

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

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



**Mémoire de Fin D'étude en Vue de L'obtention du
Diplôme de Master en Energies Renouvelables
Option : Conversion Photovoltaïque**

Thème :

*Etude Pratique et Dimensionnement d'un
Système d'Eclairage Public Photovoltaïque
Autonome
Cas d'étude : la nouvelle ville de bouinan.*

Présenté par: -DJEBAR Mohamed
-AMROUN Yanis

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur DOUMAZ	Professeur	USDB	Président
Monsieur BOUZAKI	Professeur	USDB	Encadrant
Monsieur BEN AHMED	Professeur	USDB	Examineur

Juillet 2021

ملخص:

في هذا العمل ، قدمنا حلاً مفصلاً لنظام إضاءة عام بالطاقة الشمسية جديد مستقل مخصص لشارع في الجديدة والذي يعاني من خلل في النظام المثبت بالفعل في الموقع بسبب العديد من الحالات مدينة بوينان الشاذة وفي الدرجة الأولى تأثير التظليل. تم تقييم مجموعة الإضاءة الشمسية الجديدة مالياً لإجراء مقارنة مع التركيب القديم.

الكلمات المفتاحية : التحجيم ، إنارة الشوارع بالطاقة الشمسية ، التظليل ، الكهروضوئية ، البطارية ، إنارة ، عمود المصباح ،

Résumé

Dans ce travail, on a présenté une solution détaillée d'un nouveau système d'éclairage public solaire autonome destiné à un boulevard de la nouvelle ville de BOUINAN qui souffre d'un dysfonctionnement du système déjà installé sur le lieu à cause de plusieurs anomalies et en premier degré l'effet d'ombrage. Le nouveau kit d'éclairage solaire a été évalué financièrement dans le but de faire une comparaison avec l'ancienne installation.

Mots clés: dimensionnement, éclairage public solaire, ombrage, photovoltaïque, batterie, luminaire LED, lampadaire

Abstract

In this work, we presented a detailed solution of a new autonomous solar public lighting system intended for a boulevard in the new town of BOUINAN which suffers from a malfunction of the system already installed on the site due to several anomalies and in the first degree the shading effect. The new solar lighting kit has been financially evaluated in order to make a comparison with the old installation.

Keywords: sizing, solar street lighting, shading, photovoltaic, battery, LED luminaire, lamppost

Dédicaces

Je dédie ce travail à :
A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la
Responsabilité....merci MERE.
A celui qui a été toujours la source d'inscription
Et de couragemerci PERE.
A mes sœurs, A mon frere.
Et à toute ma famille.
A THAKKEHLOUCHTH
A tous mes amis Abdou, Reda, Lamine, Sofiane, Kada,
.Salah.
Et surtout à mon cher binôme Yanis.
Et à toute la promotion de MASTER 2.

DJEBAR Mohamed.

Je dédie ce travail à :
A celui qui a été toujours la source d'inscription
Et de couragemerci PERE.
A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la
Responsabilité....merci MERE.
Et a ma sœur et mon frère
Et à toute ma famille.
A tous mes amis
Et surtout à mon cher binôme Mohamed.

Yanis AMROUN

Remerciements

Remerciements :

Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur **Mr:BOUZAKI**, professeur à l'université de **SAAD Dahlab**, pour sa patience, sa disponibilités et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion .*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de Près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Nomenclature

E	l'énergie journalier consommé
T	la dure d'utilisation de l'Equipment
E	L'énergie fournie par la batterie
E	L'énergie fournie par le panneau
PC	puissance crête
	La capacité de la batterie
Isc	Courant de court-circuit du GPV.
Voc	La tension de circuit ouvert.
E	La consommation globale de système
p	Puissance unitaire de luminaire
Cs	Capacité de stockage de système
P	puissance de equipment
V	Tension de batterie utilise
Cj :	la consommation journalière.
Pi :	Irradiation en STC (1000w/m2)
Ij	: Irradiation journalière fournit par le soleil
Nja :	les nombres de jour d'autonomie
Dmb	=la profondeur décharge de la batterie.
Vs	tension de système (12v)

Sommaire

Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Dédicaces	
Remerciements	
Nomenclature	
Introduction générale	

Chapitre I. Recherche bibliographique

I.1.	Introduction:	8
I.2.	Eclairage solaire:	8
I.3.	LES AVANTAGES DE L'ECLAIRAGE SOLAIRE	8
I.4.	Planification initiale du réseau d'éclairage public :.....	10
I.5.	Types d'éclairage public :.....	11
I.6.	COMPOSANTESDES DIVERS RESEAUX :.....	12
I.7.	Les avantages et désavantages des types de réseau d'éclairage public :	15
I.8.	Types d'implantation sur l'espace public :.....	16
I.9.	Définition de quelques grandeurs photométriques :.....	20
	• Le flux lumineux :	20
	• L'intensité lumineuse :.....	20
	• L'éclairement :	20
	• L'efficacité lumineuse :.....	21
	• La luminance :.....	21
	• Indice de rendu de couleur :.....	21
I.10.	Note sur les systèmes d'éclairage solaire :	22
I.11.	Les éléments d'un lampadaire :.....	23
	I.11.1. Lanterne :	23
	I.11.2. Luminaire :.....	23
	I.11.3. Crosse :.....	24
	I.11.4. Mat :.....	24
	I.11.5. L'équipement de gestion automatique d'allumage et d'extinction :	25

I.12.	Les différents types d'éclairage solaire :	27
I.13.	Types de lampadaire solaire :	27
<u>•</u>	TOUT EN DEUX LAMPADAIRE SOLAIRE À LED (all in two) :	28
<u>•</u>	TOUT EN UN LAMPADAIRE SOLAIRE À LED (all in one) :	28
I.14.	Les avantages des lampadaires solaires à LED:	29
I.15.	Les inconvénients des lampadaires solaires à LED:	29

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

II.1.	Introduction :	30
II.2.	Présentation du site du projet (BOUINAN) :	30
II.3.	Coordonnées géographiques de la nouvelle ville de BOUINAN :	31
II.4.	Etude d'anomalies des installations :	32
II.4.1.	1ère anomalie :	32
II.4.2.	2ème anomalie :	37
II.4.3.	3ème anomalie :	42

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

III.1.	Introduction :	47
III.2.	Estimation de l'énergie solaire reçue :	48
III.3.	Estimation de la consommation :	49
III.4.	Source lumineuse et luminaire :	50
III.5.	Dimensionnement de générateur photovoltaïque :	52
III.6.	Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs:	53
III.7.	Dimensionnement du régulateur de charge :	54
III.8.	Choix des poteaux :	55
III.9.	Câblage:	56
III.10.	Estimation du coût global:	57
III.11.	Le Coût de la 1ère installation :	58
	Conclusion générale	59

Liste des figures :

Chapitre I. Recherche bibliographique

Figure I. 1: schéma d'un Lampadaire solaire isolé	12
Figure I. 2: schéma d'un Réseau solaire isolé	13
Figure I. 3: schéma d'un Réseau hybride avec système solaire et réseau public	13
Figure I. 4: schéma d'un Réseau public	14
Figure I. 5: les types d'implantation des points lumineux	18
Figure I. 6: les équipements de gestion automatique d'allumage et d'extinction	26

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

Figure II. 1: localisation de la ville de BOUINAN.....	30	
Figure II. 2:L'irradiation solaire mensuelle	31	
Figure II. 3:La température moyenne mensuelle.....	31	
Figure II. 4.photographies du premier cas	33	
Figure II. 5.vue sur plan x,z	Figure II. 6.vue sur plan x,y,z plein	34
Figure II. 7. vue sur plan x,y	Figure II. 8.vue sur plan x,y,z vide	34
Figure II. 9.Hauteur du soleil à 5h.....	35	
Figure II. 10.Hauteur du soleil à 12h	35	
Figure II. 11.Hauteur du soleil à 19h	35	
Figure II. 12.Pourcentages de l'ombrage en fonction du temps.....	36	
Figure II. 13.photographies du deuxième cas.....	38	
Figure II. 14.Vue sur axes x,y,z pleine	Figure II. 15.vue sur axes x,y,z vide	39
Figure II. 16.vue sur plan x ,y	Figure II. 17.vue sur plan x,z	39
Figure II. 18.La hauteur du soleil à 6:15	40	
Figure II. 19.La hauteur du soleil à 12:30	40	
Figure II. 20.La hauteur du soleil à 19 :00	40	
Figure II. 21.Pourcentages de l'ombrage en fonction du temps.....	41	
Figure II. 22.photographies du troisieme cas	43	
Figure II. 23.Vue sur plan s,y,z plein	Figure II. 24.vue sur plan x,z	44
Figure II. 25.Vue sur plan x,y vide	Figure II. 26.vue sur plan x,y plein	44
Figure II. 27.Hauteur du soleil à 6h45	45	
Figure II. 28.Hauteur du soleil à 12h00	45	
Figure II. 29.Hauteur du soleil à 18h45	45	
Figure II. 30.Pourcentages de l'ombrage en fonction du temps.....	46	

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

Figure III. 1. Photographie du boulevard étudié.....	47
Figure III. 2.boulevard sur plan x,y,z.....	47
Figure III. 3.Irradiation globale horizontale de site BOUINAN	48
Figure III. 4.Durée d'insolation pour un jour de mois de novembre (BOUINAN).....	49
Figure III. 5.Profile de charge de lampe en hiver	50
Figure III. 6.Régulateur MPPT.....	55
Figure III. 7.Poteau avec une crosse et deux crosses	56

Liste des tableaux :

Chapitre I. Recherche bibliographique

Tableau I. 1: les avantages et désavantages des types de réseau d'éclairage public	16
Tableau I. 2: les types d'implantation des points lumineux.....	18
Tableau I. 3:les avantages de différentes implantations	19
Tableau I. 4:les Inconvénients de différentes implantations	19

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

Tableau II. 1: caractéristiques luminaire solaire 'all in one '	32
Tableau II. 2.caractéristiques luminaire solaire classique.....	37
Tableau II. 3.caractéristiques luminaire solaire classique.....	42

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

Tableau III. 1. Énergie journalière consommé	50
Tableau III. 2. Caractéristiques du luminaire	51
Tableau III. 3.Caractéristiques du module PV	52
Tableau III. 4. Caractéristiques de la batterie.....	53
Tableau III. 5.Choix de poteau	55
Tableau III. 6.Caracteristiques des cables	56
Tableau III. 7.liste des prix.....	57
Tableau III. 8.liste des prix de la première installation.....	58

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

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

- Augmenter la sécurité, la fluidité de la circulation sur les chaussées et réduire la gravité et le nombre d'accidents de nuit.
- Augmenter la sécurité des biens et des personnes.
- Assurer le confort des conducteurs, des piétons et des riverains.
- Se livrer de nuit à des travaux et activités qui, sans l'éclairage, ne pourraient avoir lieu que de jour.
- Assurer une perspective du cadre de vie et valoriser la ville (décorer les espaces les plus prestigieux (avenues centrales, gares, parcs et espaces d'exploitations.))

Les moyens d'éclairage ont connu un très grand développement depuis son apparition. De la lampe à l'huile utilisée au 18ème siècle aux nouvelles lampes LED, les dispositifs utilisés dans l'éclairage ont connu une progression notable. On distingue différentes source d'énergie servant à alimenter les lampes d'éclairage public : les lampes à combustible (huile, gaz, pétrole) et les lampes électriques. Ces dernières sont les plus utilisées ces jours-ci. Cependant, l'éclairage public est un poste auquel les municipalités devraient de plus en plus faire attention, d'autant qu'il représente à lui seul une part importante de leur budget d'électricité. Aussi, face à l'augmentation des coûts de l'énergie et au début de prise en compte du facteur environnement, les villes travailleraient à améliorer l'efficacité de leur réseau d'éclairage public. Pour cela, le recours aux nouvelles technologies est obligé et les solutions diverses, que cela soit pour réduire la consommation soit pour optimiser l'utilisation de l'énergie sont nécessaires. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, qui traite éclairage public solaire de la ville de Bouinan.

INTRODUCTION GENERALE

Objectif spécifique de la présente étude :

L'objectif principal de notre travail est faire l'étude sur l'installation de l'éclairage publique solaire déjà faite à la nouvelle ville de BOUINAN récemment qui rencontre le dysfonctionnement du système et donc sélectionner les causes majeures afin de proposer des solutions.

Organisation de travail :

Le présent mémoire comporte trois chapitres:

- Après cette brève introduction, nous abordons dans le premier chapitre une recherche bibliographique sur l'éclairage publique solaire.
- Le deuxième chapitre a inclus une présentation de l'installation faite à la nouvelle ville de BOUINAN et la technologie utilisée dans ce projet ainsi les problèmes majeurs qui causent le dysfonctionnement de ce système.
- Le dernier chapitre a été consacré à l'aspect pratique du travail. On a dimensionné un cas d'étude choisi déjà équipé (boulevard dans la ville) pour déterminer le nombre, le type et la puissance des kits d'éclairage et on a proposé un autre système comme solution. Une étude financière et comparative avec les systèmes conventionnels a été effectuée également dans ce chapitre.
- Finalement, ce mémoire sera terminé par une conclusion générale qui résume les principaux problèmes de ce système installé dans cette ville et les solutions proposées dans le cadre de ce travail.

I.1. Introduction:

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

I.2. Eclairage solaire:

L'Eclairage solaire peut être défini ainsi un ensemble d'appareils qui sont 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. Le lampadaire devient ainsi autonome en énergie. S'il est asservi à un système de détection de présence et une cellule photovoltaïque, il peut contribuer à diminuer la pollution lumineuse.

I.3. LES AVANTAGES DE L'ECLAIRAGE SOLAIRE

- **L'Eclairage solaire Facile à Exploiter** : l'éclairage est la première application du solaire Autonome, la plus facile à exploiter et la plus répondeue : la technologie évolutive des Led à faible consommation, des batteries, des régulations électroniques et l'amélioration du rendement des panneaux solaires permettent de plus en plus d'autonomie.

- **Les Eclairages solaires Faciles à Installer** : permettent tous types d'installation, simples, sans câble ni tranchée, ils peuvent être plantés, fixés, déplacés, quelque soit la configuration de votre jardin, même sous abri, à l'intérieur ou en mauvaise exposition grâce aux lampes solaires à panneaux déportés.

- **L'Eclairage solaire Ecologique**, utilise une énergie propre et



Chapitre I. Recherche bibliographique

inépuisable, la lumière solaire composée de particules appelées Photons qui sont projetées en permanence sur notre planète, lorsqu'elles sont projetées sur un panneau photovoltaïque, elles permettent une production électrique, sans répercussion sur l'environnement, L'éclairage solaire est un geste pour la planète, pour un développement durable.

- **L'Eclairage solaire Gratuit**, les Lampes solaires de jardin fonctionnent à l'énergie solaire Gratuite, en toute autonomie, et vous permettent de réduire votre consommation électrique, pour des économies d'énergies.

- **L'Eclairage solaire Automatique**, les Lampes solaires de jardin fonctionnent en toute autonomie, s'allumant automatiquement à la tombée de la nuit avec leur détecteur crépusculaire sans contrainte.

-**L'Eclairage solaire de Sécurité**, les Projecteurs solaires ou détecteurs de mouvement solaires sécurisent vos maisons ou bâtiments, ces lampes solaires s'allument dès qu'une présence est détectée, ce qui dissuade les intrus et les animaux.



