côté contre une décharge profonde engendrée par le consommateur. La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur laquelle s'appliquera le régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension pré-régler : seuil haut et seuil bas.[9]

Il se place à l'intermédiaire des autres composants du système, entre le panneau et les batteries pour contrôler la charge et entre la batterie et l'utilisateur pour le contrôle de la décharge [9]



Figure 14 : Exemple de régulateur solaire

Remarque

Certain régulateur sont muni de dispositif de contrôle du temps d'allumage du luminaire tel qu'un détecteur de lumière du jour, et peuvent être muni aussi de convertisseurs statiques intégrés tel que : AC/DC, DC/DC.....etc.

I.5.6.1 Shunt et Série

Les panneaux photovoltaïques ont une particularité : ils peuvent être court-circuités ou peuvent voir leur circuit s'ouvrir sans dommage. Cette caractéristique a donné naissance à deux méthodes principales de contrôle de la charge de la batterie : le régulateur série linéaire et le régulateur shunt linéaire. Dès que les critères de fin de charge de la batterie commencent à être atteints (tension de la batterie ou mieux encore, son état de charge), le courant du panneau photovoltaïque est réduit de façon progressive jusqu'à le court-circuiter (shunt) ou en ouvrant le circuit électrique (série) [4]

I.5.6.2 Compensation de température

Comme la tension de fin de charge ainsi que la tension de fin de décharge d'une batterie dépendent de la température, il est essentiel que le régulateur de charge de la lecture précise de cette grandeur. Si les températures du régulateur et de la batterie sont différentes, alors la thermistance intégrée (qui ne mesure que la température ambiante) doit être remplacée par un thermocouple placé près des batteries. De cette manière, et tant que le régulateur lit la valeur réelle de la température de la batterie, celle-ci sera toujours entièrement chargée en période de faible ensoleillement et évitera tout risque de surcharge en période de fort ensoleillement. [4]

I.5.7 Eclairage

I.5.7.1 Le luminaire

Les luminaires sont des appareils d'éclairage qui contiennent la source lumineuse ainsi que les éventuels auxiliaires.



Figure 15: Exemple de luminaire existant dans le marché

Le luminaire a pour fonction principale de protéger la lampe, son appareillage de connexion et son réflecteur et de diriger la lumière vers l'espace à éclairer, dans bien des cas, ces deux fonctions de protection et d'orientation ne sont pas toujours bien prises en compte. On attribue

également, et de plus en plus, au luminaire une fonction esthétique susceptible de négliger ces préoccupations. Ainsi, il convient de privilégier les luminaires qui possèdent une vasque évitant l'éclairage du ciel et dirigeant la lumière vers le sol, comme le montre la figure 16, [2]

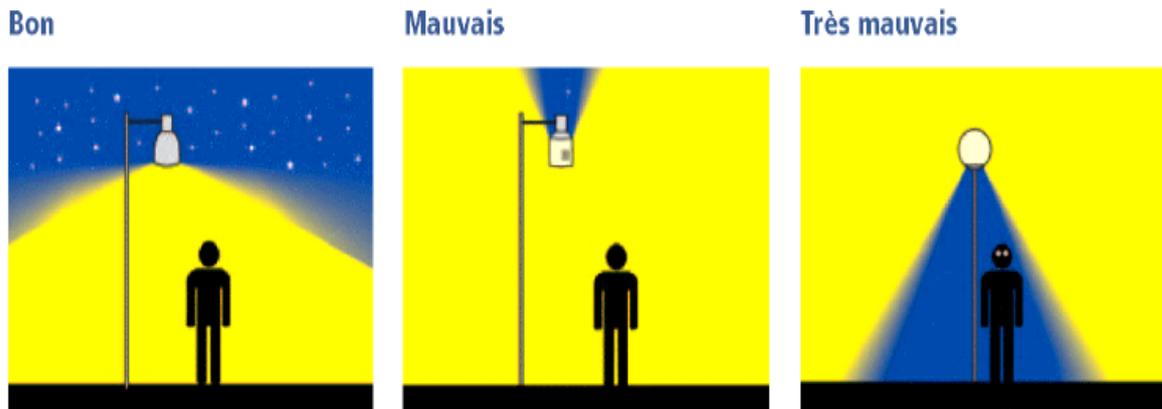


Figure 16 : Exemple d'un bon luminaire

I.5.7.2 Photométrie

Visibilité – contraste

La perception des objets est directement liée à l'écart de luminance entre ceux-ci et le fond sur lequel ils se détachent.

Un écart relatif minimal (contraste de seuil) est nécessaire. Ce seuil est d'autant plus élevé que la luminance du fond est faible.

Pour assurer une bonne visibilité, en tout point de la chaussée, la valeur minimale de luminance doit être limitée : on est ainsi conduit à fixer un rapport d'uniformité générale de luminance en plus du paramètre de base qui est la luminance moyenne.

Facteur d'uniformité générale = $(L_{\min}/L_{\text{moyen}}) \geq 0,4$. [4]

I.5.8 Quelques types de lampes utilisées dans l'éclairage public

I.5.8.1 Lampe à incandescence standard (classique)

La lampe à incandescence standard se compose d'un filament de tungstène en fermé dans une capsule de verre translucide vide ou remplie d'une combinaison de gaz neutres. Lorsqu'il est traversé par un courant électrique, le filament est porté à incandescence et émet un rayonnement visible à dominante rouge (température de couleur : 2700 K)



Figure 17 : Ampoule incandescente standard (classique)

Avantage et inconvénients

- Prix d'achat peu élevé.
- Mauvais rendement 92 à 95% de l'énergie électrique perdus en chaleur (seul 5 à 8% de l'électricité consommée est transformé en lumière).
- L'intensité lumineuse diminue avec le temps.
- La durée de vie n'excède pas 1000 heures.
- Le dégagement de chaleur est important.

I.5.8.2 Les lampes DHI (Décharge de Haute Intensité)

I.5.8.2.a Les lampes à vapeur de Mercure

Ces lampes contiennent des vapeurs de mercure mélangée a de l'argon. Ce type de lampe ne meurt théoriquement jamais.

Après 10 000 à 20 000 heures, son émission lumineuse commence a diminuer, pour atteindre moins de 25 % de l'émission initiale après 50 000 heures de fonctionnement. Leur efficacité lumineuse est située entre 50 et 100 lm·W-1 [21], ce qui est plus de 5 fois supérieur aux lampes a incandescence.

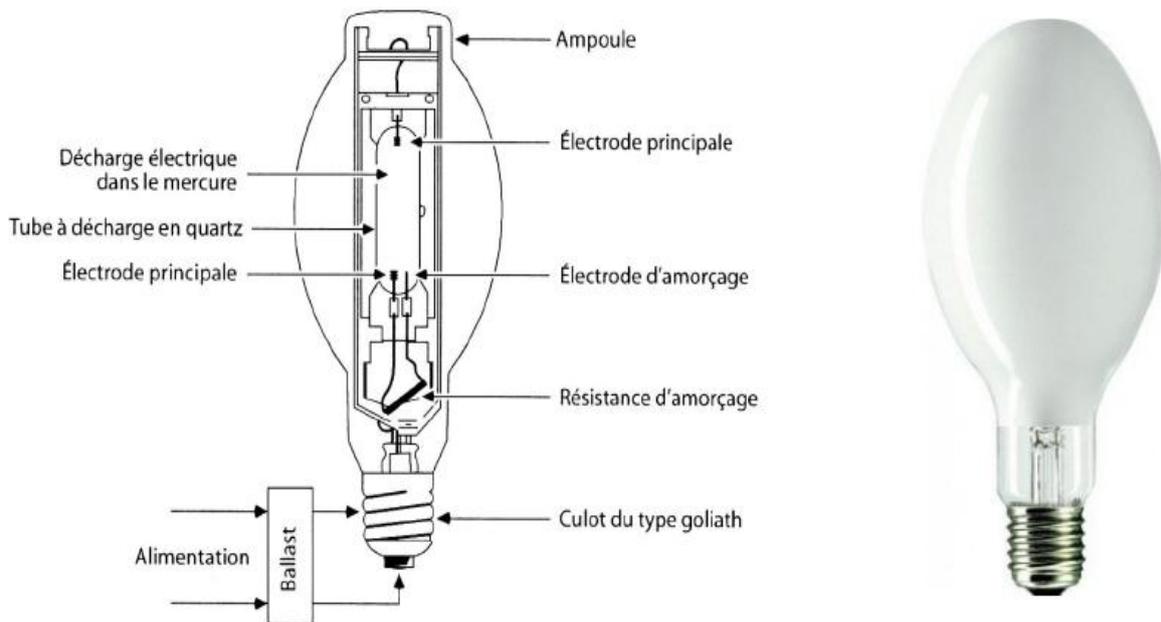


Figure 18 : Les lampes à vapeur de mercure

La lumière étant dans ce cas principalement produite par la luminescence, celle-ci est principalement composée d'ultraviolet (254 nm pour le mercure : UVC) il est donc nécessaire d'augmenter la longueur d'onde de la lumière émise par fluorescence

c'est-à-dire par adjonction sur les parois du tube d'une poudre blanche qui diminue la fréquence des ondes émises pour les "replacer" dans le spectre visible. Selon la composition chimique de ces poudres, il est possible d'obtenir un grand éventail de couleurs. [21]

Dans le cas des lampes a vapeur de mercure haute pression, au moment ou la lampe s'allume, seul un arc a basse pression se produit et donc, une faible quantité de lumière est émise ; puis

la lampe chauffe, la pression augmente peu a peu, le mercure se vaporise, un arc a haute pression se forme et une quantité plus importante de lumière est émise. La lampe met environ 5 minutes avant de produire son flux lumineux maximal.

Les lampes à vapeur de mercure ont longtemps servi a l'éclairage public du fait de leur faible cout. Elles ont toute fois été majoritairement remplacées par les lampes a vapeur de sodium haute pression, qui émettent une lumière faisant mieux ressortir les détails de la chaussée mais aussi qui sont plus faciles a filtrer par les astronomes. Ces sources lumineuses sont aussi plus rentables, surtout au niveau de l'efficacité lumineuse [21]

Avantages

- Durée de vie prolongée (24 000+ hrs)
- Robustesse a la vibration
- Compatibilité avec ballasts HM
- Technologie prouvé, [21]

Incontinents

- Efficacité moyenne (20-60 lpw)
- Aucun indicateur de fin de vie
- Temps de démarrage et rallumage (4/15min)
- Effet stroboscopique
- Danger d'exposition UV si l'ampoule externe est brisée [21]

I.5.8.3 Luminaires à lampes à vapeur de sodium sous basse pression (LPS)

Ces lampes sont composées d'un tube a décharge plie en forme de U et enclos dans une ampoule externe tirée sous vide. Le tube a décharge est rempli d'un mélange néon (99 %) argon (1 %) sous basse pression permettant l'amorçage de la décharge et l'échauffement du sodium jusqu'a 260 °C. Le tube est fabrique a base de verre sodocalcique recouvert d'une couche mince de verre au borate, résistant a la vapeur du métal alcalin. [21]



Figure 19 : Lampe à vapeur de sodium sous basse pression (LPS)

Ce tube est pourvu a ses extrémités d'électrodes recouvertes d'oxydes de terres rares pour une bonne émission électronique.

L'ampoule externe a un vide dont la qualité est maintenue grâce a des miroirs de baryum situés près de la douille. Une pastille de zirconium est souvent employée pour craquer les vapeurs d'hydrocarbures qui peuvent être présentes. Un film d'oxyde d'indium et d'étain, d'une

épaisseur de 0,3 micromètre recouvre l'intérieur de l'ampoule externe. Ce revêtement est conçu pour réfléchir les rayonnements infrarouges vers le tube à décharge.

Avantages

Très efficace (100-180 lpw)
Durée de vie (18000 heures) [21]

Inconvénients

Indice de Rendu des Couleurs de <<0 >>
Format de la lampe et des fixateurs [21]

I.5.8.4 Les lampes à vapeur de sodium sous haute pression SHP (HPS)

Les lampes a vapeur de sodium sous haute pression (SHP) utilisent d'autres composés chimiques comme le mercure pour des raisons pratiques ; cependant, seul le sodium est responsable de l'émission lumineuse, le xénon et le mercure ne servant qu'à permettre à la lampe de démarrer, et à fixer les bonnes propriétés électriques de l'arc. [21]

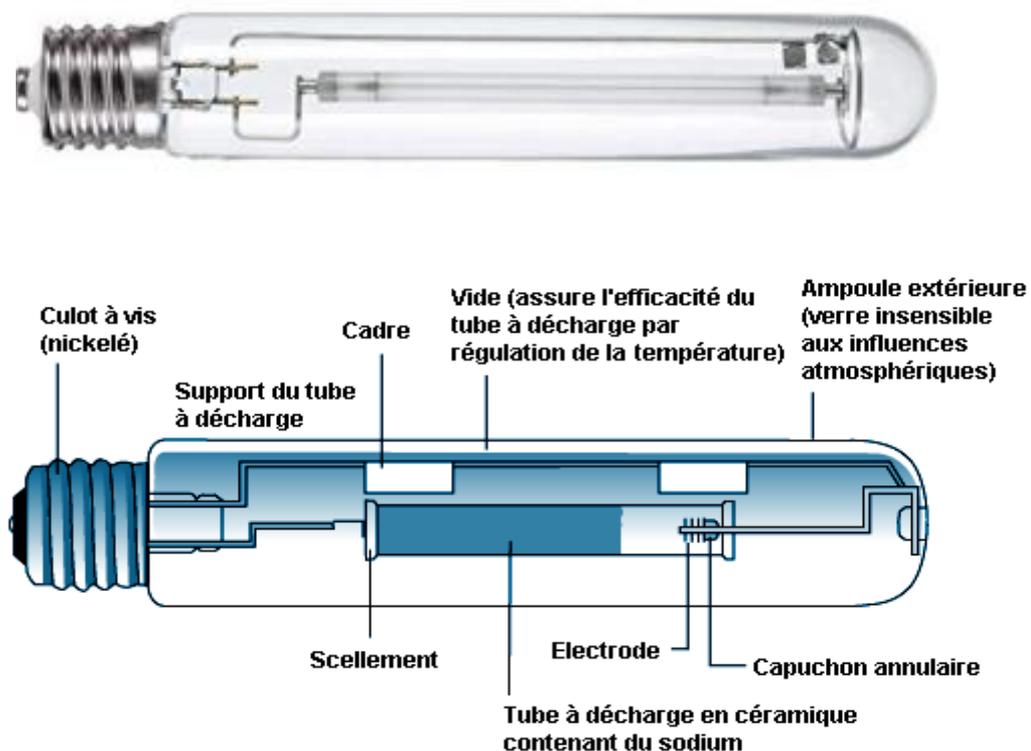


Figure 20 : Les lampes à vapeur de sodium sous haute pression SHP (HPS)

Les sources sous basse pression sont caractérisées par un rayonnement quasi monochromatique orange, ce qui n'est pas le cas des lampes sous haute pression où l'interaction entre les différents éléments donne un spectre superposé de bandes et de raies discrètes. Ainsi, la lumière de ces lampes a une meilleure qualité, car elle contient d'autres couleurs que l'orange.

