

Remerciement

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

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

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à tous nos enseignants à l'université SAAD DAHLAB BLIDA et spécialement à Monsieur Benahmed Abdelmoumen pour avoir accepté d'encadrer ce travail

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

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A l'esprit de mon père et à la

La pureté de ma chère mère que dieu la protège et bénisse son âge

A mes chères frères : Amine et Amir

A tous mes enseignants chacun par son nom

A tous mes amis et mes collègues

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

Mehdi

Je dédie ce modeste travail :

A l'esprit de mon père et à la

La pureté de ma chère mère que dieu la protège et bénisse son âge

A mon chère frère : Yacine

A mes chères sœurs : Hadjer , Ikram , Hafsa

A tous mes enseignants chacun par son nom

A tous mes amis et mes collègues

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

Zaki

Sommaire

RESUME	11
INTRODUCTION GENERALE	13
CHAPITRE 01 : L'ECLAIRAGE PUBLIC	15
INTRODUCTION :	16
I.L'ECLAIRAGE PUBLIC	15
A.BUT DE L'ECLAIRAGE PUBLIC	17
B.HISTORIQUE	17
C.GRANDEURS PHOTOMETRIQUES	18
1)La Lumière	18
2)Le flux lumineux	18
3)L'efficacité lumineuse	18
4)L'intensité lumineuse.....	18
5)L'éclairement.....	19
6)La luminance	19
7)L'éblouissement	19
8)L'indice de rendu couleur	20
9)Le diagramme photométrique	20
D.MOYENS D'ECLAIRAGE PUBLIC.....	20
1)Les lampes	20
1-1) Les lampes à incandescence	21
a.Les lampes à incandescence classiques :	21
b.Les lampes à incandescence halogéné	22
1-2) Les lampes luminescence	23
a.Lampes à décharge	23
b.Les lampes LED	24
1-3) LES CARACTERISTIQUES DES DEFERENTS TYPES DES LAMPES :.....	26
2)LE LAMPADAIRE	26
2-1) Le mât (support) :.....	27
a.Les types de mât.....	27
2-2) Le luminaire.....	29
a.Eclairage direct.....	29
b.Eclairage indirect	29
c.Eclairage diffus	29
d.Eclairage orienté.....	30
E.TYPES D'IMPLANTATION :	30
1)Des voiries	30
1-1) l'implantation unilatérale.....	30
1-2) L'implantation bilatérale en vis-à-vis :	30
1-3) L'implantation bilatérale en quinconce :	30

1-4) L'implantation axiale	30
2)Espaces publics, places.....	31
F.CABLAGE	31
1)Résistance d'un câble électrique :	31
2)Les sections et les pertes de câble électrique :	32
G.CONTROLE DU TEMPS D'ALLUMAGE	32
1)Horloges	32
2)Cellule photoélectrique.....	33
3)DéTECTEURS de présence	33
H.SOURCES D'ENERGIE POUR L'ECLAIRAGE PUBLIC	33
I.NORMES MONDIALES	34
J.CONCLUSION	40
II.ECLAIRAGE SOLAIRE	34
A.DEFINITION	34
B.SYSTEME D'ECLAIRAGE PUBLIC PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME :	34
1)Description du système	35
2)Principe de fonctionnement.....	35
C.LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES D'ECLAIRAGE SOLAIRE.....	36
A.FORME CLASSIQUE AVEC BRAS LUMINEUX (ALL IN TWO)	36
2. FORME CLASSIQUE AVEC POINT LUMINEUX INTEGRE.....	38
CHAPITRE 02 : DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	40
INTRODUCTION	41
I.DEFINITION ET BUT DU DIMENSIONNEMENT :	41
II.METHODES DE DIMENSIONNEMENT :	42
A.Méthodes numériques	42
B.Méthodes analytiques	42
C.Méthodes simplifié (Intuitives)	42
D.Dimensionnement d'un kit solaire	43
1.Estimation de la consommation	43
a)Choix du type de lampes	43
b)Energie nécessaire.....	44
2.Estimation de l'énergie solaire reçue :	44
a)Données statistiques	45
b.Comment orienter et incliner les panneaux :	46
c)Caractéristiques propre au site.....:	47
1)Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	47
a)Calcul de la taille du générateur photovoltaïque.....	47
b)Choix de type de modules.....	50
c)Choix de tension de modules.....	51
2)Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs :.....	51
a)Déterminer l'offre locale compatible avec le budget :	51
b)Calcul de la capacité de la batterie	52
c)Type de batterie et réglage du régulateur de charge :	53
d)Contraintes d'entretien et durée de vie de la batterie :	53
3)Choix du régulateur de charge/décharge :	53
a)Les critères de choix des régulateurs :.....	54
b)Gestion de régulateur de charge :	54
4)Câblage.....:	54
a)Plans du site	54
b)Section de câbles de chaque circuit :	55
c)Calcul de la chute de tension le câble électrique :	55

5)Dimensionnement des pièces du lampadaire :	56
6)Choix de types d'implantation	56
7)Distances inter-luminaires	57
a)Critère de choix d'un luminaire :	57
b)Les configurations conditionnent le choix du luminaire :	58
c)Calcul des distances inter-luminaires :	58
8. Coefficient de pertes	59
9.Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux	59
10.Estimation de coût	59
CONCLUSION	60
CHAPITRE 03 :CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'ECLAIRAGE SOLAIRE A L'UNIVERSITE DE BLIDA	61
INTRODUCTION	62
I.DESCRPTION DU TRAVAIL EFFECTUE	62
1.Présentation du site du projet	63
2.Site d'expérimentation	63
II.CONCEPTION D'ECLAIRAGE AVEC LOGICIEL DIALUX EVO :	64
A)LOGICIEL DIALUX EVO	64
B)REALISATION DU PROJET	65
1)Chargement du plan DWG dans DIALux	65
2)Construction des édifices et du routes	68
C)LUMINAIRES	73
a)Choix du luminaires	73
b)Distribution du luminaire	74
1.Distribution du luminaires dans les zones non ombragés	75
2.Distribution dans les zones les zone ombragés	78
C)OBJETS DES CALCULS	80
III.AGREGATION DES RESULTATS,,,,,,,,,,,,,,,,,	85
A)LES RESULTATS FINAUX DE LA CONCEPTION DU PLAN DE CHAQUE ZONE	85
B)RESULTATS FINAUX DU NOMBRE DE LAMPADAIRE UTILISEES POUR CHAQUE ZONE	87
C)ANALYSE DES RESULTATS	88
1.Caractéristiques et critères de choix du lampadaires utilisés :	88
A.Sunstay BRP70	88
a.Caractéristiques	88
b.Conditions d'utilisation et données logistiques:	89
c.Avantages	90
d.Fonctions	90
B.LUMA GEN 2	91
a)Caractéristiques générales du produit LumaGen2	91
b)Avantages	93
c)Fonctions	94
IV..DIMENSIONNEMENT D'UN KIT SOLAIRE POUR L'ALIMENTATION DE LA PREMIERE ZONE	94
1.PERIODE DE L'ENSOLEILLEMENT	94
2.DIMENSIONNEMENT DE LA PREMIERE ZONE	96

a)Énergie journalière	96
b)Puissance crête.....	96
c)Nombre de panneaux.....	96
d)Détermination et de l'orientation et d'inclinaison des panneaux.....	97
e)Choix de tension du système.....	98
f)Choix de batteries.....	98
g)Choix de régulateur.....	99
h)Câblage.....	100
4.DIMENSIONNEMENT DES BATTERIES POUR AUTRES ZONES	102
5.ESTIMATION DES COUTS	103
CONCLUSION	104
CONCLUSION GENERALE	105
BIBLIOGRAPHIE	107

Liste des figures

Figure 1:Diagramme photométrique.....	20
Figure 2:Lampe incandescence classique.....	21
Figure 3: lampe à incandescence halogéné.	22
Figure 4:Lampes luminescence	23
Figure 5: Lampes LED.....	25
Figure 6: Spectre électromagnétique des lampe LED.....	25
Figure 7: les différents types d'implantation.....	31
Figure 8: Agencement aléatoire.....	31
Figure 9: Agencements structurés.....	31
Figure 10: Système d'éclairage autonome	35
Figure 11: Lampadaire ALL IN TWO.....	36
Figure 12: les composants du système ALL IN TWO	37
Figure 13: Lampadaire ALL IN ONE.....	38
Figure 14: Composants du lampadaire ALL IN ONE.....	38
Figure 15: Luminaire LED.....	39
Figure 16: Capteur de mouvement.....	39
Figure 17: ensoleillement annuelle de différente latitude.....	47
Figure 18: nombre des heures équivalents.....	48
Figure 19: Avancée et inclinaison	58
Figure 20: largeur et hauteur.....	58
Figure 21:Site de L'université Saad Dahlab Blida 1.....	63
Figure 22: Logo de Logiciel Dialux evo 9.2	64
Figure 23: quelques marques en paternité avec dialux.....	65
Figure 24: Plan sous la forme DWG de l'USDB	66
Figure 25 : Figure 25.Zone 1.....	66
Figure 26 : Zone 2	67
Figure 27 : Zone 3	67

Figure 28 : Zone 4	67
Figure 29 : Zone 5	68
Figure 30:Construction des édifices	Erreur ! Signet non défini.
Figure 31:Construction des éléments au sol	70
Figure 32:Vue 3D sur le plan	70
Figure 33:matériaux et catalogues.....	71
Figure 34:Plan 2D de la zone 4	71
Figure 35:Conception de Plan 3D de la zone 4	72
Figure 36 : autre vue 3D de la conception de la zone 4.....	72
Figure 37:Étape de repartition de luminaires	73
Figure 38 : Luminaire Luma gen2.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 39 : lampadaire Sunstay BRP710 solaire.....	74
Figure 40 : lampadaire Sunstay BRP710 solaire.....	74
Figure 41 : Choix de lampadaire	75
Figure 42 : Zones non ombragé.....	75
Figure 43 :Planification du luminaires	76
Figure 44 : Disposition du luminaires	76
Figure 45 : Orientation du luminaires	76
Figure 46 : Méthode de montage.....	77
Figure 47 : Rotation de luminaires	77
Figure 48 : Plan 2D de la zone après la distribution du luminaire	77
Figure 49 : Zones ombragé.....	78
Figure 50 : Changement de type de luminaire.....	79
Figure 51 : Changement de la hauteur de point de l'éclairage.....	79
Figure 52 : Distribution de luminaires dans les zones d'ombrage	80
Figure 53 : Plan après la distribution et l'emplacement des objets.....	80
Figure 54 : étape de calcul.....	81
Figure 55 : une surface de calcul.....	81
Figure 56 : changement de règles de calcul.....	82
Figure 57 : Résultats de calcul	82
Figure 58 : Résultat finale de calcule du zone 4.....	83
Figure 59 : Conception finale de la zone 4.....	84
Figure 60 : calcul finale de la zone 3.....	84
Figure 61 : Conception finale de la Zone 1	85
Figure 62 : Conception finale de la zone 2.....	85
Figure 63 : Conception finale de la zone 2 d'une autre vue.....	86
Figure 64 : Conception finale de la zone 3.....	86
Figure 65 : Conception finale de la zone 5.....	87
Figure 66 : Caractéristiques électriques de lampadaire Sunstay	88
Figure 67 : Performances initiales de lampadaire sunstay	89
Figure 68 : Caractéristiques de lampadaire sunstay	89
Figure 69 : Le lampadaire Sunstay BRP70	90
Figure 70 : Structure de lampadaire	91
Figure 71 : Caractéristiques électriques de luminaire Luma gen 2	93
Figure 72 : Performances initiales de lampadaire Luma gen2	93
Figure 73: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	95
Figure 74 : Heures de fonctionnement en Hiver	95
Figure 75 : Batterie GEL 250AH 12V ULTRACELL	99
Figure 76 : Régulateur régulateur de charge solaire EPEVER MPPT 100A	100

Figure 77 : Caractéristiques de Régulateur choisis 100

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : les caractéristiques des lampes.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau2: Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 3: les types des pertes.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 4: Résultats du nombre des lampadaires utilisé.....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 5: Dimensionnement des autre zones.....</i>	<i>104</i>
<i>Tableau 6 : Prix de Dispositifs.....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 7 : Prix totale de l'achat de chaque dispositif.....</i>	<i>105</i>

Résumé

Dans ce travail, nous avons créé un nouveau système d'éclairage qui fonctionne entièrement à l'énergie solaire pour l'Université Saad Dahleb de Blida. Ce travail a été réalisé en utilisant logiciel dialux evo pour concevoir un nouveau système d'éclairage et choisir les types de lampes nécessaires, une partie de ce système est conçu avec des lampadaires autonome ,et pour l'autre partie on à fait un dimensionnement pour l'alimenter en énergie solaire .

Mots clé: dimensionnement, éclairage public, méthode simplifiée, , photovoltaïque, batterie, Lampadaires.

Abstract

In this work, we have created a new lighting system that works entirely on solar energy for Saad Dahleb University in Blida. This work was carried out using dialux evo software to design a new lighting system and choose the types of lamps needed, part of this system is designed with stand-alone streetlights, and the other part we made a dimensioning for supply it with solar energy.

Keywords: dimensioning, public lighting, simplified method,, photovoltaic, battery, Lamp posts

ملخص

في هذا العمل ، قمنا بإنشاء نظام إضاءة جديد يعمل بالكامل على الطاقة الشمسية لجامعة سعد دحلببالبليدة. تم تنفيذ هذا العمل من أجل تصميم نظام إنارة جديد للجامعة مع إختيار نوع مناسب للكاشفات الضوئية المصممة لإضاءة الشوارع أهدها يعمل ذاتيا حيث يحتوي على لوح شمسي و بطارية خاصة به لا يحتاج إلى أية نظام من أجل تزويده بالطاقة قمنا بإستخدامه في بإستخدام برنامج. المناطق المكشوفة أين لا يوجد ظل و آخر إحتجنا إلى تزويده بنظام طاقة شمسية من أجل تزويده بالكهرباء

الكلمات المفتاحية: الأبعاد ، الإنارة العامة ، الطريقة المبسطة ، الطاقة الكهروضوئية ، البطارية ، أعمدة الإنارة

Introduction générale

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

Les moyens d'éclairage ont connu un très grand développement depuis son apparition en l'an 1000 à Cordoba (Al-Andalous). De la lampe à l'huile utilisée au 18^{ème} siècle aux nouvelles lampes LED, les dispositifs utilisés dans l'éclairage ont connu une progression notable. On distingue différentes sources d'énergie servant à alimenter les lampes d'éclairage public : les lampes à combustible (huile, gaz, pétrole) et les lampes électriques. Ces dernières sont les plus utilisées ces jours-ci. Cependant, l'utilisation de l'éclairage conventionnel (centrales conventionnelles comme les centrales thermiques, hydrauliques,...) est accompagnée de problèmes causés par les grandes pertes d'énergie au cours du transport (effet de joule).[1]

"l'éclairage public représente 40% de la consommation nationale en énergie, soit 6500 MW sur les 14500 MW consommés, a indiqué ce jeudi à Alger" dit par Mustapha Guitouni, Ministre de l'énergie, 6500 MW résultera une grosse facture qui retombera sur l'état et À cela s'ajoute les dangers sur l'environnement. Il est donc indispensable de chercher d'autres alternatives qui permettent à la fois d'alléger une telle facture et protéger l'environnement. Ainsi, l'utilisation des systèmes d'éclairage autonomes par voie photovoltaïque émerge comme une solution incontournable. [2]

L'énergie solaire reçue par la terre vaut, en chiffres ronds, environ 10.000 fois la quantité totale d'énergie consommée par l'ensemble de l'humanité. En d'autres termes, capter 0,01% de cette énergie nous permettrait de nous passer de pétrole, de gaz, de charbon et d'uranium.

En Algérie bien que les conditions (géographiques, climatiques et météorologiques) soient très favorables, l'énergie solaire n'a pas encore percé et ce marché demeure encore presque vierge. Notre pays a un des gisements solaires des plus élevés au monde, en effet de part sa position géographique dispose de plus de 2500 heures d'ensoleillement en moyenne par an sur une très grande partie de son territoire, 1169.440 TWh/an, 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité. [2]

Le potentiel solaire est la quantité totale d'irradiation d'énergie solaire reçue sur une surface de région donnée pendant du temps dans une localisation spécifique. En Algérie, le potentiel est le plus important de tout le bassin méditerranéen. [2]

Dans ce mémoire, on se propose de faire une étude pratique et un dimensionnement de systèmes autonomes pour l'éclairage public en utilisant l'énergie solaire photovoltaïque comme source primaire, Le cas d'étude choisi est l'université de Saad Dahlab Blida.

On commencera l'étude par faire une nouvelle conception d'éclairage public de l'université en utilisant logiciel dialux evo, on va utilisé deux types de lampadaires LED dans la nouvelle conception, un lampadaire autonome de type ALL IN ONE pour les zone non ombragés, et un autre lampadaire simple pour les zones non ombragés. après la fin du conception on va faire un dimensionnement d'un kit photovoltaïque pour alimenter les zones non ombragés. L'étude comprend, également, une évaluation financière en vue de comparer avec les systèmes d'éclairage conventionnels.

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

Le dernier chapitre a été consacré à l'aspect pratique du travail, on à expliquer logiciel dialux et comment ce fonctionne et expliquer les étapes de l'utilisation de ce logiciel pour faire une nouvelle conception d'éclairage public d'une zone de l'université. La méthode de dimensionnement simplifié a été appliquée au cas d'étude choisi pour déterminer le nombre, le type et la puissance des kits d'éclairage pour les zones ombragés de l'université, et à la fin une estimation des couts financières pour la réalisation du projet.

Chapitre 01 :
L'éclairage public

Introduction :

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

L'éclairage des lieux publics, des voies de circulation, des monuments et sites des villes et campagnes est devenu aujourd'hui une préoccupation majeure des distributeurs d'énergie électrique et des autorités administratives et politiques (représente 19% de toute l'électricité consommée) donc il représente une part conséquente de la consommation d'énergie. [2,3]

Il y a beaucoup de façons de réduire la consommation d'énergie, tels que la qualité des lampes utilisées et la stratégie de commande d'éclairage..etc. alors que la bonne façon est l'utilisation des sources renouvelables comme l'énergie photovoltaïque. [2]

Dans ce chapitre, nous allons expliquer comment fonctionne le système d'éclairage public classique ainsi que l'éclairage solaire.

I. L'éclairage public :

Dans les chaussées, les jardins et même à l'extérieur des villes (en tout espaces d'existence des piétons ou des véhicules), il y a des moyens pour éclairer, soit par des poteaux, soit par des lanternes ou des lampes des maisons. C'est qu'on appelle éclairage public ou bien éclairage extérieure (4).

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

A. But de l'éclairage public :

En effet, l'éclairage public permet de :

- Augmenter la sécurité, la fluidité de la circulation sur les chaussées et réduire la gravité et le nombre d'accidents de nuit. [3, 2].

La recherche a montré que l'éclairage public peut réduire de 30% les accidents de la route pendant la nuit., l'éclairage public :

- Assurer le confort des conducteurs, des piétons et des riverains [2].
- Assurer une perspective du cadre de vie et valoriser la ville (décorer les espaces les plus prestigieux (avenues centrales, gares, parcs et espaces d'exploitations) [2].

B. Historique :

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

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

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

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

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

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

C. Grandeurs photométriques :

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

1) La Lumière :

Est les ondes électromagnétiques visibles par l'œil humaine (longueur d'onde compris entre 0.38 et 0.78 μm), caractérisés par sa fréquence f et sa longueur d'onde λ pendant une durée T . [9, 10]

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

Avec : c : vitesse de la lumière dans le vide = $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ [9]

2) Le flux lumineux :

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

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

3) L'efficacité lumineuse :

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

4) L'intensité lumineuse :

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

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

5) L'éclairement :

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

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Où:

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

Φ : Est la valeur du flux lumineux atteignant la surface et l'aire de cette surface réceptrice

LUX : 1 lm/m²[2]

6) La luminance :

Cette grandeur permet de tenir compte des sources de lumière présentes dans le champ visuel d'un observateur. Son unité est le CANDELA par mètre carré (cd/m²). La luminance se mesure avec un luminance-mètre. Il est possible de déterminer par exemple la luminance des chaussées, qui sert de base d'évaluation des projets d'éclairage public [2].

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

$$L = \frac{d \cdot I}{d \cdot S \cdot \cos \alpha}$$

7) L'éblouissement :

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

8) L'indice de rendu couleur :

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

9) Le diagramme photométrique :

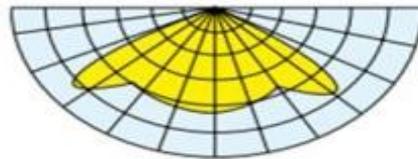


Figure 1: Diagramme photométrique.

C'est une courbe fermée dont le "rayon" dans une direction donnée, donne l'intensité de l'émission dans cette direction (en lumen/stéradian/lumen ou candela/lumen) comme la figure ci-contre représente, ce diagramme fixe les valeurs plafond en condition d'installation ULR_{α} et ULR_{\cdot} , et garantit de maîtriser les émissions de lumière artificielle dans l'environnement et de contrôler de la pollution lumineuse [13].

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

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

D. Moyens d'éclairage public:

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

1) Les lampes :

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

1-1) Les lampes à incandescence :

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

a. Les lampes à incandescence classiques :

Les lampes « classiques » figure (2) sont utilisées pour l'éclairage domestique intérieur, elle est dispositif inventé en 1879 par JOSEPH SWAN et améliorée par les travaux de Thomas Edison, L'ampoule contient un filament de tungstène qui porté à haute température (environ 2823°K) par le passage d'un courant électrique émet de la lumière. Généralement l'ampoule remplie d'un gaz inerte comme l'argon ou le krypton, qui permet d'éviter la détérioration de filament. Ces lampes ont un rendement lumineux faible à cause de la plus grande partie de l'énergie électrique est convertit en chaleur plus qu'en lumière[14].