- **L'Eclairage solaire Nomade**, l'éclairage est un besoin indispensable de base, les lampes solaires nomades vous permettent d'emporter la lumière solaire avec vous où que vous soyez, en randonnée, au milieu du désert ou en forêt...

- **Les Eclairages solaires Puissants, bornes, lampadaires solaires projecteurs solaires puissant**, suivant votre attente, votre budget, pour ceux qui souhaitent s'éclairer au solaire, ou en éclairage solaire professionnel de camping, Hôtels..

- **Les Eclairages solaires Autonomes sur Mesure**, calculés et dimensionnés en fonction de vos critères de fonctionnement : puissance, durée, période de l'année, lieu géographique, pour l'éclairage solaire autonome d'enseignes, de panneaux publicitaires de totems, de monuments, de parcs etc...

I.4. Planification initiale du réseau d'éclairage public :

Tout d'abord, la planification du réseau d'éclairage public dépend de certains facteurs. Afin d'engager les Concepteurs, il est important de prendre en considération et de décrire dans le cahier de charges :

- L'objectif de l'installation : Est-ce qu'il s'agit d'un réseau d'éclairage d'une route principale, de voiries de quartiers résidentiels, des zones industrielles, des zones piétonnes, des zones des récréations et de détente, de l'illumination d'ambiance des bâtiments publics ou des œuvres d'art, etc.
- La taille du réseau, c'est-à-dire le nombre approximatif de lampadaires à installer et la taille de la zone d'intervention.
- Les spécificités de la zone d'intervention, c'est-à-dire la densité de l'agglomération, la largeur des voiries, la présence d'une végétation dense.
- L'existence d'un réseau d'alimentation en électricité ou d'un ancien réseau d'éclairage public dans la zone d'intervention.
- Les bénéfices, les désavantages et les risques environnementaux et sociales liées à l'installation du réseau, par exemple : augmentation de la sécurité, dépenses communales additionnelles pour la réalisation du réseau ainsi que son fonctionnement et entretien, accumulation potentielle des insectes pendant la nuit, impact négatif sur l'environnement à cause de la consommation d'énergie, etc.
- Les équipements et Ressources Humaines nécessaires ainsi que l'achat régulier de pièces de rechange pour maintenir le réseau.

La conception de l'éclairage public doit être adoptée aux espaces et aux édifices auxquels elle est destinée. Le type d'équipement est déterminé en fonction de la nature du projet. L'objectif n'est pas d'offrir de la lumière uniquement dans un but sécuritaire mais de créer une ambiance nocturne agréable donnant une nouvelle vision des ouvrages.

I.5. Types d'éclairage public :

Chaque éclairage public demande une planification rigoureuse, même s'il s'agit de l'éclairage non-lié aux aspects sécuritaires. Les spécialistes ont pour objectif de confectionner un réseau adapté à sa fonction qui respecte les normes avec une faible consommation électrique et une faible pollution lumineuse tout en garantissant une intégration harmonieuse dans l'environnement.

- **Eclairage routier :**

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



- **Eclairage des espaces publics :**

L'éclairage des espaces publics facilite leur surveillance pendant la nuit dans le but de prolonger leur utilité et de prévenir des accidents et des crimes. En créant une atmosphère détendue, ils sécurisent donc les utilisateurs. Par conséquence, l'illumination des espaces publics augmente la qualité de vie et stimule souvent les activités économiques dans les agglomérations principales.



- **Eclairage des espaces sportifs :**

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



- **Eclairage d'ambiance :**

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



I.6. COMPOSANTES DES DIVERS RESEAUX :

Systeme 1 : Lampadaire solaire isolé



Exemple d'une solution complète avec batterie et régulateur dans la boîte métallique ventilée, panneau photovoltaïque et lampadaire pourvu d'une ampoule LED.

Figure I. 1: schéma d'un Lampadaire solaire isolé

Système 2 : Réseau solaire isolé

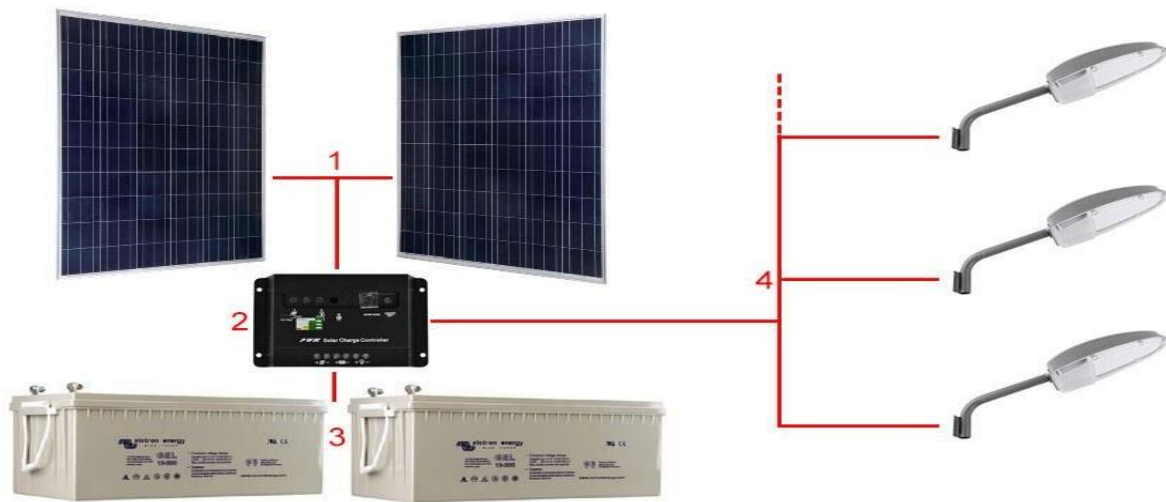


Figure I. 2: schéma d'un Réseau solaire isolé

1= Panneau photovoltaïque

2= Régulateur avec détecteur crépusculaire

3= Batterie

4= Lampadaires

Système 3 : Réseau hybride avec système solaire et réseau public

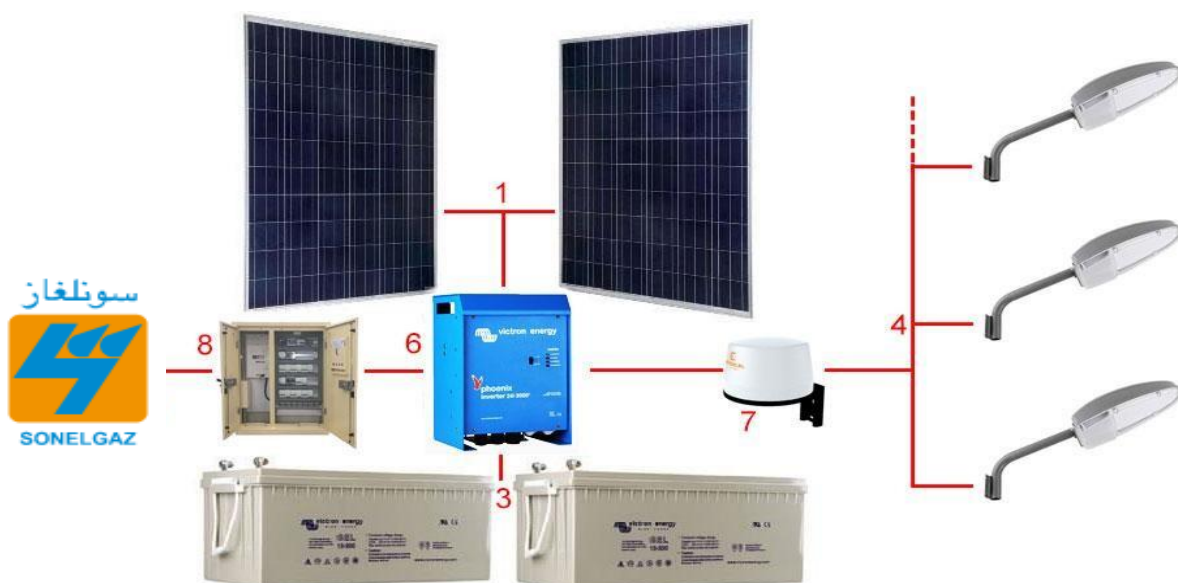


Figure I. 3: schéma d'un Réseau hybride avec système solaire et réseau public

Système 4 : Réseau public



Figure I. 4: schéma d'un Réseau public

1= Panneau
photovoltaïque

3= Batterie

4= Lampadaires

5= Réseau public
(sonelgaz)

6= Onduleur-
régulateur

7= Détecteur crépusculaire
ou interrupteur horaire

8= Armoire de commande avec compteur et équipement de gestion d'allumage et
d'extinction

Chapitre I. Recherche bibliographique

I.7. Les avantages et désavantages des types de réseau d'éclairage public :

Système	Avantages	Désavantages	Cas d'utilisation
Système 1 : Lampadaire solaire isolé (basse tension)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pas de facturation d'électricité 2. Installation rapide 3. Solution simple qui nécessite seulement une petite étude technique 4. Pas de nécessité de raccordement au système public 5. Pas de nécessité de compteurs, armoires, câblage coûteux, etc.) 6. Pas de câblage exposé et pas de risque d'électrocution 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coût d'achat plus élevé que les lampadaires branchés sur un réseau public existant 2. Nécessité de remplacer les batteries tous les 5 à 10 ans (en fonction de la qualité) 3. Maintenance intensive : Nettoyage régulier des panneaux solaires 4. Risque de non-fonctionnement en cas de manque de soleil 5. Déconseillé pour les sites ombragés (arbres, vallées, etc.) 6. Risque de vol des installations exposées (panneaux solaires, batteries, régulateurs) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lampadaires ponctuels 2. Réseau aux sites éparpillés (par exemple : ronds-points et carrefours de routes rurales, petits espaces publics) 3. Sites sans réseau public d'électricité 4. Site où l'extension du réseau public n'est pas faisable
Système 2 : Réseau solaire isolé (basse ou moyenne tension)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pas de facturation d'électricité 2. Installation rapide 3. Pas de nécessité de raccordement au système public 4. Plus économique et fiable que les lampadaires solaires isolés pour les réseaux d'éclairage de moyenne taille 5. Réalisable même sur les sites ombragés 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coût du réseau plus élevé que les lampadaires branchés au réseau public existant 2. Nécessité de consulter un(e) spécialiste 3. Nécessité de remplacer les batteries tous les 10 à 15 ans (en fonction de la qualité) 4. Maintenance intensive: Nettoyage régulier des panneaux solaires 5. Risque d'interruption en cas de manque de soleil 6. Risque de vol des installations exposées (notamment les panneaux solaires) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réseau de petite ou moyenne taille sur les sites sans réseau public . 2. Sites isolés avec peu de points d'éclairage par site (par exemple : petites agglomérations, écoles isolées, parcs publics) 4. Site où l'extension du réseau public n'est pas faisable

Chapitre I. Recherche bibliographique

Système 3 : Réseau hybride avec système solaire et réseau public (basse ou moyenne tension)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pas de risque d'interruption en cas de manque de soleil 2. Facturation d'électricité raisonnable (en fonction de la confection du système) 3. Plus fiable que les systèmes solaires isolés 4. Réalisable même sur les sites ombragés (arbres, vallées, etc.) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nécessité de raccordement au réseau public d'électricité 2. Solution coûteuse avec des équipements spécialisés 3. Nécessité de consulter un(e) spécialiste / Implication obligatoire de la Sonelgaz 4. Nécessité de remplacer les batteries tous les 10 à 15 ans (en fonction de la qualité) 5. Maintenance intensive: Nettoyage régulier des panneaux solaires 6. Risque de vol des installations exposées (panneaux solaires) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réseau sur les sites pourvus d'un réseau public ou présence d'un groupe électrogène 2. Sites sensibles par rapport à la sécurité (par exemple routes principales, parc municipal de la commune, zones industrielles)
Système 4: Réseau public (moyenne tension)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pas de risque d'interruption en cas de manque de soleil 2. Faible en maintenance 3. Pas de nécessité de remplacer périodiquement des équipements coûteux 4. Possibilité de réaliser des grands réseaux 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Frais de fonctionnement très élevé / Paiement régulier des factures d'électricité 2. Implication obligatoire de la Sonelgaz 3. Risque d'électrocution ou d'incendie en cas de câblage exposé près des bâtiments (réseau moyenne tension) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réseau de moyenne et grande taille pourvu d'un réseau public d'électricité (par exemple : agglomérations principales, zones industrielles) 2. Sites sensibles par rapport à la sécurité

Tableau I. 1: les avantages et désavantages des types de réseau d'éclairage public

I.8. Types d'implantation sur l'espace public :

Pour identifier l'implantation appropriée à un espace public, il est primordial de tenir compte des paramètres suivants,

- L: largeur de la chaussée à éclairer
- a : avancement du feu par rapport au bord de la chaussée
- h : hauteur du feu
- e : espacement entre deux foyers lumineux

Chapitre I. Recherche bibliographique

Il existe 4 types principaux d'implantation des points lumineux dans l'éclairage public.

- **Implantation unilatérale (gauche ou droite) :**

Dans ce type d'implantation, tous les luminaires sont implantés sur un seul côté de la route. On l'utilise principalement lorsque la largeur de la route est inférieure ou égale à la hauteur des candélabres. La luminance de la partie de la chaussée située loin des luminaires est inévitablement plus faible que celle située du même côté. Ce type d'installation est habituellement utilisé pour l'éclairage d'une route constituant une chaussée simple à double sens de circulation.

- **Implantation bilatérale en quinconce :**

Dans ce type d'implantation, les luminaires sont situés de chaque côté de la route, en implantation alternée (ou zigzag). On l'utilise principalement lorsque la largeur de la route est comprise entre 1 et 1,5 fois la hauteur des candélabres. Un soin particulier devra être apporté à l'uniformité des luminances de la chaussée. En effet, l'alternance de zones sombres puis éclairées peut produire un effet 'zigzag' désagréable. Ce type d'installation est habituellement utilisé pour une route constituant une chaussée simple à double sens de circulation.

- **Implantation bilatérale vis-à-vis :**

Ce type d'implantation est caractérisé par des luminaires implantés des deux côtés de la route et en opposition. On l'utilise principalement lorsque la largeur de la route est supérieure à 15 fois la hauteur des candélabres. Ce type d'installation est habituellement utilisé pour une route constituant une chaussée simple à double sens de circulation

- **Implantation axiale (rétro-bilatérale) :**

Les luminaires sont implantés au-dessus de la zone centrale. Cette solution équivaut à une installation unilatérale pour chaque chaussée individuelle.