Cependant, l'IRC reste médiocre du fait que la teinte prédominante reste un jaune-orange relativement saturé.

Deux types de lampes dont la lumière est plus blanche ont été développés dans les années 1980. Le premier type de lampe a un CRI de Ra65, compare à Ra20 pour les lampes traditionnelles SHP, et une température de couleur de 2 200 K au lieu de 2 000 K. [21] Ces changements sont obtenus par l'accroissement de la température et de la pression de vapeur dont les effets secondaires sont un rendement moins bon et une durée de vie décriée. Malgré ce changement, la qualité de la lumière n'est toujours pas suffisante à un usage commercial. Le deuxième type de lampe a une pression et une température encore plus élevées, donnant une lumière dont la couleur est proche de celle d'une lampe à incandescence. C'est donc tout naturellement, avec un CRI de Ra80 et une température de couleur de 2500-2700 K, que ces lampes à sodium blanches ont trouvé une application dans l'éclairage commercial, là où on cherche à obtenir un environnement chaleureux.

La famille des lampes à vapeur de sodium standard s'étend de 35 watts jusqu'à 1 000 W, avec une efficacité lumineuse de 90 lm · W⁻¹ jusqu'à 140 lm · W⁻¹, ce qui en fait une source de choix pour un éclairage économique [21]

Avantages

- Efficacité (80 à 120 lpw)
- Durée de vie (24000 hrs)
- Solide (résiste bien aux vibrations)
- Excellent maintien du flux (LLD = 90%)
Peut être utilisée à angle

Inconvénients

- Non recyclable en fin de vie
- Indice de Rendu des Couleurs de 21
- Couleur Jaunâtre de 2100 K
- Effet stroboscopique
- Besoin d'un circuit auxiliaire avec impulsion pour amorcer l'arc afin d'allumer la lampe.

I.5.8.5 Lampe à LED

Une diode électroluminescente, abrégée sous les sigles DEL ou LED (en anglais : Light Emitting Diode), est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique incohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse, l'efficacité lumineuse des LED dépend de la technologie utilisée. Elle varie énormément avec la couleur émise par la LED, ainsi qu'avec le fabricant.

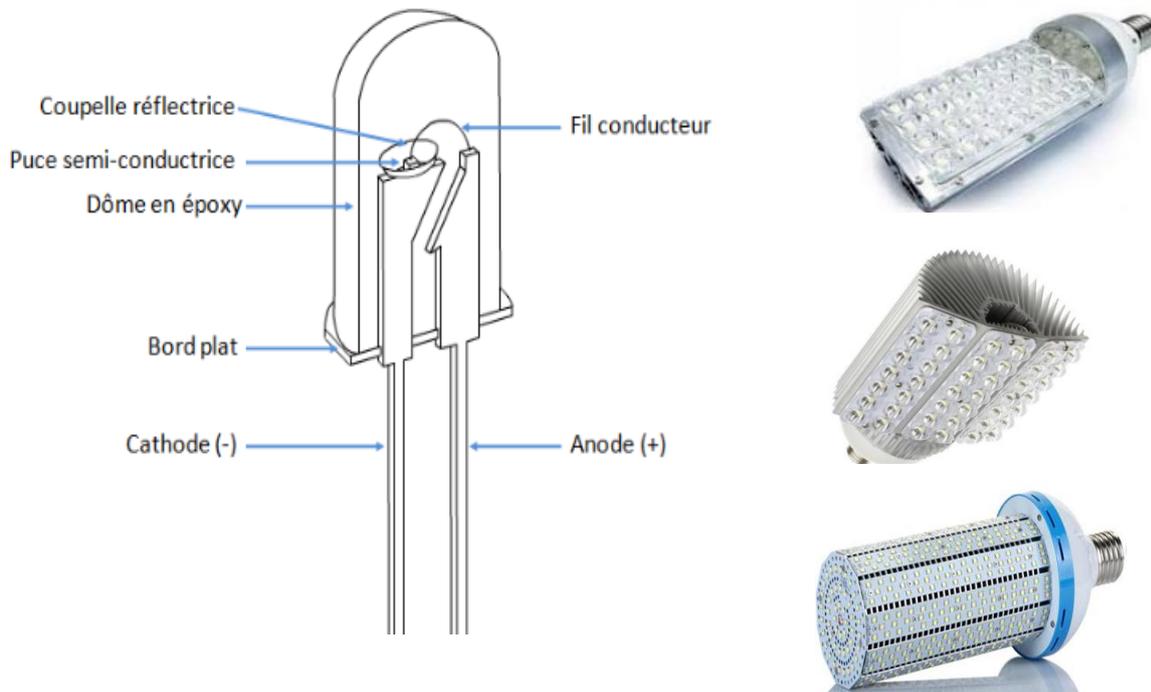


Figure 21: Lampes à LED utilisé dans l'éclairage public

Avantages de la technologie LED

- ✓ Allumage instantané (contrairement aux lampes ou tubes fluorescents) ;
- ✓ Durée de vie importante (50 000 à 100 000 heures) ;
- ✓ Fiabilité, et très faible consommation électrique;
- ✓ Insensibilité aux allumages répétés et aux basses températures ;
- ✓ Directivité: l'angle d'émission des LED actuelles peut varier de 15° à 120°. On peut donc obtenir au choix des éclairages très directs sans ajout de réflecteurs ;
- ✓ 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

I.5.9 Dispositif de contrôle du temps d'allumage du luminaire

I.5.9.1 Détecteurs de lumière du jour

Ces dispositifs utilisent une cellule photo-électrique pour commander le fonctionnement d'appareils d'éclairage en mode marche/arrêt, ou en mode de gradation continue de l'éclairage. Les variations de l'éclairage ambiant détectées par la cellule photo-électrique commandent le fonctionnement du détecteur. [7]

I.5.9.2 Minuterie

Une minuterie est un relais "mémorisant" sa position (contact fermé) pendant un certain temps réglable. L'horloge programmable permet de n'autoriser l'allumage des luminaires seulement pour des horaires déterminés. Bien entendu les luminaires ne seront également alimentés dans ces plages d'horaires qu'en cas de franchissement du seuil de luminosité préréglé. [7]

I.5.10 Eléments d'un poteau

Un poteau qui peut supporter un ou plusieurs luminaires, les modules solaires photovoltaïques et éventuellement la batterie et accessoires électroniques, se compose en général de plusieurs parties : [9]

- **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.

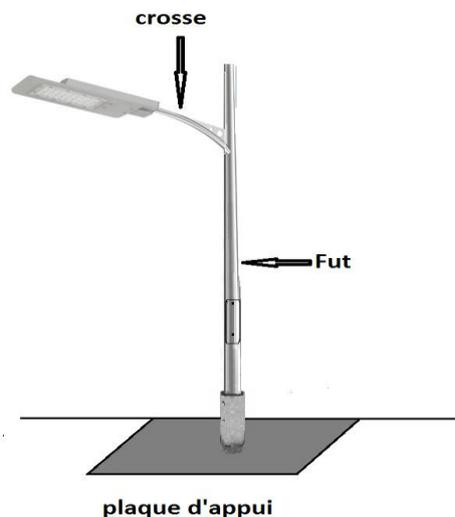


Figure 22: Eléments d'un poteau

I.5.10.1 Divers types de poteaux

A- poteaux en acier

Ils constituent la majeure partie des poteaux couramment utilisés. Ils ont l'avantage d'avoir une bonne résistance aux chocs et à la corrosion s'ils sont traités correctement à savoir :

- protection par peinture extérieure et intérieure selon les règles de l'art avec couche primaire anticorrosion appliquée de préférence en usine
- protection par galvanisation à chaud. Une peinture est ultérieurement possible à condition d'appliquer une couche primaire d'accrochage après dégraissage soigné.

B- Poteaux en alliage d'aluminium

Ils ont une excellente tenue à la corrosion même en atmosphère polluée et ne nécessitent aucun entretien. Des précautions à la mise en œuvre sont nécessaires pour éviter des contacts directs avec les bétons et surtout avec les tiges de scellement d'acier (manchons plastiques). L'absence d'entretien compense le surcoût chaque fois que les risques de corrosion sont importants. [9]

C-Autres poteaux

On trouve des poteaux en béton dont l'avantage est l'absence d'entretien mais qui ont l'inconvénient d'être lourds et pas toujours très esthétiques. D'autres matériaux sont utilisés dans des cas particuliers : fonte, bois lamellé collé, fibres synthétiques.[9]

I.5.10.2 Types d'implantations

On distingue plusieurs types d'implantations où interviennent largeur de voie et hauteur de feu.

A-Implantation unilatérale

Ce type d'implantation n'est recommandée que dans le cas où la largeur de chaussée est voisine ou inférieure à la hauteur de feu [9]



Figure 23: Implantation unilatérale

B-Implantation bilatérale en quinconce

C'est le cas où la largeur de chaussée reste inférieure à une fois et demie la hauteur de feu. Il faut veiller à éviter l'effet désagréable de serpentement. Ce type d'implantation devra donc être évité dans les courbes [9]

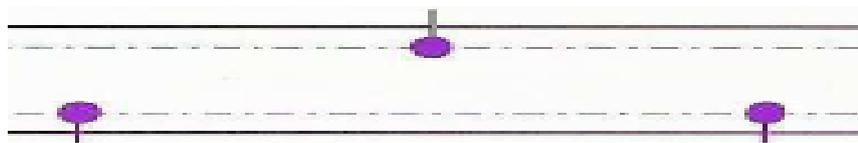


Figure 24: Implantation bilatérale en quinconce

C-Implantation bilatérale vis-à-vis

Ce type d'implantation intervient lorsque la largeur de chaussée est supérieure à une fois et demie la hauteur de feu. [9]

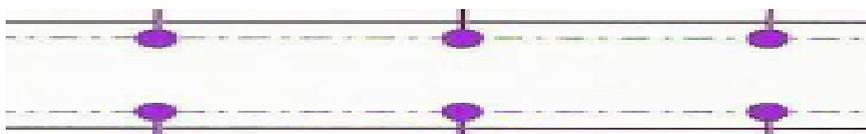


Figure 25: Implantation bilatérale

D-Implantation axiale

Dans le cas des implantations des lampadaires sur une double voie avec terrain plein central. [9]

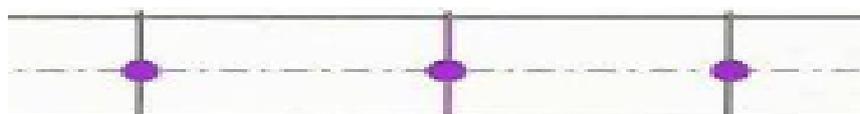


Figure 26: Implantation axiale

I.11 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons décrit le fonctionnement de l'éclairage hybride solaire et mentionner toutes les composantes nécessaire a sa réalisation, ainsi que son impacte que se soit sur le plan écologique environnemental ou sociale, et en fin les divers type de poteau existant et leur différent type d'implantations.

II.1 Introduction

L'une des principales préoccupations lors de la conception d'un système photovoltaïque est la détermination du meilleur rapport entre le nombre de modules photovoltaïque, et le nombre de batteries de stockage, et ce pour garantir une disponibilité de l'énergie dans toutes les conditions.

Afin de pouvoir modéliser les principales caractéristiques d'une batterie intégrée dans un système photovoltaïque, il est nécessaire d'abord de faire une étude de dimensionnement de toutes les composantes du système qui garantissent sa stabilité, dans toutes les conditions d'utilisation, et ce pour pouvoir ensuite modéliser chaque composante fonctionnant dans ces conditions de stabilité.

Dans ce chapitre nous commencerons par définir les principales étapes du dimensionnement d'un système photovoltaïque (panneaux PV, batteries,...), ensuite nous donnerons les principaux outils de modélisation de chaque composante du système, puis nous allons procéder à la réalisation d'un schéma électrique complet comprenant toutes les composantes nécessaires pour le bon fonctionnement d'un éclairage public solaire hybride, à savoir un panneau solaire qui représentera notre source continue, une source Alternative, une batterie, plus un système de gestion d'énergie qui va nous permettre de gérer tout l'ensemble du système, et tout le travail va être réalisé avec le Logiciel PSIM, qui est un logiciel de simulation pour l'électrotechnique et l'électronique de puissance. Le logiciel permet de dessiner le schéma du montage, à partir des éléments de la bibliothèque (machines, transformateurs, interrupteurs électroniques, éléments de commande et de contrôle...), [17]

Les appareils de mesure disposés sur le schéma de montage définissent les courbes représentatives des grandeurs électriques et mécaniques que l'on peut obtenir après simulation.