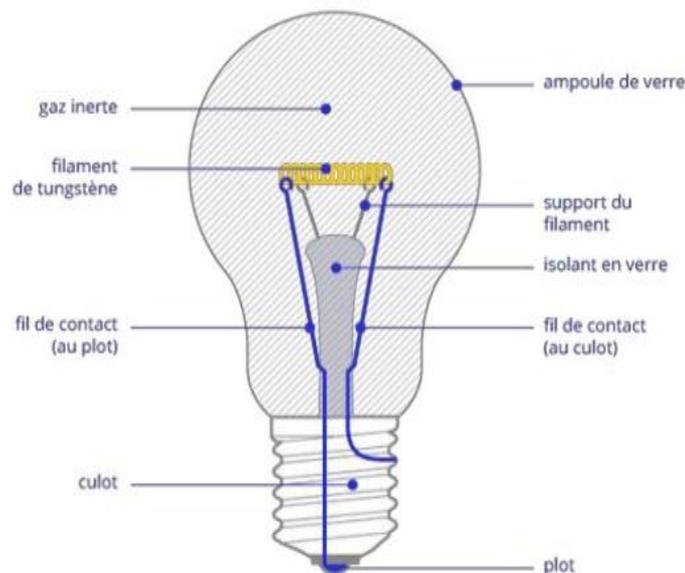


Figure 2:Lampe incandescence classique.

Les avantages des lampes classiques sont :

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

Les inconvénients sont:

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

b. Les lampes à incandescence halogéné

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

Ces sont des lampes à incandescence remplies d'un gaz diatomique appartenant à la famille des halogènes ou un de leurs dérivés. De plus en évitant la sublimation, il n'y aura pas (ou au moins moins rapidement) de vapeurs de tungstène qui se déposeront sur les parois[14].

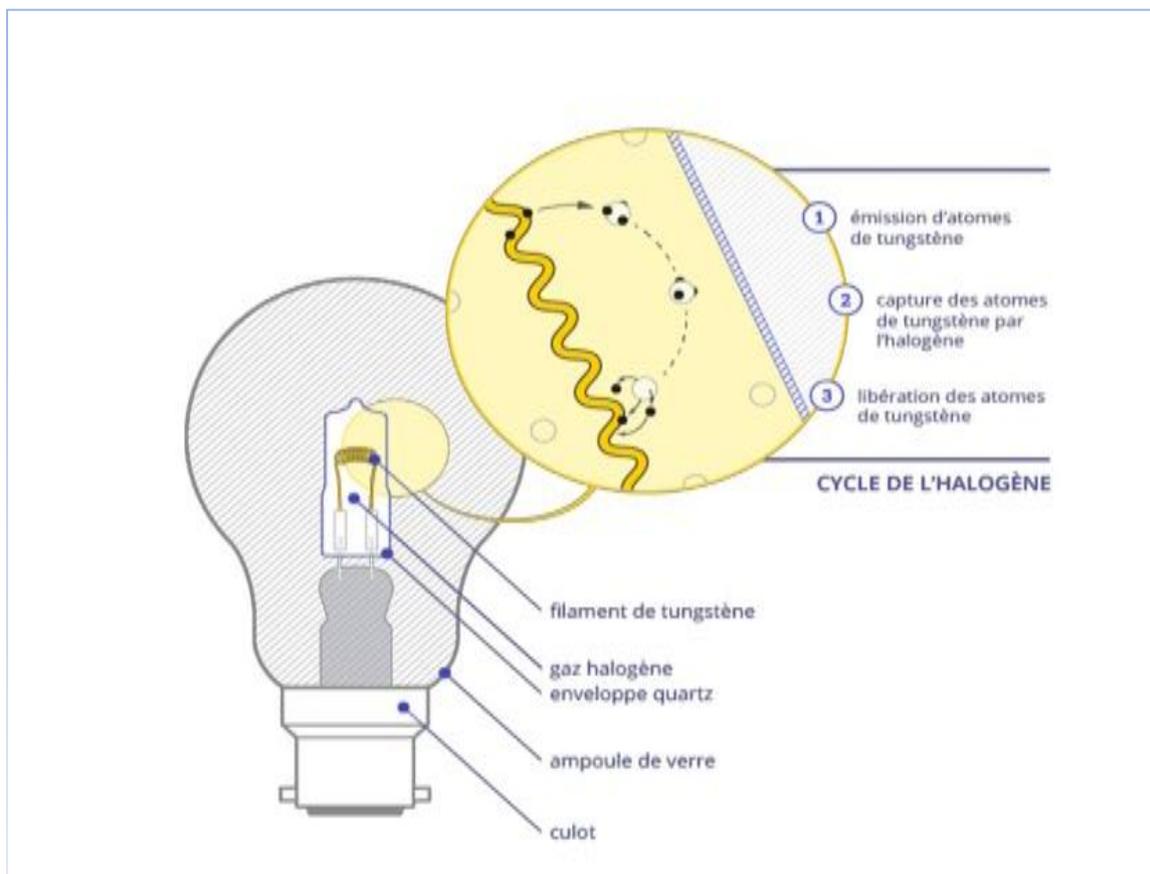


Figure 3:lampe à incandescence halogéné.

Les avantages des lampes à incandescence halogéné sont :

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

Leurs inconvénients sont :

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

1-2) Les lampes luminescence :



Figure 4: Lampes luminescence

Le principe de la luminescence est utilisé dans les lampes à décharge et LED.

Ce type de lampes est caractérisé par un grand rendement énergétique.

a. Lampes à décharge :

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

Les types de la lampe de décharge :

- **Lampe à décharge basse pression :**

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

- **Lampe à décharge haute pression**

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

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

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

b. Les lampes LED :

La LED (light-emitting diode), ou DEL, diode électroluminescente (figure 5) est un composant électronique à semi-conducteur. Lorsqu'un courant traverse la diode dans le sens passant, celle-ci émet de la lumière. Contrairement aux sources lumineuses conventionnelles, les LED sont des composants électroniques, à savoir de minuscules puces électroniques en cristaux semi-conducteurs. Les LED se passent de filtres chromatiques, leur lumière est directement produite en diverses couleurs grâce à différents matériaux semi-conducteurs [15].



Figure 5: Lampes LED.

Spectre électromagnétique :

Pour produire de la lumière blanche, les LED émettent de la lumière bleue à laquelle est ajoutée du phosphore jaune, ce qui donne une lumière blanche [15].

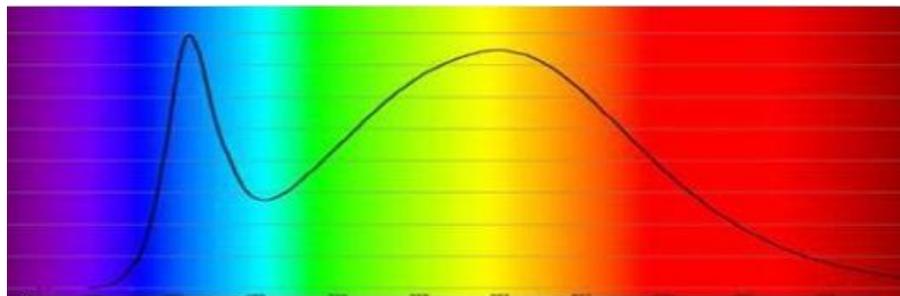


Figure 6: Spectre électromagnétique des lampes LED [15].

Les avantages de ces lampes sont :

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

Leurs inconvénients sont :

- Le prix est élevé.

1-3) Les caractéristiques des différents types des lampes :

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

Tableau 1 : les caractéristiques des lampes [14].

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

2) Le lampadaire :

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

2-1) Le mât (support) :

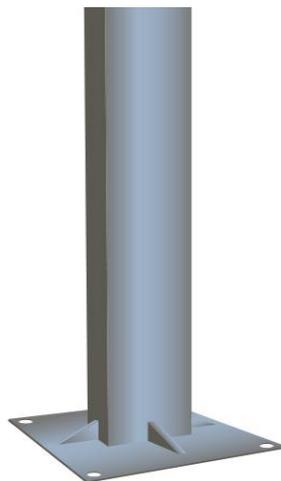


Les luminaires sont fixés sur des consoles ou des candélabres. Le support permet de placer un ou plusieurs luminaires dans la position désirée dans l'espace. Le mât est une pièce généralement verticale et est forcément fixé au sol. Il se compose de plusieurs parties [14] :

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

a. Les types de mât:

- **Poteaux en acier :**



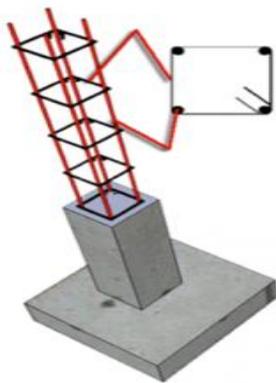
Ils constituent la majeure partie des poteaux couramment utilisés.

- **Poteaux en alliage d'aluminium :**



Ils ont une excellente tenue à la corrosion même en atmosphère polluée et ne nécessitent aucun entretien.

- **Des poteaux en béton fonte et bois :**



Le mât doit pouvoir :

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

2-2) Le luminaire:

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

- Diriger, au moyen de l'optique, la lumière fournie par la source lumineuse vers l'espace à éclairer ;
- Protéger la lampe et les éventuels auxiliaires contre les influences externes (coups, eau, poussières, etc.) ;
- Jouer un rôle esthétique particulièrement important dans les applications résidentielles ou touristiques de par sa forme, ses couleurs et ses matériaux.

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

Il est importante d'éviter tous les émissions vers le haut et l'horizontal, dans ce raison les fiches matériel doivent être accompagnées d'un diagramme photométrique

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

a. Eclairage direct :

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

b. Eclairage indirect :

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

c. Eclairage diffus :

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

d. Eclairage orienté :

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

E. Types d'implantation :

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

1) Des voiries :

1-1) L'implantation unilatérale :

Ce type est constitué d'un seul rangé des lampadaires (**figure 7 (a)**). Dans la même côté de route. Avantageux par un investissement limité et l'encombrement limité d'un seul trottoir, mais il est adaptée aux chaussées de largeur limitée (Voiries urbaines, Cheminements piétons...)[18].

1-2) L'implantation bilatérale en vis-à-vis :

Ce type constitué de deux rangés des lampes vis-à-vis de les deux côtés de route (**figure 7 (b)**).Avantageux par son adaptation aux chaussées de largeur plus importante, et la limitation possible de la hauteur de feu ($H=L/2$), mais il est un Investissement plus important [18].

1-3) L'implantation bilatérale en quinconce :

Ce type constitué de deux rangés dans les deux côtés de route, mais non vis-à-vis (**figure 7 (c)**). Avantageux par son esthétique, mais il a un investissement plus important et l'uniformité de luminance plus complexes à obtenir, il peut utiliser pour les voiries de desserte et les parcs et les jardins [18].

1-4) L'implantation axiale :

Ce type constitué d'un rangé des lampes au milieu de route (axe) (**figure 7 (d)**). Avantageux par un investissement limité (une seule rangée de mâts), mais l'uniformité de luminance réduite à le côté opposé et la maintenance est difficile. Utilisé dans les voiries mixtes [18].

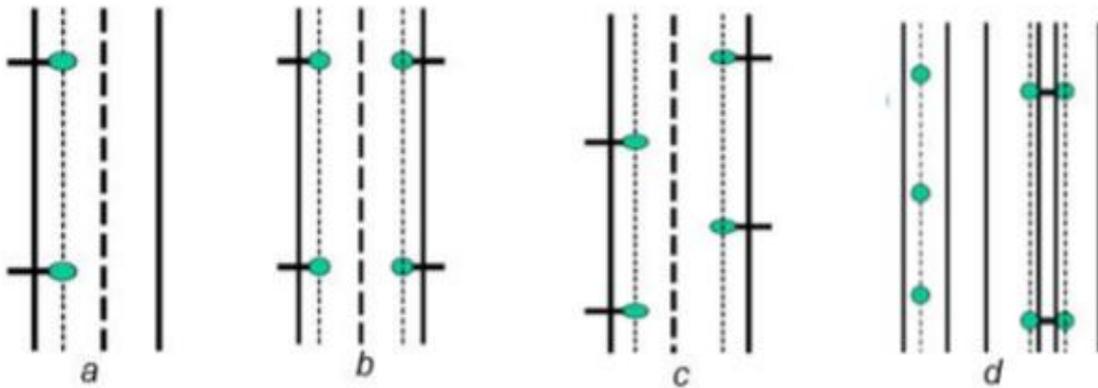


Figure 7: les différents types d'implantation.

2) Espaces publics, places :

Dans cela l'implantation prendra deux configurations :

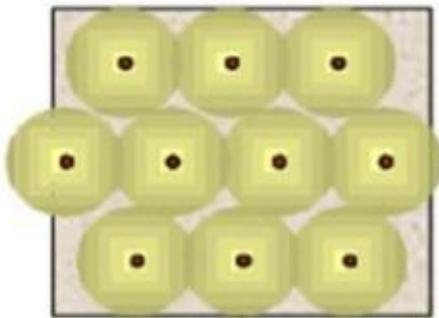


Figure 8: Agencement aléatoire.

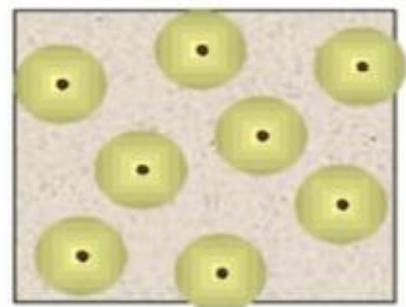


Figure 9: Agencements structurés.

F. Câblage :

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

1) Résistance d'un câble électrique :

La résistance d'un câble électrique est la propriété des conducteurs électriques de s'opposer au passage des électrons.

2) Les sections et les pertes de câble électrique :

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

$$S = \frac{2 * P * L * I}{\epsilon * V}$$

- P= résistivité du cuivre (Ω^2/m)
- L= longueur total du câble(m)
- I=courant (A)
- V=tension origine de câble (V)
- ϵ =chute de tension (V).

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

$$P = R \times I^2$$

Avec :

P=Perte (W).

R=Résistance (Ω).

I=Intensité (A).

G. Contrôle du temps d'allumage :

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

1) Horloges :

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

a. Horloge mécanique :

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

b. Horloge astronomique :

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

2) Cellule photoélectrique :

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

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

3) Détecteurs de présence :

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

4) Réducteurs de puissance

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

H. Sources d'énergie pour l'éclairage public

En pratique il est connu que la première source d'énergie de l'éclairage public est l'énergie conventionnelle (centrale de production électrique : thermique, nucléaire...), mais après que l'énergie renouvelable saisi un rôle principal dans la production d'énergie [22], il ne faut que

l'éclairage public prend sa part. Pour ce dernière on distingue deux système d'éclairage soit l'éclairage conventionnelle (raccordé au réseau), soit l'éclairage autonome solaire uniquement ou solaire plus éoliennes (hybride), le deuxième type produit son énergies de fonctionnement tout seul sans le besoins d'être rejoindre un réseau électrique.

I. Normes mondiales :

L'éclairage public doit apporter beaucoup plus aux usagers que le seul sentiment de « confort », encore faut-il que ses performances photométriques permettent d'accéder de nuit aux exigences indispensables à l'accomplissement des différentes tâches visuelles de chaque catégorie d'usagers. C'est la raison pour laquelle la notion « d'éclairer juste » s'impose et se décline au travers de valeurs d'éclairements et de luminances minimales à maintenir. Et pour cela, nous comptons sur les normes et ce dernier varie d'une paye à l'autre par exemple les normes plus utilisé dans le monde est les normes européennes[28].

II. Eclairage Solaire :

A. Définition :

L'éclairage public solaire est clairement le symbole d'une certaine modernité. Les systèmes solaires autonomes représentent un formidable outil de développement économique et social, que l'on s'adresse à des zones rurales sans accès à l'électricité, des zones péri-urbaines où le réseau électrique est absent ou intermittent ou des zones urbaines dans une optique d'économies d'énergie.surtout dans les zones mal couvertes par la distribution électrique. Si votre parcelle reste éclairée la nuit même en cas de coupure d'électricité, vous pouvez être certain que les bandits choisiront un autre lieu pour opérer. Ces luminaires sont destinés aux domaines municipaux et privés, bien qu'ils aient de nombreuses autres applications comme les chantiers, les parkings et les complexes scolaires où l'éclairage nocturne est nécessaire pour la vision ou la sécurité.

B. Système d'éclairage public photovoltaïque autonome :

1) Description du système :

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



Figure 10: Système d'éclairage autonome

2) Principe de fonctionnement :

Un lampadaire autonome utilise un ou plusieurs systèmes de production d'énergie renouvelable comme unique source d'énergie. Les panneaux photovoltaïques et l'éolienne produisent ainsi de l'électricité qui est stockée dans des batteries. Ces batteries peuvent être placées dans le mât ou dans le socle du lampadaire, le circuit électronique fonctionne sous une tension nominale de 12V ou 24V et intègre un régulateur de charge de type PWM équipé par la technologie MPPT. L'allumage et l'extinction du lampadaire sont commandés par un programmeur. Plusieurs types de programmation existent :

➤ *Crépusculaire* :

La lumière s'allume automatiquement lorsque le programmeur détecte le coucher du soleil. La lumière s'éteint lorsque le soleil se lève ou après une temporisation réglable.

➤ **Horaire :**

La lumière s'allume et s'éteint en fonction de plages horaires qui ont été définies à l'avance. Une programmation en fonction des saisons est également possible, les heures de coucher et de lever du soleil étant variables tout au long de l'année.

L'éclairage se fait la plupart du temps par un éclairage LED

C. Les différentes technologies d'éclairage Solaire :

Un lampadaire solaire est un lampadaire autonome entièrement alimenté par des panneaux photovoltaïques. L'avantage de ce système est qu'il est peu coûteux et performant lorsqu'il est bien dimensionné.

Il existe Maintenant beaucoup de technologies d'éclairage solaire, nous mentionnons ce qui suit :

a. Forme classique avec bras lumineux (ALL IN TWO)

Ce réverbère solaire se compose d'un mât avec un point lumineux intégré. Il est surmonté d'un bras avec un module solaire. Le régulateur et les batteries sont intégrés au mât.



Figure 11: Lampadaire ALL IN TWO.

➤ **Le panneau photovoltaïque :** un ou deux module(s) photovoltaïque dont la puissance totale est calculée spécifiquement en fonction de :

→ L'irradiation solaire ;

→ Le nombre d'heures de fonctionnement ;

→ le mode de fonctionnement (automatique, pleine puissance, réduction de flux, etc.).

➤ **La Batterie** :Alimente la charge (luminaire) et assure un stockage de l'énergie électrique issue de la conversion de l'énergie solaire.

➤ **Le régulateur de charge** :protège la batterie contre la surcharge de l'énergie par les modules OV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie.

➤ **Un dispositif électronique** :pour la gestion d'alimentation des LEDs.

➤ **Les câbles** :un kit complet comprenant tous les câbles nécessaires au raccordement des différents composants du système.

➤ **Le luminaire** :est un appareil qui assure l'éclairage des lieux cibles et il se fait la plupart du temps par un éclairage LED.

➤ **Le poteau ou le mât**:est une longue pièce rigide plantée verticalement et servant de support de l'ensemble des composants.

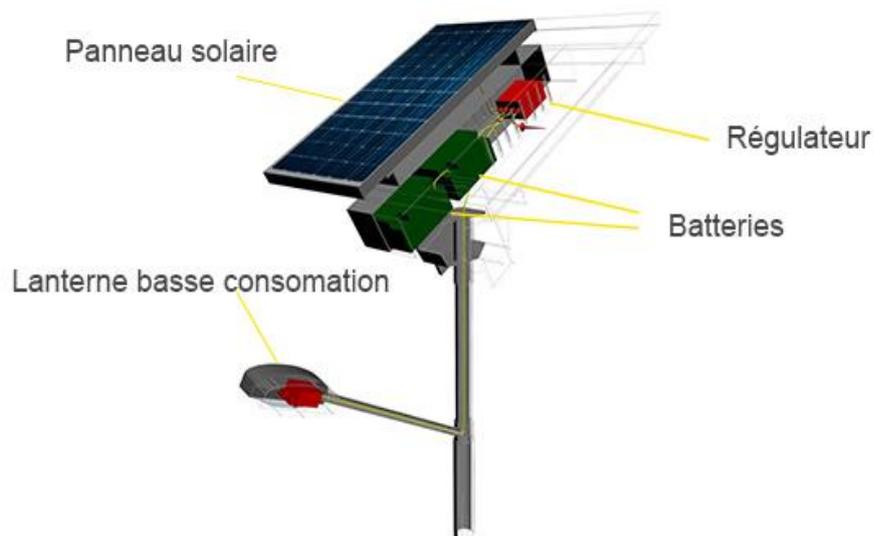


Figure 12: les composants du système ALL IN TWO .

2. Forme classique avec point lumineux intégré



Figure 13: Lampadaire ALL IN ONE.

Lampadaire All In One est une intégration du panneau solaire, lampe LED, batterie lithium, contrôleur de courant constant et le boîtier d'éclairage combinent des technologies de l'effet photoélectrique, micro contrôleur infrarouge, capteur de mouvement et plusieurs technologies de contrôle pratiques capables d'éclairer l'environnement avec une lumière rayonnante .