Chapitre I. Recherche bibliographique

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

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

Tableau I. 2: les types d'implantation des points lumineux

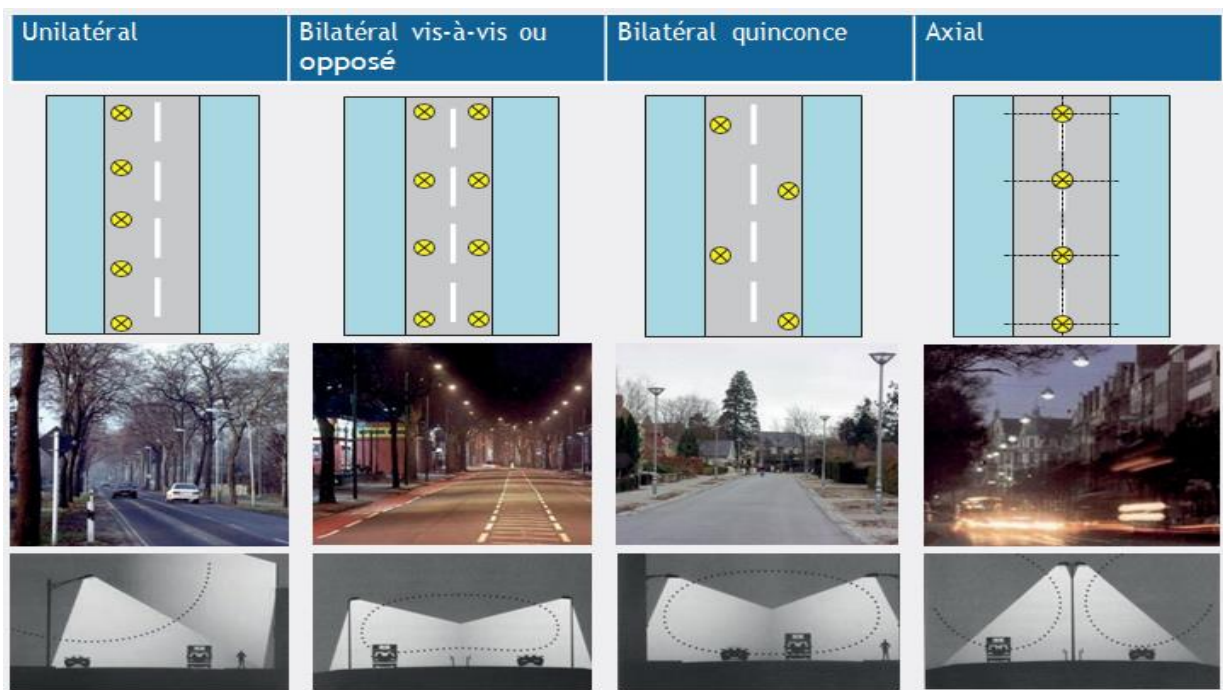


Figure I. 5: les types d'implantation des points lumineux

Chapitre I. Recherche bibliographique

Avantages			
• Bon guidage visuel de nuit et de jour en utilisant des poteaux	• Bon guidage visuel	• L'éclairage est d'un même aspect des deux cotés	• Rendement lumineux supérieur
• Coût d'installation Limité	• Forte perspective visuelle par effet de tunnel	• Hauteurs de mât inférieures	• Equivalence entre les deux moitiés de la chaussée
• Adéquation aux espaces verts	• Eclairage symétrique transversal (équivalent dans les deux sens de circulation) et rythme longitudinal	• Peut compenser les irrégularités dans l'implantation en raison du bâti en présence	• Coût d'installation limité (en cas d'utilisation de poteaux)
	• Possibilité de hauteurs de mât inférieures		• Bon guidage

Tableau I. 3:les avantages de différentes implantations

Inconvénients			
• Eclairage inégal des deux sens de circulation et des Trottoirs	• Adéquation aux espaces verts difficile	• Image chahutée de l'espace public	• L'entretien empiète sur les bandes de circulation
• Nécessite des hauteurs plus grandes	• Coût d'installation élevé notamment en raison du double câblage	• Presque pas de guidage	
• Coordination avec le vert	• Plus de poteaux	• Plus cher à l'installation et à l'entretien (il faut deux câbles ou un câble qui croise sans cesse)	
	• Encombrement de l'espace	• Possible interférence avec les arbres	

Tableau I. 4:les Inconvénients de différentes implantations

I.9. Définition de quelques grandeurs photométriques :

Il est nécessaire de définir quelques concepts d'éclairagisme afin de mieux comprendre et aborder aisément le sujet de mémoire soumis à notre étude.

L'éclairagisme est la science qui étudie les grandeurs photométriques : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, l'éclairement, la luminance, l'indice de rendu des couleurs (IRC).

- **Le flux lumineux :**

Le flux lumineux est la grandeur caractéristique d'un flux de rayonnement exprimant son aptitude à produire une sensation lumineuse sur un récepteur sélectif dont la sensibilité spectrale est conforme à celle de l'observateur de référence fixée par la commission internationale de l'éclairage. L'unité du flux lumineux est le LUMEN (lm). Cette grandeur sert principalement à qualifier photométriquement les lampes.

- **L'intensité lumineuse :**

Elle qualifie le flux élémentaire émis dans une direction de l'espace par une source quasi ponctuelle. Elle s'exprime $I = \frac{dF}{d\Omega}$ par la relation où dF est le flux élémentaire issu de la source quasi ponctuelle dans l'angle solide élémentaire d (cône élémentaire). La notion d'intensité peut être imagée par un rayon lumineux transportant une certaine énergie. Son unité le CANDELA (cd) est la base photométrique du Système International d'unités. La connaissance de l'ensemble des intensités lumineuses émanant d'un luminaire permet de juger sa distribution photométrique.

- **L'éclairement :**

C'est la densité de lumière sur une surface. Il s'exprime par la formule $E = \frac{dF}{S}$

où F est la valeur du flux lumineux atteignant la surface et S l'aire de cette surface réceptrice. Son unité est le LUX (lx) qui représente un flux d'un lumen atteignant une surface d'un mètre carré. Cette grandeur est intéressante du fait qu'elle se mesure facilement à l'aide d'un LUXMETRE et permet le contrôle des installations.

Chapitre I. Recherche bibliographique

- **L'efficacité lumineuse :**

L'efficacité lumineuse d'une lampe ou d'un ensemble est le quotient du flux lumineux émis par une lampe, par la puissance consommée par la lampe ou par la puissance totale (lampe + auxiliaire). Elle est exprimée en LUMEN par Watt (lm/W).

- **La luminance :**

Chaque fois que la provenance d'un flux lumineux doit être analysée, on parle de luminance perceptible par un observateur donné. Cette grandeur permet donc de tenir compte des sources de lumière présentes dans le champ visuel d'un observateur, soit en termes de risque d'éblouissement, soit en termes d'aide à la perception visuelle liée à l'aspect lumineux des objets éclairés. Son unité est le CANDELA par mètre carré (cd/m^2). La luminance se mesure avec un luminance-mètre.

Il est possible de déterminer par exemple la luminance des chaussées, qui sert de base d'évaluation des projets d'Eclairage Public.

- **Indice de rendu de couleur :**

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

Chapitre I. Recherche bibliographique

I.10. Note sur les systèmes d'éclairage solaire :

Ensemble d'appareils qui distribuent une lumière artificielle reposant sur l'utilisation du rayonnement et de l'énergie du soleil par des capteurs solaires.

Le type de lampadaire qui est alimenté par l'énergie solaire, est équipé de panneaux solaires qui captent la lumière du soleil pendant la journée, ce qui permet de produire de l'électricité. Celle-ci est stockée dans des batteries, puis restituée la nuit pour l'éclairage. Le lampadaire devient ainsi autonome en énergie. S'il est asservi à un système de gestion, par exemple à un détecteur crépusculaire, il peut contribuer à diminuer la pollution lumineuse et la consommation d'énergie.

Ces luminaires s'avèrent pertinents sur les sites isolés où le réseau électrique n'est pas disponible. Ils évitent ainsi des coûts élevés de raccordement au réseau électrique et permettant d'assurer un cadre sécurisant pour les usagers.

Si le contexte plaide en faveur de l'installation d'un luminaire solaire, quelques précautions s'imposent :

- Définir de manière optimale le positionnement et l'inclinaison du panneau solaire afin qu'il bénéficie au maximum de l'ensoleillement et ne soit pas dans l'ombrage des éléments de son environnement
- Nettoyer régulièrement les panneaux afin que la poussière, les feuilles mortes ou les excréments d'oiseaux ne viennent pas perturber leur rendement
- Il sera nécessaire de remplacer les batteries régulièrement. En fonction de la qualité des batteries installées, il faut donc prévoir un investissement notable tous les 5 à 10 ans pour les lampadaires individuels et tous les 10 à 15 ans pour les réseaux d'éclairage solaire.

Chapitre I. Recherche bibliographique

I.11. Les éléments d'un lampadaire :

I.11.1. Lanterne :

Élément appelé également lanterne ou appareil d'éclairage, il est composé d'une enveloppe regroupant :

- Vasque : Élément permettant de protéger la lampe et le réflecteur de l'environnement extérieur, il est en verre ou en matière plastique et diffuse la lumière émise par la source.
- Optique ou réflecteur : Élément mettant en forme la lumière émise par les sources, de manière à adapter l'éclairage à la voie tout en limitant les nuisances lumineuses. Les deux grandes familles étant les optiques symétriques ou circulaires adaptées pour l'éclairage de place ou de parking et les optiques asymétriques ou routières favorisant un éclairage devant et sur les côtés.
- Le luminaire, c'est-à-dire la lampe ou source lumineuse.

I.11.2. Luminaire :

Élément produisant la lumière, les grandes familles étant les lampes à décharge (ballons fluorescents, sodium haute pression, iodures métalliques, ...), les lampes à filament (halogènes, incandescentes) et les semi-conducteurs (module LED). Les types de lampes favorables pour les réseaux d'éclairage public, grâce à sa puissance, sa faible consommation d'électricité, son efficacité et sa longévité : les LED.



La technologie du LED possède plusieurs caractéristiques avantageuses et présente un grand intérêt pour le responsable de l'éclairage public souhaitant optimiser et développer le service d'éclairage public. En effet, les principaux avantages du LED sont :

Chapitre I. Recherche bibliographique

- Durée de vie : Plus de 50000 heures
- Efficacité lumineuse : jusqu'à 130 lumen/watt (efficacité du luminaire)
- Compatibilité avec le courant continu : alimentation directe par source solaire
- Economie d'énergie : 50% en remplacement des lampes Sodium haute pression, 80% en remplacement des lampes Mercure haute pression
- Confort et sécurité : uniformité de l'éclairage améliorée
- Bon rendu des couleurs : beaucoup mieux que les lampes sodium à haute pression
- Lumière instantanée : pas de temps de chauffe ni de refroidissement
- Maintenance aisée et moins onéreuse
- Éclairage flexible : possibilité de variation des intensités sur plusieurs paliers
- Gestion sans-fil des luminaires individuellement ou par groupes
- Éclairage dynamique permettant des jeux de lumières pour l'animation.

L'éclairage LED peut produire des millions de couleurs grâce au mélange de couleurs de base rouge, bleu et vert.

I.11.3. Crosse :

Élément le plus souvent métallique permettant de déporter la lanterne. Souvent, la crosse est fixée au mât à travers des colliers ajustables en hauteur.



I.11.4. Mat :

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



Chapitre I. Recherche bibliographique

Les types de mât :

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

Le mât doit pouvoir :

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

I.11.5. L'équipement de gestion automatique d'allumage et d'extinction :

L'éclairage public dans les espaces externes est uniquement nécessaire pendant la durée de manque de lumière naturelle. Deux technologies appropriées existent pour la gestion automatique de l'éclairage public, et elles sont exigées : Détecteurs crépusculaires et interrupteur horaire (horloge)

- **Détecteurs crépusculaires :**

Avec une cellule photoélectrique. Ils sont soit intégrés dans les équipements (par exemple un régulateur), soit il s'agit d'unités autonomes. Un éclairage commandé par interrupteur crépusculaire permet de façon automatique de déclencher l'extinction et l'allumage de l'éclairage public en fonction de la lumière du jour. Pour assurer la fiabilité et la précision de l'interrupteur, il est essentiel de positionner et d'orienter correctement le capteur de sorte à ne pas subir l'effet des sources lumineuses aléatoires ou ne pas être perturbé par des ombres.

Chapitre I. Recherche bibliographique

Les interrupteurs crépusculaires peuvent être associés à des horloges afin de couper la commande pendant une partie de la nuit.

- **Interrupteurs horaires programmables :**

De préférence type horloge dite astronomique, numérique, ou mécanique. Ils sont normalement intégrés dans les coffrets de commande. Ce type d'horloges commande l'extinction et l'allumage de l'éclairage public à des heures spécifiques. Elles sont installées dans les armoires d'éclairage public. S'il ne s'agit pas d'une horloge astronomique, il faut là régler et l'actualiser régulièrement afin de suivre approximativement les heures de lever et de coucher du soleil.



Détecteur
Crépusculaire
intégrable



Détecteur
crépusculaire
expos



Horloge
programmable
numérique



Horloge
Programmable
mécanique

Figure I. 6: les équipements de gestion automatique d'allumage et d'extinction

I.12. Les différents types d'éclairage solaire :

De nombreux modèles d'éclairage solaire sont actuellement proposés sur le marché. Il vous suffit de vous rendre dans n'importe quelle grande jardinerie pour découvrir l'ampleur de l'offre. Chacun des modèles répond à une utilisation spécifique :

- **Le lampadaire solaire** : idéal pour l'éclairage d'une terrasse afin de diffuser une lumière d'ambiance circulaire. Il vous permet de profiter plus longtemps de votre soirée d'été en extérieur.
- **Les spots solaires** : pratiques pour créer un éclairage d'ambiance plus développé et personnalisé. Ils peuvent être installés au pied d'un arbre ou dans des massifs pour éclairer votre jardin une fois la nuit tombée.
- **Les bornes de balisage** : elle se pose en bordure d'une allée pour l'éclairer légèrement et guider la marche.
- **Les lampes solaires de jardin** : qui se répartissent en deux grandes catégories avec les modèles à allumage automatique, qui s'activent une fois la nuit tombée, et ceux à détecteur de mouvement, qui s'allument quand quelqu'un passe à proximité.
- **Les appliques solaires** : elles se fixent sur un mur pour éclairer une entrée ou un garage.
- **Les lampes décoratives solaires** : vous en trouvez sous des formes et des designs très variés comme des lanternes, des pots de fleurs ou des cubes.

I.13. Types de lampadaire solaire :

Il existe de nombreux types de lampadaires solaires, différents types s'adaptent à différentes scènes, tels que les lampadaires solaires à LED tout-en-un et les lampadaires solaires à LED séparés (également appelés tous en deux lampadaires solaires à LED, lampadaires solaires à LED séparés)

- **TOUT EN DEUX LAMPADAIRE SOLAIRE À LED (all in two) :**

Ce type de lampadaire solaire à LED peut être considéré comme le plus courant parmi les lampadaires solaires à LED, et a la plus large gamme d'applications. Ce type de lampadaire solaire à LED est très pratique que ce soit sur le bord de la route ou dans le quartier carré, le lampadaire solaire à LED all in two est le plus adapté car il peut mettre le panneau solaire sous le soleil (inclinaison ; orientation) pour recevoir le maximum d'éclairement solaire.

En outre, il convient de noter que les lampadaires solaires à LED de type all in two auront également une batterie externe pour le stockage et la décharge. Les batteries au plomb étaient souvent utilisées dans le passé. Ce type de batterie est de grande taille, de petite capacité, de faible profondeur de décharge et pas très efficace. Maintenant, fondamentalement, ils sont associés aux batteries LiFePO4. Ils ont d'excellentes performances dans tous les aspects

Étant donné que les composants du lampadaire solaire à LED de type divisé sont séparés, la configuration de chaque composant est également plus flexible et peut être facilement conçue en fonction des besoins d'éclairage. C'est très pratique pour les zones avec de longs temps pluvieux.