II.2 Supervision du système

Le schéma qu'on réalisera va fonctionner d'une manière à optimiser la disponibilité du service d'éclairage publique hybride et à réduire les dépenses de ce dernier, on utilisera donc deux sources dont la première est continue (Module photovoltaïque), qui est la source principale et la deuxième Alternative, qui jouera un rôle secondaire, et pour cela nous avons raisonné de la manière suivante :

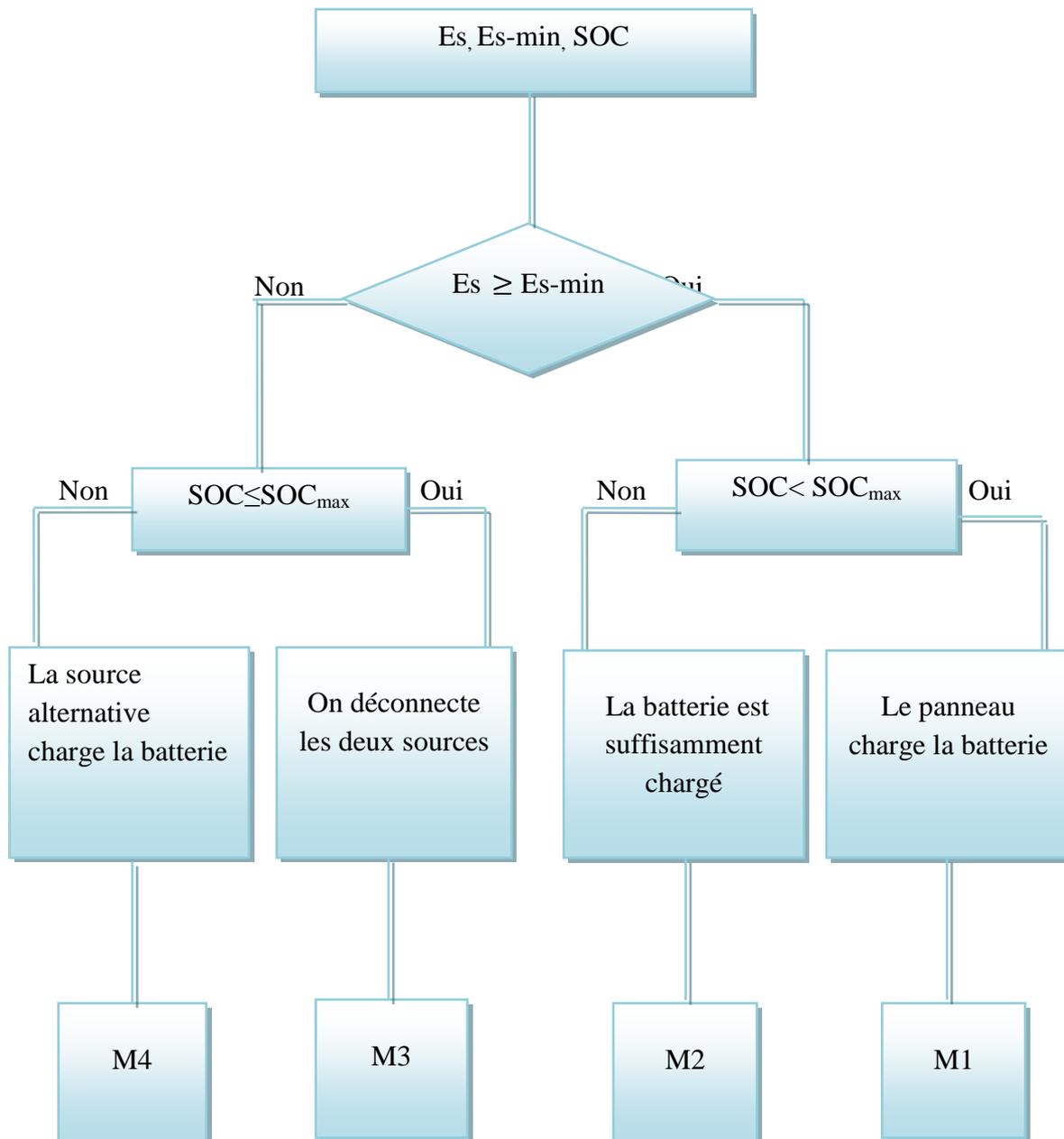


Figure 27 : Schéma de la supervision du système

II.2.1 Mode fonctionnel

- 1- M1 : Le PV charge les batteries
- 2- M2 : On déconnecte le PV, la batterie est suffisamment chargée
- 3- M3 : La batterie est suffisamment chargée, on déconnecte les deux sources
- 4- M4 : Intervention de la source Alternative pour charger la batterie.

Avec :

Es : Ensoleillement capté

Es-min : Ensoleillement minimal permettant de délivrer un courant minimal apte à charger la batterie

SOC : Etat de charge de la batterie (state of charge)

II.3 Dimensionnement énergétique du système photovoltaïque

Toute modélisation d'un système nous conduit à définir des critères prioritaires tenant compte du comportement du dit système. Ainsi, la volonté de faire ressortir le comportement d'un composant face à une sollicitation donnée nous a amené à privilégier tel ou tel aspect de ce composant lors de la modélisation, dans un souci de simplification [19].

Le dimensionnement ayant une incidence sur le prix, la qualité et la pérennité du système PV, ceci constitue une étape cruciale lors de la mise en place du système. Il dépend :

- de l'ensoleillement sur le site au cours de l'année.
- de l'énergie requise par chaque récepteur alimenté.
- du rendement énergétique de l'ensemble des composants y compris le stockage

II.3.1 Dimensionnement du lampadaire

Le système a été dimensionné pour satisfaire les besoins journaliers de notre charge, Le dimensionnement des lampadaires se fait suivant les formules suivantes:

II.3.2 Calcul des besoins journaliers du lampadaire

$$B_j = \varepsilon_1^n P_{ch} * \Delta t \quad (1)$$

Avec :

B_j : la consommation électrique journalière du panneau

P_{ch} : la puissance d'une LED

Δt : durée de fonctionnement du lampadaire

II.3.3 Calcul de la taille du générateur photovoltaïque

$$P_{pv/j} = P_c * N_e \quad (2)$$

Avec :

P_{pv/j} : puissance journalière du panneau

Pc : puissance crête du panneau

Ne = Gs/1000 : nombre d'heurs équivalentes Gs : valeur de l'ensoleillement moyen mensuelle du mois le plus défavorable. 1000 la valeur de l'ensoleillement dans les conditions STC (Watt/m²)

Remarque : Dans les installations électriques nous avons des pertes (condition réel), on peut approximer ces pertes a 20 % d'où la puissance journalière réel, (P_{pv/j réelle}) sera égale a :

$$P_{pv/j \text{ réelle}} = P_{pv/j} * (1 - 0.2) \quad (3)$$

II.3.4 calcul de nombre de panneaux

$$N_{pv} = ENT(B_j / P_{pv/j \text{ réelle}}) \quad (4)$$

II.3.5 Estimation de l'ensoleillement

En se référant à la carte d'ensoleillement de notre pays, l'ensoleillement dans la région de Bejaïa : 36.7°N ; Longitude : 5.1E ; Altitude : 2 m. est recensé dans le tableau ci-dessous qu'on a rapporté dans la base de données du logiciel Metéonorm 7.3 version essai, qui permet d'accéder aux séries chronologiques historiques d'irradiation et de température pour l'Europe, l'Afrique et le Moyen-Orient.

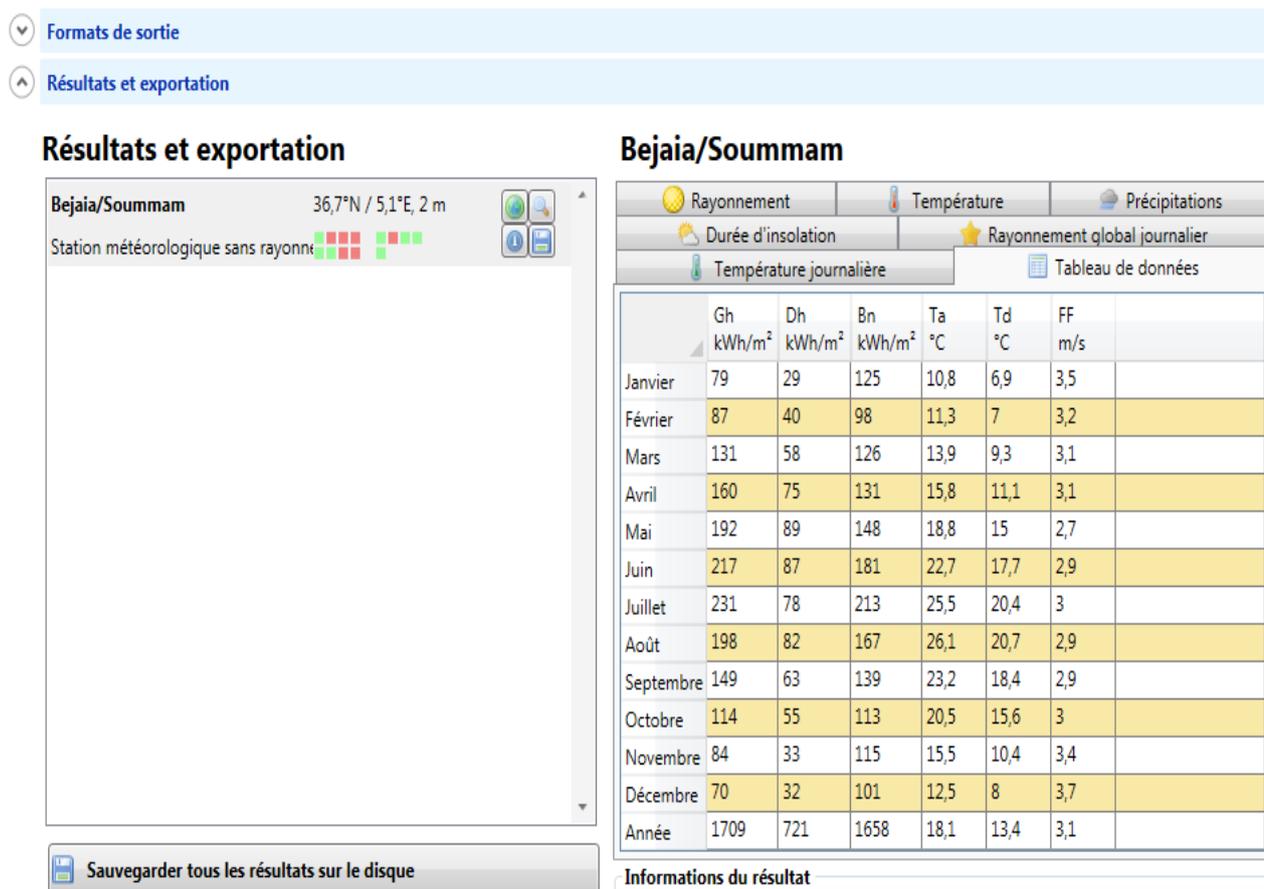


Figure 28 : Données d'irradiation et de température dans la région de Bejaïa

L'ensoleillement donné par le logiciel Meteonorm 7.3 sont exprimées en (kWh/m²) par mois de plein ensoleillement ce qui va nous amener a calculer, l'ensoleillement moyen journalier

par jours ($\text{Wh/m}^2/\text{j}$), le tableau ci-dessous montre l'irradiation moyennes mensuelles journalières.

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aou	Sep	oct	nov	dec
Gj(KW/m ²)	79	87	131	160	192	217	231	198	149	114	84	70
jours	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Gj(KW/m ² /j)	2.54	3.10	4.22	5.33	6.19	7.23	7.45	6.38	4.96	3.67	2.8	2.25

Tableau 3 : Irradiations moyennes mensuelles journalières

Il est conseillé de toujours choisir la période de l'année la moins ensoleillée, ce qu'on appelle la méthode du mois le plus défavorable, afin d'obtenir la production d'électricité requise durant cette période, donc dans notre travail nous allons prendre les donnée recueilli durant le mois de décembre.

En ce qui concerne le panneau utilisé par le logiciel PSIM, c'est un model physique (physical model), où la valeur standard de l'ensoleillement est de 1000wh/m^2 , mais durant la simulation on à pris 750wh/m^2 comme ensoleillement minimal car après une séries de teste on a remarqué qu'au dessous de cette valeur $I_{s1} < I_{s2}$, ce qui implique que la source AC deviens la source principale, ce qui n'est pas le but de notre projet car S_1 (panneau solaire) dois être la source principale.

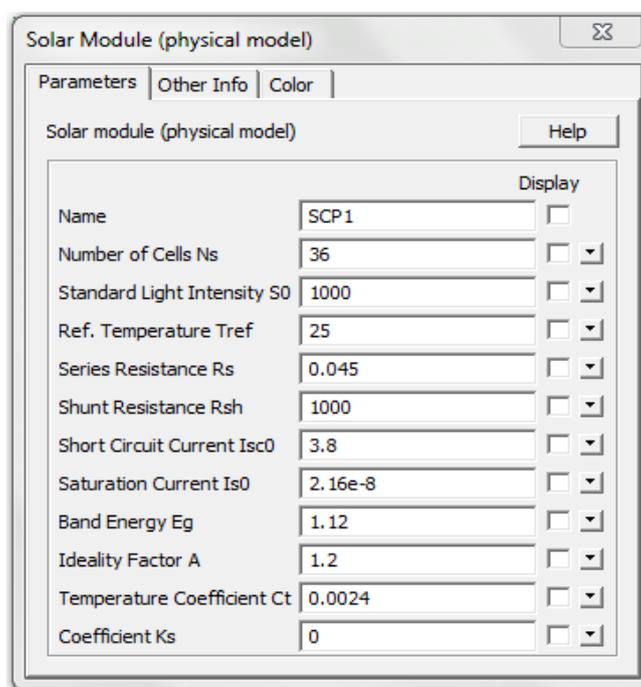


Figure 29 : Caractéristique du module solaire (Physical model)

II.4 Dimensionnement de Batterie

L'autonomie d'un système PV est la durée pendant laquelle peut fonctionner le système sans que les panneaux PV ne produisent de l'électricité. Cette autonomie est fixée par la taille des batteries et on devra tenir compte de quelques principes élémentaires lors du dimensionnement comme par exemple l'énergie consommée, la puissance moyenne... En effet, un sous-dimensionnement des batteries sera moins coûteux mais ces dernières seront exposées à de profondes décharges et donc à une durée de vie plus courte tandis qu'un surdimensionnement sera plus onéreux. Dans ce dernier cas, du fait du surdimensionnement les batteries seront rarement complètement chargées avec pour conséquence des phénomènes de sulfatation et au final une durée de vie plus courte [20].