➤ *Composants :*

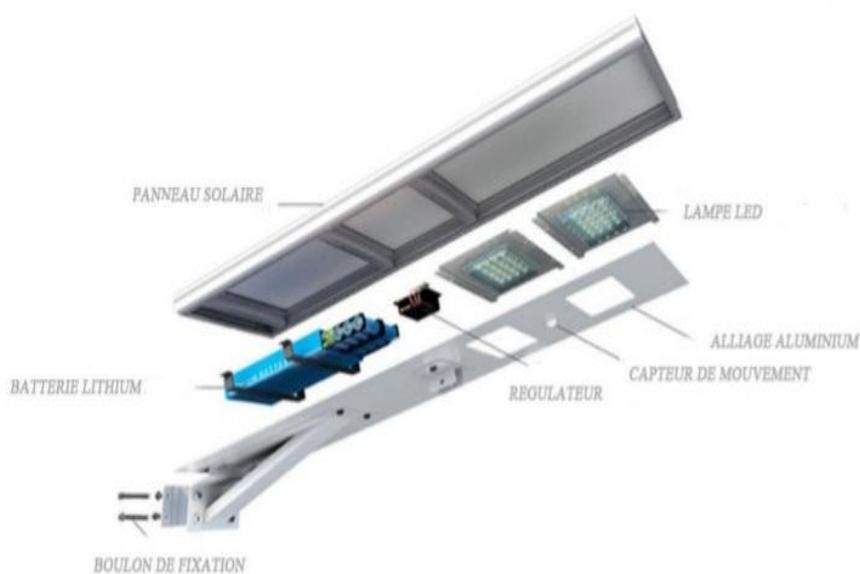


Figure 14: Composants du lampadaire ALL IN ONE.

Le luminaire peut être réglé à différents angles en fonction de la latitude et des caractéristiques du terrain qu'il peut être installé verticalement et horizontalement ou sur un mur, conçu pour installer, à maintenir ou à réparer facilement, sa surface peut absorber toute l'énergie solaire et le capteur de corps infrarouge module pour économiser de l'énergie pendant la nuit, tous ces éléments sont sans câbles.

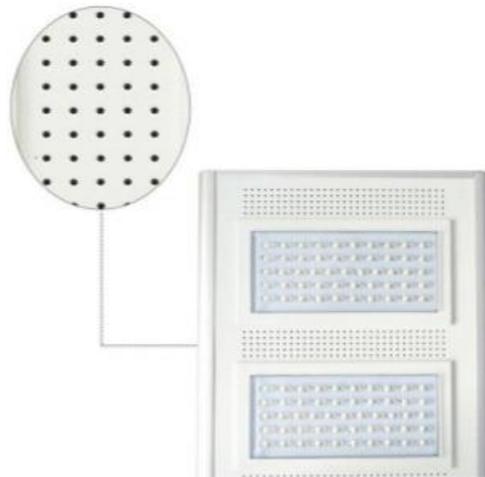


Figure 15: Luminaire LED.

La batterie au lithium est composée de trois caractéristiques principales : taille réduite, grande capacité et longue durée de vie, jusqu'à 120 LM/W (lumens par watt) sortie lumineuse est + 95% d'efficacité du conducteur.

Avec la technologie à contrôle par induction du corps infrarouge, il peut conserver l'énergie pendant la lumière du jour et moduler la luminosité de la lampe lorsque les gens traversent la nuit. Pendant la nuit, le capteur fonctionnera automatiquement par un module d'induction intelligent. Il sera en mode lumineux 100% plein lorsque les personnes passent et en mode d'économie d'énergie lorsque les personnes quittent (Le mode d'éclairage peut être ajusté selon les exigences).

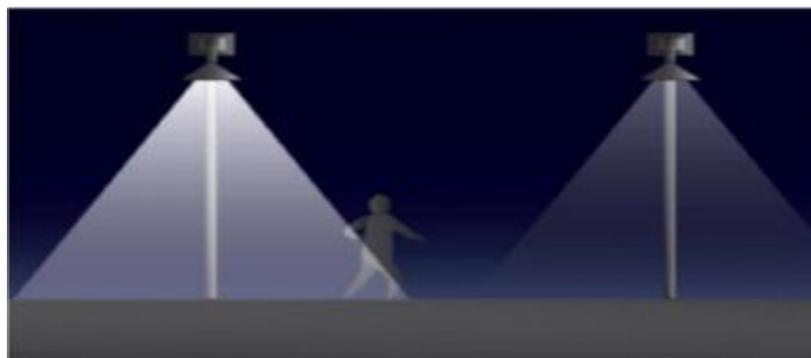


Figure 16: Capteur de mouvement.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a exposé brièvement quelques grandeurs photométriques, le système d'éclairage public et ses moyens (lampes, lampadaire), ainsi le contrôle d'allumage des lampes et les normes mondiales de l'éclairage.

Chapitre 02 : *Dimensionnement d'un Système photovoltaïque*

Introduction :

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

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

L'énergie solaire est une source propre, libre, disponible, favorable à l'environnement et sûre. La meilleure façon pour récolter la puissance du soleil est la technologie photovoltaïque.

Son prix reste élevé par rapport aux énergies conventionnelles. Pourtant, il existe de nombreuses applications où le faible coût d'exploitation et de maintenance du système photovoltaïque l'emporte sur le faible coût initial du générateur et met le photovoltaïque au coût le plus rentable à long terme [1, 3].

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

I. Définition et but du dimensionnement :

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

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

Jusqu'à présent, plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour le dimensionnement de systèmes photovoltaïques autonomes, ces méthodes reposent sur les données moyennes mensuelles de l'éclairement solaire et utilisent des calculs simplifiés. D'autres méthodes sont basées sur la simulation du fonctionnement du système photovoltaïque prenant comme données d'entrées les valeurs horaires de l'éclairement solaire rayonnement.

L'utilisation d'une méthode ou de l'autre dépend de plusieurs facteurs, à savoir la précision, la disponibilité des données initiales, ... [7]

II. Méthodes de dimensionnement :

Parmi les méthodes, nous citons les suivantes :

A. Méthodes numériques :

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

Un autre inconvénient est qu'elles nécessitent beaucoup de temps pour atteindre la convergence escomptée.

B. Méthodes analytiques :

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

C. Méthodes simplifiées (Intuitives) :

Un calcul simplifié de la taille du système est effectué sans établir toute relation entre les différents sous-systèmes ou en tenant compte du hasard de la nature du rayonnement solaire.

L'une des approches les plus fréquemment utilisées est le «mauvais mois» méthode. La raison de cette méthode est que si cela fonctionne ce mois-ci, cela fonctionnera pour le reste de l'année [7], Basée sur les étapes suivantes [5]:

- Détermination des besoins de l'utilisateur (estimation de la consommation) ;
- Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique (estimation de l'énergie solaire reçue) ;
- Définition des modules photovoltaïques (Dimensionnement du générateur photovoltaïque) ;
- Définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie (Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs) ;
- Choix d'un régulateur (Dimensionnement du régulateur de charge/décharge) ;
- Plan de câblage ;
- Estimation de coût du système.

D. Dimensionnement d'un kit solaire

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

1. Estimation de la consommation :

a) Choix du type de lampes :

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

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

➤ **Durée de vie** : chercher toujours l'achat de lampes de longue durée de vie, pour éviter tous les problèmes d'achat [8].

➤ **Watt, la puissance** : le watt est l'unité de mesure de la puissance électrique produite par l'ampoule, plus le nombre de watt est élevé plus l'ampoule consomme de l'électricité [8].

➤ **Indice de rendu des couleurs** : Toutes les lampes de l'indice de couleur définies dans le chapitre 2 entre 80 et 100 sont les meilleurs pour l'utilisation de l'éclairage.

➤ **l'efficacité lumineuse** : elle est souvent utilisée notamment par les professionnels de l'éclairage pour déterminer le type de lampe choisi. .

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

b) Energie nécessaire

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

➤ **Choisir le courant des charges** (courant continu ou courant alternatif).

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

$$E_n = P * t$$

➤ **Estimation des pertes électrique** : toute l'énergie produite par les modules n'est pas disponible pour les charges (lampes). Une partie est dissipée par les câbles, les batteries et les régulateurs de charge [9].

➤ **Calcul du besoin énergétique journalier total de l'installation** : totaliser la demande énergétique journalière et les pertes estimées [9].

➤ **La tension de l'installation** : déterminer la tension de l'installation (généralement la tension est égale 12V) [9].

2. Estimation de l'énergie solaire reçue :

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

L'estimation de cette énergie doit tenir compte :

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

a) Données statistiques :

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

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

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

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

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

➤ **L'éclairement direct** : est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil ;

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

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

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

b. Comment orienter et incliner les panneaux :

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

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

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

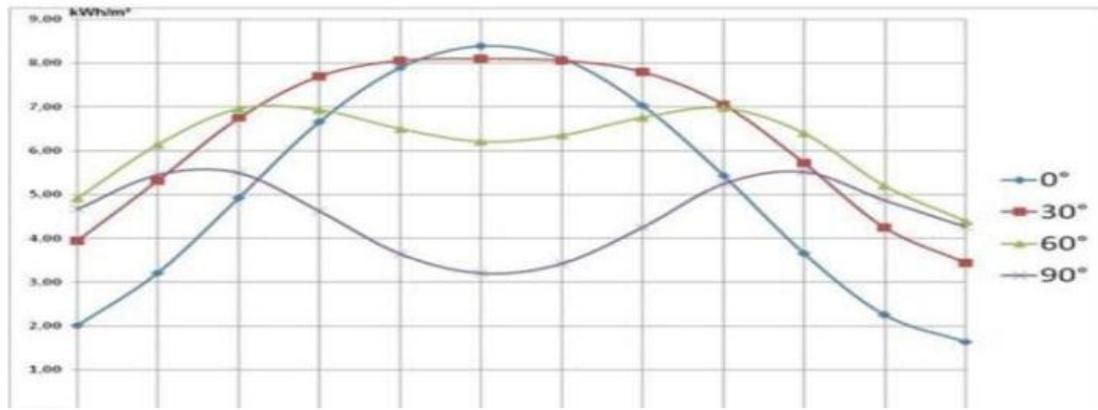


Figure 17: enssoleillement annuelle de différente latitude.

La figure ci-dessus montre l'évolution annuelle d'un bon jour selon la latitude. Pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à latitude du lieu soit $+10^\circ$, ce qui favorise la captation de l'énergie solaire en hiver (quand le soleil est bas) [5, 10].

c) Caractéristiques propre au site :

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

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

1) Dimensionnement du générateur photovoltaïque

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

a) Calcul de la taille du générateur photovoltaïque

Pendant cette étape il faut prendre en considération que le module photovoltaïque n'est pas toujours entouré par ses conditions optimales STC (1000 W/m² à 25°C avec un spectre solaire AM1,5 spectre de ciel clair), pour produire sa puissance crête (puissance délivrée par le module à

condition STC), donc il y a des pertes qui doivent entrer en jeu dans les calculs [5].
Pour calculer la taille de générateur à installer il existe des étapes à suivre :

➤ *Insolation journalière :*

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

$$E_{sol} = N_e * 1000 \quad (3.2)$$

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

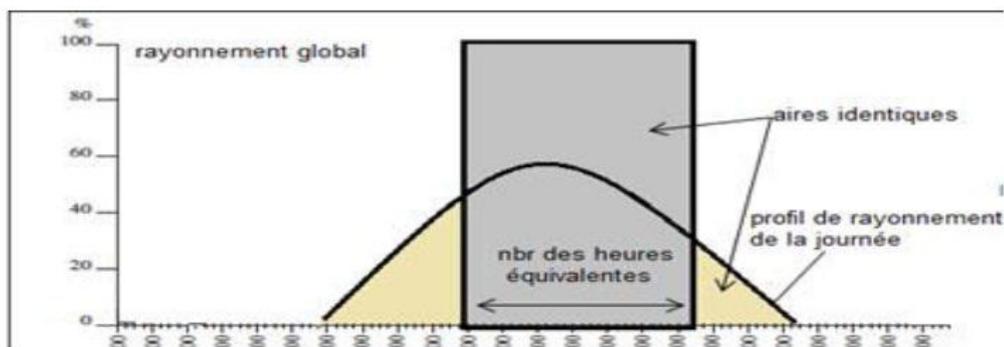


Figure 18: nombre des heures équivalents.

➤ *Pertes électriques :*

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

✓ En l'entrée de rayonnement solaire :

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

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

✓ Les pertes en ligne :

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

Solution : utilisation des régulateurs MPPT.

✓ Effet de température :

c) La température élevée provoque une baisse de tension .

Solution : cette perte est seulement retrouvée dans les pays chauds, l'utilisation de ventilation peut être une solution [5]

✓ Effet de l'éclairement :

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

Solution : déjà abordé dans le calcul d'énergie solaire journalière [5].

✓ La batterie :

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

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

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

Evaluation de C_p :

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

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

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

$$E_{prod} = E_{sol} \cdot P_c \quad (3.3)$$

Puisque le C_p est un coefficient de pertes de courant, et pour calculer la puissance pratique de module, l'équation (3.3) sera divisée par la tension et multipliée par C_p , Comme suit :

$$Q_{prod} = C_p \cdot E_{sol} \cdot I_m \quad (3.4)$$

Avec :

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

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

Pour calculer la puissance nécessaire à l'application, l'énergie produite dans l'équation(3.4) sera remplacée par l'énergie consommée (§ 3.3.1.2) :

$$I_m = \frac{E_n}{E_{sol} \cdot C_p} \quad (3.5)$$

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

b) Choix de type de modules :

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

➤ *Matériaux à mettre en œuvre :*

Pour puissance <10 Wc, il est préférable d'utiliser le silicium amorphe. Pour les puissances entre 50 et 150 Wc et pour les systèmes autonomes, le silicium cristallin est le choix le plus adéquat.

➤ *Type de climat :*

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

➤ *Coût :*

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

c) **Choix de tension de modules :**

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

Tableau 2: Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.

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

2) **Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs :**

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

a) **Déterminer l'offre locale compatible avec le budget :**

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

➤ **Prix :** Le coût est important et est l'un des premiers paramètres à considérer en fonction des nécessités de l'installation [9].

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

b) Calcul de la capacité de la batterie

La capacité nominale d'une batterie est donnée généralement pour une décharge en 20 h (notée C20) à la température de 25° C [9].

La capacité de batterie requise dépend de trois facteurs essentiels :

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

La forme de la capacité de batterie est :

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

Avec :

C_u :La Capacité de la batterie en Ah.

V_b :La Tension de la batterie (V).

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

Nja : Nombre de jours d'autonomie.

Dmb : La profondeur de décharge maximale de la batterie.

c) Type de batterie et réglage du régulateur de charge :

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

d) Contraintes d'entretien et durée de vie de la batterie :

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

3) Choix du régulateur de charge/décharge :

Dans un système photovoltaïque autonome, le régulateur de charge a une fonction primordiale. Il protège toute l'installation et notamment la batterie qui est l'élément le plus sensible. Il est donc essentiel de choisir un bon régulateur car ce composant influence grandement la durée de vie du système, et le prix du kWh final. Il existe de nombreux modèles de régulateurs du plus simple au plus sophistiqué. Son rôle est de protéger la batterie contre les surcharges et décharges profondes. Le régulateur augmente donc la durée de vie de la batterie en lui évitant des états extrêmes [11].

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

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

Le dimensionnement du régulateur s'effectue selon les 4 critères suivants :
Tension nominale (12, 24 ou 48 VDC) : elle doit être celle du champ photovoltaïque [11].

1) La puissance maximale du champ photovoltaïque doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur.

2) La tension à vide du champ photovoltaïque (majorée par le coefficient de sécurité) doit être inférieure à la tension maximale.

3) Le courant de sortie du champ photovoltaïque ne doit pas dépasser le courant maximal admissible par le régulateur.

4) Le régulateur doit être compatible avec la tension du parc de batteries.

a) Les critères de choix des régulateurs :

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

b) Gestion de régulateur de charge :

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

4) Câblage :

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

a) Plans du site :

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

b) Section de câbles de chaque circuit :

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

c) Calcul de la chute de tension le câble électrique :

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

$$\varepsilon = \frac{r \times L \times I^2}{S}$$

Avec S : section du câble (mm²).

L : longueur de câble (m)

I : courant max utilisé (A)

r : résistivité du cuivre (Ω/m)

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

➤ *Remarque :*

- Toute l'installation solaire photovoltaïque comporte des câbles permettant le passage de l'électricité du panneau à la batterie puis de la batterie aux charges et pour que la transmission soit efficace, il faut que les câbles et appareillages soient bien adaptés en termes de section et caractéristiques [9].

- Les installations photovoltaïques utilisent au moins du 2.5 mm². Les câbles tresse souples, et deux brins de 2.5 mm², sont idéaux pour des nombreux circuits de distribution en 12V [9].

- Les installations AC ou DC de plus fort puissance on utilise des câbles à trois fils comportant un fil de terre.

5) Dimensionnement des pièces du lampadaire :

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

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

Le mât : est une pièce généralement verticale (support est forcément fixé au sol).
Caractéristiques de mat d'éclairage :

- Hauteur de Mat : 3.5 à 7 m ;
- Hauteur total (mat + panneau) : 5 à 10 m ;
- Diamètre : 0.2 à 0.3 m ;
- Epaisseur Moyenne (m) : 0.012 m ;
- Poids de mat : 83.6 à 196.1 kg ;
- Section max de luminaire : 0.17 m² ;
- Poids max de luminaire : 16 kg Dimension max de panneau solaire : 1.6*1 m ;
- poids max du panneau solaire + support : 50 kg ;
- Fixation au sol : 0.896 à 2.304 m³.

6) Choix de types d'implantation :

Les type d'implantations dépendent de certains critères [13] :

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

7) Distances inter-luminaires :

a) Critère de choix d'un luminaire :

Choix en fonction du rendement lumineux :

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

- Choix en fonction de l'assemblage, du montage et de la maintenance
Tous les luminaires doivent être construits de manière à pouvoir supporter des contraintes normales de montage et d'utilisation [14].

- Choix en fonction de la puissance des lampes :

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

- Choix en fonction de la qualité acoustique :

Un léger ronronnement peut être transmis du ballast au luminaire et être amplifié. Il faut donc utiliser certains dispositifs pour minimiser la transmission de bruit sans perturber les transferts de chaleur. Ce problème n'existe pas avec les ballasts électroniques (chapitre 2) [14].

- Choix en fonction du prix :

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

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

b) Les configurations conditionnent le choix du luminaire :

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



Figure 19: Avancée et inclinaison .

c) Calcul des distances inter-luminaire :

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

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

Défilé : e est mini ;

Semi-défilé : e est max.

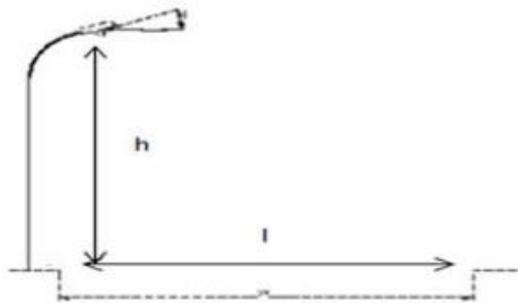


Figure 20: largeur et hauteur.

- Implantation unilatérale et axiale :

$$h/l \geq 1 \quad e = 3 \text{ à } 3,5 h$$

• Implantation bilatérale :

$$h/l \geq 1/2 \quad e = 3 \text{ à } 3,5 \text{ h}$$

8. Coefficient de pertes

Plusieurs pertes interviennent dans les systèmes photovoltaïques tels que voir (Figure)

Tableau 3 : les types des pertes

Nature de perte	Perte (%)	Observation	
Pertes liées au faible éclaircissement	Faible	Pertes à minimiser en fonction de la technologie des modules	
Coefficient global de perte	Compris entre 0.65 et 0.90		

9. Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux

Pour optimiser au mieux la production l'énergie d'une installation solaire. Il est très important de ne pas sous-estimer l'importance de l'inclinaison et d'orientation du panneau solaire.

Les critères à prendre en compte pour un rendement optimal des panneaux. Avant de commencer nous expliquons brièvement les termes :

• **L'inclinaison** est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale.

• **L'orientation** est l'angle entre le panneau solaire et l'axe plein Sud. A 0° l'angle de l'orientation correspond à un panneau faisant face au Sud, à l'Est ou l'Ouest, 180° au Nord. [13].

10. Estimation de coût :

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

Tous ces éléments sont rassemblés dans l'équation suivante :

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

Avec :

B : est le coût totale ;

m : est soit matériel, équipement ou manœuvre ;

p : est le prix de chaque m.

Conclusion :

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

*Chapitre 03 : Conception et
dimensionnement d'éclairage solaire à
l'université de Blida*

Introduction

Les lampadaires solaires autonomes sont des solutions idéale pour éclairer les routes, les parkings mais aussi les parcs, les ronds-points ou les abribus, c'est notamment grâce à leur installation simple, rapide et économique.

Après avoir parlé de l'importance de l'éclairage solaire et des méthodes modernes utilisées dans ce domaine et présenté théoriquement la méthode simplifiée de dimensionnement d'un kit solaire photovoltaïque, on va l'appliquer dans ce chapitre pour évaluer le coût global de l'installation de l'éclairage extérieur par voie photovoltaïque , ce travail a été entrepris pour l'Université de Blida 1.

Dans cette étude, on cherche à Utiliser l'énergie solaire pour éclairer complètement l'université, en utilisant le programme DIALux evo afin de concevoir un nouveau système de distribution de lampes à l'université et un système d'éclairage autonome moderne.

I. Description du travail effectué :

Dans ce travail notre but c'est de donner une proposition d'un éclairage public qui utilise que l'énergie solaire photovoltaïque pour l'université Saad Dahlab Blida 1.

On va faire une planification complet pour une nouvelle conception d'éclairage professionnelle avec logiciel DIALux evo version 9.2 pour toutes l'université ,on va calculer et visualiser l'éclairage des espaces extérieurs.

On va utilisé deux types de lampadaires travaillent avec la technologie LED , le premier et un lampadaire autonome solaire de la marque Phillips de type ' ALL IN ONE ' c'est-à-dire il ne besoin pas de sources d'alimentations il à juste besoin d'implantation et d'orientation correcte on va l'utilisé dans les zones ou y à pas d'ombrage , le deuxième lampadaire aussi et un lampadaire LED mais il n'est pas autonome on va l'utilisé dans les zones d'ombrage donc on va dimensionner un kit solaire photovoltaïque pour alimenter ces lampadaire , Ce kit doit être adapté aux normes internationales et garder la même efficacité avec un faible coût. Les données radiométriques et météorologiques utilisées concernent le site de Blida.