- **TOUT EN UN LAMPADAIRE SOLAIRE À LED (all in one) :**

Habituellement, les lampadaires solaires que nous avons vus sur le bord de la route sont livrés avec des panneaux solaires proéminents, les poteaux d'éclairage peuvent également être suspendus avec un boîtier de batterie carré, ces lampadaires solaires à LED communs sont appelés lampadaires solaires à LED, il est composé d'un poteau lumineux, de panneaux solaires, de batteries rechargeables, de contrôleurs, de luminaires à LED cinq composants, les cinq composants du lampadaire solaire à LED divisé sont dispersés, et ils doivent être assemblés un par un lors de l'installation. Le lampadaire LED intègre tous les composants sauf le poteau pour faire un support de lampe. Ce support de lampe est un système de génération et de décharge d'énergie intelligent indépendant. Il n'est pas nécessaire d'effectuer un assemblage compliqué, il suffit de configurer le support de lampe avec un poteau ou un bras, puis il peut être utilisé.

I.14. Les avantages des lampadaires solaires à LED:

- Facile à installer: il peut être installé tant que vous pouvez visser les vis, en éliminant les étapes d'installation des supports pour batterie et panneaux solaires, en installant des supports de lampe et en faisant des fosses de batterie pour les lampadaires solaires traditionnels, ce qui permet d'économiser beaucoup de travail et les coûts de construction.
- Apparence nouvelle et belle: les lampadaires solaires tout-en-un intègrent des panneaux solaires et des sources lumineuses, et certains intègrent même des poteaux lumineux, de formes diverses, nouvelles et belles.
- Maintenance facile: Le panneau solaire est intégré à la batterie et au support de lampe, et il peut être remplacé directement en cas de problème, éliminant ainsi le besoin de procédures de dépannage.
- Économie d'énergie: Généralement, le lampadaire solaire à LED tout en un a un capteur de corps humain, qui réduit automatiquement la consommation d'énergie lorsque personne n'est là, et augmente automatiquement la luminosité lorsque quelqu'un passe, économisant ainsi considérablement l'énergie.

I.15. Les inconvénients des lampadaires solaires à LED:

- L'efficacité globale est affectée par l'intensité de l'ensoleillement local, et les zones avec un ensoleillement insuffisant ne peuvent pas répondre aux besoins d'éclairage.
- Comme la position d'installation est limitée, la puissance du panneau solaire ne peut pas être trop importante et de légères obstructions affecteront l'efficacité de la production d'énergie du panneau solaire.

II.1. Introduction :

Le projet de réalisation de la nouvelle ville de Bouinan, constitue une nouvelle vision de promotion de l'efficacité énergétique et de développement durable pour cela le règlement urbain de la ville nouvelle a intégré des performances énergétiques dans les cahiers des charges élaborés dans la réalisation à travers plusieurs applications, et parmi eux l'application des performances énergétiques dans l'éclairage public où on constate que une installation d'éclairage public solaire a été mise en œuvre sur toute la nouvelle ville de Bouinan. Mais, les nouveaux habitants des différentes cités de cette Ville nouvelle, ont vite été confrontés à une insuffisance de l'éclairage public qui ne satisfait pas leurs besoins de lumières pendant la durée d'obscurité, et dans se chapitre on va faire une présentation de l'installation faite dans cette ville et la technologie utilisé dans se projet ainsi les problèmes majeures qui causes le disfonctionnement de ce système d'éclairage solaire.

II.2. Présentation du site du projet (BOUINAN) :

Bouinan est une commune de la wilaya de Blida en Algérie. Elle est située au centre de la wilaya de Blida, à environ 16 km au nord-est de Blida et à environ 34 km au sud d'Alger et à environ 45 km au nord-est de Médéa.

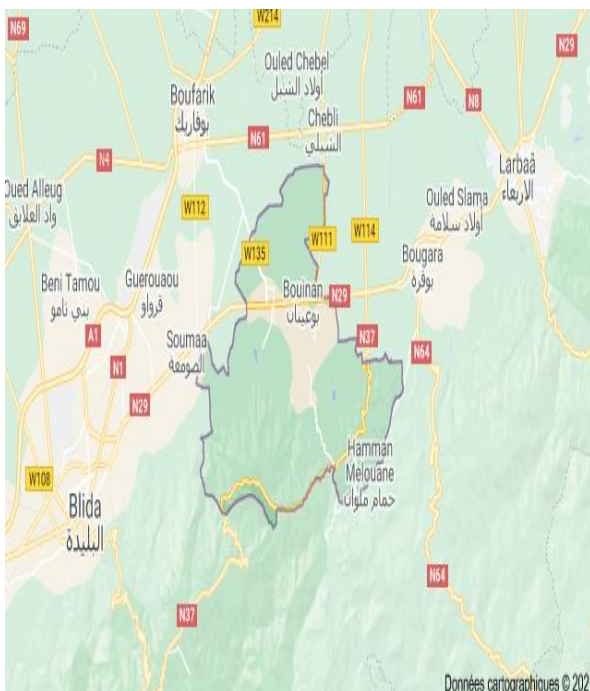


Figure II. 1: localisation de la ville de BOUINAN.

II.3. Coordonnées géographique de la nouvelle ville de BOUINAN :

- Latitude: 36.532
- Longitude 2.954
- Élévation (m): 83

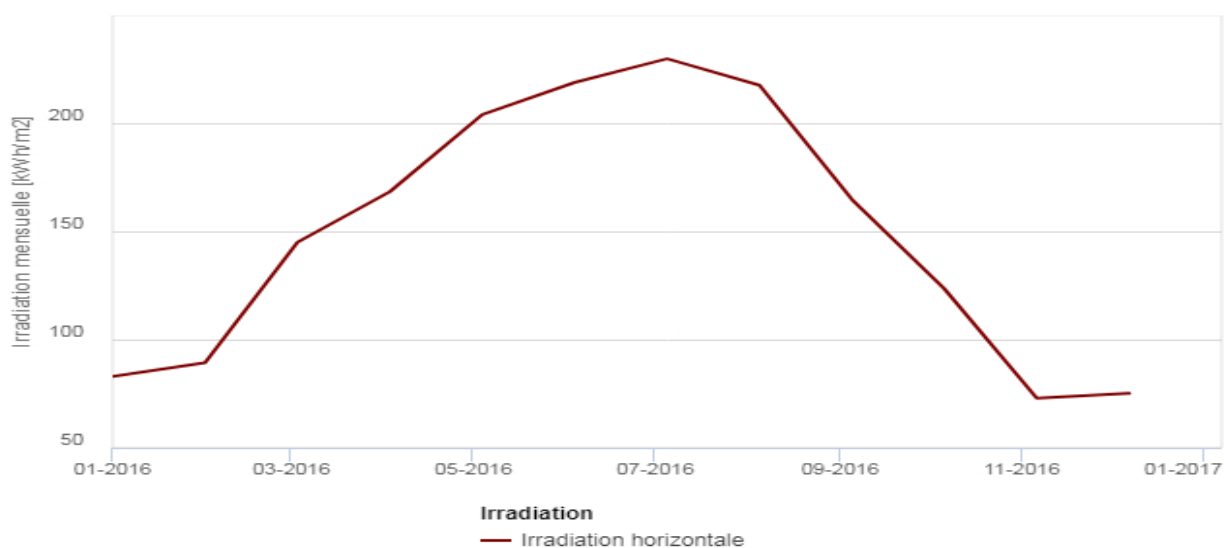


Figure II. 2:L'irradiation solaire mensuelle

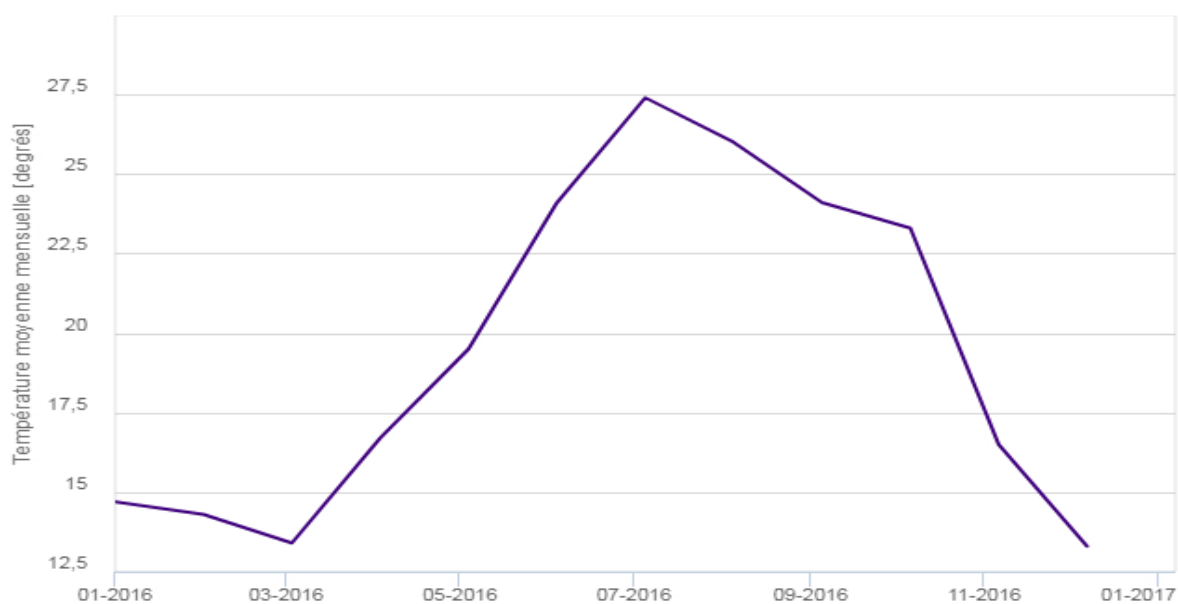


Figure II. 3:La température moyenne mensuelle

II.4. Etude d'anomalies des installations :

Une installation d'éclairage public solaire a été mise en œuvre sur toute la nouvelle ville de Bouinan. Mais cette installation ne satisfait pas les besoins de lumières pendant la durée d'obscurité et cela est dû à plusieurs anomalies.

Lors de notre visite des lieux on a pris quelques photographies de cette installation en deux temps différents (le matin à 9h et le soir à 2h) durant la même journée du 09 juin 2021.

II.4.1.1ère anomalie :

Le type des lampadaires solaires utilisés dans ce cas :

Référence SSL-02

Luminaire Solaire éclairage public "All In One"



Tableau II. 1: caractéristiques luminaire solaire 'all in one '

LED	2000 Lums / 50,000Hrs, 2700K~6500K
Type de batterie	Li-ION Rechargeable
Panneau Solaire	Poly cristalline
Hauteur d'installation	3~4 M
Temps de recharge Solaire	9-10 Heurs par la lumière Solaire
Temps d'éclairage	plus que 03 Nuits
Mode d'éclairage	Max d'éclairage auto jusqu'à l'aube
Matériel	Alliage aluminium + ABS
Dimension	808*227*164 Mm
Température	-25°C à 65°C
Application	Rue, Cour, Chaussée, Voies, Place publique, Campus

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

On s'aperçoit dans la photographie ci-dessous, les lampadaires sont orienté anarchiquement alors qu'ils devraient être orientés plein sud. Ce qui résulte une faible luminance des lampadaires rien qu'au début du crépuscule. Les lampadaires subissent aussi une longue durée d'ombrage jusqu'à 12h de la journée.

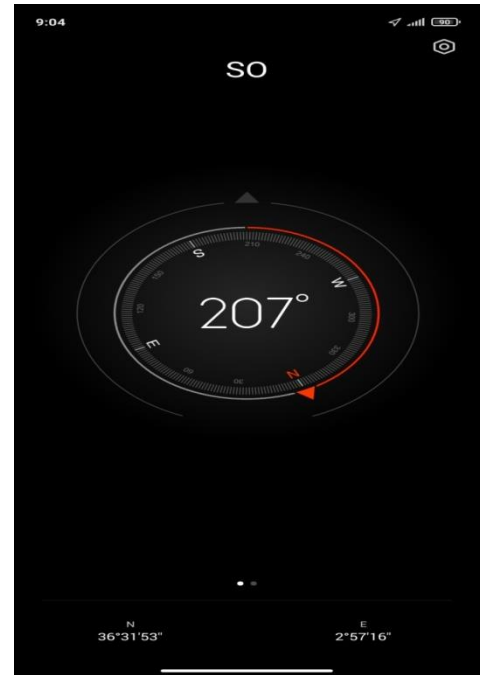


Figure II. 4. photographies du premier cas

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

A l'aide du logiciel PVSYST on a pu observer cette effet d'ombrage sur les lampadaires solaires :

- Le site : nouvelle ville de Bouinan.
- La journée 09 juin 2021.
- Le boulevard est équipée avec des lampadaires all in one (hauteur 3m).
- Le bâtiment est de 10 étages avec 30 m de hauteur.
- Implantation des lampadaires aléatoire.