Le dimensionnement des batteries requiert donc une attention particulière afin d'augmenter la durée de vie de ces dernières et par la même occasion diminuer le coût global du système.

La capacité nominale des batteries est donnée par la relation suivante :

$$C_{\text{batt}} = B_j * J_{\text{aut}} / V_{\text{batt}} * \text{DOD} * \eta_{\text{batt}} \quad (5)$$

Avec :

J_{aut} : Jours d'autonomie de la batterie

V_{batt} : Tension de la batterie

DOD : Profondeur de décharge de la batterie (Depth of discharge)

η_{batt} : Rendement de la batterie

Le nombre de batteries est calculé avec la relation suivante :

$$N_{\text{batt}} = C_{\text{batt}} / C_{\text{batt},\mu} \quad (6)$$

Avec :

$C_{\text{batt},\mu}$: Capacité d'une batterie unitaire

Pour notre simulation afin de ne pas avoir un investissement trop coûteux, nous supposant que notre éclairage fonctionnera 10h/jours, utilisant un lampadaire à LED de 30W, donc un besoin journalier de 300Wh/j, d'où on aura besoin d'une batterie de 40 Ah et un panneau photovoltaïque de 60Wc

II.5 Modélisation du système d'éclairage public solaire hybride Sous PSIM

II.5.1 Modélisation du panneau Solaire

Un panneau ou module solaire peut prendre en compte les variations d'intensité lumineuse et température ambiante. Cependant, cela nécessite de nombreuses entrées de paramètres. Certains paramètres peuvent être obtenus à partir des fiches techniques du fabricant, tandis que d'autres paramètres doivent être obtenus par essais et erreurs.

Afin de permettre aux utilisateurs de définir plus facilement les paramètres d'un module solaire particulier, un outil utilitaire appelé module solaire (modèle physique) est fourni dans le menu Utilitaire du PSIM. [19]

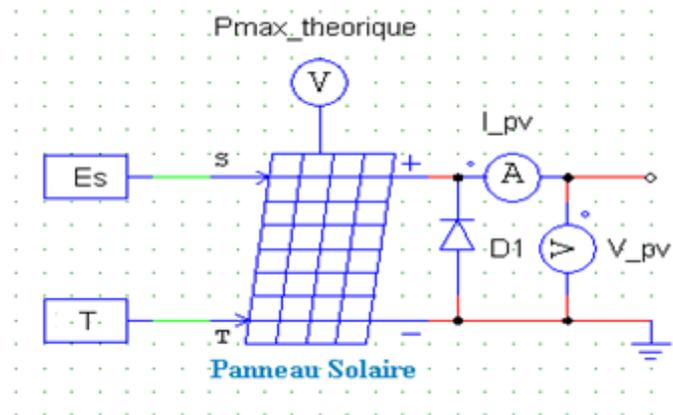


Figure 30 : Modélisation de la source photovoltaïque

Pour modéliser notre panneau sous le logiciel PSIM nous avons eu besoin des composantes suivantes :

- 1- Deux constantes E_s et T qui représente respectivement la valeur de l'ensoleillement moyen mensuelle du mois le plus défavorable, et la température ambiante
- 2- Une Diode $D1$: qui est une diode anti retour
- 3- Un Ampèremètre : qui nous permettra de visualisé le courant sortant du panneau I_{pv}
- 4- Un voltmètre : qui nous permettra de visualisé la tension au bornes du panneau V_{pv}

II.5.2 Les paramètres du panneau solaire

Sous conditions de fonctionnement de l'intensité lumineuse S et de la température ambiante T_a , on peut obtenir les courbes I-V et P-V en cliquant sur le bouton Calculer la courbe I-V. Le calculé le point de puissance maximum sera également calculé. Si nous définissons $S = 1000 \text{ W / m}^2$ et $T_a = 25 \text{ C}$, nous pouvons obtenir le point de puissance maximale sous la forme: $P_{max} = 59,27 \text{ W}$, $V_{max} = 16,73 \text{ V}$ et $I_{max} = 3,54 \text{ A}$. La puissance maximale et la tension à la sortie Les puissances maximales sont inférieures aux valeurs de 60 W et $17,1 \text{ V}$. [19] de la fiche technique. Paramètres Par exemple, A , R_{sh} , K_s , R_s , I_{s0} et C_t pour obtenir un meilleur ajustement. Dans cet exemple, si nous modifions la résistance série R_s à $0,045 \text{ Ohm}$, la puissance maximale calculée le point est: $P_{max} = 60,53 \text{ W}$, $V_{max} = 17,04 \text{ V}$, $I_{max} = 3,55 \text{ A}$ [19], ce qui est plus proche de la fiche technique. Les valeurs finales des paramètres et les courbes I-V et P-V sont indiquées ci-dessous :

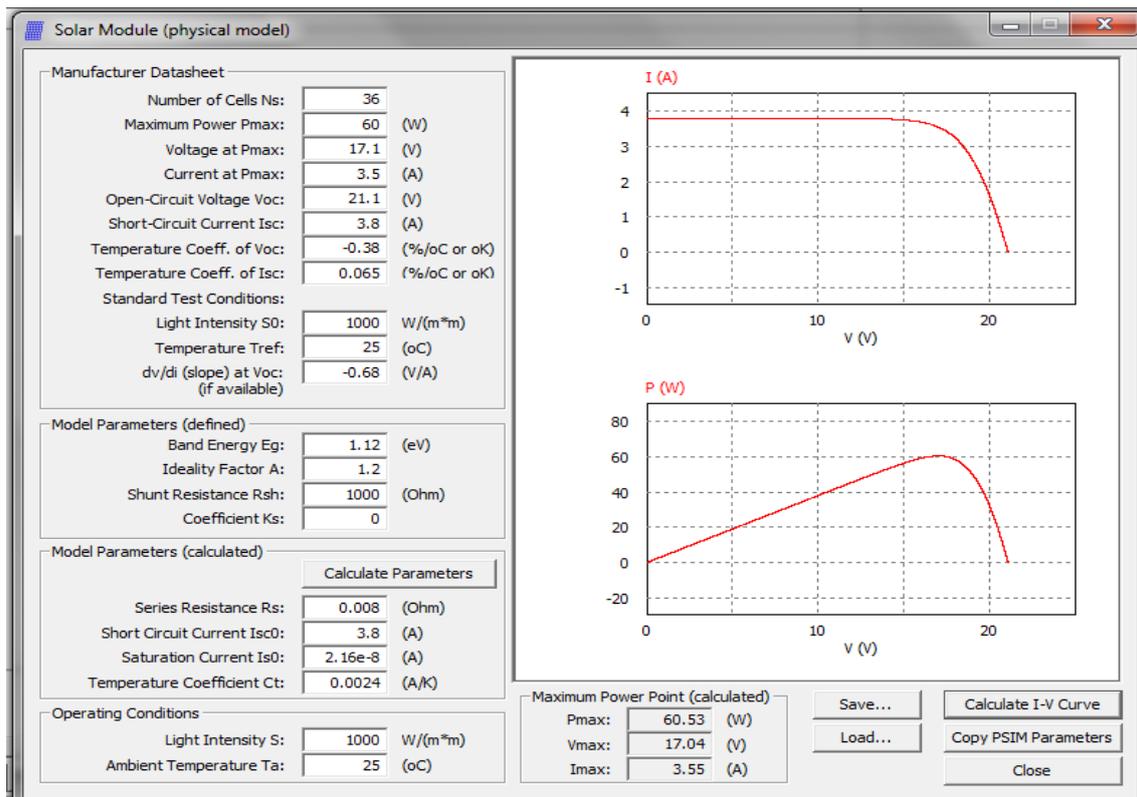


Figure 31 : Les paramètres du panneau solaire

II.5.2.1 Visualisation du courant et de la tension aux bornes du panneau photovoltaïque

La Figure 32 représente l'allure du courant et de la tension aux bornes du panneau photovoltaïque sans passer par le Bloc MPPT

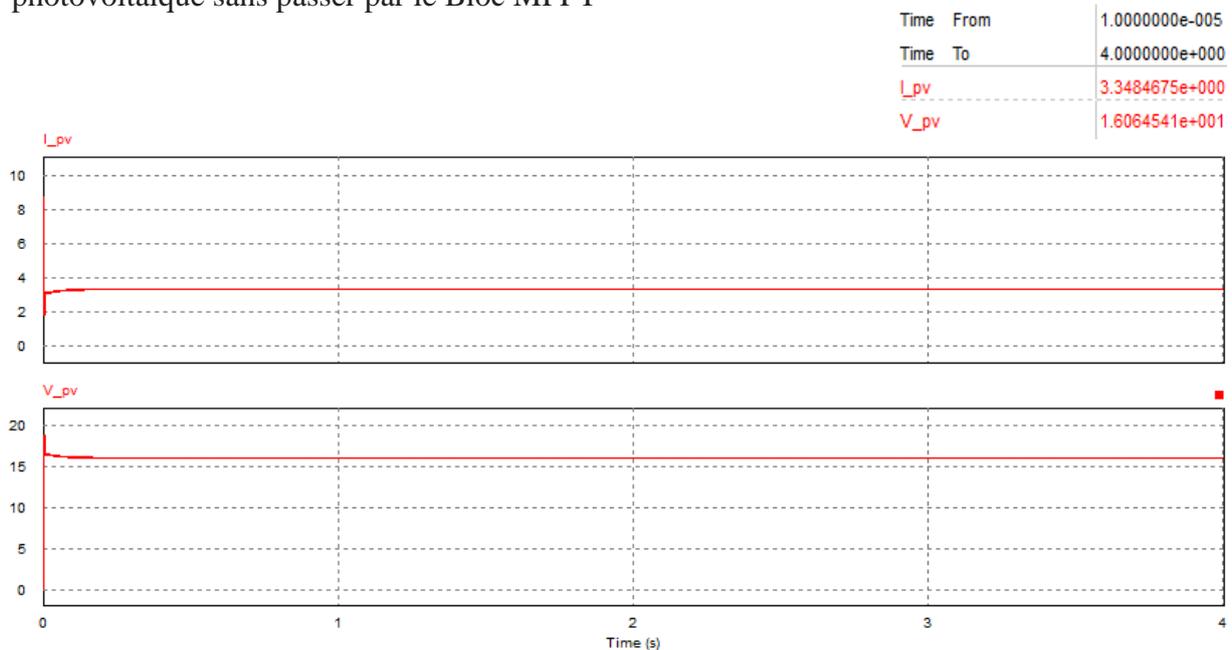


Figure 32 : Allure du courant et de la tension aux bornes du panneau

II.5.3 Le Point de puissance maximale (MPPT)

La MPPT permet d'optimiser le rendement des panneaux solaires jusqu'à 30%, [14] pour un panneau photovoltaïque donné, les batteries recevront 30% d'électricité en plus par rapport à un régulateur solaire classique. La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode fonctionne en perturbant le système et observant l'impact sur la puissance à la sortie du GPV, la figure ci-dessous représente la modélisation du bloc MPPT

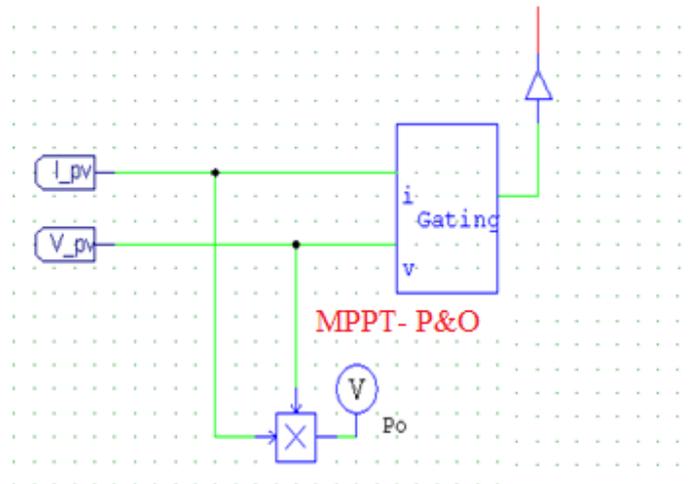


Figure 33 : Modélisation de la MPPT du panneau photovoltaïque

II.5.3.1 Principe de la méthode P&O

La figure 34, montre la modélisation de la méthode P&O sous PSIM

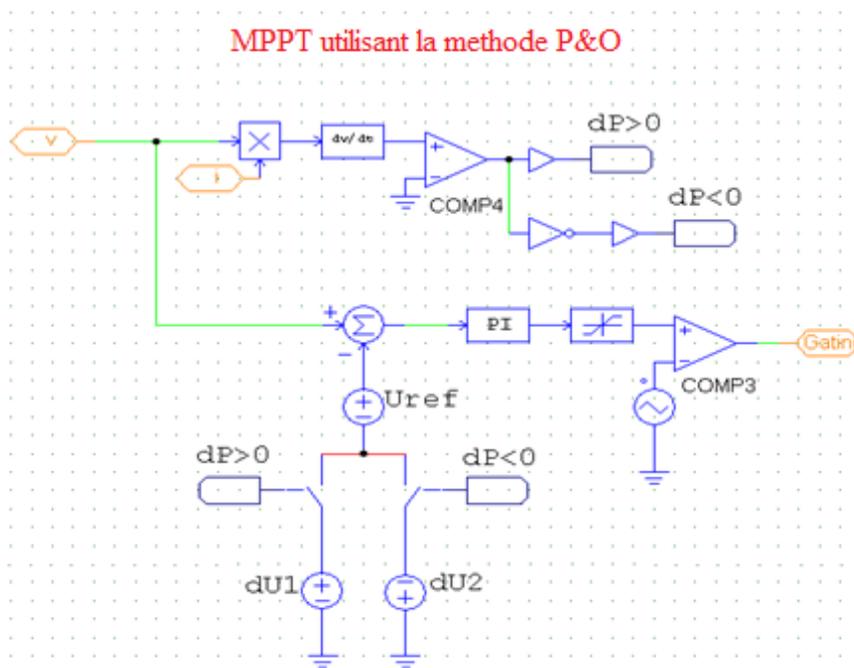


Figure 34 : MPPT avec la méthode P&O

Si la tension de fonctionnement est perturbée dans une direction donnée et que la puissance augmente ($dP/dV > 0$), alors il est clair que la perturbation a déplacé le point de fonctionnement vers le MPP. L'algorithme P&O continuera à perturber la tension dans la même direction. Par contre, si la puissance diminue ($dP/dV < 0$), alors la perturbation a éloigné le point de fonctionnement du MPP. L'algorithme inversera la direction de la perturbation suivante. Le processus est répété périodiquement jusqu'à ce que le MPP soit atteint. Le système oscille alors autour du MPP, ce qui provoque des pertes de puissance. L'oscillation peut être minimisée en diminuant la taille de la perturbation. Cependant, une taille de perturbation trop petite ralentit considérablement la poursuite du MPP. Il existe alors un compromis entre précision et rapidité. [14]