1. Présentation du site du projet :

La wilaya de Blida est située au Nord de l'Algérie à 47 km au sud-ouest d'Alger, au pied du versant nord de l'Atlas blidéen et au Sud de la plaine de la Mitidja, à une altitude de 260 mètres.

L'Atlas tellien protège la ville des vents secs du sud en provenance des Hauts Plateaux. Cette protection permet à la région de bénéficier d'un climat méditerranéen propice à l'agriculture avec un été chaud, durant les mois (juin juillet aout), les températures atteignent des seuils maximum (jusqu'à 45°). par contre aux mois de décembre et janvier les températures peut atteindre parfois 0°.

Les coordonnées géographiques de Blida sont :

Latitude: **36.4833°** (36° 28' 60" Nord)

Longitude: **2.83333°** (2° 49' 60" Est)

Altitude par rapport de la mer : 229m.

2. Site d'expérimentation :

L'université de Blida est une université publique algérienne 1 implantée dans la ville de Blida exactement dans la commune de Ouled Yaich, Créée conformément au décret exécutif n° 89-137 du 1^{er} août 1989 portant création de l'université de Blida., Elle porte le nom de Saâd Dahlab, un ex-homme politique algérien.



Figure 21: Site de L'université Saad Dahlab Blida 1.

II. Conception d'éclairage avec logiciel DIALux evo :

a) Logiciel DIALux evo :

DIALux est un logiciel développé par l'entreprise DIAL GmbH, plateforme de services pour les techniques du bâtiment et de l'éclairage.



Figure 22: Logo de Logiciel Dialux evo 9.2

DIALux est un outil de planification complet et de haute qualité qui fournit gratuitement toutes les fonctions nécessaires à une conception d'éclairage professionnelle.

Il permet de calculer et visualiser l'éclairage des espaces intérieurs et extérieurs. Des bâtiments entiers et des pièces individuelles, aux parkings et à l'éclairage routier, avec un éclairage artificiel et la lumière du jour. DIALux accompagne dans la vérification des normes régionales ou internationales et aide à documenter cette vérification [3].

Le travail a été développé en utilisant la dernière version DIALux evo 9.2

DIALux possède quelques catalogues aident à la construction des projets ,un catalogue qui contient plus de 55 000 luminaire de toutes les marques internationales et un autre contient toutes sortes de matériaux de construction et de peinture, ainsi que des modèles de diverses choses telles que des voitures et des bâtiments..Etc [3].

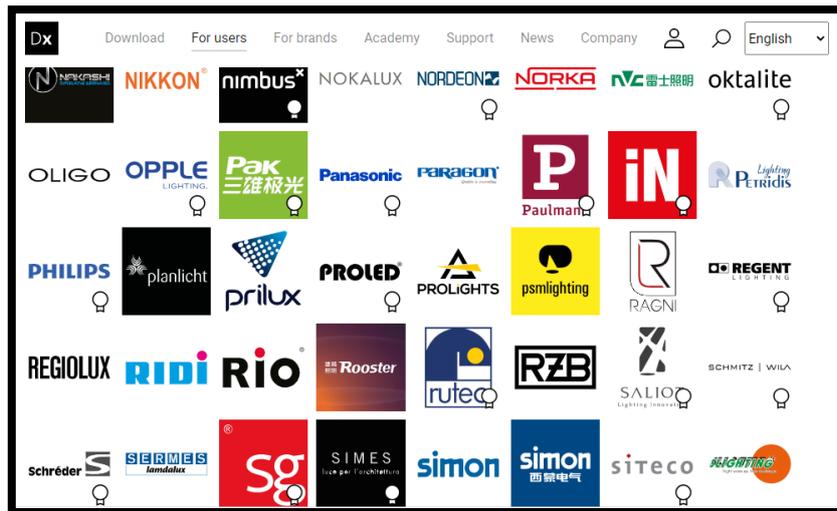


Figure 23: quelques marques en paternité avec dialux

b) Réalisation du projet :

Notre But c'est de dimensionner un kit photovoltaïque pour l'éclairage public de notre université Saad Dahlab , Avant de faire ce dimensionnement on va faire une nouvelle conception d'éclairage et Une nouvelle répartition des pôles électriques, en tenant compte de la longueur des pôles et de l'intensité de la lumière provenant les luminaires que nous utiliserons, et en utilisant le DIALux nous allons travailler pour avoir une intensité confinée entre 15 lx et 30 lx.

1) Chargement du plan DWG dans DIALux :

Pour faire ce travail, nous avons besoin d'un plan de l'université sous la forme DWG (AUTOCAD) et on à l'obtenu par l'administration de l'université.

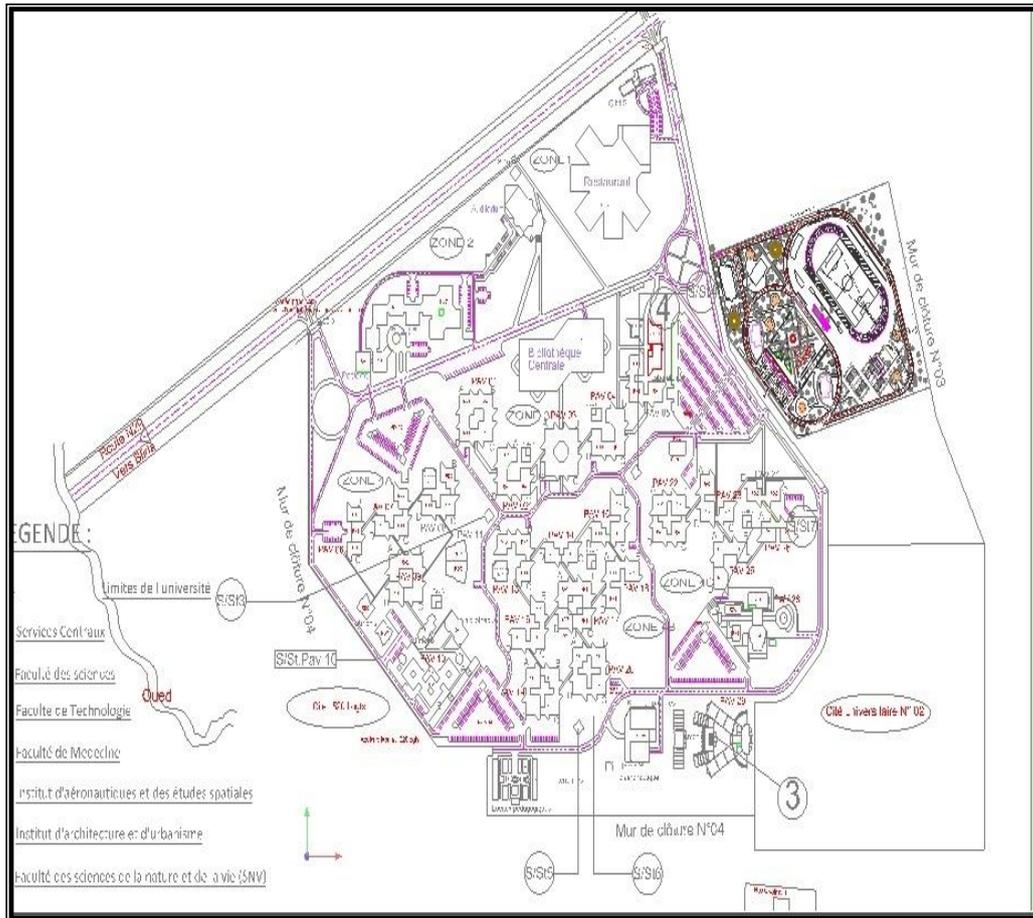


Figure 24: Plan sous la forme DWG de l'USDB

Et pour faciliter le travail, et d'obtenir des résultats précis, nous coupons le plan en 5 zones principales.

On va montrer les détails de travaux d'une seule zone, sachant que nous avons fait le même travail avec chaque zone, et nous afficherons les résultats de toutes les zones à la fin.

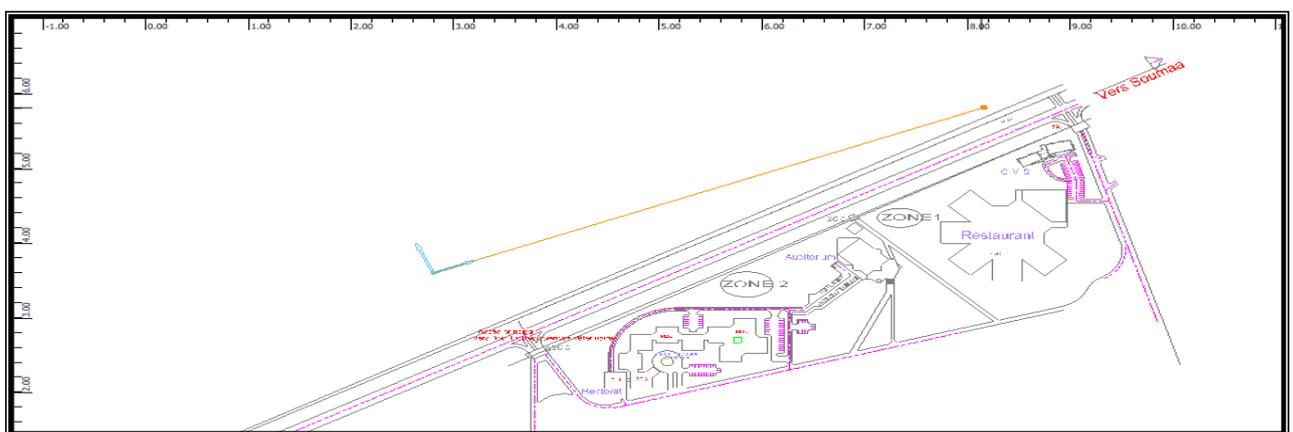


Figure 25 : Figure 25.Zone 1

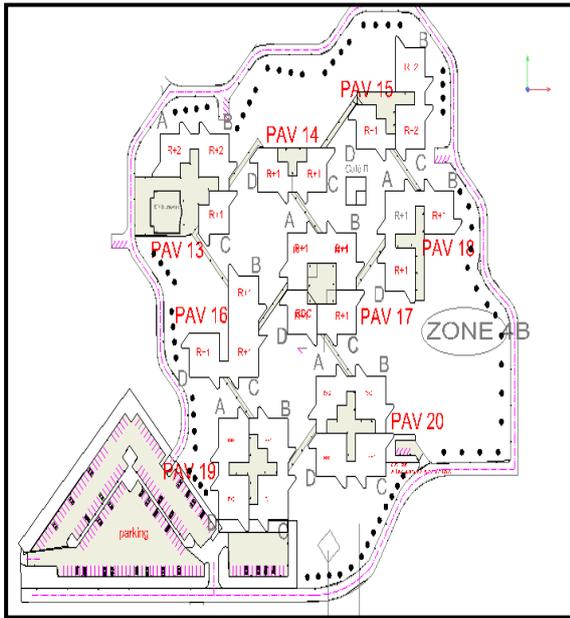


Figure 26 : Zone 2

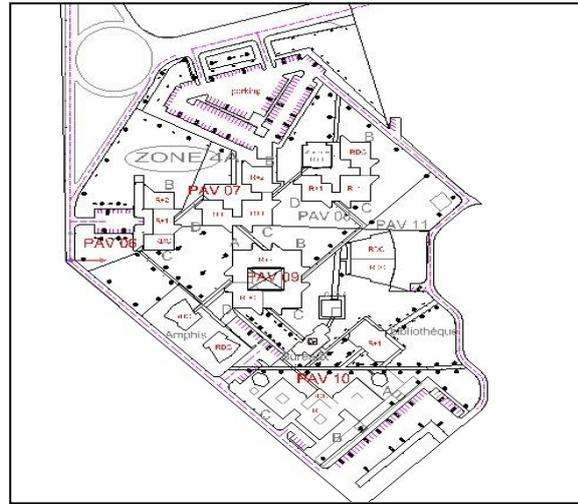


Figure 27 : Zone 3

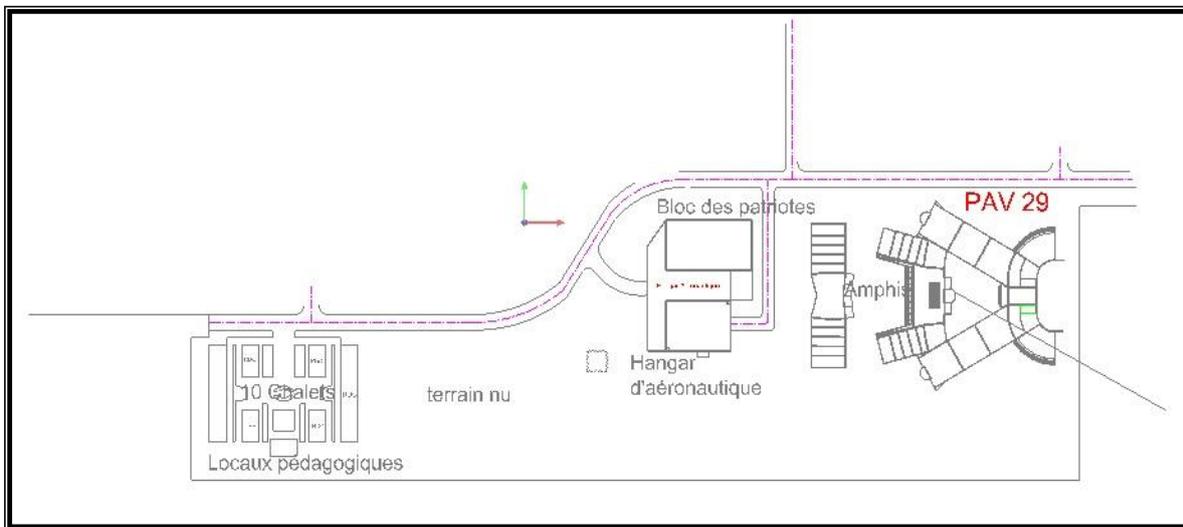


Figure 28 : Zone 5

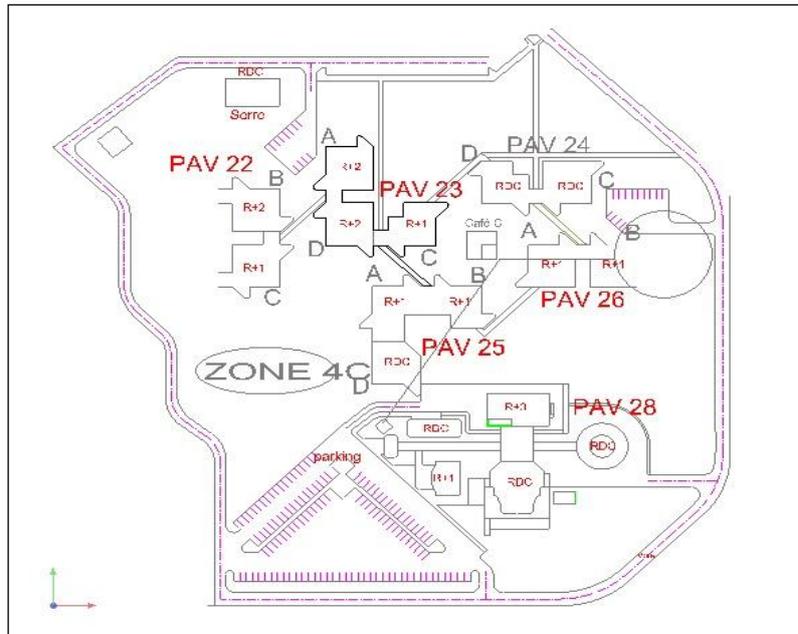


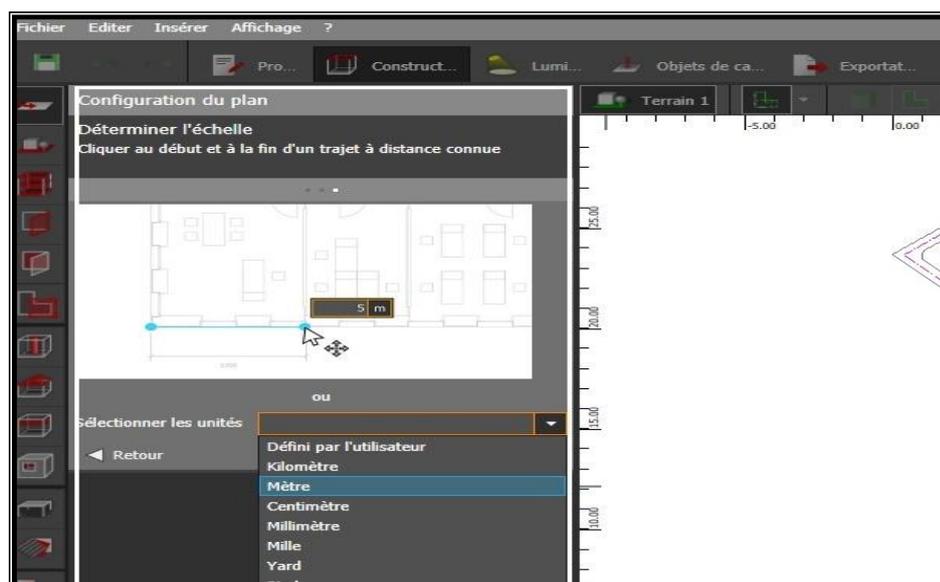
Figure 29 : Zone 4

2) Construction des édifices et du routes :

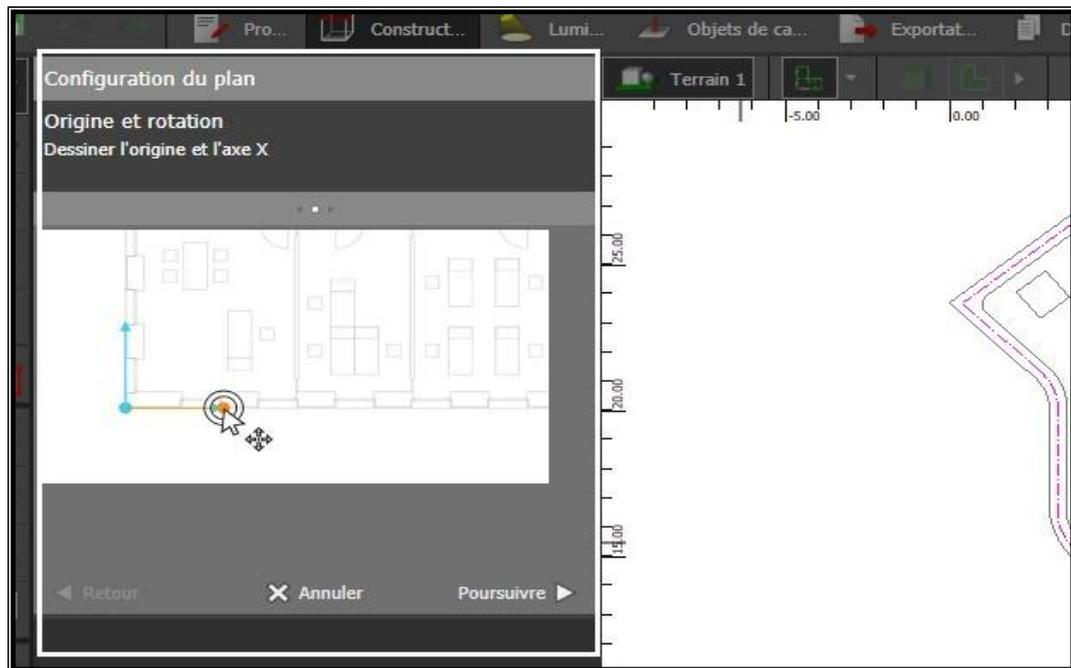
La première étape de la construction c'est de charger le plan de la forme DWG dans DIALux.

Après il faut définir l'origine et l'axe x du plan ainsi que l'échelle et l'unité de calcul.

1: sélectionnement des unités utilisées :



2: origine et rotation :



Après cette étape on commence à dessiner tous les edifices (les batiments..etc) en cliquant sur terrain et après " dessiner une nouvelle édifice ",on va travailler sur le 2D puis on va voir les Résultats en 3D.

On continue à sélectionner tous les Bâtiments et les édifices du plan avec la capacité de contrôler le nombre d'étages et la hauteur totale de l'édifice.