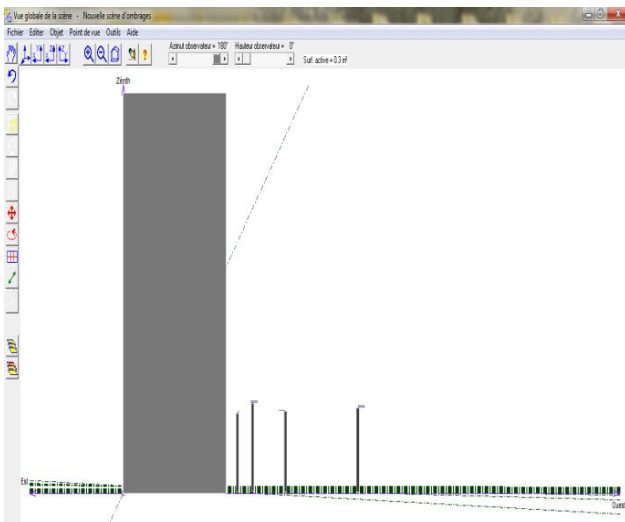


Figure II. 5. vue sur plan x,z

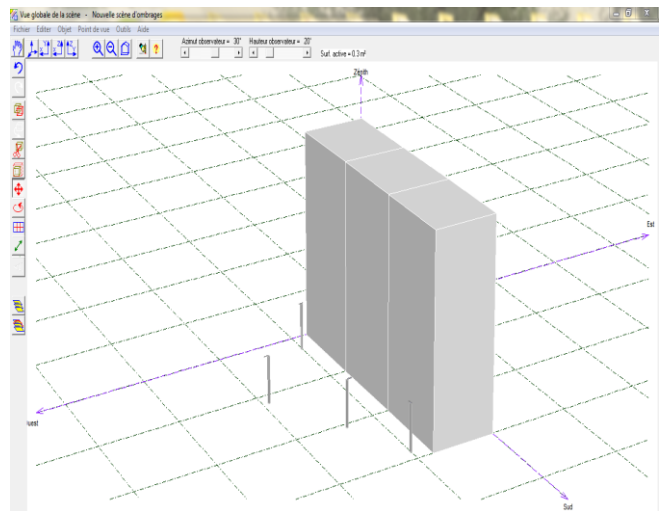


Figure II. 6. vue sur plan x,y,z plein

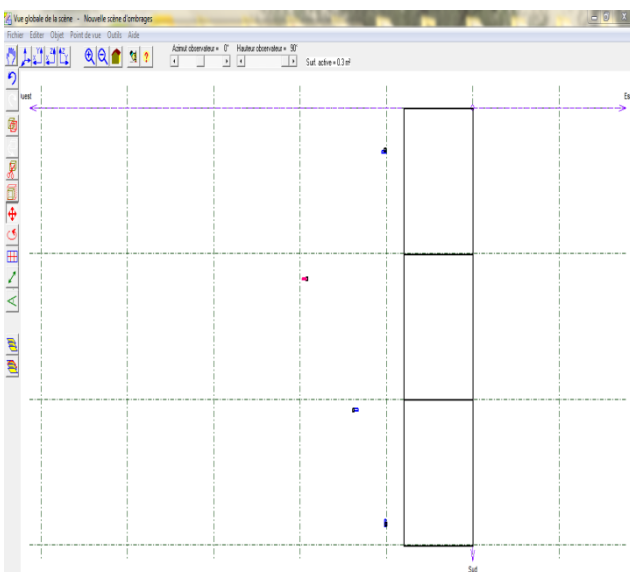


Figure II. 7. vue sur plan x,y

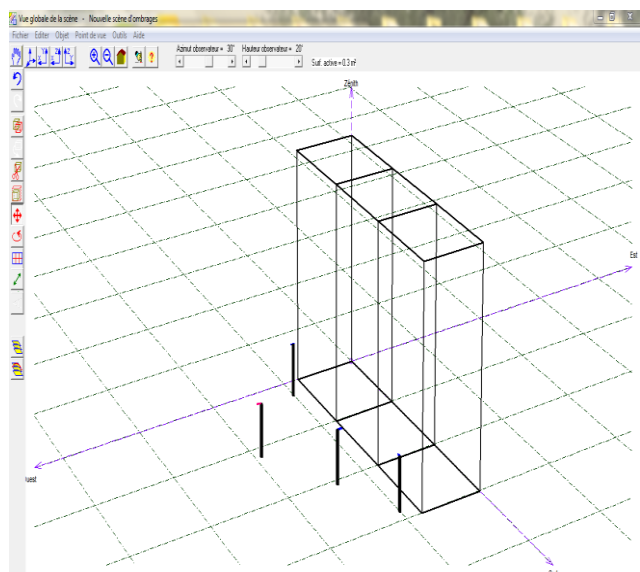
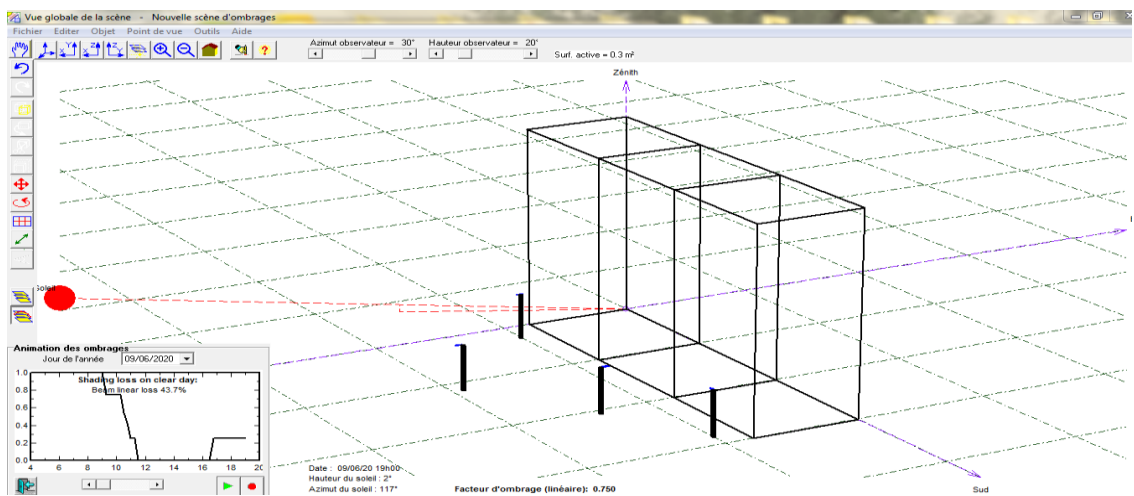
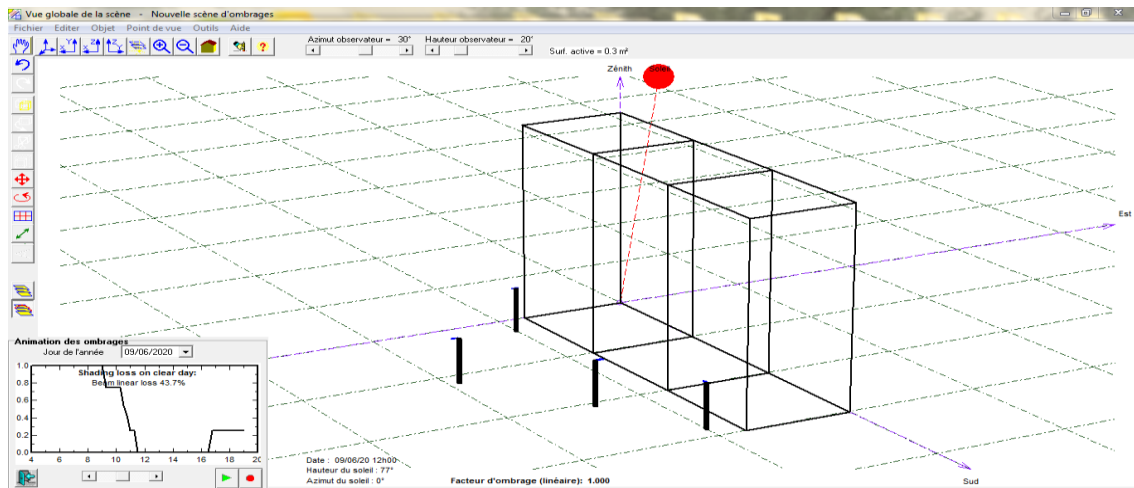
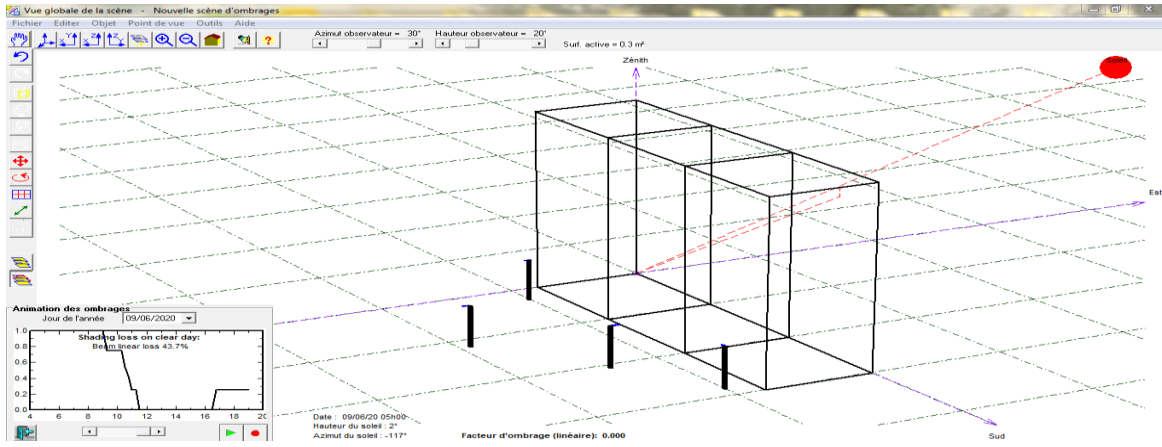


Figure II. 8. vue sur plan x,y,z vide

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

Le suivi de la trajectoire du soleil le 09 juin 2021 est donné ci-dessous :



On obtient les résultats suivant :

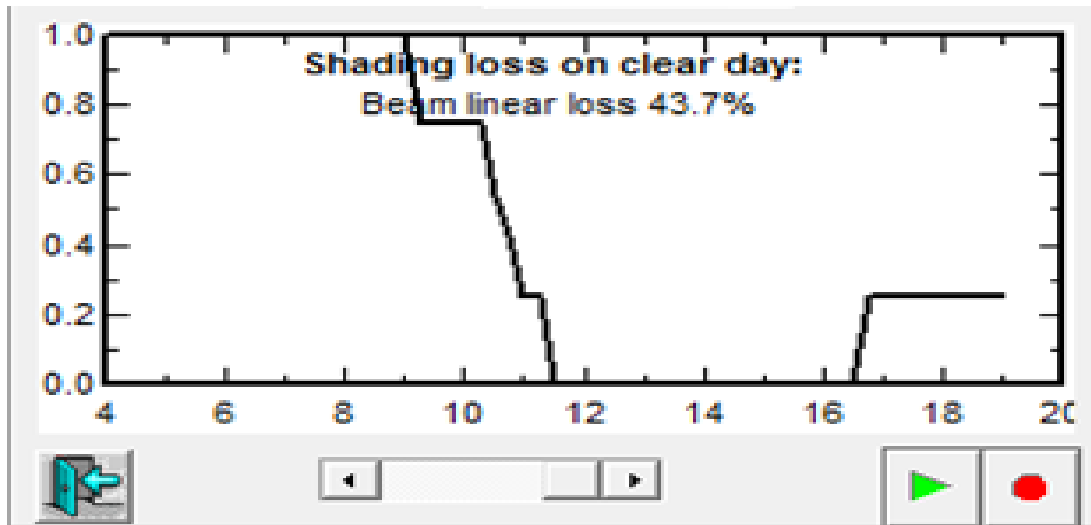


Figure II. 12. Pourcentages de l'ombrage en fonction du temps

Remarques:

D'après la figure précédente, on peut déduire que le nombre d'heures d'insolation est estimé à 14 heures en été (juin).

Les pertes de l'éclairement solaire sont 43.7% pendant la journée.

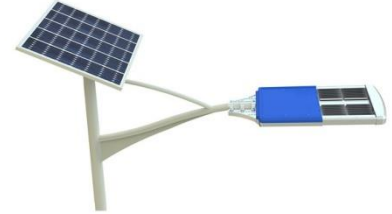
- Du levé du soleil jusqu'à 9h l'effet d'ombrage est à 100%.
- A partir de 9h l'effet d'ombrage se diminue progressivement jusqu'à s'annuler à midi moins.
- La 2ème moitié de la trajectoire du soleil (du midi jusqu'au coucher du soleil) les lampadaires sont exposés au soleil
- Faible pourcentage d'ombrages réapparaît vers 16h30

Les capteurs solaires des lampadaires ont recouru à une demi-journée d'enseuillement. Mais ce temps d'exposition n'est pas assez suffisant pour recharger les batteries.

On prend aussi en considération l'orientation de leurs capteurs solaires qui ne sont pas plein sud qui est l'orientation optimale.

II.4.2. 2ème anomalie :

Le type des lampadaires solaire utilisés dans se cas :



Référence ESL-72

État : Nouveau produit

Luminaire Solaire éclairage publique "classique"

Tableau II. 2.caractéristiques luminaire solaire classique

LED 7	600 Lums /50,000Hrs, 6000K
Type de batterie	Li-ION Rechargeable
Panneau Solaire	Poly cristalline
Hauteur d'installation	6~12 M
Temps de recharge Solaire	10 Heurs par la lumière Solaire
Temps d'éclairage	03 Nuits
Mode d'éclairage	Max d'éclairage auto jusqu'à l'aube
Norme d'étanchéité	IP 65
Matériel	Alliage aluminium + ABS
Dimension	1092*488*117 Mm
Température	-25°C à 55°C
Application	Rue, Cour, Chaussée, Voies, Place publique
Poids	22 Kg

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

L'effet d'ombrage pour cette installation est très intense. Les lampadaires solaires se retrouvent piégés au milieu de deux bâtiments de 6 étages chacun des deux cotés (est-ouest).



Figure II. 13. photographies du deuxième cas

A la tombée de la nuit (à 22h) aucun des lampadaires n'est allumée.

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

A l'aide du logiciel PVSYST on a pu observer cet effet d'ombrage sur les lampadaires solaires

- Le site : nouvelle ville de Bouinan.
- La journée 09 juin 2021.
- Le boulevard est équipée avec des lampadaires **ESL-72** (hauteur 6m).
- Les bâtiments sont de 6 étages avec 18m de hauteur.
- Distance de 16m entre les deux bâtiments.

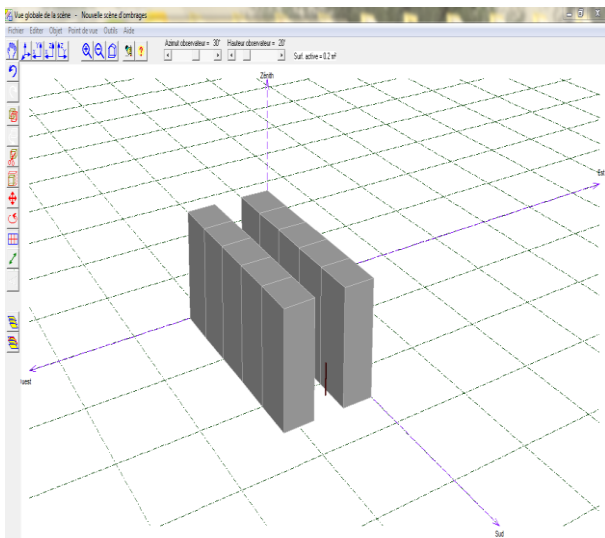


Figure II. 14. Vue sur axes x,y,z pleine

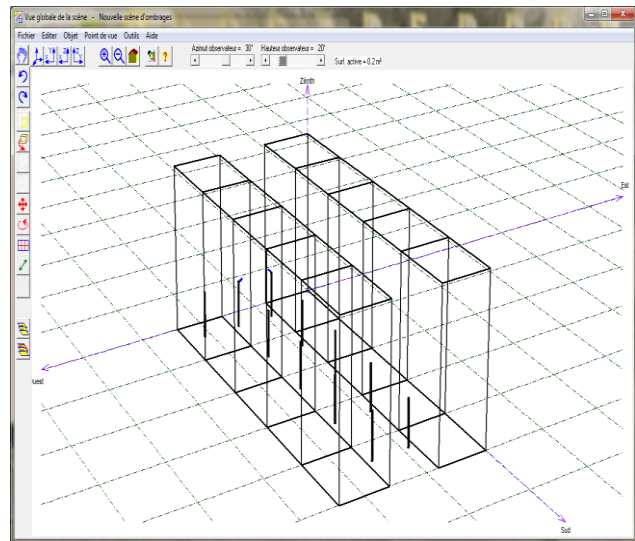


Figure II. 15. vue sur axes x,y,z vide

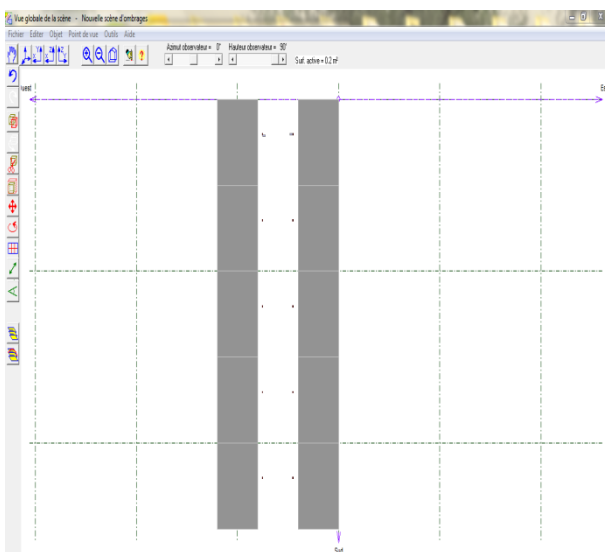


Figure II. 16. vue sur plan x , y

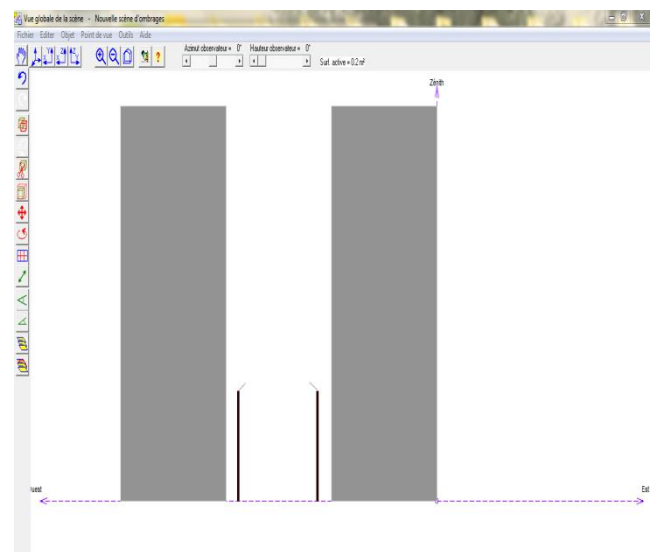


Figure II. 17. vue sur plan x,z

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

Le suivi de la trajectoire du soleil le 09 juin 2021 est donné ci-dessous :