II.5.3.2 Visualisation du courant et de la tension aux bornes du panneau avec MPPT

La figure 35 représente respectivement la tension et le courant a la sortie du panneau photovoltaïque, avec passage par le bloc MPPT

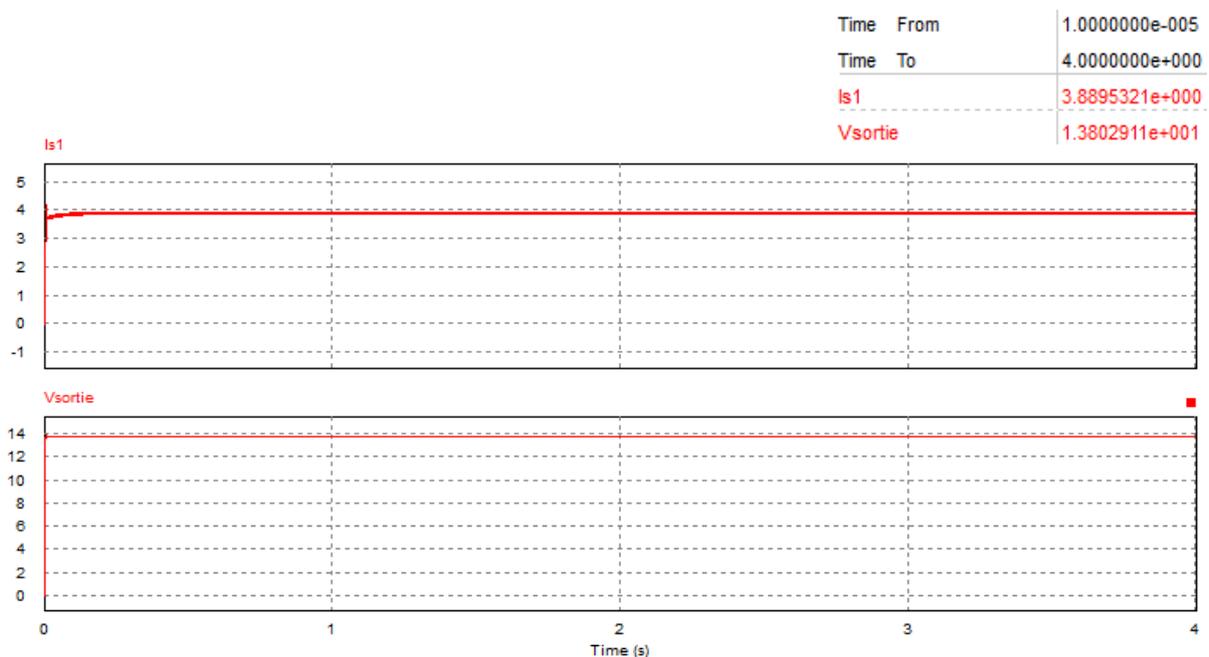


Figure 35 : Allure du courant et de la tension aux bornes du panneau avec MPPT

Commentaire :

La figure 35 montre une amélioration du courant et de la tension aux bornes de la sortie du Panneau photovoltaïque, de telles sortes que le courant passe de 3.34 A à 3.88A et la tension passe de 16.06 V à 13.80 V ce qui assure une puissance optimale, et une meilleure stabilité du système

II.5.4 Modélisation de la source Alternative

La Figure 36 représente la modélisation de la source alternative avec le logiciel PSIM

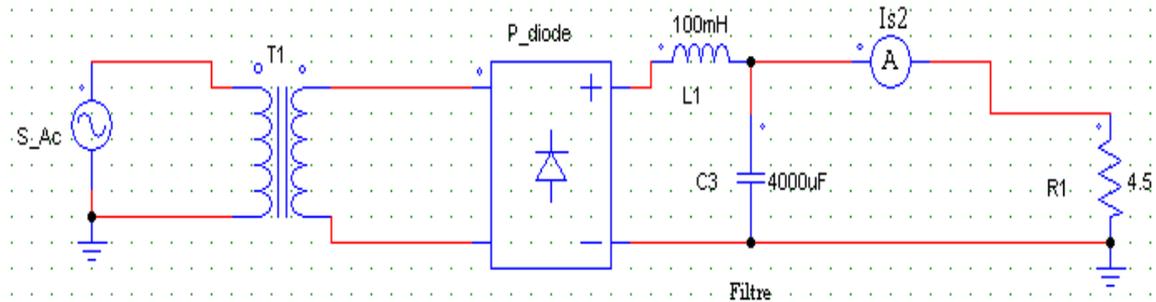


Figure 36 : Modélisation de la source alternative

II.5.4.1 Les paramètres de la source AC

Pour la source AC on choisi une source de tension de 220 V et d'une fréquence de 50Hz soit l'équivalent d'une source basse tension d'électricité délivré par la Sonalgaz.

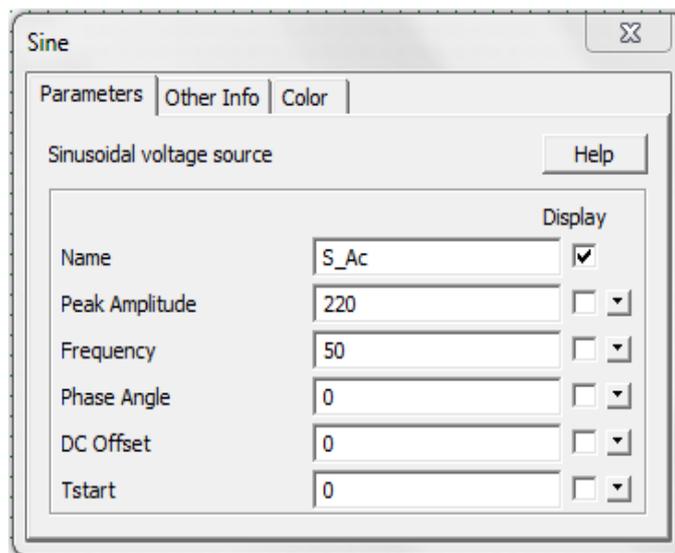


Figure 37 : Les paramètres de la source AC

Avec :

T1 : un transformateur abaisseur de tension

P_diode : un redresseur a pont de diode

L1, C3 : une inductance et une capacité représentant un filtre

R1 : une résistance pour l'ajustement du courant de sortie

II.5.4.2 Visualisation du courant et de la tension à la sortie de la source AC

La figure 38 représente l'allure du courant et de la tension à la sortie de la source alternative

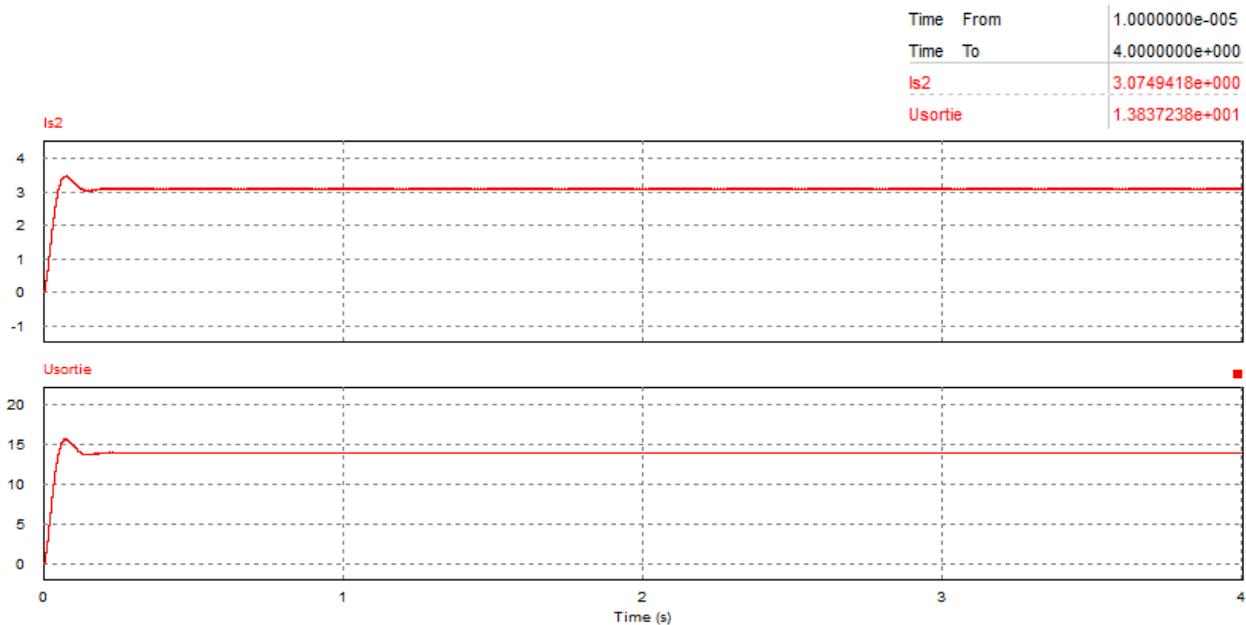


Figure 38: Allure du courant et de la tension à la sortie de la source AC

II.5.5 Modélisation du système de gestion des deux sources

Pour avoir une bonne gestion des deux source de telle manière a ce que, dès que la source principale est absente, la source alternative intervient et assure la continuité et la disponibilité du service d'éclairage hybride et pour se faire nous avons élaboré le système de gestion suivant :

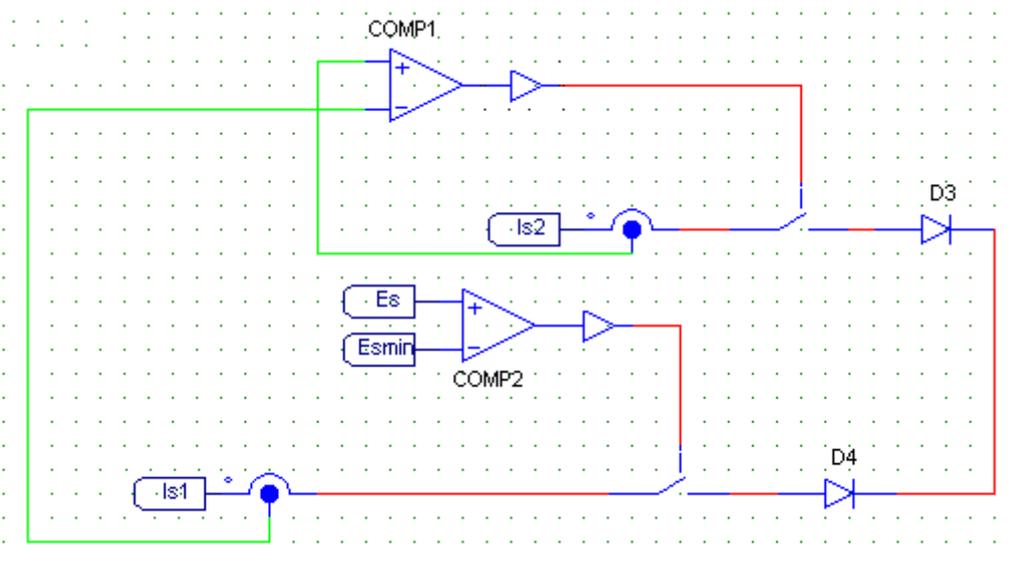


Figure 39 : Modélisation du système de gestion des deux sources

II.5.5.1 Principe de fonctionnement du système de gestion

Le panneau chargera la batterie si l'ensoleillement moyen est supérieur à l'ensoleillement minimal dont celui-ci assure un courant minimal apte à charger la batterie, dans le cas contraire le comparateur 2 enclenche l'interrupteur pour séparer la batterie du panneau, et grâce au comparateur 1 qui compare constamment le courant du panneau (I_{s1}) avec le courant de la source AC (I_{s2}), et quand $I_{s1} < I_{s2}$, la source alternative prendra en charge le chargement de la batterie.