Après de sélectionner les édifices, Nous passons à l'étape de la conception des routes et des chemins et les éléments au sol du plan:

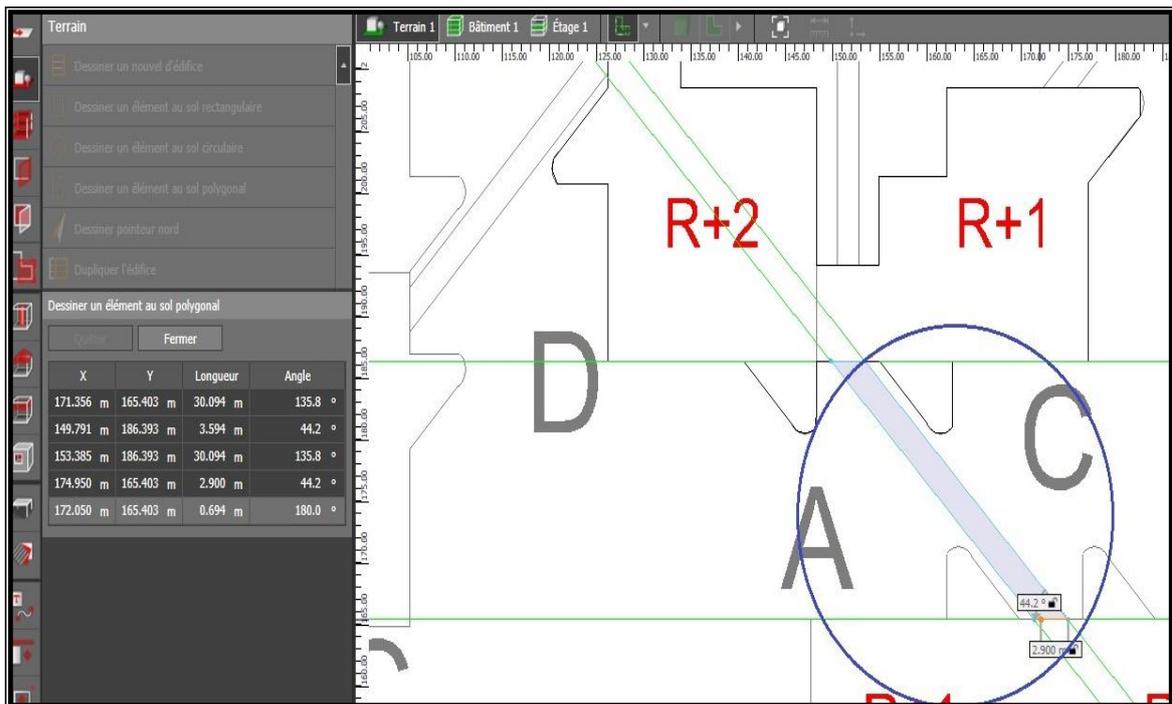


Figure 30: Construction des éléments au sol

Lorsque nous ouvrons la forme 3D, nous obtenons un modèle du bâtiment et du chemin sélectionné

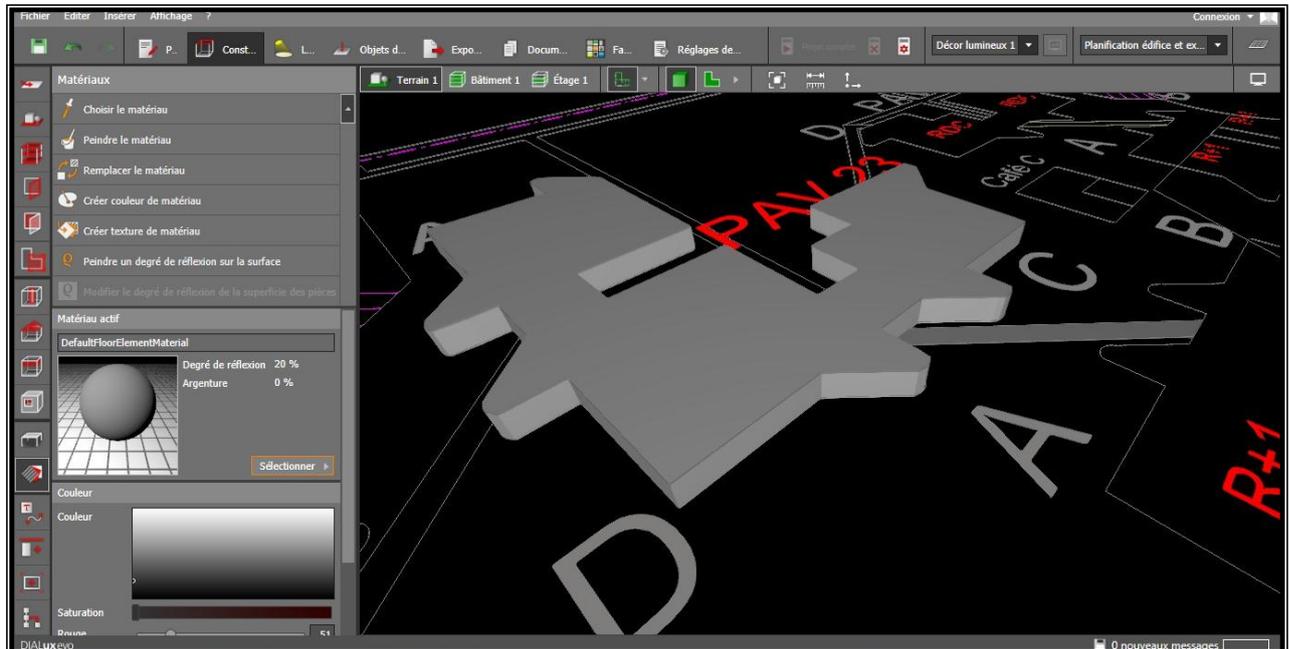


Figure 31: Vue 3D sur le plan

Nous pouvons peindre le bâtiment à notre guise et ajouter des choses telles que l'herbe, les arbres, les voitures, le type de sol et d'autres éléments disponibles dans DIALux et ça c'est on allons aux icones 'Meubles et objets et Matériaux ', on trouvera des catalogues contiennent tout ce que nous avons besoin.

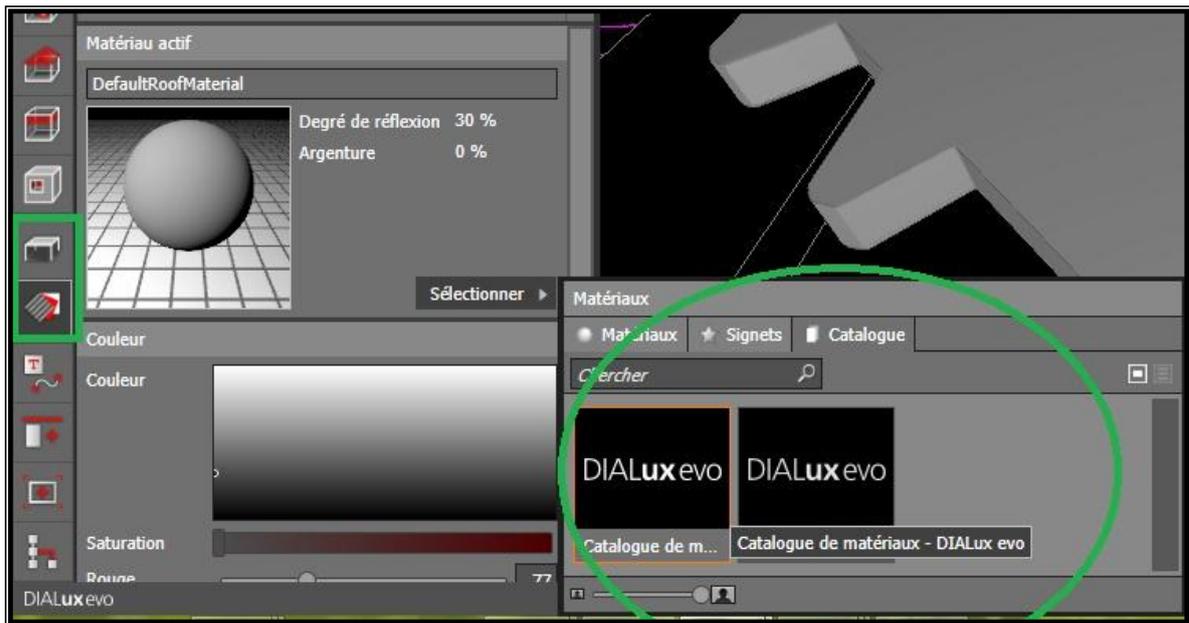


Figure 32:matériaux et catalogues

Nous complétons la construction de tous le plan de la même méthode avec tenir compte de tous les détails et voila les résultats :

Plan 2D

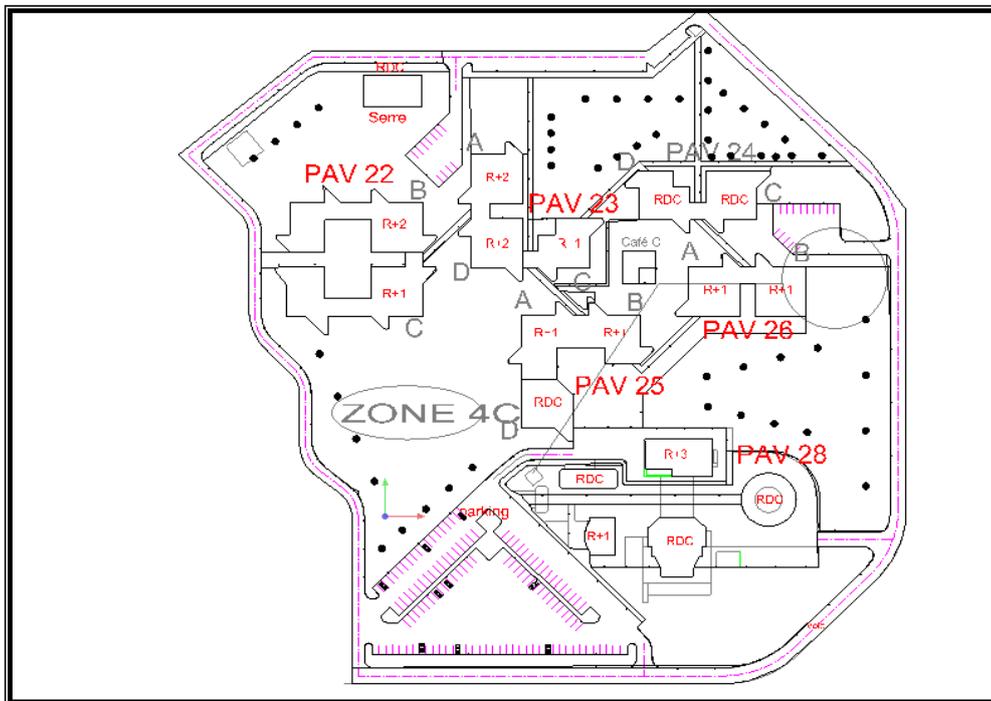


Figure 33:Plan 2D de la zone 4

Plan 3D

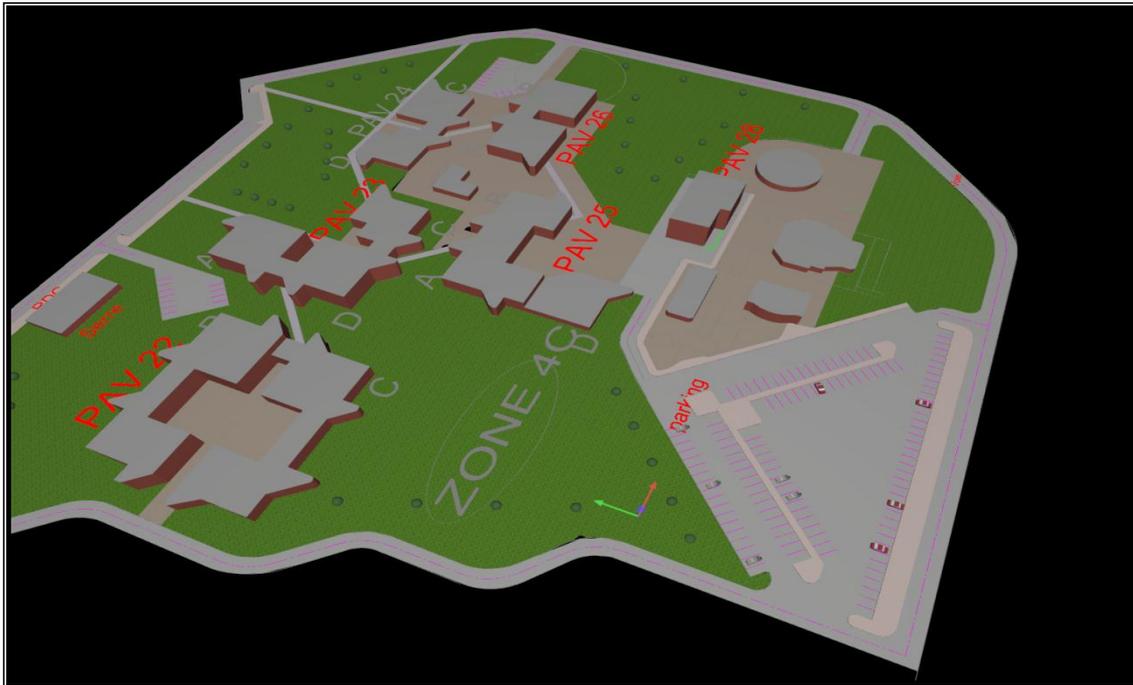


Figure 34: Conception de Plan 3D de la zone 4



Figure 35: autre vue 3D de la conception de la zone 4

c) Luminaires :

Nous allons maintenant expliquer comment choisir les luminaires et la répartition appropriée pour eux.

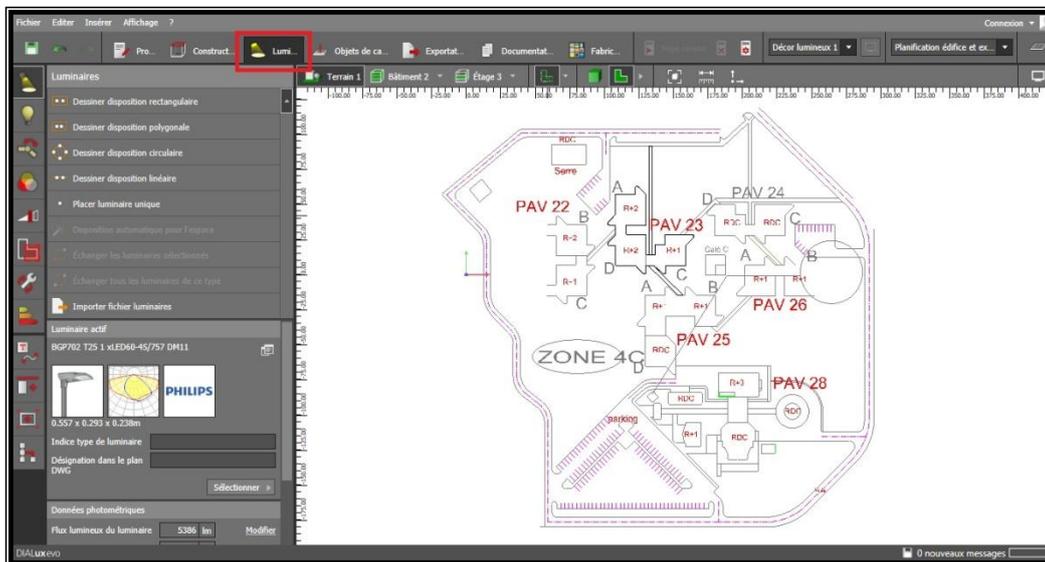


Figure 36: Étape de répartition de luminaires

a) Choix du luminaire

La première étape est de choisir le luminaire qui correspond à nos besoins. Et comme nous l'avons dit plus tôt, DIALux est sous contrat avec de nombreux fabricants et contient plus de 55000 luminaires dans ces catalogues.

On a choisi 2 types de luminaires de la marque Philips qui sont disponibles dans le marché local.

Pour les zones ombragées :

- **Phillips Luma gen2 :**



- **Sunstay BRP710**



Figure 37: lampadaire Sunstay BRP710 solaire



Figure 38: lampadaire Sunstay BRP710 solaire

On à utilisé ce lampadaire pour les zones non ombragés

b) Distribution du luminaire:

On sélectionne dans le catalogue de Phillips le luminaire correspond pour notre zone et l'on place dans la zone qu'on veut l'éclairé, Dans les zones ou y à pas d'ombrage on à travailler avec **Sunstay BRP710 LED60** Afin de réduire la capacité et le coût de la centrale photovoltaïque qu'on va dimensionnera pour l'éclairage des zones ombragé, et dans ces zones d'ombrage on à travailler avec **luma Gen 2**.

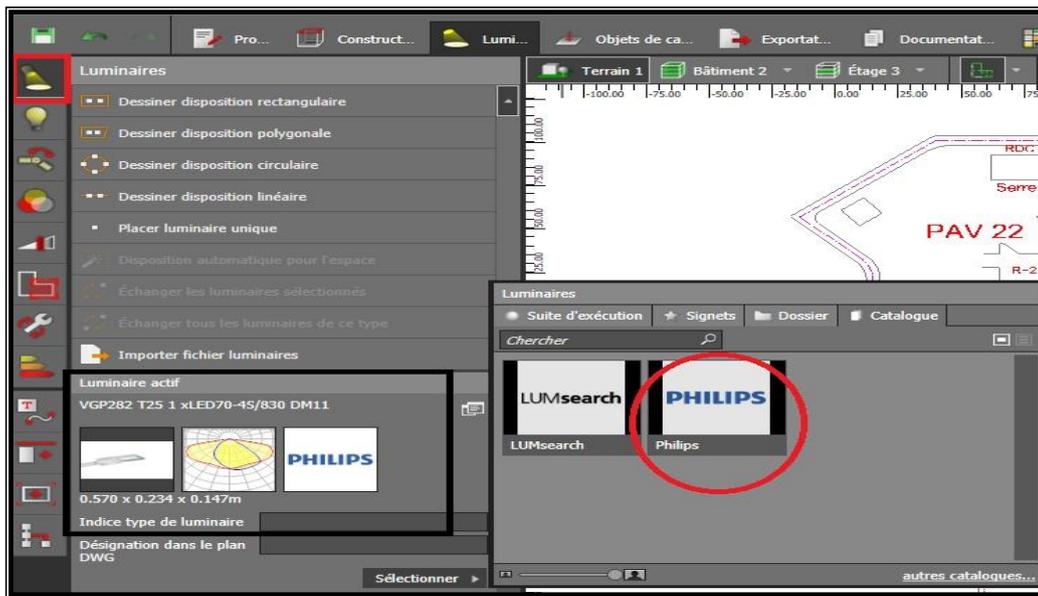


Figure 39: Choix de lampadaire

1. Distribution des luminaires dans les zones non ombragées :

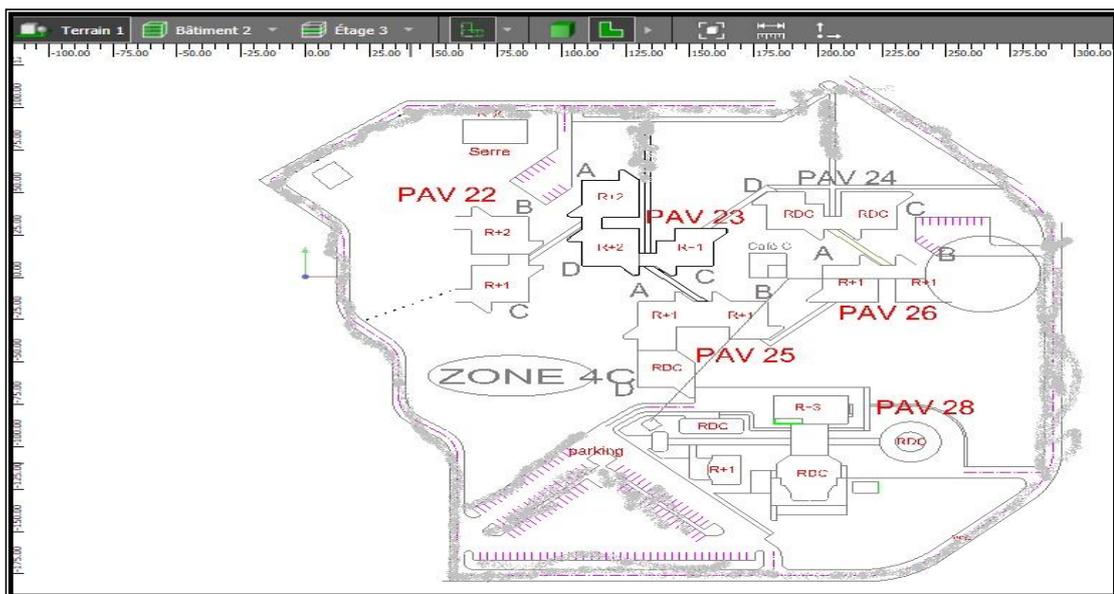


Figure 40: Zones non ombragées

La zone marquée en gris ne sont pas exposée à aucun type d'ombre, nous pouvons donc utiliser le luminaire solaire **Sunstay**.

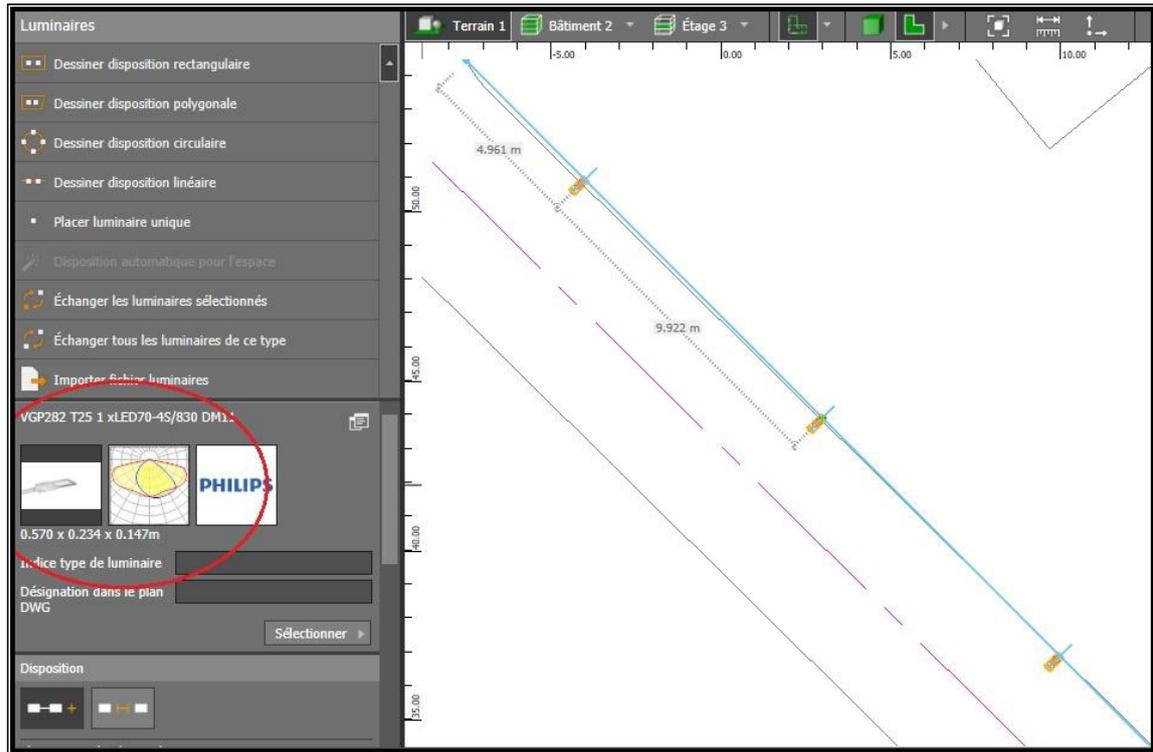


Figure 41 : Planification du luminaires

Nous mettons les luminaires, en tenant compte de leur nombre de chaque côté, et nous découvrirons s'il y a une augmentation ou une diminution du nombre après avoir fait et activé l'objet de calcul.