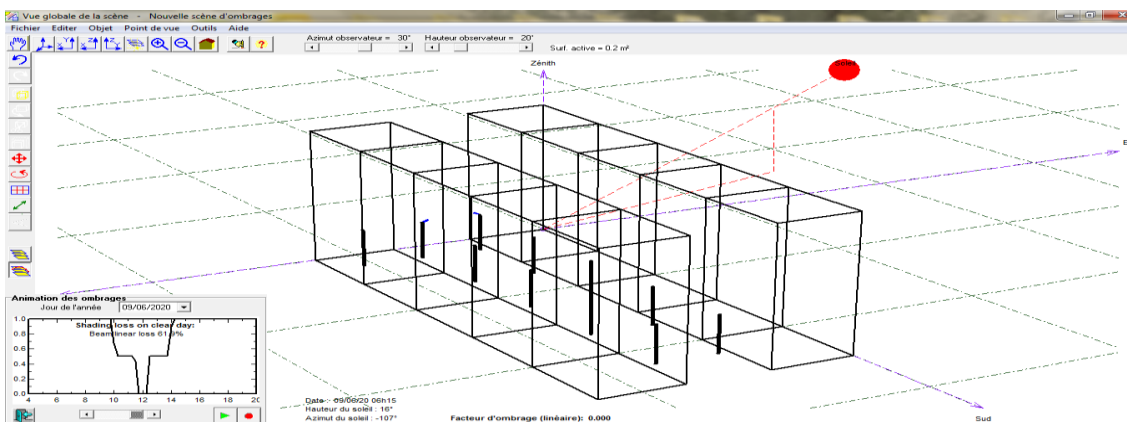


Figure II. 18. La hauteur du soleil à 6:15

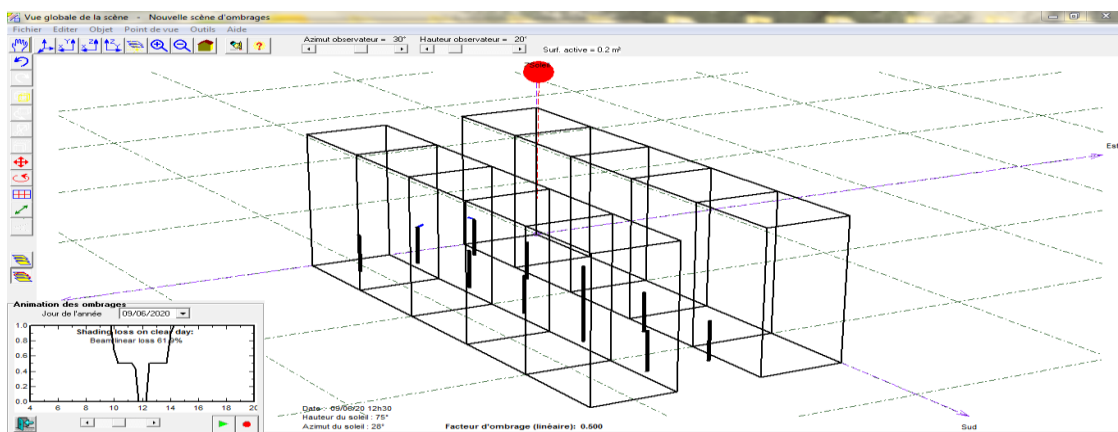


Figure II. 19. La hauteur du soleil à 12:30

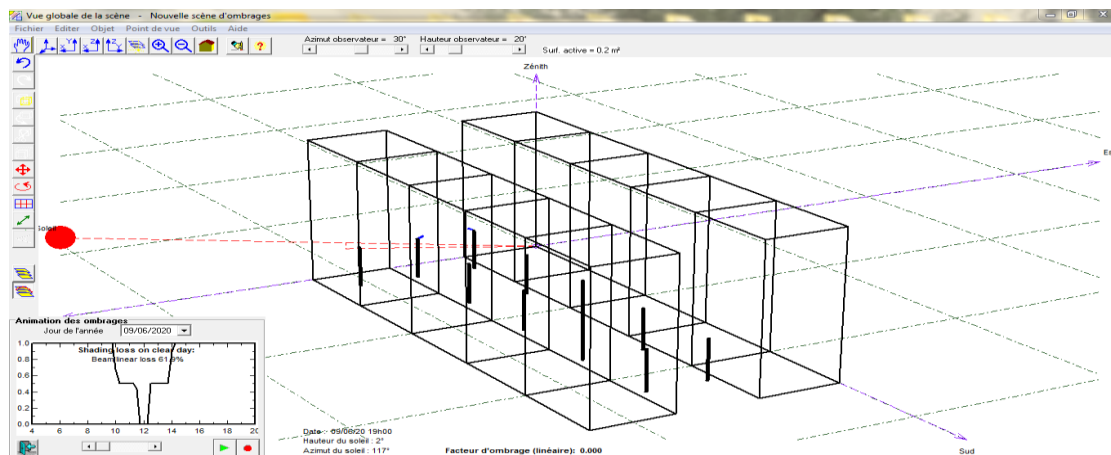


Figure II. 20. La hauteur du soleil à 19 :00

❖ On obtient les résultats suivant :

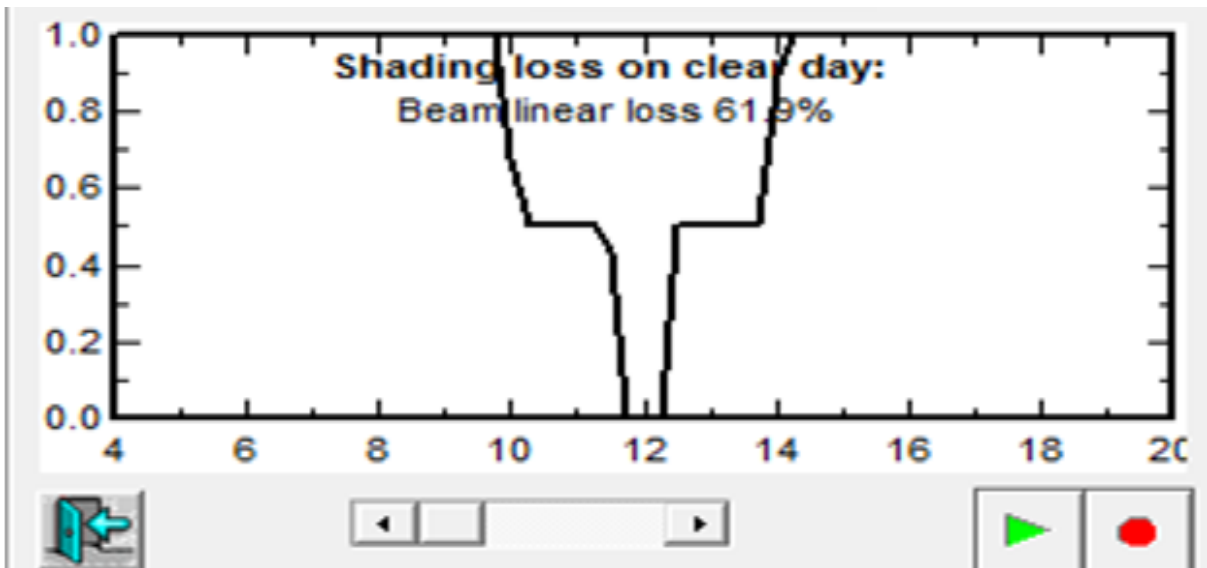


Figure II. 21. Pourcentages de l'ombrage en fonction du temps

Remarques :

Les pertes de l'éclairage solaire sont à 61.9% pendant la journée.

- Du 4h à 10h et du 14h à 20h les lampadaires sont sous effet d'ombrage total.
- Du 10h à 11 :30 et du 12 :30 à 14h sont sous effet d'ombrage à 50%.
- L'ombrage s'annule sur les lampadaires à 12h pour 40min seulement.

Ce temps d'ensoleillement des lampadaires n'est pas suffisant pour charger les batteries. Ce qui résulte le dysfonctionnement des luminaires durant la nuit.

II.4.3.3eme anomalie :

Le type des lampadaires solaire utilisés dans se cas :



Référence SSL-12

PLAZA - Luminaire Solaire éclairage public "All In One"

Tableau II. 3.caractéristiques luminaire solaire classique

LED	2000 lumens
Type de batterie	Li-ION Rechargeable
Panneau Solaire	Silicium poly cristalline
Hauteur d'installation	3~4 M
Temps de recharge	Solaire 10 Heurs par la lumière Solaire
Temps d'eclairage	03 Nuits
Mode d'éclairage	5h 100% lumière+25% de lumière jusqu'à l'aube
Matériel	Alliage aluminium + ABS
Dimension	525*525*161 Mm
Température	-25°C à 65°C
Application	Cour,Jardin,Parc,Rue,Route,Sentier,Parking...
Poids	8 Kg

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

Le design de ces lampadaires ne sont pas adéquats a être utilisé dans cette région ou les configurations des capteurs solaires n'est pas réglables (orientation et inclinaison).

D'autres part l'effet d'ombrage et aussi présent dans cette installation qu'on ne peut négliger.



Figure II. 22. photographies du troisieme cas

PS : le projecteur fut placé par les habitants qui est alimenté par le réseau.

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

A l'aide du logiciel PVSYST on a pu observer cet effet d'ombrage sur les lampadaires solaires

- Le site : nouvelle ville de Bouinan.
- La journée 09 juin 2021.
- Le boulevard est équipée avec des lampadaires SSL-12 (hauteur 3m).
- Les bâtiments sont de 6 étages avec 18m de hauteur.
- Implantation aléatoire des lampadaires.
- Obstacle de lumière causé par la végétation