II.5.6 Modélisation de la Batterie et du SOC de stockage

Certains paramètres de la batterie peuvent être obtenus à partir des fiches techniques du fabricant, tandis que d'autres paramètres doivent être obtenus par essais et erreurs. [16]

Le modèle existant sur le logiciel PSIM est un modèle DC (battery) qui joue le rôle d'une source de tension continue

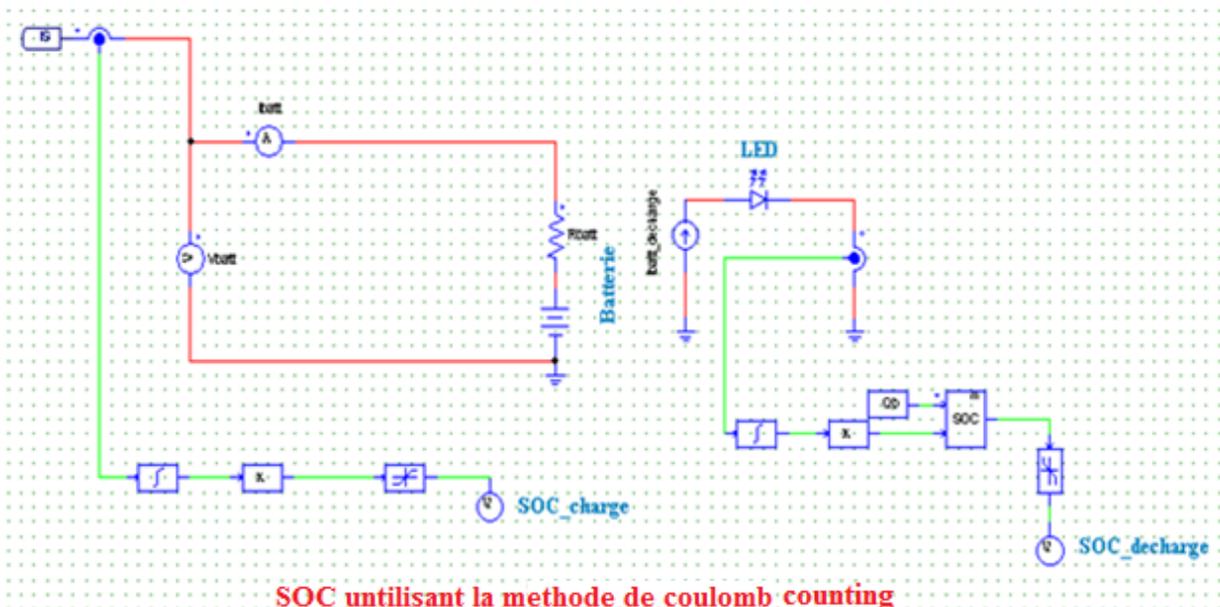


Figure 40: Modélisation de la batterie

II.5.6.1 Estimation du SOC de la batterie

La méthode de Coulomb Counting (également appelée intégrale en ampères-heures) est une méthode qui tente d'estimer le SOC en mesurant la charge consommée de la batterie. elle observe la charge et la décharge du courant de la batterie et l'estimations a base de ces mesures, et mathématiquement cette méthode est représentée par les équation suivantes :

$$SOC_{charge} = \int i_s dt \quad (11)$$

$$SOC_{decharge} = (Q_b - \int i_{batt} dt) / Q_b \quad (12)$$

Avec :

Q_b : capacité de la batterie (en Ah)

i_s : courant délivré par la source

i_{batt} : courant que délivre la batterie pour alimenter les LED

II.5.7 Modélisation du schéma électrique du système entier

La figure 41 représente la modélisation du schéma électrique complet du système

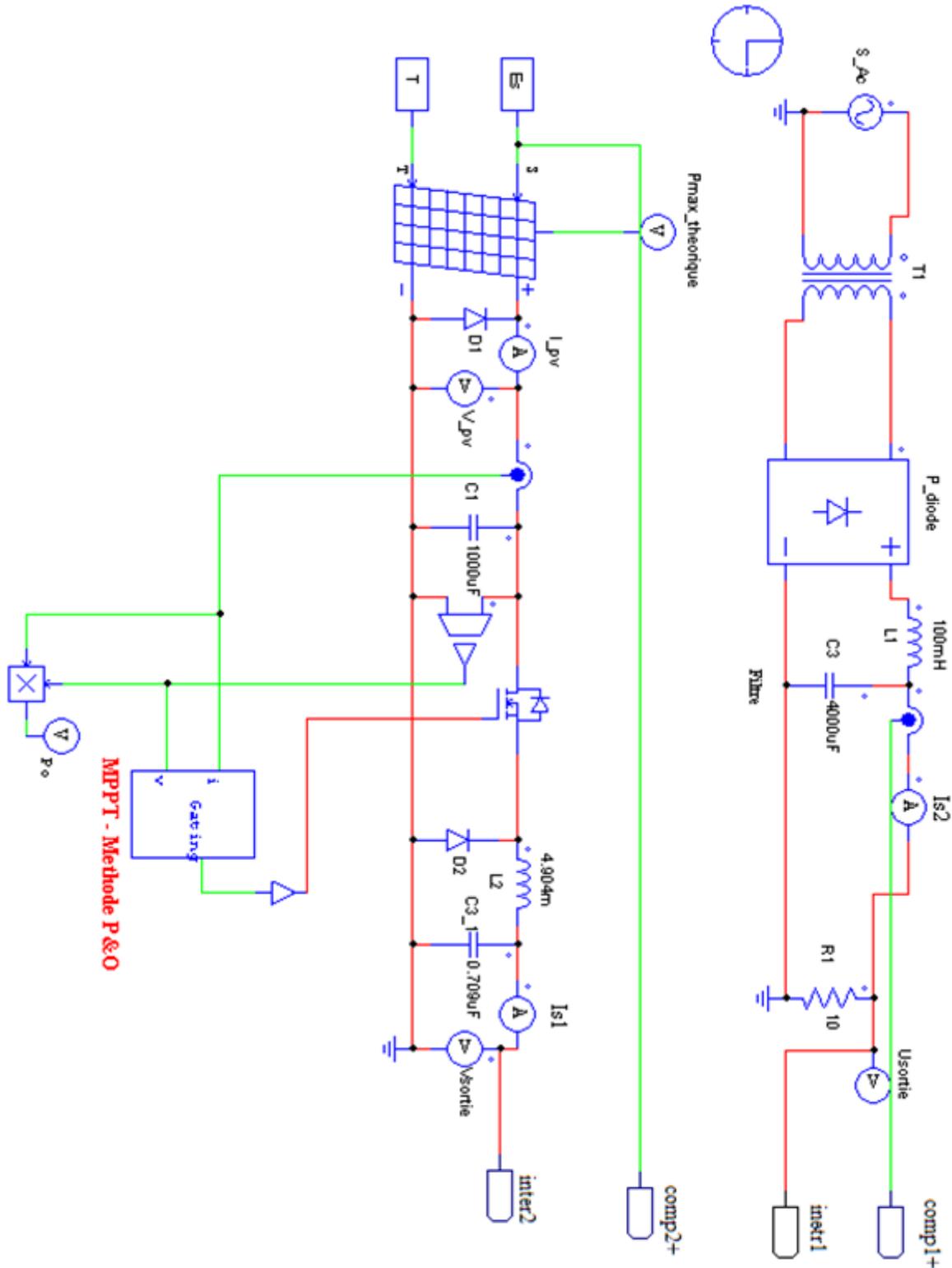


Figure 41 : Modélisation du schéma électrique complet du système partie 1

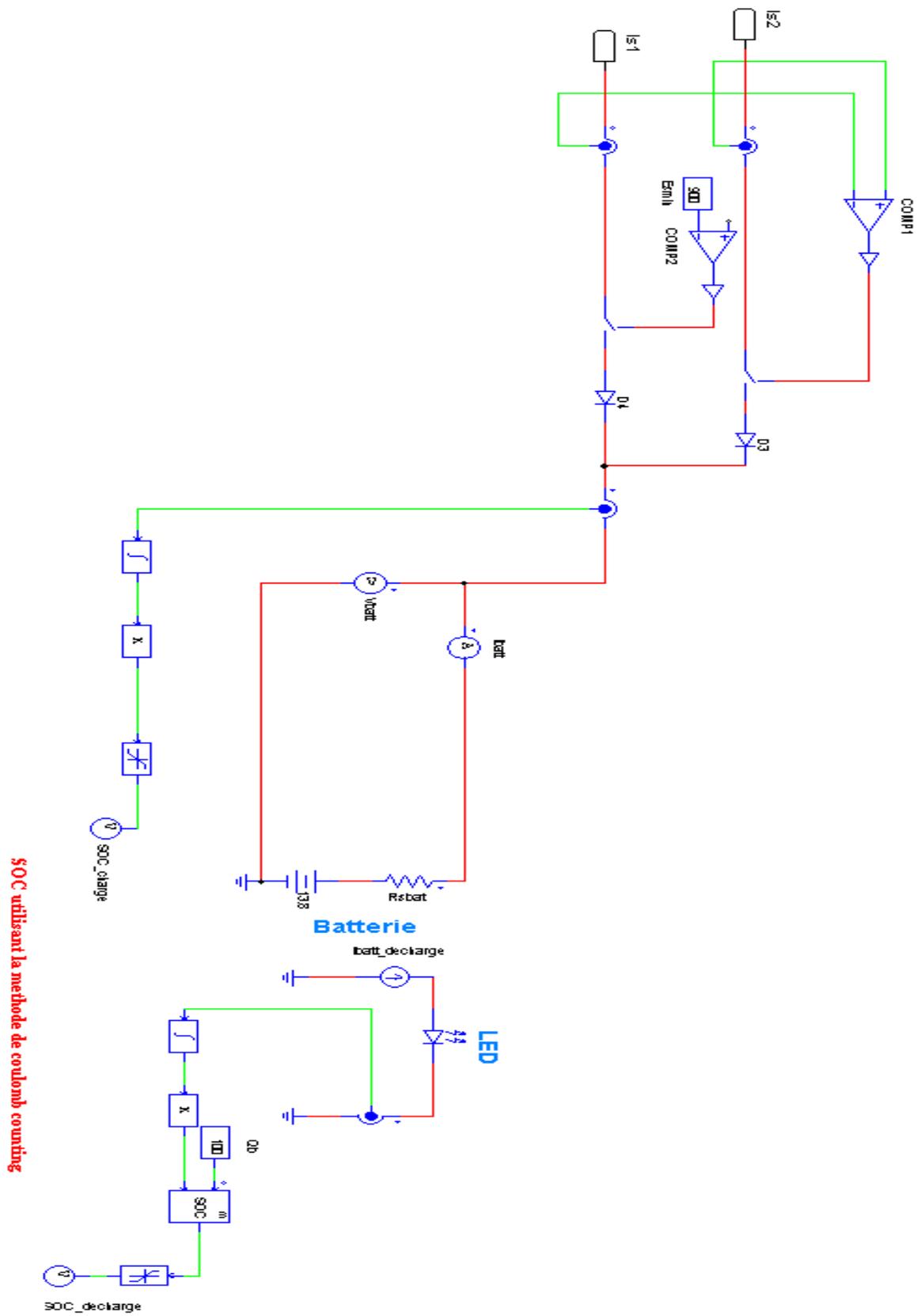


Figure 42 : Modélisation du schéma électrique complet du système partie 2

II.5.7.1 Résultats de la simulation

Pour la simulation on a procédé en deux parties, dans la première partie on a alimenté la batterie avec le panneau photovoltaïque, et dans la deuxième partie on l'a alimenté avec la source alternative, et les résultats de simulation sont comme suite :

a) Alimentation de la batterie avec le panneau solaire

Quand l'ensoleillement moyen est supérieur a l'ensoleillement minimal, le panneau photovoltaïque charge directement la batterie, et obtiens les résultats suivants :

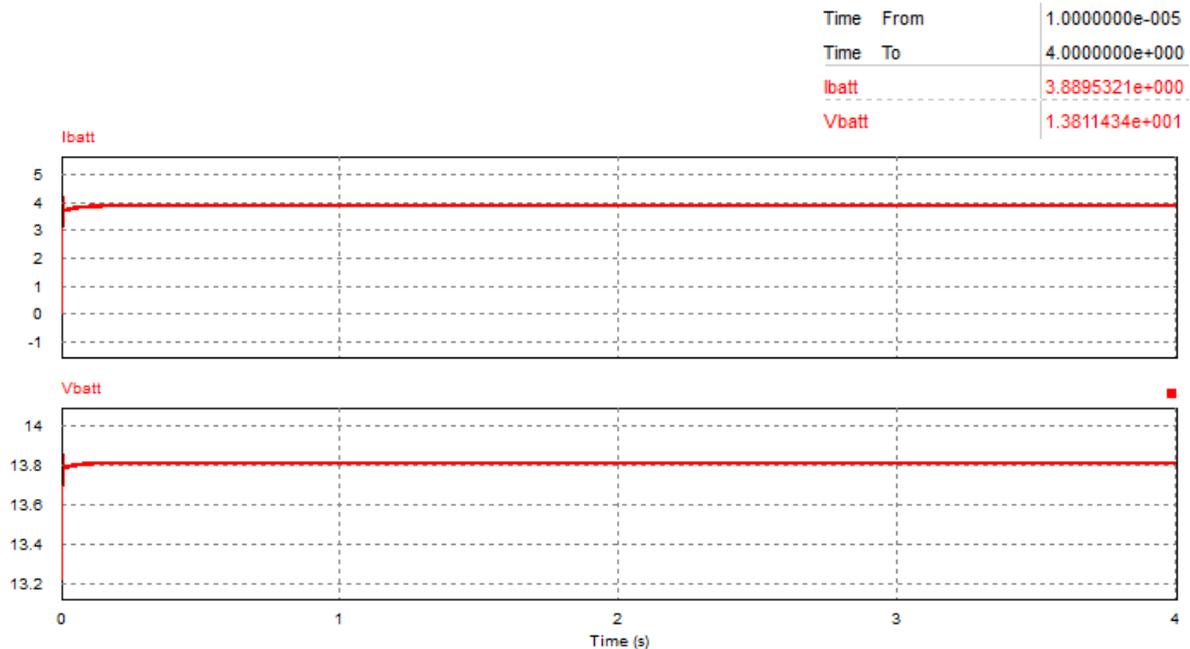


Figure 43 : Allures du courant et de la tension aux bornes de la batterie

et pour visionner les allures de charge et de décharge nous avons changer le proportionnel K de manière a les voir sur la même échelle de temps ainsi le SOC de charge de la batterie avec le panneau solaire sera comme ceci :



Figure 44 : Allure du SOC de charge avec le panneau solaire

Et une fois que la batterie a atteint son SOC maximal de charge, l'éclairage public solaire sera prêt à fonctionner durant la nuit et ainsi la batterie se déchargera, donnant une courbe de SOC de décharge suivante :