• **disposition et l'orientation du luminaire :**

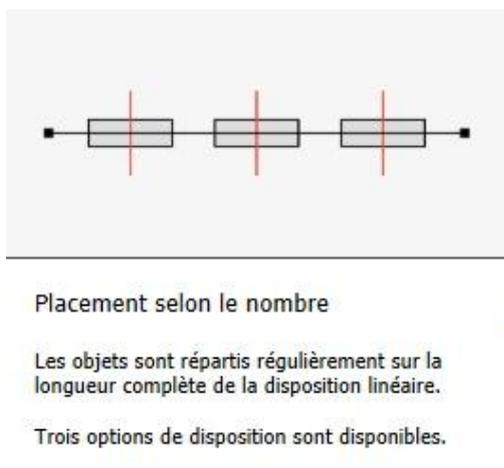


Figure 42: Disposition du luminaires

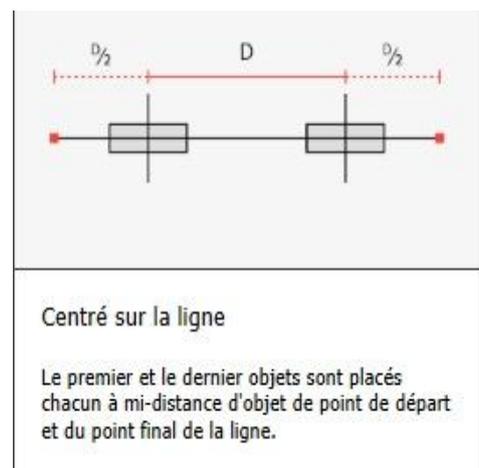


Figure 43: Orientation du luminaires

- **Rotation et méthode de montage :**

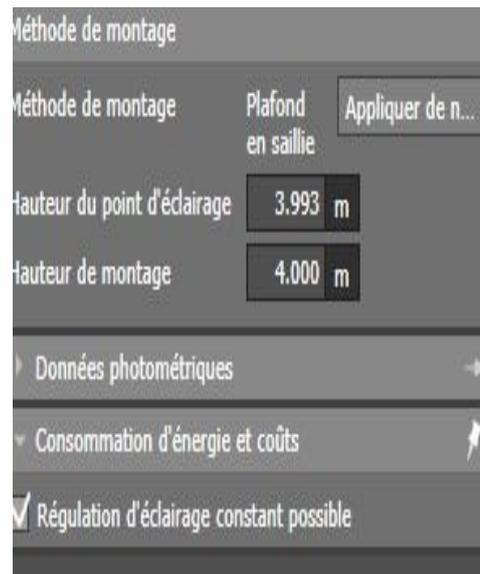


Figure 44: Méthode de montage

Figure 45: Rotation de luminaires

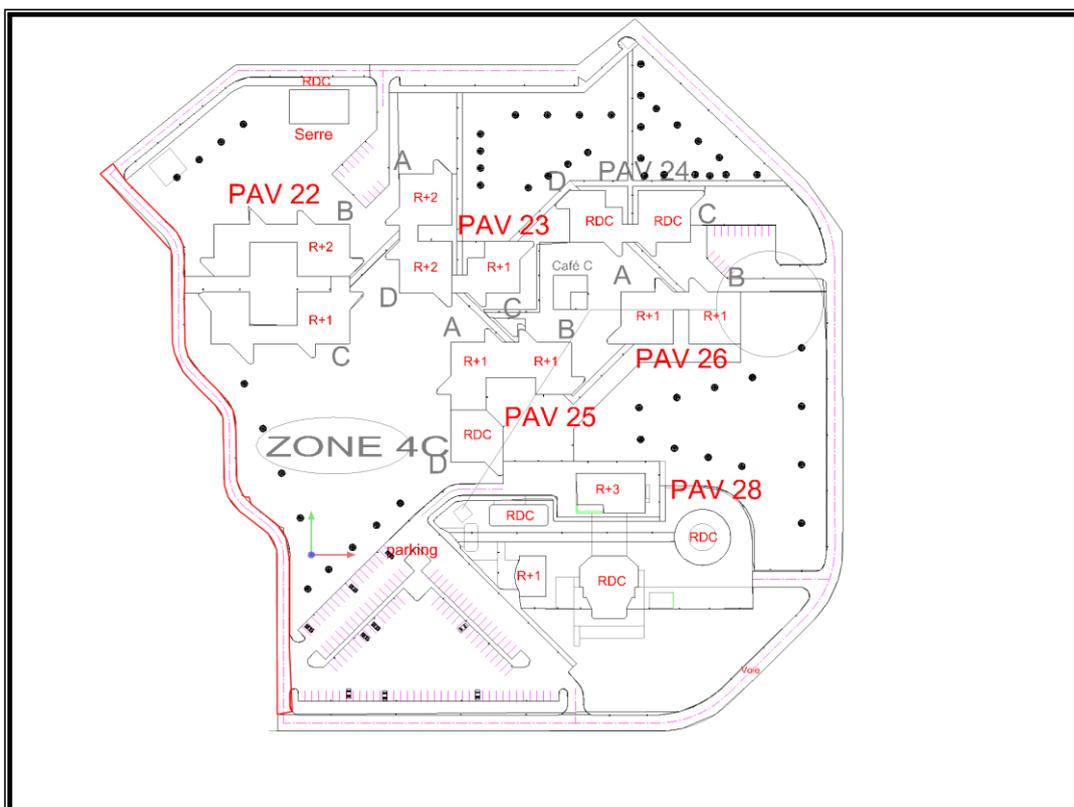


Figure 46: Plan 2D de la zone après la distribution du luminaire

2. Distribution dans les zones les zone ombragés :

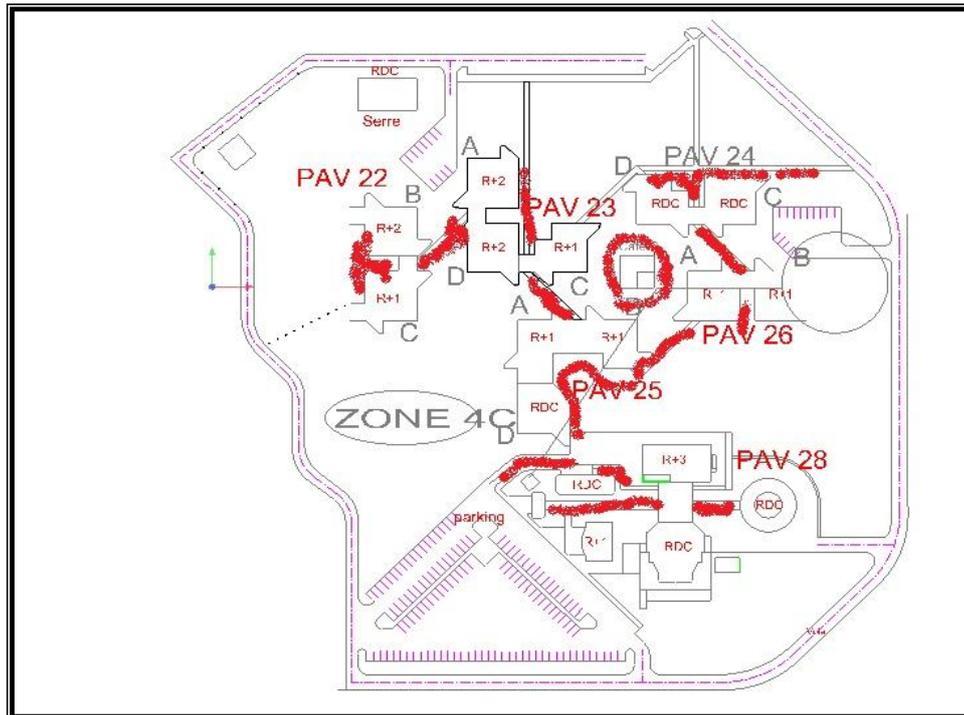


Figure 47: Zones ombragé

Dans ces endroits marqués en rouge, il y a un fort pourcentage d'ombre dû aux bâtiments, et donc on ne peut pas utiliser les luminaires solaires Unistreet Gen2, on à choisit les luminaires Luma gen2 de la marque phillips. Et avec le même principe, on distribue les luminaires à l'aide DIALux avec quelque changements, et ensuite on vas faire un dimensionnement pour alimenter ces zone en photovoltaïque.

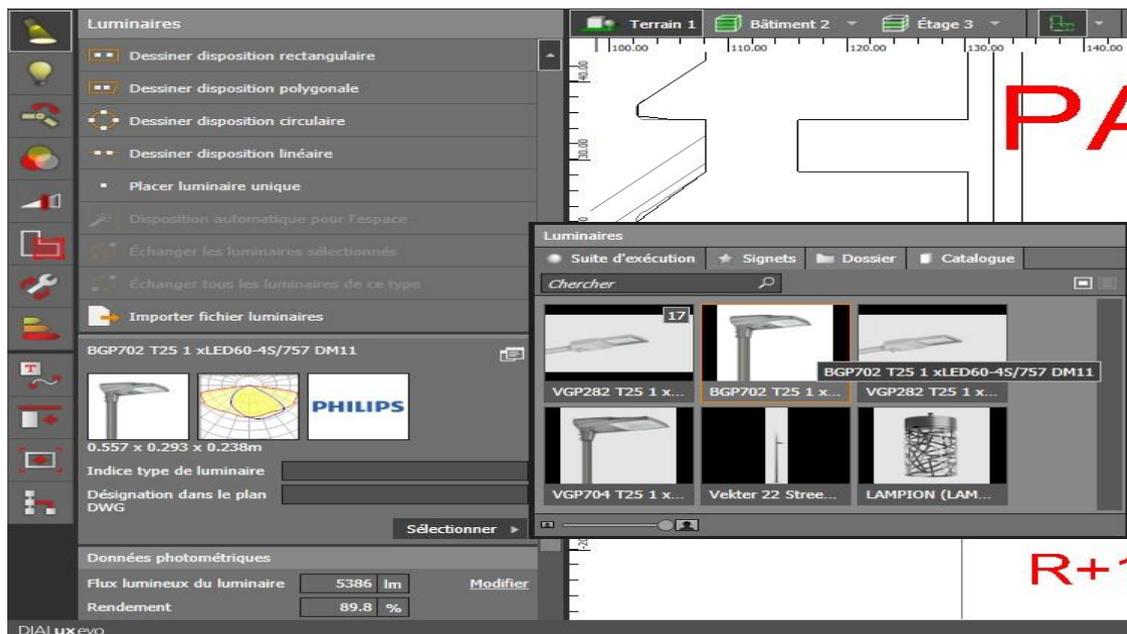


Figure 48: Changement de type de luminaire

Nous changeons d'abord le luminaire et on sélectionne le luminaire Luma gen2 en nous distribuons les détecteurs de la même manière que nous avons distribué les détecteurs solaires.

On garde tous les caractéristiques (l'orientation ,Distribution , Rotation) sauf La hauteur du montage sera changé.



Figure 49: Changement de la hauteur de point de l'éclairage

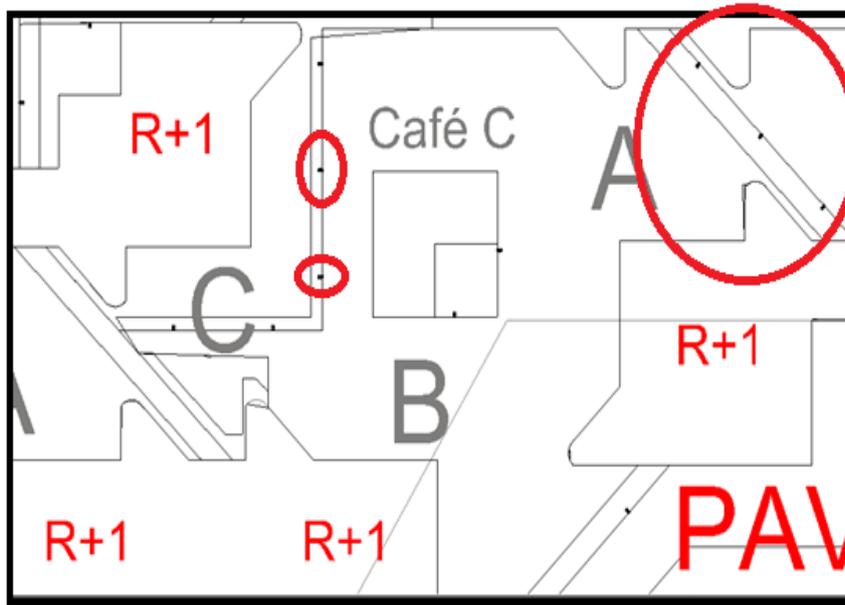


Figure 50: Distribution de luminaires dans les zones d'ombrage

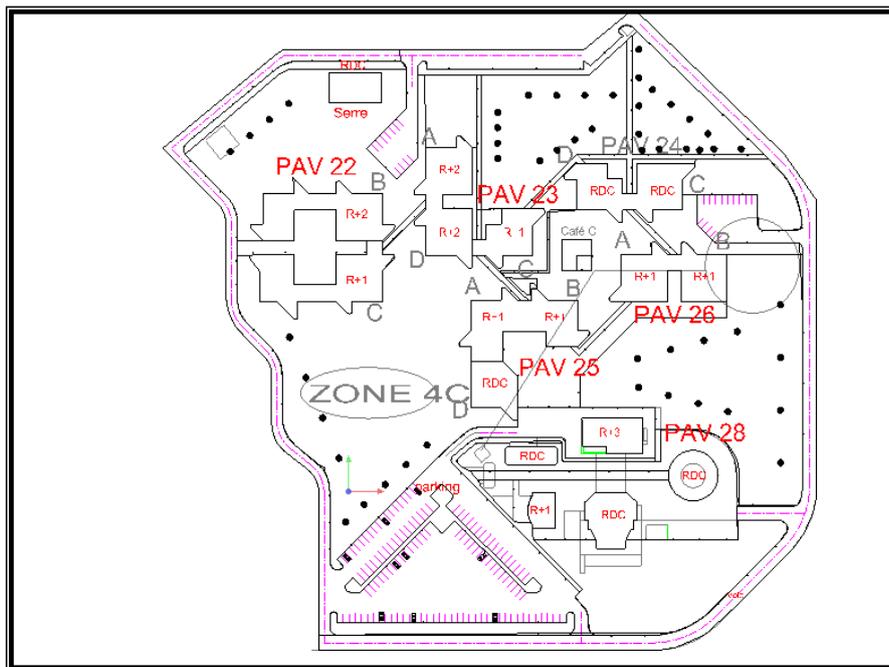


Figure 51 : Plan après la distribution et l'emplacement des objets

c) Objets des calculs :

C'est la dernière étape, où DIALux calculent l'intensité de l'éclairage dans les zones de calculs que nous avons sélectionner auprès de les endroits Où avons-nous mis les détecteurs, et le résultat du calcul ne doit pas dépasser 30 lx et pas moins de 15 lx.

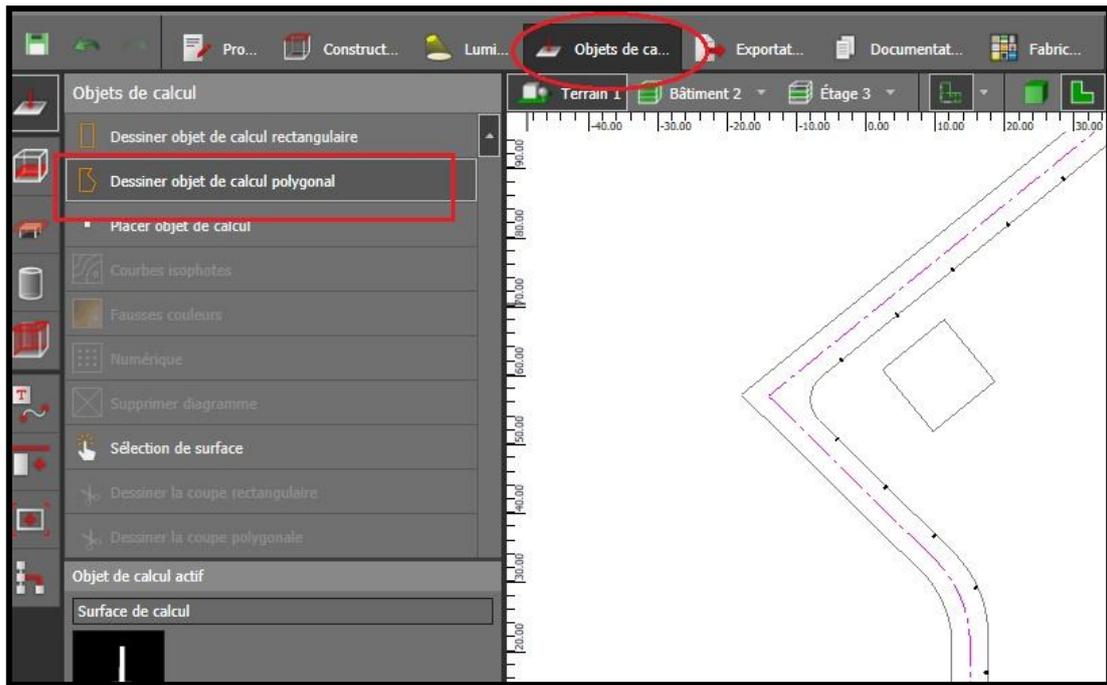


Figure 52: étape de calcul

Nous dessinons la zone dans laquelle nous voulons calculer l'intensité de l'éclairage et en démarre le calcul Rapide.