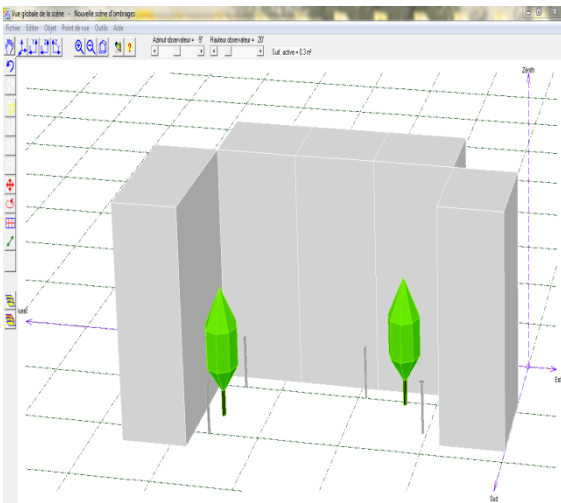


Figure II. 23. Vue sur plan s,y,z plein

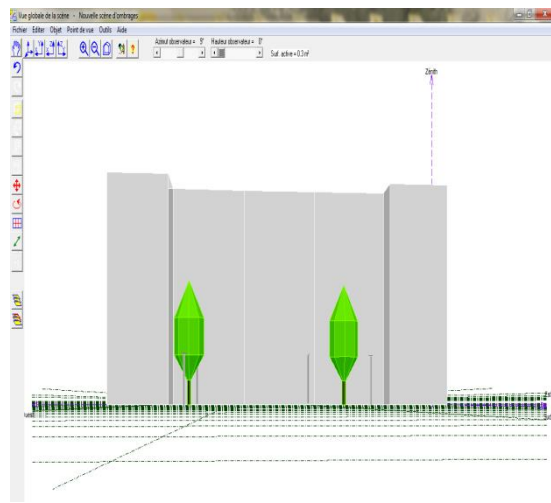


Figure II. 24. vue sur plan x,z

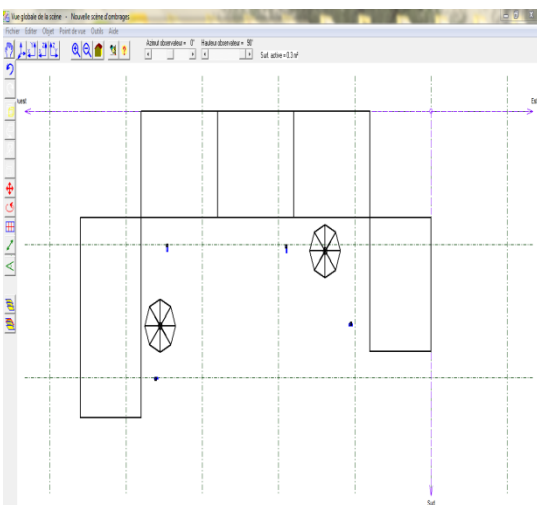


Figure II. 25. Vue sur plan x,y vide

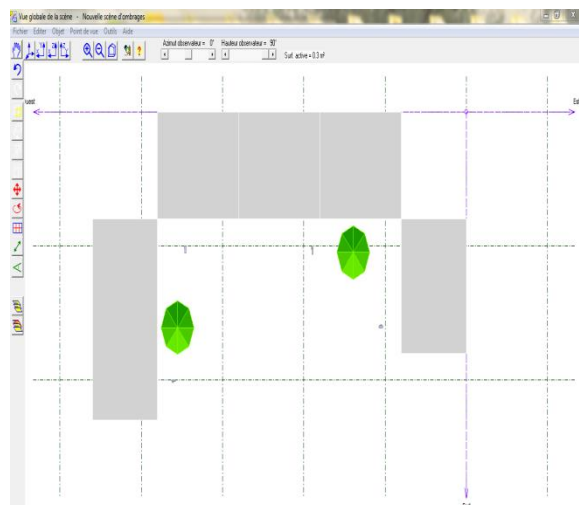
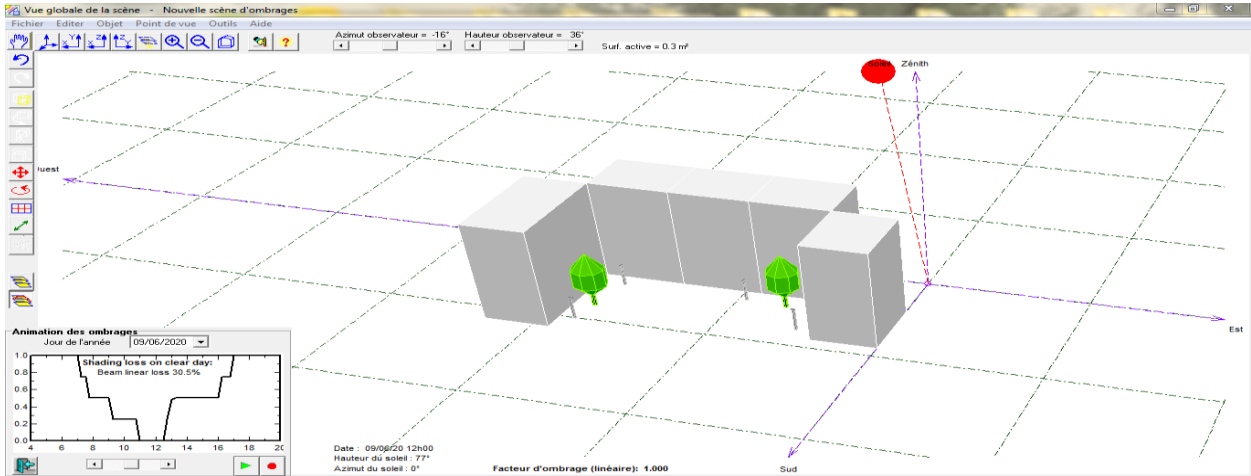
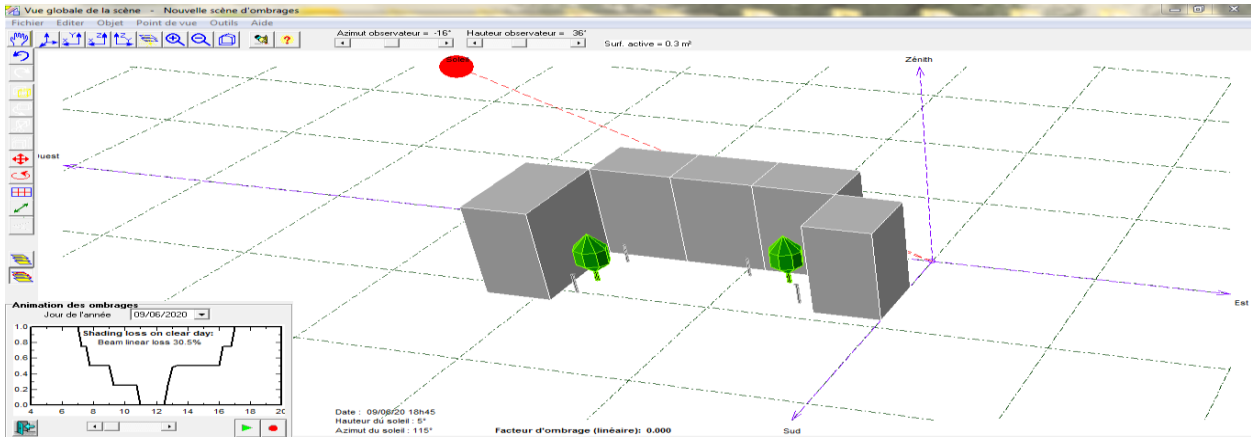
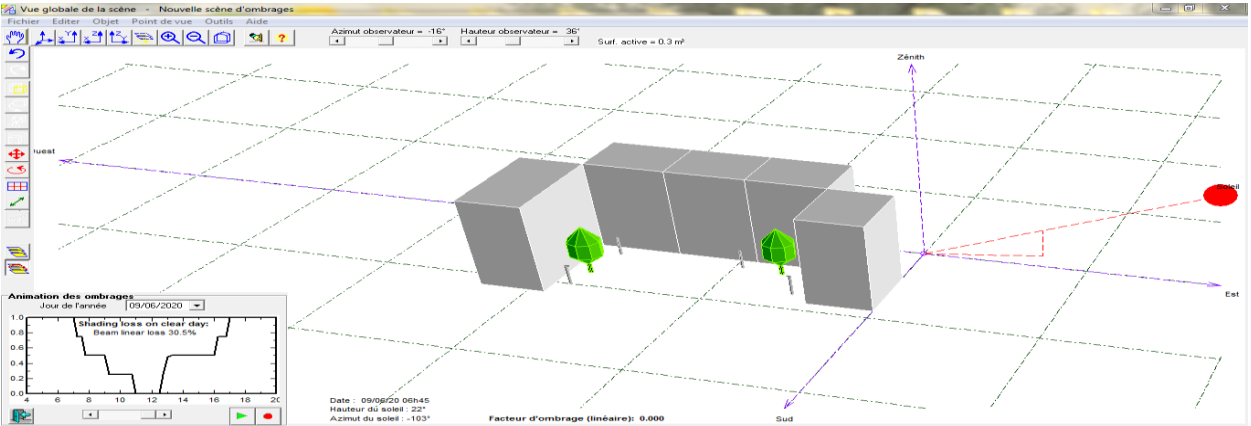


Figure II. 26. vue sur plan x,y plein

Chapitre II. Etude d'anomalies des installations

Le suivi de la trajectoire du soleil le 09 juin 2021 est donné ci-dessous :



Le suivi de la trajectoire du soleil pendant la journée du 09 juin 2021

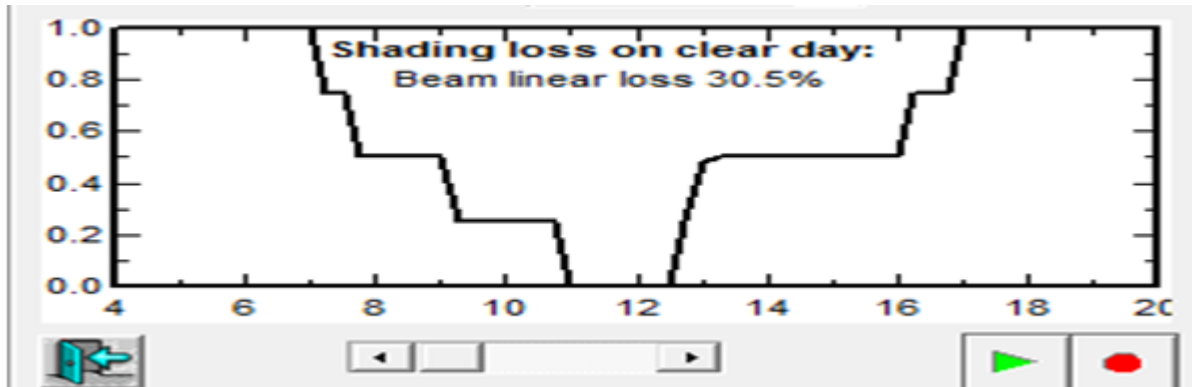


Figure II. 30. Pourcentages de l'ombrage en fonction du temps

Remarques :

Les pertes de l'éclairage solaire sont à 30.5% pendant la journée.

- Du levé de soleil jusqu'à 7 et à partir de 17h les lampadaires sont prisonniers de l'ombrage 100%.
- De 7h l'ombrage se diminue jusqu'à 11h.
- De 12h15 l'ombrage revient sur ces lampadaires progressivement
- L'ombrage s'annule sur les lampadaires que de 11h à 12h.

Ce pourcentage de 30% d'ombre affecte cette installation d'une part. Et d'autre le design inapproprié à cette région joue le rôle d'anomalie pour leurs capteurs solaires; puisque la nouvelle ville de Bouin se situe dans l'hémisphère nord donc les capteurs solaires devraient avoir une orientation plein sud et l'inclinaison du lieu (au moins)

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

III.1.Introduction :

L'anomalie la plus présente et répétée dans toutes les installations c'est l'effet d'ombrage causé par les constructions. Pour cela la solution proposée est de faire une mini centrale solaire photovoltaïque sur les toits de bâtiments pour chaque quartier ; avec l'utilisation des lampadaires classiques.

Avec cette solution les champs photovoltaïques bénéficieront de toutes les heures d'ensoleillement, de plus l'inclinaison et l'orientation optimale dans cette région de nouvelle ville de Bouinan aideront à avoir le meilleur rendement.

On prend comme un Cas d'étude le grand boulevard de la nouvelle ville de Bouinan :



Figure III. 1. Photographie du boulevard étudié

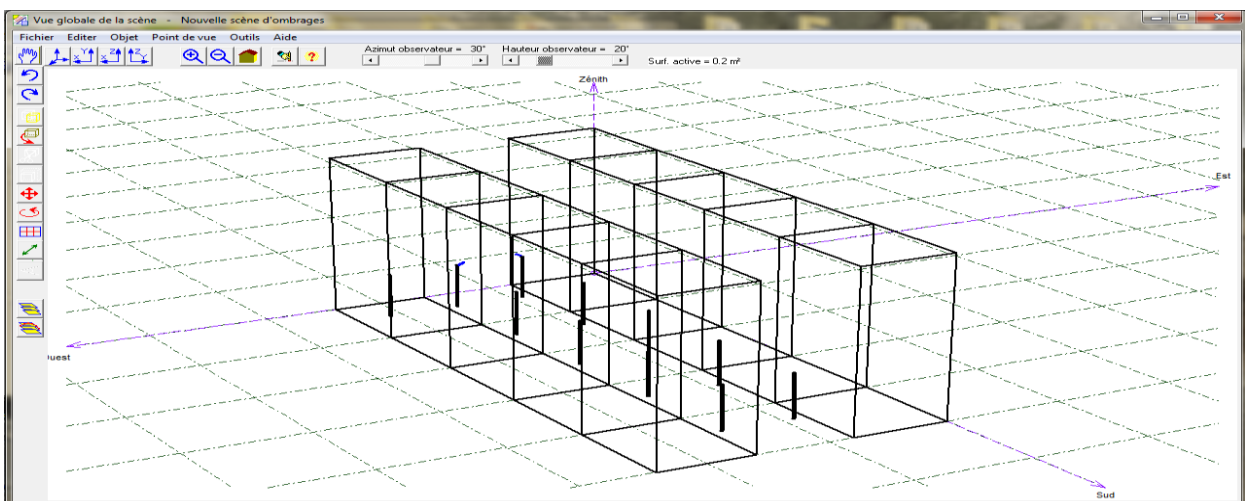


Figure III. 2.boulevard sur plan x,y,z

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

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

III.2. Estimation de l'énergie solaire reçue :

Avant tout, il faut estimer l'énergie solaire disponible au point d'implantation du système. Pour cela, on va utiliser le site PVGIS. C'est un site qui fournit des données météorologiques pour les applications solaire et énergétique et la conception du système à n'importe quel endroit dans le monde.

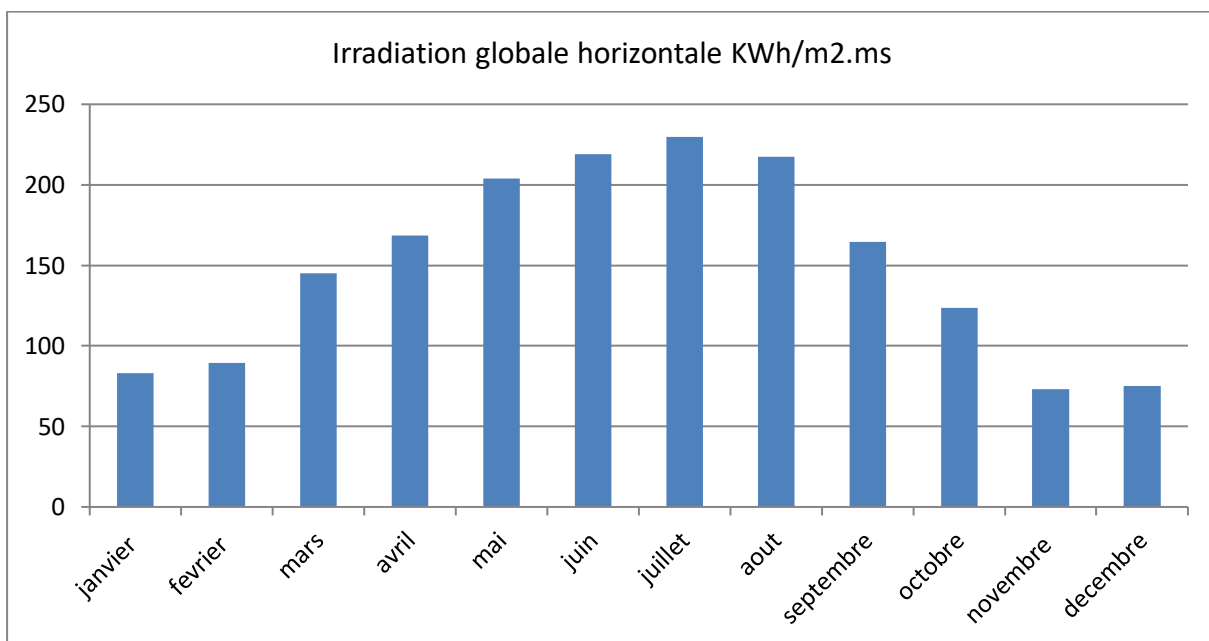


Figure III. 3. Irradiation globale horizontale de site BOUINAN

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

Donc nous pouvons estimer que l'énergie journalière reçue est la moyenne :

$$72.93 * 100 / 30 = 2431 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{j}$$

L'énergie solaire journalière reçue est : 2431 Wh/m² .j

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

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

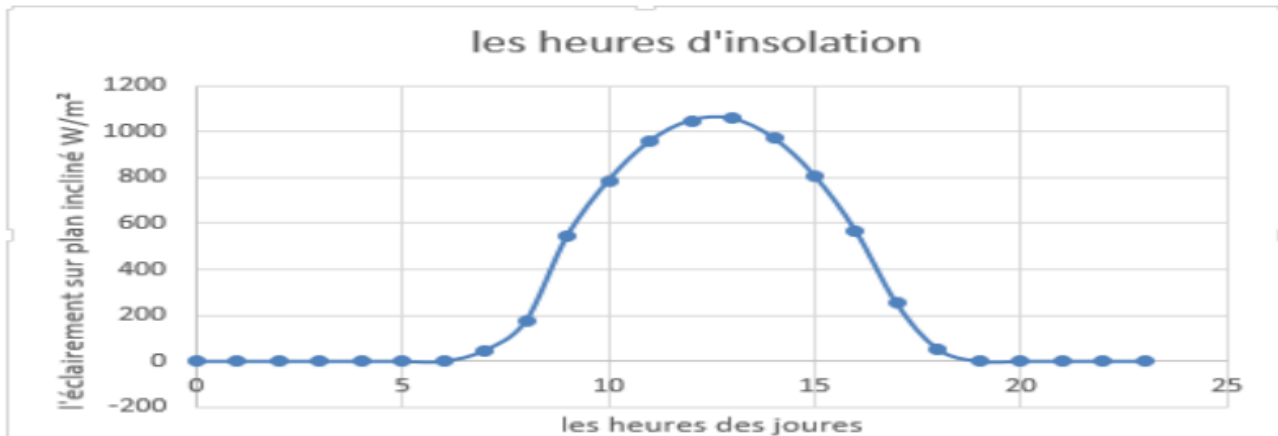


Figure III. 4. Durée d'insolation pour un jour de mois de novembre (BOUINAN)

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

Le nombre d'heures d'insolation est égal à 11 heures.