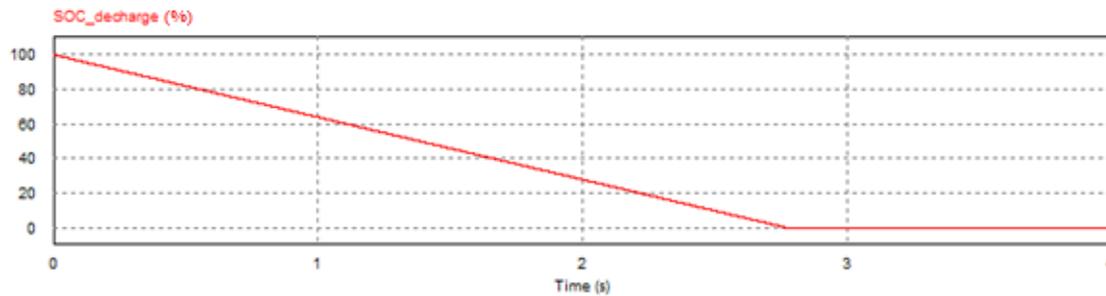


Figure 45 : Allure du SOC de décharge avec le panneau solaire

b) Alimentation de la batterie par la source secondaire (la source AC)

Une fois que l'ensoleillement est inférieur à l'ensoleillement minimale qui assure la charge de la batterie, la deuxième source entre en jeu pour charger celle-ci, et ainsi on aura les résultats de simulation suivants :

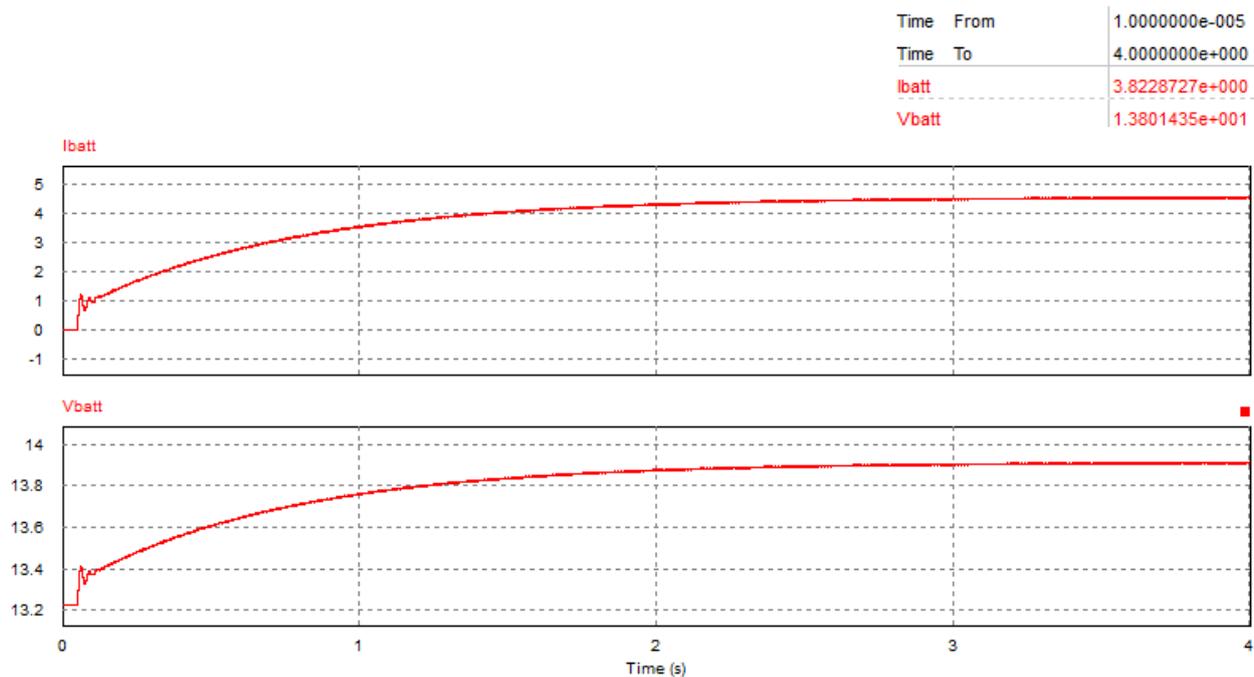


Figure 46 : Allures du courant et de la tension aux bornes de la batterie

Et le SOC de charge de la batterie avec la source alternative aura l'allure suivante :

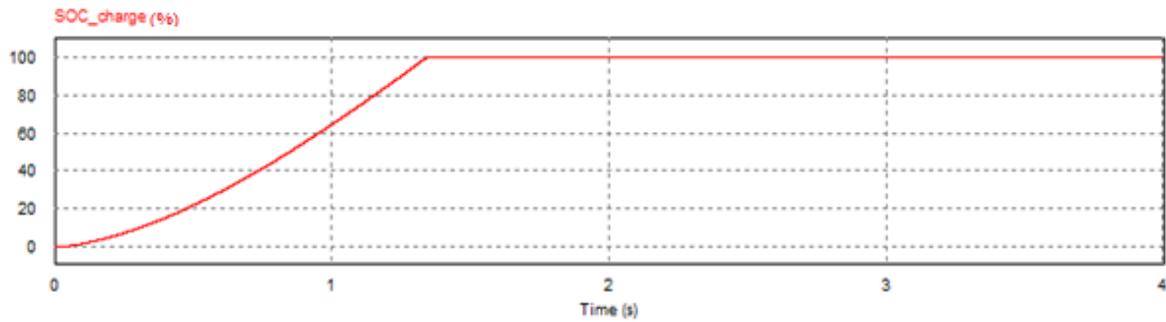


Figure 47 : SOC de charge de la batterie avec la source Alternative

Et de ce faite quand la batterie aura atteint son SOC maximal de charge, elle se déchargera durant la nuit en donnant une courbe la Soc de décharge suivante :

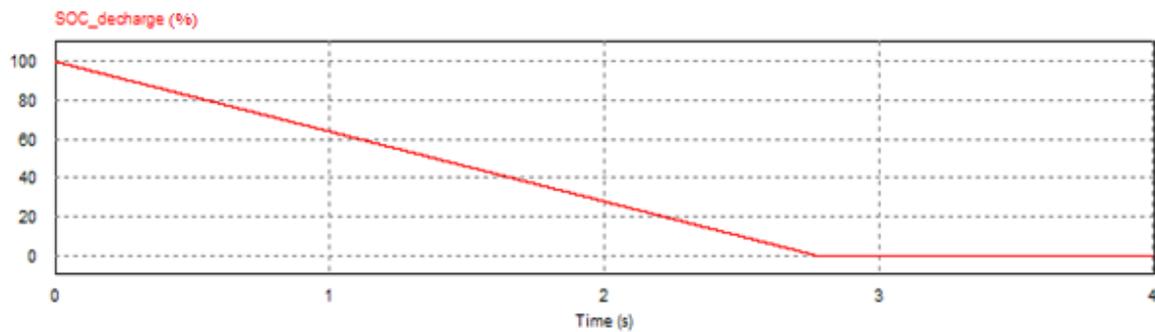


Figure 48 : SOC de décharge de la batterie avec la source Alternative

Commentaire :

D'après les SOC obtenu avec les 2 sources on remarque que le SOC de charge de la deuxième source est moins rapide que celui de la première, et cela induit que le temps de charge de la batterie avec la source alternative sera un peu plus lent que celui avec le panneau photovoltaïque, cela est due au courant délivré par les deux source, le courant I_{s2} est inférieur au courant I_{s1} , et aussi vue que la méthode de coulomb Counting est une méthode linéaire ou $Q_{batt} = [Ampère] \cdot [heures]$.

On remarque aussi que le SOC de décharge ne change pas pour les deux sources, car on alimente la même charge, mais aussi le courant que dégage la batterie reste le même.

II.6 conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons dimensionné et modélisé chaque parties constituantes notre système d'éclairage hybride solaire, à savoir : un panneau solaire, une source alternative un système de gestion des sources, et une batterie.

Avec les résultats obtenus durant la simulation réaliser avec le logiciel PSIM nous pouvons valider notre modèle théorique, car ce chapitre nous a permis de connaître la méthodologie du fonctionnement de notre éclairage hybride, et de ce fait le but final c'est de démontré la faisabilité de notre travail sur le terrain

III.1 Introduction

L'éclairage des lieux public joue un rôle très important dans la vie quotidienne d'un citoyen elle est devenu une préoccupation majeure des distributeurs d'énergie électrique et des autorités administratives, l'UTO (l'université de Targua Ouzemmour), est un exemple de ces lieu public qui doit être bien éclairé la nuit, vue son rôle instructif pour les étudiants qui la fréquente et voir même dans l'instruction de la société.

Dans ce troisième chapitre, nous allons réaliser une estimation de la puissance et du cout la puissance consommé par les lampadaires de l'UTO, par la suite comparé son cout à celui de la puissance totale consommé par le campus entier, et vers la fin nous allons proposer des solutions pour une gestion meilleure de la puissance, dans le but de réduire la facture.

III.2 Estimation de puissance

III.2.1 Estimation de la puissance consommée par les lampadaires au sein de l'UTO

Dans notre études nous avons pu compter les lampadaires existants au sein de l'université de Targua Ouzemmour et nous les avons classés selon les ampoules qu'utilise chaque lampadaire, ainsi nous avons pu réunir les données qui nous ont aidé a mené a bien notre étude, et les models sont les suivant :

III.2.1.1 Modèle utilisant des ampoules à vapeur de Mercure de 125 W

1. Modèle A

Ce model est plus fréquent sur le site de l'université, vue son nombre car d'après le compte qu'on a fait on estimer son nombre a 136 lampadaire, ce model utilise une ampoule de 125 W



Figure 49 : Lampadaire Model A

2. Modèle B

La figure 50 représente un autre modèle qui fonctionne aussi avec une ampoule à vapeur de mercure de 125 W, nous avons compté 21 lampadaires et au totale 43 ampoules.

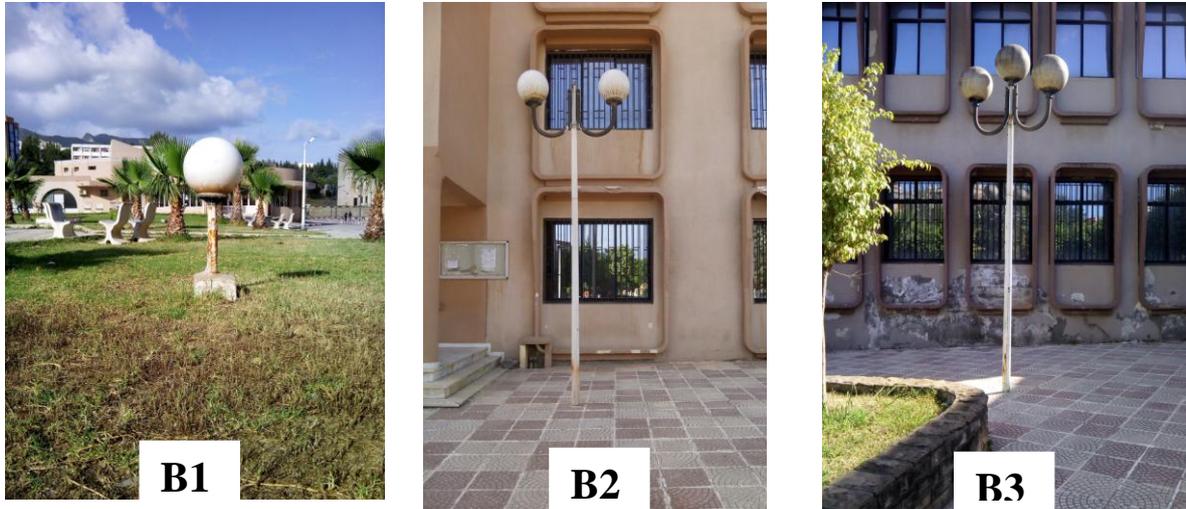


Figure 50 : Lampadaire Modèle B (B1 B2 B3)

La figure 51 représente l'ampoule à vapeur de mercure de 125 W



Figure 51 : Ampoules à vapeur de mercure de 125 W

III.2.1.2 Modèle utilisant des ampoules à vapeur de sodium sous haute pression HPS de 400 W

3. Modèle C

La figure 52 représente le Modèle C, ce dernier utilise des ampoules de 400W, d'après le compte qu'on a fais on estime son nombre a 81 lampadaires



Figure 52 : Lampadaire Model C (C1, C2)

La figure 53 représente l'ampoule à vapeur de sodium sous haute pression HPS de 400 W



Figure 53 : Ampoule à vapeur de sodium sous haute pression (HPS) de 400 W

III.2.2 Modèle fonctionnant avec des LED

III.2.2.1 Modèle A (Modèle utilisant des LED de 50 W)

La figure 54 représente le Modèle A, ce dernier utilise des ampoules a LED de 50W, d'après le compte qu'on a fais on a estimer son nombre à 61 lampadaires.



Figure 54 : Modèle A (A1, A2)

III.2.2.2 Modèle B (Modèle utilisant des LED de 100W)

La figure 55 représente le Modèle B, ce dernier utilise des ampoules a LED de 100W, d'après le compte qu'on a fais on a estimer son nombre a 57 lampadaires



Figure 55 : Modèle B à LED à 100W

III.2.3 Calcul de la puissance consommée par l'éclairage extérieur au sein du campus universitaire de Targua Ouzmmour

Le tableau 4 représente l'ensemble des puissances consommé par tous les modèles de lampadaires existant a l'université de Targua Ouzemmour, en supposant que les lampadaires fonctionnent 10h par jour, c'est-à-dire de 20h du soir jusqu'à 6h du matin.