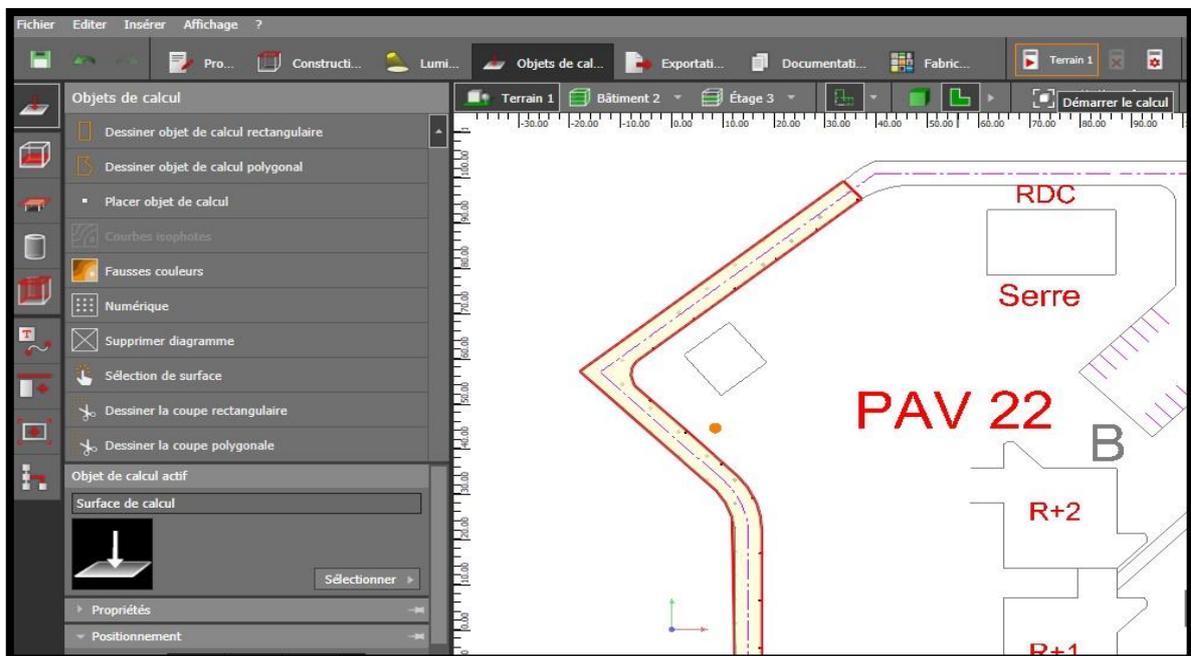


Figure 53: une surface de calcul

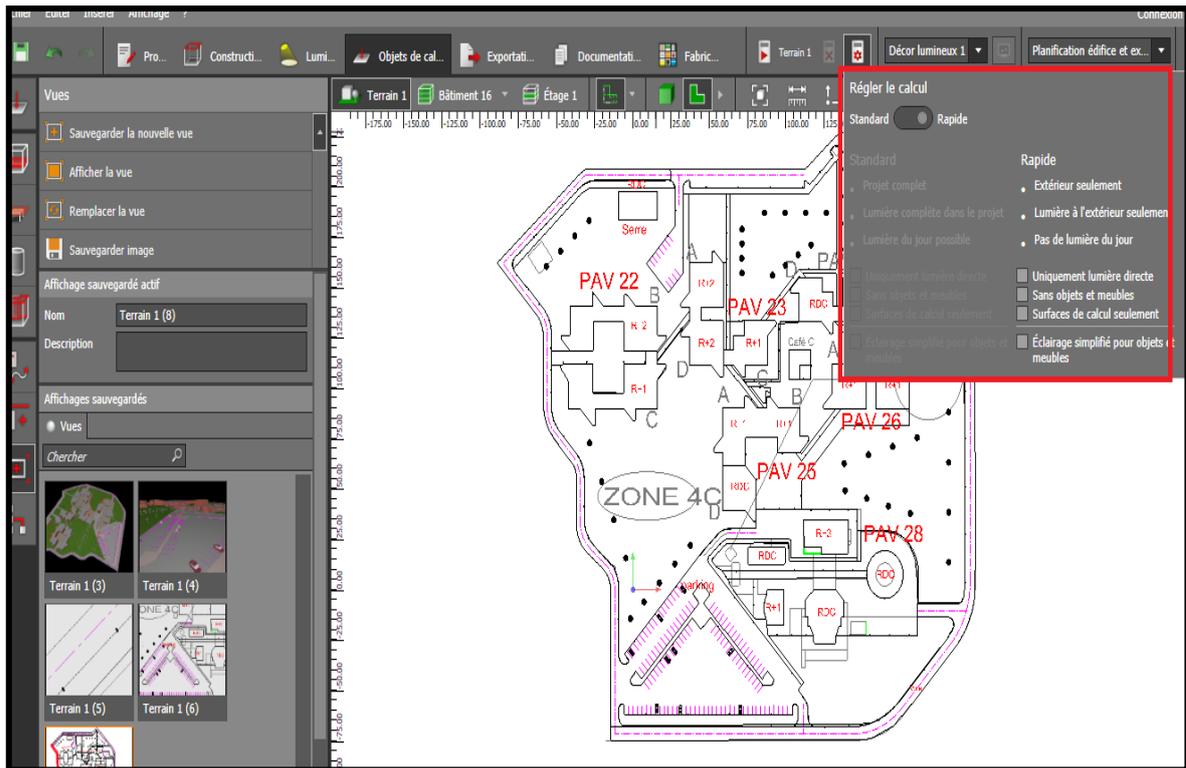


Figure 54: changement de règles de calcul

Ensuite, nous vérifions les résultats

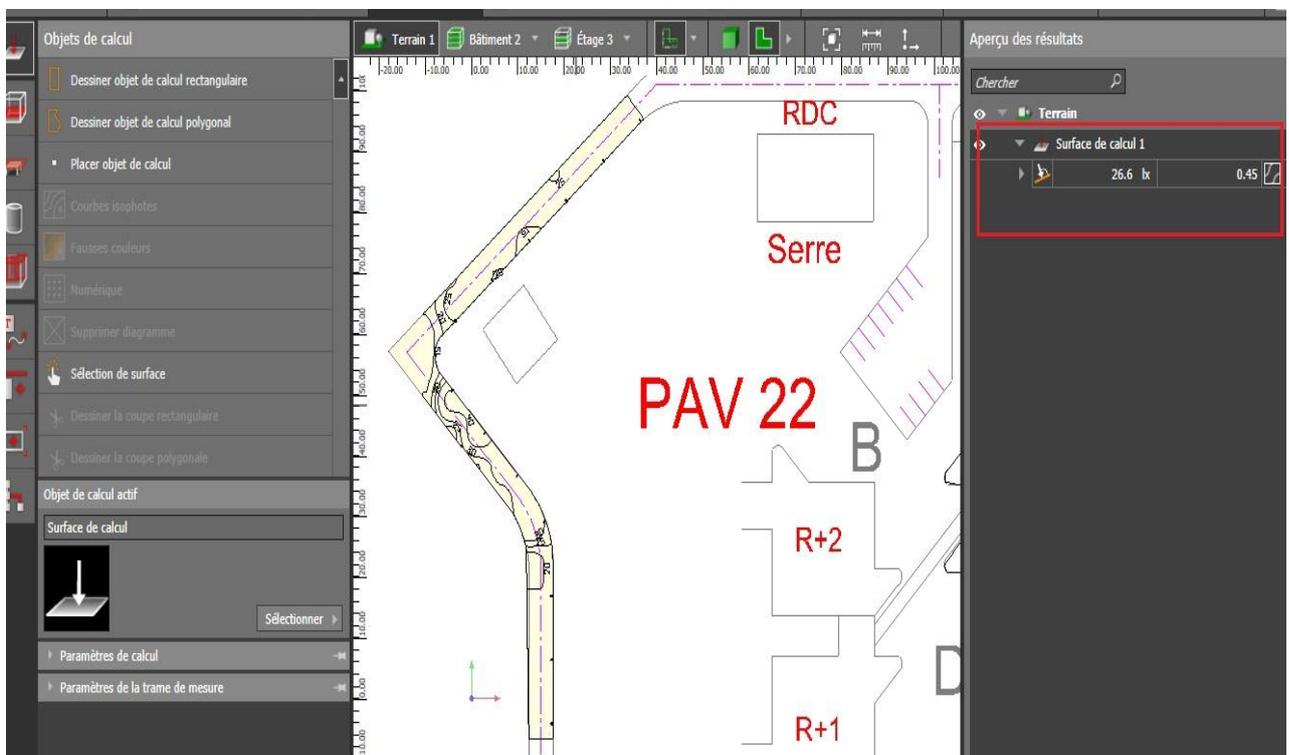


Figure 55: Résultats de calcul

Dans cette région, nous trouvons que notre répartition des détecteurs est correcte, car le rapport égale à 26 lx et il est dans l'intervalle 15 lx ; 30 lx.

Et de la même manière nous complétons notre distribution d'éclairage dans toute la zone 4 et toutes les autres zones de l'université qui ne sont pas exposées à l'ombre Et voila les résultats :

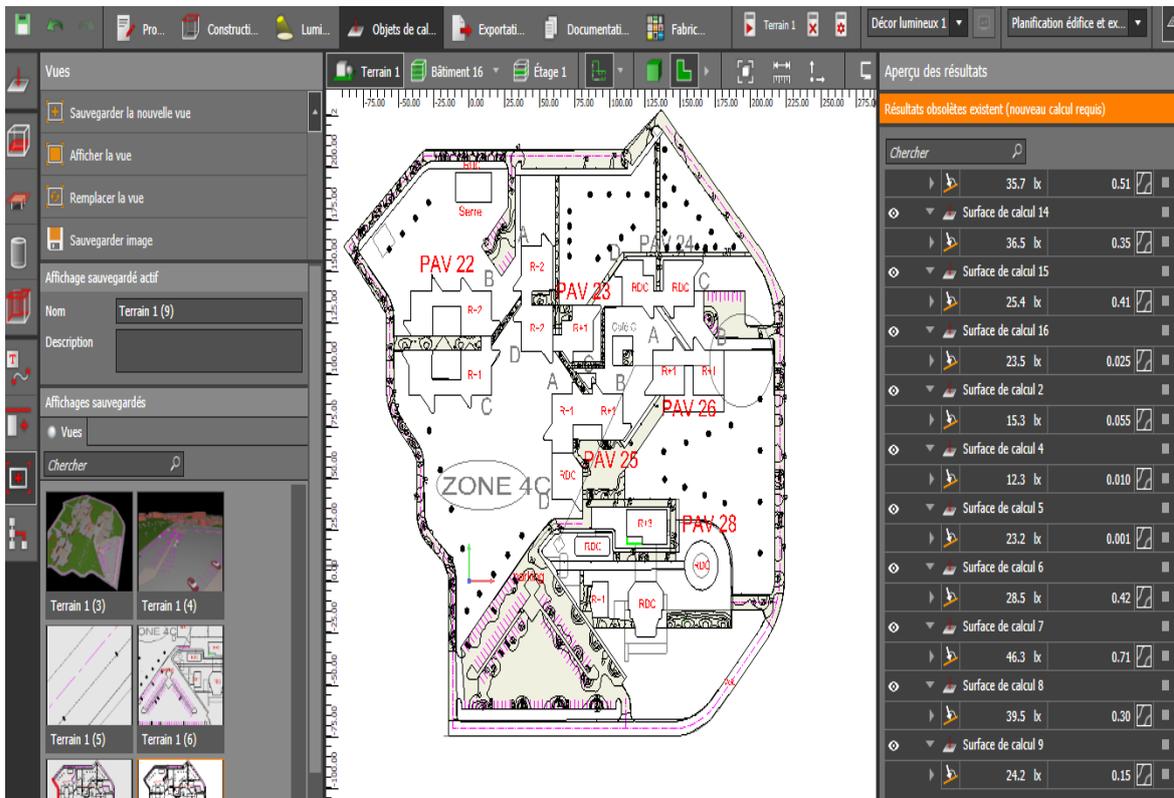


Figure 56: Résultat finale de calcul de la zone 4

Enfin la conception finale 3D de la zone



Figure 57 : Conception finale de la zone 4

Les surfaces de calculs qui dépassent l'intensité de l'éclairage 30 lx seront redistribuées pour avoir des résultats justes

- Dans cette zone nous avons un lampadaire pour avoir la meilleure méthode d'éclairage utilisée 170
- 94 Luminaire solaire (**Sunstay BRP710 LED60**)
- 76 Luminaire (**Luma gen2**)

De la même méthode on a travaillé avec les autres zones et on a obtenu les résultats:

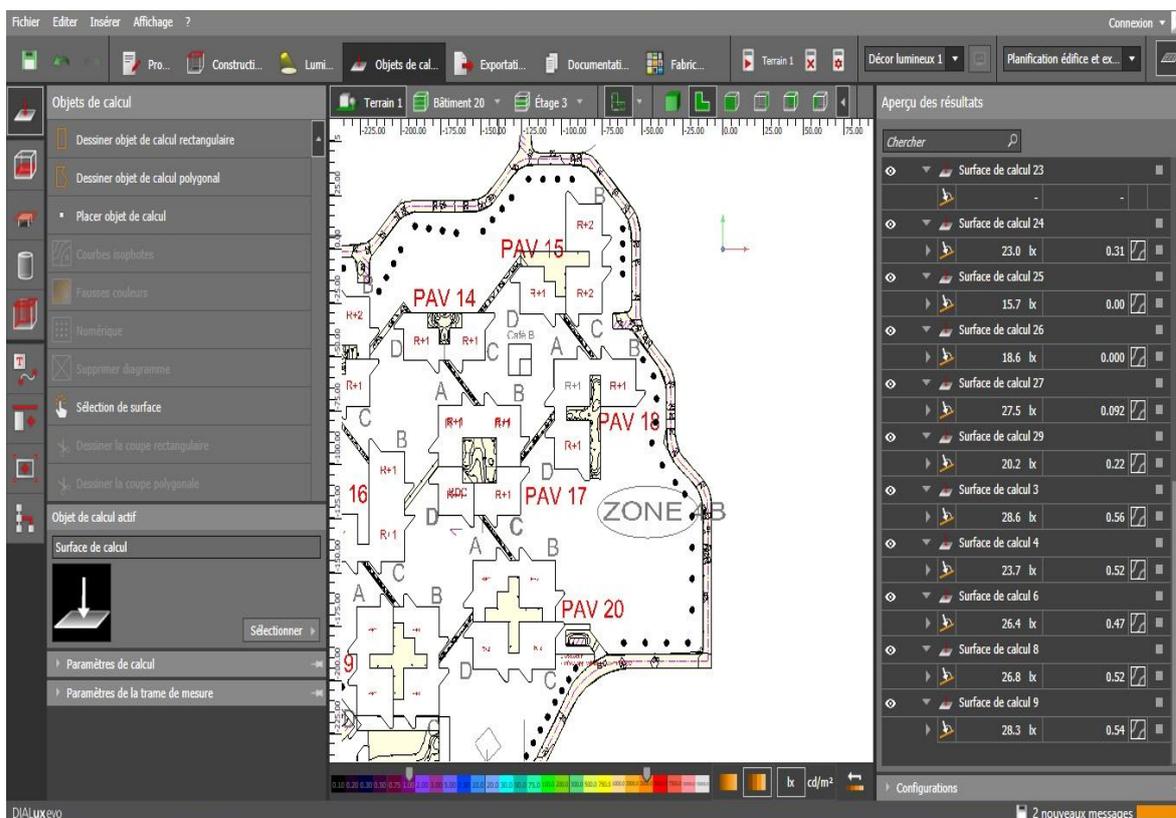


Figure 58: calcul finale de la zone 3

III. Agrégation des résultats:

a) Les résultats finaux de la conception du plan de chaque zone

- Zone 1

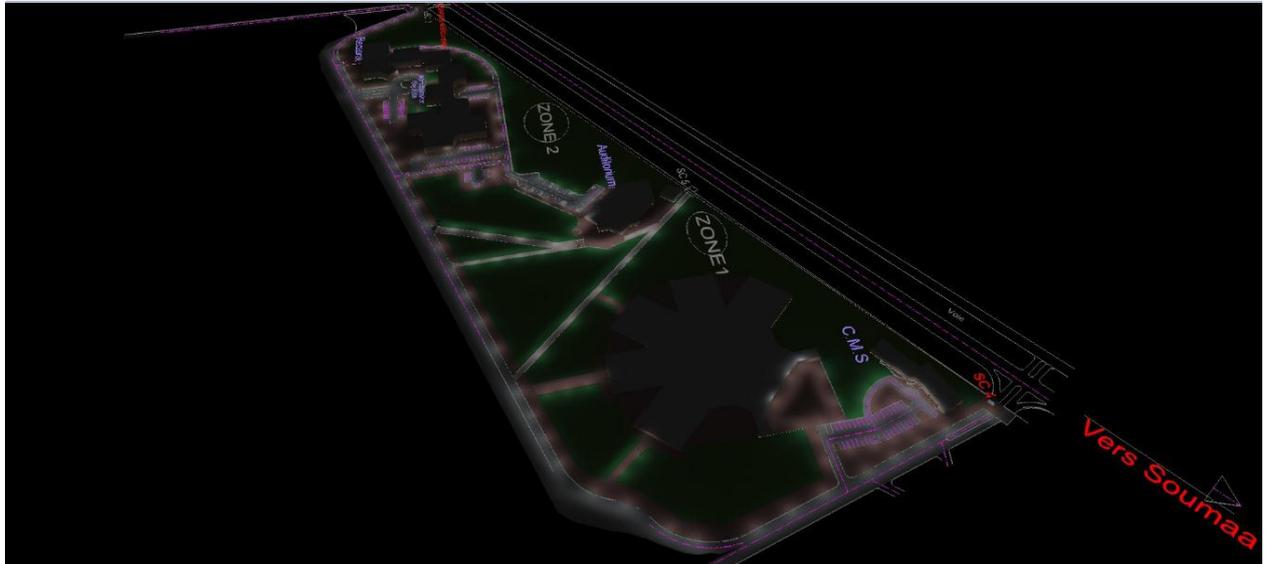


Figure 59: Conception finale de la Zone 1

Zone 2:

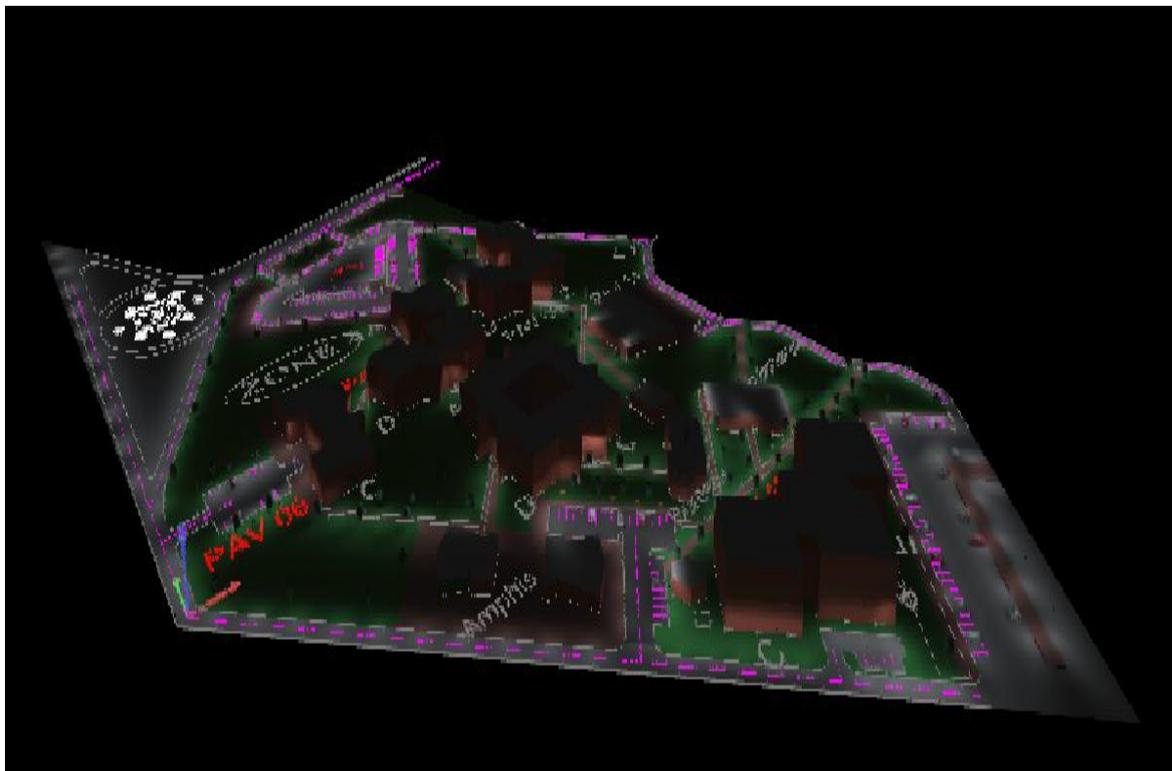


Figure 60: Conception finale de la zone 2

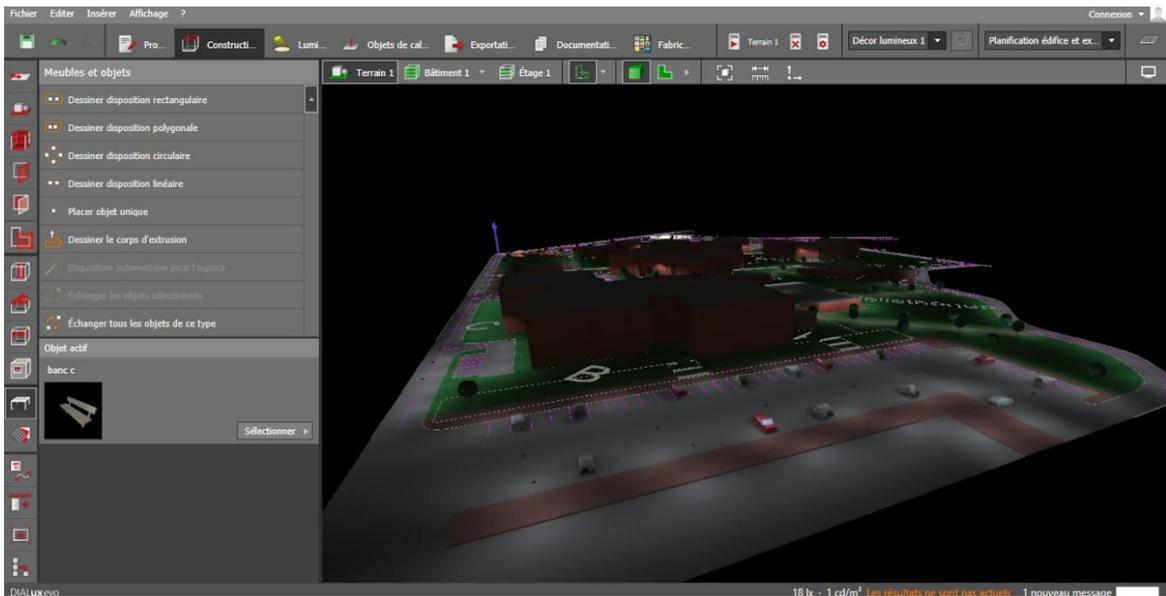


Figure 61: Conception finale de la zone 2 d'une autre vue

- **Zone 3 :**



Figure 62: Conception finale de la zone 3

- **Zone 5**

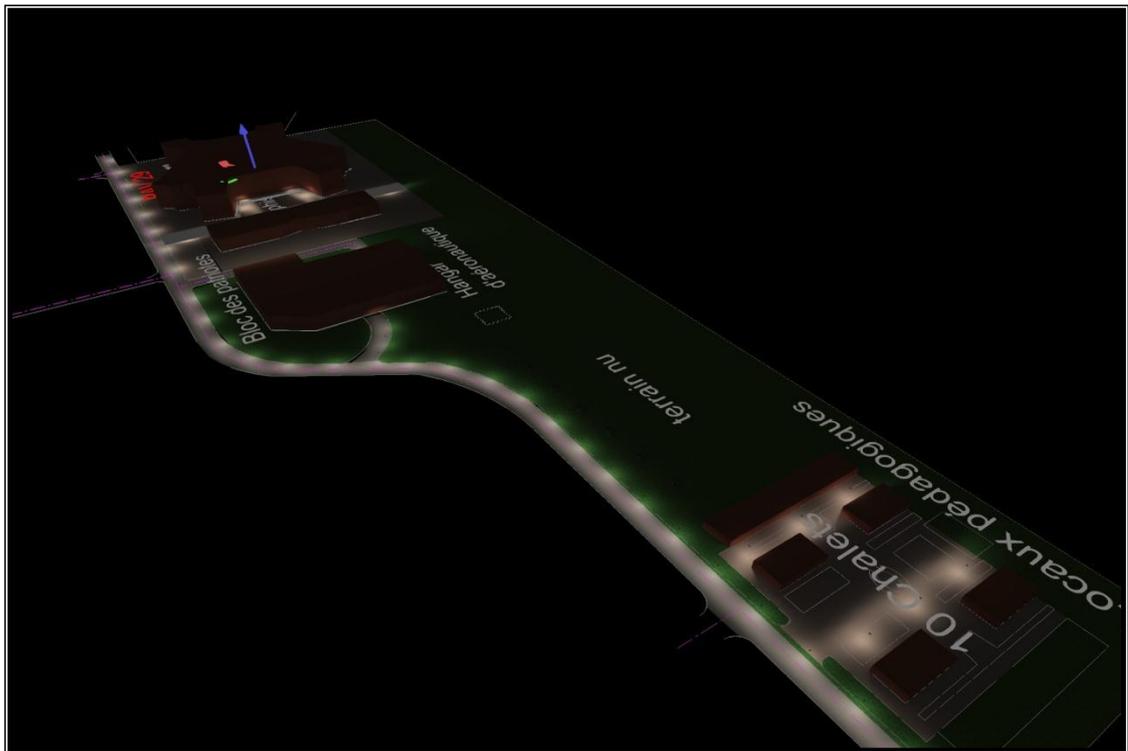


Figure 63: Conception finale de la zone 5.