III.3. Estimation de la consommation :

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

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

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

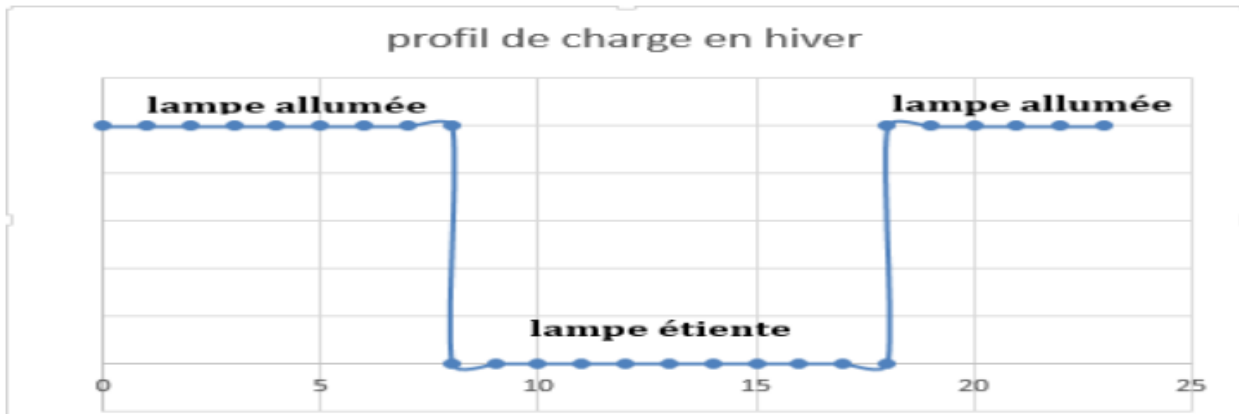


Figure III. 5. Profil de charge de lampe en hiver

D'après la figure précédente, le nombre d'heures de fonctionnement est estimé à 13 heures en hiver (novembre).

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

Tableau III. 1. Énergie journalière consommé

Puissance de lampe (W)	Nombre des lampes	Heures de fonctionnement	Consommation (Wh/j)	Consommation plus les pertes
30	10	13	3900	4290

L'énergie nécessaire pour la consommation est : 4290Wh (357.5 Ah)

III.4. Source lumineuse et luminaire :

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

Dans ce cas on a choisi le fournisseur DIMEL et vas choisir le modèle



Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

LUMINAIRE THURAYA A LED 30W/12VDC 3600Lm DIMEL

Tableau III. 2. Caractéristiques du luminaire

La marque	DIMEL
type de produit	Luminaire Thuraya
Flux Lumineuse (LM)	3600 Lm
Sortie de la lumière	30 W
Puissance de lampe (W)	30
Quantité des LEDs	30
Tension d'entrée [V DC)	9...30
Efficacité lumineuse [lm/W]	>120-130
Durée de vie (H)	50000
Rendement d'éclairage [%]	>90
Température couleur [K]	7000
Température de fonctionnement [°C]	-30....+60
Hauteur de montage (m)	3-6
Diamètre d'éclairage au sol [m]	15-25
Dimension (L*W*H) [mm]	535*250*70
Indice de protection	IP65

III.5. Dimensionnement de générateur photovoltaïque :

➤ la puissance du champ PV (P_c) :

Pendant une journée au site de BOUINAN en novembre, à l'orientation plein sud et l'inclinaison à la latitude du lieu, le soleil fournit **2431 Wh/m² .j** et la consommation des 10 lampadaires est **4330 Wh**.

$$P_c = \frac{C_j * P_i}{I_j} = \frac{4290 * 1000}{2431} = 1764.7 \text{ W}$$

C_j : la consommation journalière.

P_i : Irradiation en STC (1000w/m²)

I_j : Irradiation journalière fournit par le soleil

➤ Choix du type de module photovoltaïque :

D'après l'énergie qui doit être produite par le module PV, le choix est porté sur le module **[ERA0009] PANNEAU SOLAIRE POLY 150W 12V (ERA)**

Tableau III. 3. Caractéristiques du module PV

Référence	150w
Puissance nominale [Wc]	150
Type de cellules	polycristallin
Tension en circuit ouvert Voc [V]	22.7
Courant a court-circuit Isc [A]	8.75
Tension a puissance max Vmpp [V]	18.3
Courant a puissance max Impp[A]	8.2
Nombre de cellules	36pcs
Dimension de module (L*I*H) [mm]	1482*676*35
Tension maximale système [V DC]	1000
Coeff.de température de Isc[%/°C]	+0.06
Coeff.de température de Voc[%/°C]	-0.35
Coeff.de température de Pmpp[%/°C]	-0.5
Température de fonctionnement [°C]	-40_+85
Poids [Kg]	12.5

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

➤ Calcule de nombre de panneaux nécessaire :

$$\text{Nombre de panneau} = \frac{\text{Puissance système}}{\text{Puissance module}} = \frac{1764.7}{150} \approx 12 \text{ panneaux}$$

$$\text{Nombre de panneaux en série} = \frac{V \text{ système}}{V \text{ unité}} = \frac{12V}{12V} = 1 \text{ branche}$$

III.6. Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs :

➤ Calcul de la capacité des accumulateurs nécessaires au système :

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

$$C = \frac{Cj * Nja}{Vs * Dmb} = \frac{4290 * 2}{12 * 0.8} = 893.75 \text{ Ah}$$

Nja : les nombres de jour d'autonomie

Vs = tension de système (12v)

Dmb = la profondeur de décharge de la batterie.

Après le calcul de la capacité nécessaire on a choisi

BATTERIE DIMEL ETANCHE 6V/225 AH (Energys).

Tableau III. 4. Caractéristiques de la batterie

Référence Energys	Energys 6TP210
Capacité	225Ah en C20
Tension	6V
Technologie	plomb ouvert tubulaire
Dimensions en mm (L/l/h)	244/190/269
Poids	33.50 kg
Type plaques	Tubulaires
Cycles à 80%	1100
Garantie	1 an



Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

Nombre de batteries en série $= \frac{Tension\ systeme}{Tension\ batterie} = \frac{12}{6} = 2$ branches

Nombre de batteries en parallèles $= \frac{Capacité\ systeme}{Capacité\ batterie} = \frac{893.75}{225} \approx 4$ batterie

Donc en tout : **8 batteries de 6v/225Ah**

III.7. Dimensionnement du régulateur de charge :

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

- Tension nominale celle du champ photovoltaïque 12V DC.
- Le courant en court-circuit du champ photovoltaïque doit être inférieur au courant nominal du régulateur.

I_{max} = courant en court-circuit * nombre de panneaux en parrèle * coefficient de sécurité.

$$I_{max} = 8.75 * 12 * 1.2 = 126 \text{ A}$$

- La tension à vide du champ photovoltaïque doit être inférieure à la tension maximale.

V_{max} = tension en circuit ouvert * nombre de panneaux en série * coefficient de sécurité.

$$V_{max} = 22.7 * 1.2 = 27.24 \text{ V}$$

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

Il apparaît que le modèle **BlueSolar MPPT 150/45** du fournisseur **SOPREC** présente des caractéristiques recherchées avec un courant de consommation demandé supérieur. Le choix s'est porté sur ce modèle de régulateur.



Figure III. 6.Régulateur MPPT

III.8.Choix des poteaux :

Dans tout dispositif d'éclairage public, le poteau est indispensable. En général, le choix du poteau est tributaire des aspects liés à la résistivité mécanique, fiabilité et l'esthétique. Dans le tableau on présente quelques poteaux qui existent sur le marché national.

Tableau III. 5.Choix de poteau

Model	KADRI ZIRCON	KADRI BIANCA
Matériel de fabrication	Acier	
Hauteur (m)	2 à 4	3 à 4
Diamètre (mm)	0.9 à 1.39	
Nombre de crosse	1 ou 2	
Fixation au sol (m³)	0.012	
Coût (DAZ) (à 2 crosses)	21 800.00	35 000.00
Coût (DAZ) (à une crosse)	18 900.00	31 100.00

Puisque les caractéristiques des deux poteaux présentés sur le tableau sont presque similaires, on choisira celui dont le coût est le plus bas donc celui de **KADRI ZIRCON** avec une seule crosse.

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution



Figure III. 7. Poteau avec une crosse et deux crosses

III.9. Câblage

Pour estimer le besoin de câblage on va présenter les différents plans de câblages, les sections et les longueurs des câbles utilisés.

On a utilisé des panneaux de 300 Wc ($V_{co}=22.7$, $I_{cc}=8.75A$),

Des luminaires de puissance 30W

Un régulateur de charge et de batteries.

Pour le raccordement de ces éléments on doit disposer de câblage de section 2.5 mm^2 , câbles de section 4 mm^2 , section 6 mm^2 , câbles de section 12 mm^2 .

-Entre le champ photovoltaïque et le régulateur 22m donc $2*22(6 \text{ mm}^2)=44\text{m}$

-Entre les batteries et régulateur 1m donc $2*1(6 \text{ mm}^2)=2\text{m}$

-Entre le régulateur et les 10 lampadaires 300m don $2*300(2.5 \text{ mm}^2)=600 \text{ m}$

Tableau III. 6. Caracteristiques des cables

Modèle	PV ZZ5
Matériel de fabrication	Cuivre
Résistivité	$17*10^{-9}$
Type de câble	Souple

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

III.10. Estimation du coût global

Tableau III. 7. liste des prix

		Prix unitaires	Quantité	Prix total
-générateur photovoltaïques		13125. 00 DZ	12	157500.00 DZ
-Luminaire		8500.00 D	10	85000.00 DZ
-Batteries		32025.00 DZ	8	256200.00DZ
-Régulateur		50000 DZ	1	50000.00 DZ
-poteaux		18 900.00DZ	10	18 9000.00 DZ
-Fixation de poteau et crosse		1500DZ	10	15000 DZ
- Câbles	2.5 mm^2	35DZ	600m	21000.00DZ
	6mm^2	70DZ	46m	3220.00DZ
-Support des panneaux		4000DZ	2	4000DZ
-Coffre batterie en plastique PM		5500.00 DZ	1	5500.00 DZ
-Connecteurs de branche reliant plusieurs panneaux		900 DZ	8	7200.00DZ
-Connecteurs MC4 Y		520DZ	6	3120.00DZ
-PARAFOUDRE		900DZ	1	900.00DZ
-MISE A LA TERRE		2000DZ	1	2000.00DZ
- TRANSPORT				2000.00DZ
Prix totale				801640DZ

Chapitre III. Dimensionnement d'une solution

III.11. Le Cout de la 1ere installation :

Tableau III. 8.liste des prix de la première installation

	Prix unitaire	Quantité	Prix totale
Luminaire all in one 3600Lm	89250DZ	10	892500.00DZ
Poteaux	10000DZ	10	100000.00DZ
Fixation du poteau et luminaire	1500DZ	10	15000.00DZ
Transport	2000DZ	1	2000.00DZ
Totale			1009500.00DZ

Remarque :

On remarque que la première installation est plus couteuse que celle qu'on propose avec une réduction de montant de 207860.00DZ.

Et avec la nouvelle proposition et pour les mêmes luminaires utilisés dans la première installation (3600Lms) ; on élimine le problème majeur de l'installation faite dans cette nouvelle ville qui est l'effet d'ombrage et donc on assure la continuité de fonctionnement des lampadaires pendant toute la nuit avec un meilleur éclairage délivré.

Conclusion générale

L'étude de dimensionnement est toujours confrontée par deux critères essentiels qui sont gisement solaire et la demande de l'énergie. Le dimensionnement de l'éclairage public solaire revient à déterminer les différents critères optimale tel que l'inclinaison l'orientation et l'effet d'ombrage qui est l'ennemi numéro un des installations d'éclairages public solaire.

Dans ce travail on a fait une étude sur l'installation d'éclairage public solaire de la nouvelle ville de Bouinan qui rencontre une insuffisance d'éclairage. Et après notre visite sur le lieu on a pu déduire les trois principaux anomalies qui causent le dysfonctionnement du système qui sont l'orientation mal choisi des lampadaires, leurs inclinaison, et en premier degré l'ombrage causé par les constructions et végétations.

En second temps on a utilisé le logiciel PVSYST pour avoir le pourcentage d'ombrages sur les capteurs solaires des lampadaires dans trois cas différents :

- 1^{er} cas 43.7%
- 2^{ème} cas 61.9%
- 3^{ème} cas 30.5%

Le 2^{ème} cas qui est un boulevard éclairé avec des lampadaires all in one est le plus touché par effet d'ombrage. Donc on a déduit que cette installation n'est pas adéquate à ce lieu

A fin d'éviter cet effet d'ombrage dans ce boulevard on a proposé une solution qui est de mettre en œuvre une mini centrale photovoltaïque sur un des toits des bâtiments qui alimentent les luminaires à LED. En gardant le même éclairage souhaité dans la 1^{ère} installation avec un cout réduit.

Pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge ainsi que la capacité de charge de la batterie on a dimensionné le nouveau système qu'on propose.

A la fin on a estimé le cout du système qu'on propose et on le comparant avec le cout de l'ancienne installation on a une réduction de 200 000.00DZ.

REFERENCES

- [1] K. LARBI et A. M'KHADMI, «utilisation de photovoltaïque en éclairage public,» mémoire MASTER, Université d'ADRAR, 2014.
- [2] G. GUIE BI, «ECONOMIE D'ENERGIE ET ECLAIRAGE PUBLIC DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU,» mémoire master, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2010.
- [3] F. James , C. Christoph et H. Gordon, «The Time Is Right for Connected Public Lighting Within Smart Cities,». article de journal, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).
- [4] «éclairage public,» wikipédia,
- [5] PVGIS disponible : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/#PVP
- [6] Fournisseur DIMEL disponible : <https://www.dimel-dz.com/fiche-technique-solaire/>
- [7] Logiciel PVSYST
- [8] «SOURCE ET LAMPES les lampes,» 04 \10\2004_20 \08\2017.
- [9] J. Jean, "Reseaux d'éclairage public", mémoire Master: formation à distance MIGIES, 2010.
- [10] B. ZERGUINE, «modélisation d'un système de production électrique par cellule photovoltaïque,».
- [11] F. SANDRA, "Eclairage urbain", ENSAG M1CV2.
- [12] Fournisseur LAGUA SOLAIRE disponible : http://www.laguasolaire.com/index.php?id_product=47&controller=product
- [13] Google Earth
- [14] Y. AIT BEN ADDI et H. AMHID, «éclairage photovoltaïque,» dans le cadre de projet professionnel, faculté polydisciplinaire OUARZAZATE, 2013.
- [15] «LED-expliquée simplement,» myclimate, suisse, 2015.
- [16] Lexies, «guide pratique de l'éclairage public,» l'association des petites villes de France, France, 2014.
- [17] «manuel technique de l'éclairage,» Agence nationale pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique .
- [18] CETE, «formation "éclairage public",» DIR centre Est, France, 2007.

[