Type	Modèle	Nombre de lampadaire	Nombre d'ampoules	Puissance (W)	B _{mensuel} (Kwh)
classique	A	136	136	17 000	5100
	B1	9	9	1 125	337.5
	B2	2	4	500	150
	B3	10	30	3 750	1125
	C1	38	38	15 200	4560
	C2	49	98	39200	11760
Projecteur		4	4	2 000	600
LED	A1	33	33	1 650	495
	A2	28	56	2 800	840
	B	57	57	5700	1710
total		366		88925	26677.5

Tableau 4 : La puissance consommée par l'éclairage extérieur dans UTO

III.3 Estimation financière

III.3.1 La puissance totale consommé par le campus de Targua Ouzemmour

Dans notre quête à la recherche de la puissance totale consommé par le campus de Targua Ouzemmour, nous avons pu apporté les factures d'électricité mensuelle facturé par la société Sonelgaz, la figure 56 et 57 représente respectivement deux facture mensuelle datant du mois d'octobre et de novembre de l'année 2017.

PRIXES TAXES		
Montant énergie HT		515.65
TVA énergie taux 19 %		738767.97
		140365.91
Location (comptage, transformateur)		
Entretien de poste transformateur		
Frais de coupure et remise		
Montant prestation HT		
TVA prestation taux		
Taxe d'habitation		
Taxe sur vente de produits énergétiques		
Intérêts moratoires		
TOTAL FACTURE		879133.88 DA

La présente facture est arrêtée à la somme de :
Huit Cent Soixante Dix Neuf Mille Cent Trente
Trois Dinars Quatre Vingt Huit Centime(s)

AVIS : Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie.

Figure 56 : Facture électrique de l'UTO datant du mois d'octobre

PRIXES TAXES		
Montant énergie HT		515.65
TVA énergie taux 19 %		627001.38
		119130.26
Location (comptage, transformateur)		
Entretien de poste transformateur		
Frais de coupure et remise		
Montant prestation HT		
TVA prestation taux		
Taxe d'habitation		
Taxe sur vente de produits énergétiques		
Intérêts moratoires		
TOTAL FACTURE		746131.64 DA

La présente facture est arrêtée à la somme de :
Sept Cent Quarante Six Mille Cent Trente ET Un
Dinars Soixante Quatre Centime(s)

AVIS : Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie.

Figure 57 : Facture électrique de l'UTO datant du mois de novembre

III.3.2 Calcule de la moyenne mensuelle de la consommation électrique au de l'UTO

Le tableau 5 représente le calcule effectué dans le but de trouvé la moyenne mensuelle de la consommation d'électricité au sein de l'UTO

Factures /mois	Prix/mois (DA)	Prix sans TVA (DA)	Prix du KWh (DA)	Energie totale/mois (Kwh)
Octobre	879133.88	738767.97		176785.2712
Novembre	746131.64	627001.38	4.1789	150039.8143
moyenne	812632.76	682884.9		163412.54

Tableau 5 : La moyenne mensuelle de la consommation d'électricité au sein de l'UTO

III.3.3 Calcule du cout et de la consommation mensuelle d'électricité par l'éclairage extérieur de l'UTO

Le Tableau 6 représente le calcule effectué dans le but de trouvé le cout et la consommation mensuelle d'électricité par les lampadaires de l'UTO.

Factures /mois	B _{mensuel} (kwh)	B _{mensuel} / E _{totale} (%)	Cout (DA)
Octobre		15.09	132661.30
Novembre	26677.5	17.78	132662.20
moyenne		16.43	132661.75

Tableau 6 : Le cout de la consommation mensuel d'électricité par l'éclairage extérieur de l'UTO

Commentaire

Donc le cout de la consommation moyenne de l'éclairage extérieur au sein du campus TO, est de 132661.75 DA par mois, ce qui est due en majeure partie aux lampadaires classiques (400W, 125W), vu que leur nombre est de 242 lampadaires, a eux seul leurs puissance est de 78775 KW, si on la compare à la puissance totale des lampadaires qui est de 88925 KW cela représente 88,58%

III.4 Solutions et perspectives

III.4.1 Première solution

Dans cette solution on suppose que tous les lampadaires classiques soient tous remplacé par ceux à LED, les résultats du calcul sont représenté dans le tableau 7

Type	Modèle	Nombre de lampadaire	Nombre d'ampoules	Nombre de luminaire a LED	Puissance (W)
classique	A	136	136	136	6800
	B1	9	9	9	450
	B2	2	4	2	100
	B3	10	30	10	500
	C1	38	38	38	1900
	C2	43	86	86	4300
Projecteur		4	4	4	200
total					14250

Tableau 7 : Redimensionnement de puissance de l'éclairage en utilisant des luminaires a LED

Commentaire

On peut constater que le rapport de puissance entre les lampadaires à LED et les classiques est le suivant:

$$R_p = 14250 / 78775 = 0.1808$$

Ce qui veut dire pour le même nombre de lampadaire, les ampoules classique consomme 5 fois plus que les lampadaires LED, et ont une durée de vie beaucoup moins que ces dernières

III.4.2 Deuxième solution

Dans l'hypothèse ou nous utiliserons notre système hybride qui nécessite quasiment pas de maintenance et pour une durée de 20 ans de fonctionnement (qui est la durée de vie des panneaux photovoltaïques) avec une énergie gratuite, l'université de Targa Ouzemour fera des bénéfices de 3 296 0385.6 DA ce qui est une somme non négligeable, qu'on peut réinvestir autrement au profit de l'université de Bejaïa, et par la suite soulager la Sonalgaz de fournir une puissance de 84325 KW

III.5 Conclusion

La première partie de ce chapitre est dédié au calcul du besoin mensuel de la consommation des lampadaires et à la détermination du prix que coutent leurs consommations et cela a l'aide des factures d'électricité de l'université, qu'on a pu apporter.

Nous avons pu déterminer le rapport exact entre la puissance de l'éclairage classique et l'éclairage à LED, et proposé des solutions a ce problème, dont la première est de remplacer les ampoules classique par des ampoules à LED, et la deuxième serai d'utilisé notre système d'éclairage solaire hybride déjà cité dans notre étude, vu les nombreux profits à tirés.

Conclusion générale

L'énergie solaire de nature photovoltaïque est, aussi bien du point de vue technique qu'économique, une alternative intéressante pour les sites non raccordés au réseau de distribution centralisée. Elle devrait devenir l'énergie du futur, parce que l'électricité qu'elle produit respecte globalement l'environnement grâce l'absence d'émission de CO₂.

En ce qui concerne notre pays, de sa situation géographique, l'Algérie, bénéficie de conditions favorables pour la production et l'utilisation de l'énergie solaire d'origine photovoltaïque. Vu son important potentiel solaire, l'Algérie est condamnée à inscrire une nouvelle politique de reconversion énergétique comme perspective économique et géostratégiques dans les prochaines décennies.

Comme notre pays bénéficie des conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, de plus la consommation de l'énergie électrique a connu une hausse de 10% en 2017, comparé à l'année 2016 [10], aussi l'éclairage public représente 40% de la consommation nationale d'énergie [11], a cause son cout élevé, et de sa consommation excessif de l'énergie électrique il représentent aujourd'hui une préoccupation majeure, donc convaincre à réaliser un bon éclairage autonome, est un excellent argument, car une installation d'éclairage bien pensée peut contribuer à la rentabilité d'une activité par des gains financiers, par une réflexion sur les coûts d'exploitation et de maintenance et des gains de productivité.

L'essentiel de notre travail consiste donc en une étude d'un éclairage hybride avec un système solaire photovoltaïque autonome munis de batterie d'accumulateur et couplé a une autre source de soutien dans notre cas une source alternative, durant le premier chapitre nous avons pu décrire le principe de fonctionnement de notre éclairage hybride, et connaître les différents éléments constituant sa réalisation.

Après la conception d'une démonstration sous le logiciel PSIM, le deuxième chapitre nous a permis de démontré la faisabilité de notre travail sur le terrain.

Nous complétons le projet par un troisième chapitre, ou on a pu constater que la consommation moyenne mensuelle électrique de l'éclairage extérieur de l'université de Targua Ouzemmour est assez élevé, ce qui est due aux modèles d'ampoules employés, de ce fait, plusieurs solution sont a porter de main pour l'UTO, la première c'est l'utilisation des ampoules a LED, car nous avons pu constater que les lampadaires a LED sont les plus intéressent vu la faible dimension de leurs systèmes photovoltaïques et leurs très longue durée de vie, la deuxième solution est de remplacé les lampadaire de l'UTO par notre model proposé .

Réaliser ce projet sera un accomplissement dont l'UTO pourrait faire connaitre grâce a son aspect environnemental, sans oublier les bénéfices qu'elle pourra faire en réduisant sa facture mensuelle.

Ni-Cd	Batterie Nickel-Cadmium
Ni-MH	Batterie nickel-hydrure métallique
Li-ion	Batteries lithium-ion
UV	Ultra violet
HPS	Sodium sous haute pression
LPS	Sodium sous basse pression
LED	Light Emitting Diode
PV	Panneau photovoltaïque
SOC	Etat de charge de la batterie (state of charge) [%]
Bj	Besoin journalier [Wh]
Ppv/j	Puissance journalière du panneau [W]
Pc	Puissance crête du panneau [Wc]
Ne	Nombre d'heurs équivalents
Gs	Valeur de l'ensoleillement moyen mensuelle du mois le plus défavorable [W/m ²]
Npv	Nombre de panneau
Cbatt, μ	Capacité d'une batterie unitaire [Ah]
Jaut	Jours d'autonomie de la batterie
Vbatt	Tension de la batterie [V]
DOD	Profondeur de décharge de la batterie (Depth of discharge) [%]
η_{batt}	Rendement de la batterie [%]
Nbatt	Nombre de batterie
PSIM	Logiciel PowerSIM
Ipv	Courant du panneau [A]
Vpv	Tension du panneau [V]
D1	Diode
W	Puissance [W]
P&O	Perturb & Observe
MPP	Point de puissance max
MPPT	Maximal power point tracking
AC	Source alternative
DC	Source continue
T1	Un transformateur abaisseur de tension
P_diode	Un redresseur a pont de diode
L1	Inductance [H]
C3	Capacité [F]
R1	Une résistance pour l'ajustement du courant de sortie [Ω]
Is2	Courant de la deuxième source [A]
Is1	Courant de la première source [A]
SOC _{charge}	Etat de charge [%]
SOC _{décharge}	Etat de décharge [%]
Qb	Capacité de la batterie [Ah]
i_s	Courant délivré par la source [A]
i_{batt}	Courant que délivre la batterie [A]

I_{max}	Courant maximal du panneau photovoltaïque [A]
V_{max}	Tension maximal du panneau photovoltaïque [V]
P_{max}	Puissance maximal du panneau photovoltaïque [W]
R_s	Resistance série [Ω]
T_a	Température ambiante [$^{\circ}C$]
S	L'intensité lumineuse [W/m^2]
E_s	Ensoleillement [W/m^2]
E_{smin}	Ensoleillement minimal [W/m^2]
T	Température [$^{\circ}C$]
R_p	Rapport de performance [%]
UTO	Université de Targa Ouzemmour

Recherche bibliographique

- [1]- Association pour la promotion des énergies renouvelables:
www.astrolabium.be/IMG/pdf/dossier_pe_da_e_nergies.pdf
Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement: Info Fiches-énergies:
Les énergies renouvelables : Info-fiche Particuliers 2008 6 p. Info-fiche Energie - Energie renouvelable n°2
La biomasse et la bioénergie : Info-fiche Particuliers 2008 7 p. Info-fiche Energie - Energie renouvelable n°12
- [2]- Institut Bruxelles pour la gestion de l'environnement : Guide pratique pour la conception des espaces public et des quartiers durables, juillet 2011
- [3]- http://www.solalgerie.com/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=27
- [4]- MM. Christian Hoyobony TOKORO, *Gilles Herman FOKA*:
Etude de faisabilité du projet d'éclairage publique par des lampadaires solaire à CONAKRY et dans huit (8) autres villes en république de. 2011
- [5]- https://fr.chinasokoyo.com/produits-et-solutions/?gclid=CjwKCAjwqfDIBRBDEiwAigXUaJutakfsmsjmdslfsfpPLqjnj4jEo_OPBZgCtebC2GjPLq7D5HY_xoC2f0QAvD_BwE
- [6]- <https://www.objetsolaire.com/eclairage-solaire.html>
- [7]- Zendah Ramzi : Etude de la gestion d'énergie pour d'une chaîne photovoltaïque, juin 2018
- [8]- <https://www.objetsolaire.com/eclairage-solaire.html>
- [9]- A.MEKKI, B.ABDERRAHIM: Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation d'une ferme.2016
- [10]- <https://www.maghrebemergent.info/algerie-la-consommation-de-l-energie-electrique-a-augmente-de-10-en-2017/>
- [11]- <https://www.lesoirdalgerie.com/actualites/leclairage-public-represente-40-de-la-consommation-nationale-denergie-1994>
- [12]- <https://journals.openedition.org/cybergeogeo/28796>
- [13]- Syndicat Mixte d'Action pour l'Expansion de la Gâtine, Guide de L'éclairage public vers un éclairage juste, Année 2011
- [14]- <http://energie28.blogspot.com/2016/11/definition-et-explications-sur-le-mppt.html>
- [15]- Report for Work package 6, David Lindner, Florian Niedermayr 29.09.2014

[16]- PSIM Tutorial How to use Lithium-Ion battery model

[17]- <http://f.leplus.free.fr/Simulation/Pres.htm>

[18]- Optimisation du Rendement énergétique d'un panneau solaire par un support sulveur, réaliser par : Dharyf ILias

[19]- PSIM Tutorial How to use Module physical model

[20]- Pierre Teisseire, Centre de formation Bwa Toma – Acded Marigot - Haïti Petit : Guide pour étudier un projet d'installation photovoltaïque Dimensionner un parc de batteries réa, 2003

[21]- Professeur: Peer Eric Moldvar, Consultant en éclairage, Cours E314 Principe d'éclairagisme, Module 4 Sources artificielles de lumière

[22]- <https://www.solaris-store.com/8-panneau-monocristallin>