b) Résultats finaux du nombre de lampadaire utilisées pour chaque Zone

Zones	Sunstay BRP710	Luma gen2
1	70	20
2	178	62
3	94	104
4	94	76
5	42	0

Tableau 4 : Résultats du nombre des lampadaires utilisé

Résultats du nombre des lampadaires utilisé :

Comme résultat global pour toute l'université, en faisant la somme des résultats obtenus , on obtien :

- 478 Luminaire solaire **Sunstay BRP710 LED60**
- 262 luminaire **Luma gen2**

c) Analyse des résultats

1. Caractéristiques et critères de choix du lampadaires utilisés :

A. Sunstay BRP70

a. Caractéristiques



Caractéristiques électriques			
Tension d'entrée	240 V	Type de panneau	Monocristallin
Fréquence d'entrée	50 Hz	Tension du panneau	17 Vmp, 21 Voc V
Type de piles	Lithium fer phosphate	Intensité de crête du panneau	60 W
Capacité de la batterie (ampère-heure)	30 Ah	Type de contrôleur de charge	MPPT
Tension de la batterie	12.8 V	Puissance du contrôleur de charge	35 W
Cycles de charge et décharge de la batterie	2000	Kit de branchement par câbles	Inclus

Figure 64: Caractéristiques électriques de lampadaire Sunstay[5]

Performances Initiales (Conforme IEC)			
Flux lumineux initial	6000 lm	Température de couleur proximale initiale	3000 K
Efficacité lumineuse à 0h du luminaire LED	175 lm/W	Indice de rendu des couleurs (initial)	>70

Figure 65: Performances initiales de lampadaire sunstay[5]

Conditions d'utilisation			
Plage de températures ambiantes	0 à +35 °C	Profil de gradation solaire	4hrs 100% + 8 hrs 20%
Plage de températures ambiantes - charge	0 to +45 °C	Type de connexion au réseau	Hybride
Plage de températures ambiantes - décharge (lorsque la lumière est allumée)	-20 to +35 °C	Emplacement de la batterie	Inside Luminaire
Données logistiques			
Code de produit complet	871951450199700	Numérateur - Quantité par kit	1
Nom du produit de la commande	BRP710 LED60 WW MR HY FDIM20 SOLAR	Conditionnement par carton	1
Code barre produit	8719514501997	SAP - Matériaux	919515813993
Code de commande	50199700	Poids net (pièce)	19,500 kg

Figure 66 : Caractéristiques de lampadaire sunstay[5]

b. Conditions d'utilisation et données logistiques:

Le lampadaire Sunstay BRP70 est intégré avec batterie au lithium-fer-phosphate d'une Capacité de 30 Ah, panneau solaire de type Monocristallin, chargeur et capteur PIR intégrés au luminaire. Aluminium moulé sous pression pour offrir robustesse et longue durée de vie[5].



Figure 67 : Le lampadaire Sunstay BRP70

Le lampadaire Sunstay BRP70

La crosse à montage sur mât spécialement conçue permet différents angles d'inclinaison, ainsi qu'un montage latéral ou en top de mât.

En effet, la mise en place d'un mât solaire se fait en moins de 2h. Pas de tranchées, pas de raccordement et pas d'armoire électrique, un simple plot de béton permet aux candélabres photovoltaïques d'être érigés. Il est donc possible d'équiper n'importe quelle zone en éclairage solaire sans endommager le sol[5].

c. Avantages

- Permet d'éclairer des zones sans accès au réseau électrique[5].
- Permet de réaliser des économies d'énergie[5].
- Préserve le paysage car ni tranchée ni câblage ne sont nécessaires[5].
- Respecte l'environnement[5].
- Construction robuste pour une longue durée de vie[5].

d. Fonctions

- Efficacité lumineuse élevée de 175 lm/W pour optimiser les performances de la batterie[5].
- Batterie au lithium-fer-phosphate remplaçable pour une longue durée de vie et des opérations aisées[5].

- Contrôleur de charge MPPT pour une efficacité optimale[5].
- Boîtier en aluminium moulé sous pression pour la robustesse et une excellente dissipation de la chaleur[5].
- .Crosse de montage sur mât spécialement conçue avec angles d'inclinaison ajustables de 0 à 15 degrés, qui peut également être utilisée dans les montages en top de mât ou les montages latéraux[5].
- Profil de gradation paramétré en usine et capteur PIR pour une durée de fonctionnement maximale[5].
- Fonctionnalité d'auto-diagnostic et voyants LED de charge, décharge et coupure[5].

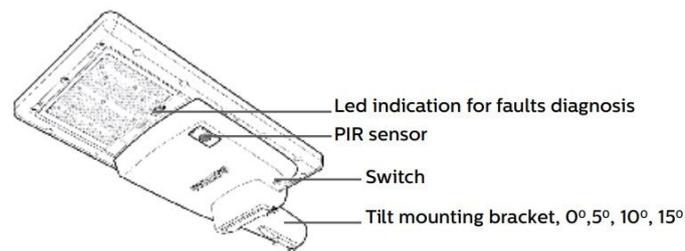


Figure 68 : Structure de lampadaire

B. Luma Gen 2 :



a) Caractéristiques générales du produit LumaGen2 :

Caractéristiques générales			
Code famille de lampe	LED60 [LED module 6000 lm]	Marquage CE	Marquage CE
Température de couleur	740 blanc neutre	Marquage ENEC	ENEC plus mark
Source lumineuse de substitution	Oui	Garantie	5 ans
Nombre d'unités d'appareillage	1 unit	Type d'optique - extérieur	Distribution semi-intensive I1
Driver/alimentation/transformateur	Bloc d'alimentation avec interface DALI et SystemReady	Remarques	* À une température ambiante extrême, le luminaire peut réduire automatiquement sa luminosité afin de protéger ses composants
Driver inclus	Oui	Flux lumineux constant	Non
Cache optique/ type de l'objectif	G [Verre]	Nombre de produits par disjoncteur de 16 A type B	21
Faisceau du luminaire	70° x 37°	Conforme à la directive RoHS UE	Oui
Interface de commande	Interne (aucune connexion externe)	Type de moteur LED	LED
Connexion	Unité de connexion 5 pôles		
Câble	Non		

Caractéristiques générales			
Code famille de lampe	LED60 [LED module 6000 lm]	Marquage CE	Marquage CE
Température de couleur	740 blanc neutre	Marquage ENEC	ENEC plus mark
Source lumineuse de substitution	Oui	Garantie	5 ans
Nombre d'unités d'appareillage	1 unit	Type d'optique - extérieur	Distribution semi-intensive I1
Driver/alimentation/transformateur	Bloc d'alimentation avec interface DALI et SystemReady	Remarques	* À une température ambiante extrême, le luminaire peut réduire automatiquement sa luminosité afin de protéger ses composants
Driver inclus	Oui	Flux lumineux constant	Non
Cache optique/ type de l'objectif	G [Verre]	Nombre de produits par disjoncteur de 16 A type B	21
Faisceau du luminaire	70° x 37°	Conforme à la directive RoHS UE	Oui
Interface de commande	Interne (aucune connexion externe)	Type de moteur LED	LED
Connexion	Unité de connexion 5 pôles		
Câble	Non		

Caractéristiques électriques			
Tension d'entrée	220 à 240 V	Temps du courant d'appel	0,3 ms
Fréquence d'entrée	50 à 60 Hz	Facteur de puissance (min.)	0.98
Courant d'appel	21 A		

Figure 69 : Caractéristiques électriques de luminaire Luma gen 2[4]

Performances Initiales (Conforme IEC)			
Flux lumineux initial	5400 lm	Chromaticité initiale	(0.382, 0.380) SDCM 5
Tolérance du flux lumineux	+/-7%	Puissance initiale absorbée	38 W
Efficacité lumineuse à 0h du luminaire LED	142 lm/W	Tolérance de consommation électrique	+/-11%
Température de couleur proximale initiale	4000 K	Tolérance de l'indice de rendu des couleurs (initial)	+/-2
Indice de rendu des couleurs (initial)	>70		

Figure 70 : Performances initiales de lampadaire Luma gen2[4]

b) Avantages

- Compatible avec une large gamme de sous-systèmes PHILIPS solaires, notamment les batteries, les panneaux photovoltaïques et les contrôleurs de charge pour des options d'alimentation hors réseau et hybride
- Efficacité et performances d'éclairage optimales dans une large gamme d'applications à l'aide d'un large choix d'optique et d'une plage de flux étendue[4].
- Le luminaire est également équipé d'optiques dédiées qui :
 - 1) respectent l'écosystème des chauves-souris[4].
 - 2) préservent le ciel nocturne et réduisent la pollution lumineuse[4].
- Passage de câble repensé pour un accès sans outil à l'intérieur du luminaire[4].

c) Fonctions

Sous-systèmes Philips solaires dédiés (contrôleur de charge, batterie, panneau photovoltaïque, câbles de connexion avec connecteurs IP67) pour une installation et une maintenance plus rapides et plus sûres[4].

- Nouveau passage de câble pour une installation facile[4].
- Inclinaison avec une précision de 2,5 degrés[4].
- Choix de plus de 40 photométries différentes et coupes-flux arrière internes • Efficacité pouvant atteindre 165 lm/W[4].

IV. .Dimensionnement d'un kit solaire pour l'alimentation de la première zone

On vas faire le dimensionnement pour **la zone 1** avec tous les détails et sachant que avec la même méthode on vas travailler avec les autres zones et afficher les résultats

1. Période de l'ensoleillement

Plus la puissance lumineuse (ensoleillement) augmente, plus la puissance générée par la cellule PV augment aussi.

Au contraire, plus la température des cellules augment, plus la puissance générée par les cellules est faible. La carte ci-dessous nous montre l'ensoleillement moyen annuel

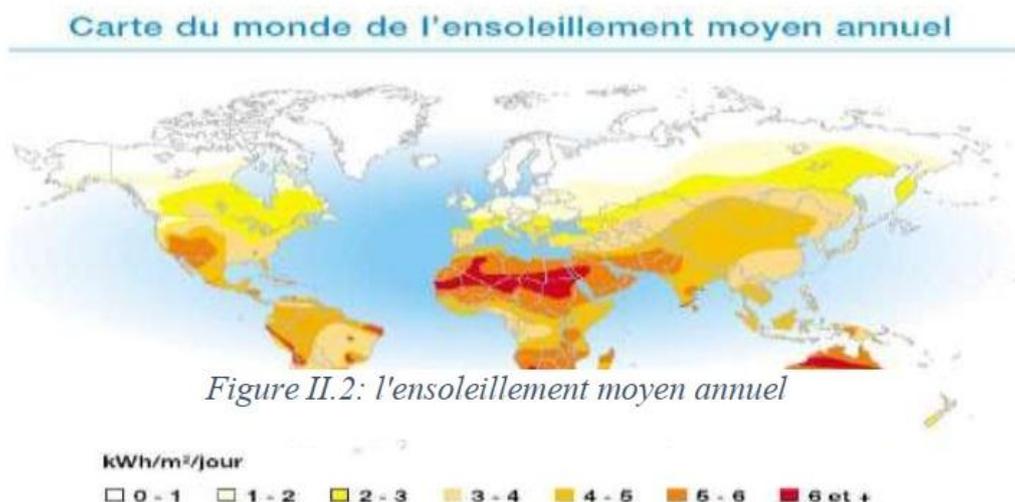
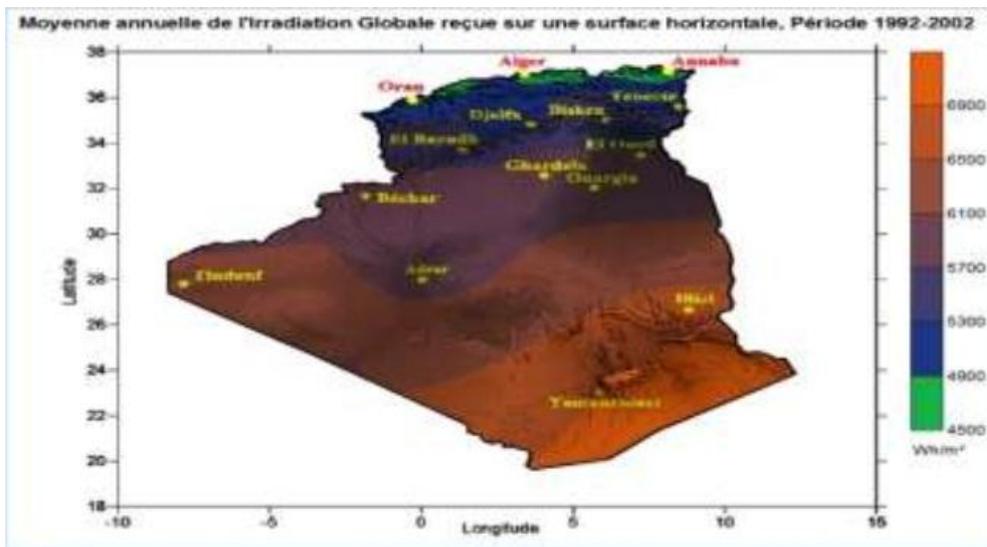


Figure 71: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Sur cette directive, nous choisirons la période la moins ensoleillée dans l'année, le mois de janvier dans notre cas .

La figure au dessous Représente l'irradiation moyenne en Algérie, Blida fait partie de l'intervalle [4500-4900] (Wh/m²/j)[2]

L'énergie solaire est définie par le produit du nombre d'heure équivalente (la durée d'ensoleillement maximale pendant une journée par le rayonnement de référence 1000W/m²) [2].



L'irradiation globale

A partir de ces données , nous choisirons la valeur de l'irradiation moyenne 4000 wh/m²/jrs

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[2].



Figure 72 : Heures de fonctionnement en Hiver

Donc on peut dire que le nombre d'heures de fonctionnement est 13 heures .

La puissance des lampes utilisées pour les zones ombragées (LumaGen2) est de 38W est on à 262 Lampadaires donc la consommation journalière totale dans les zones d'ombrage est de **129,5KWh/Jour**

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 et d'après les données de logiciel DIALux

- les lampadaires autonomes de type SunStay ont une hauteur de 4m .
- les lampadaires de type LumaGen2 ont une hauteur de 5 m .
- Heures d'utilisation : 13h

2. Dimensionnement de la première zone :

Nombre de lampadaires : 20

a) Énergie journalière

Puissance unitaire*heures d'utilisation* nombre de lampadaires

$$E_j = 38 * 13 * 20 = 9880 \text{ Wh}$$

b) Puissance crête

Sachant que l'heure d'ensoleillement minimum égale à 6h

$$P_c = \frac{E_j * \text{la puissance radiative dans STC}}{IRR * PR} = \frac{9880 * 1}{4 * 0.8} = 3087,5 \text{ Wc}$$

Avec : E_j : énergie journalière

IRR : Irradiations moyennes dans le site

PR : Ratio de performance

c) Nombre de panneaux

Avant de calculer le nombre de panneaux on va choisir un panneau adapté à notre installation

Et le meilleur choix est un panneau d'une puissance de 280W

Panneau solaire polycristallin **IFRISOL** 280W (280Wc -60 cells) [1]



Ces caractéristiques sont :

- Cellules Polycristallines haut rendement
- Efficacité de conversion de module élevée (jusqu'à 17,1%)
- Tolérance de puissance positive (0 -+ 3%) garantie
- Tension de l'alimentation maximale : ($V_{max}=32,15$)
- Courant d'alimentation maximale : ($I_{max}=8,2$ A) [1]

Après on va calculer le nombre de panneaux

$$N_p = \frac{P_c}{\text{Puissance d'un seule panneau}}$$

$$N_p = \frac{3078,5}{280} = 11,02 = \mathbf{12 \text{ panneaux}}$$

Parceque la tension du panneau choisis est élevée que la tension de système on met les panneaux en parallèle pour éviter les pertes de tension et augmenter l'intensité du courant

d) Détermination et de l'orientation et d'inclinaison des panneaux

Pour optimiser au mieux la production l'énergie d'une installation solaire. Il est très important de ne pas sous-estimer l'importance de l'inclinaison et d'orientation du panneau solaire.

Les critères à prendre en compte pour un rendement optimal des panneaux. Avant de commencer nous expliquons brièvement les termes :

• **L'inclinaison** est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale.

• **L'orientation** est l'angle entre le panneau solaire et l'axe plein Sud. A 0° l'angle de l'orientation correspond à un panneau faisant face au Sud, à l'Est ou l'Ouest, 180° au Nord.

Sur notre site université saad dahlab blida où le besoin est annuel, il est conseillé de privilégier la production

d'électricité durant la période hivernale. Une inclinaison des panneaux correspondant à la « latitude du site + 10° » permet de recevoir un maximum de rayonnement solaire en hiver, tout en gardant une production « correcte » durant le reste de l'année

e) Choix de tension du système

Puissance de charge * nombre de dispositifs = $38 * 20 = 760 \text{ W}$

$500 \text{ W} < 760 \text{ W} < 2 \text{ KW}$

Donc la tension de système est égale à **24V**

f) Choix de batteries

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

$$C_u = \frac{E_j * N}{P_d * U}$$

N : les nombres de jour d'autonomie (fixée selon le site d'installation, pour Blida

ce nombre est égal à 3 jours)

U = tension nominale de système

P_d : profondeur de décharge de la batterie .

On va travailler avec des batteries de 12V et de capacité de stockage égale à 250 Ah et d'une profondeur de décharge égale à 60%



Figure 73 : Batterie GEL 250AH 12V ULTRACELL

$$Cu = \frac{9880 \cdot 3}{0,6 \cdot 24} = 2470 \text{ Ah}$$

Après on choisit le nombre de batterie qu'on a besoin pour notre installation

$$Nb = 2 * \frac{Cu}{\text{capacité d'une seule batterie}} = 2 * \frac{2470}{250} = 2 * 9,88 = 19,76$$

Donc on a besoin de 20 Batteries

Parce que on a choisit des batteries de 12V et pour réaliser une tension de système de 24V et une capacité totale de 250 Ah on met 2 batteries en série et chaque paire de batterie en parallèle .

g) Choix de régulateur :

Suivant les caractéristiques électriques des panneaux ($V_{max} = 32,15 \text{ V}$ et $I_{max} = 8,2 \text{ A}$) et d'autre part la tension de système est 24 v en plus le branchement des 12 panneaux qui est en parallèle et on a ($12 * 8,2 = 98,4 \text{ A}$)

le choix se fait sur un régulateur MPPT de **24V et 100 A**



Figure 74 : Régulateur régulateur de charge solaire EPEVER MPPT 100A

Additional information

La marque :	EPEVER
type de produit	Régulateurs solaire
Tension nominale du système	12/24/36/48VDC
Plage de tension d'entrée de la batterie	8V ~ 68V
Courant de charge évalué/décharge	100A
Puissance de charge nominale	1250W/12V 2500W/24V 3750W/36V 5000W/48V
Gamme de tension MPP	(Battery Voltage+2V) ~144VⓈ
l'efficacité de MPPT	≥99,5%
Dimension (mm)	394×242×143mm

Figure 75 : Caractéristiques de Régulateur choisis

h) Câblage

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

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

Par appliquant de l'équation suivant :

$$S = \frac{2 * P * L * I}{\text{chute de tension} * V}$$

Avec :

- Chute de tension = 0.02
- P : résistivité linéaire du conducteur constitutif de câble (Ohm.m)
- (en la prendre 0.018Ohm.mm²/m)
- I:intensité de courant(Ampère)
- S:section du câble(mm²)
- L:longueur du câble (m)

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

Avec L=20m (le régulateur placé sous le support dans une boîte afin de faciliter l'accessibilité)

$$S = \frac{2*0.018*20*8.2}{0.02*32.15} = 9.18 \text{ mm}^2$$

Le choix commercial est de 15 mm²

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

On prendre L=1 m et le courant de charge :40 A

$$S=2,23 \text{ mm}^2$$

Le choix commercial est 5 mm²

a) **La section des câbles entre le régulateur et les lampadaires :**

La section des câbles entre le régulateur et les lampadaires dépend de la distance entre les lampadaires , et cette distance n'est pas fixe à cause de la répartition des points de l'éclairage d'après logiciel DIALux evo, donc on a besoin d'une étude pratique pour calculer la section des câbles .

3. le dimensionnement des autres zones :

(nous n'avons pas fait des calculs pour la zone 5 puisque on a utilisé que des lampadaires autonomes SunStay)

	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Nombre de lampadaires	62	104	76
Énergie journalière (Wh)	30628	51 376	37544
Puissance crête (Wc)	9571,25	16055	11732,5
Nombre de panneaux	36 panneaux	58 panneaux	42 panneaux
Tension de système (V)	48	48	48
Régulateur	3 Régulateurs EPEVER 100A/48V	5 Régulateurs EPEVER 100A/48V	4 Régulateurs EPEVER 100A/48V

Tableau 5 : Dimensionnement des autres zones

4. Dimensionnement des batteries pour autres zones :

Parce que on a une tension de système de 48V dans les autres zones on a besoin de changer la batterie et on va travailler avec une batterie de 24V et 200 Ah

On travaille avec le même principe de mettre 2 batteries en parallèle et 2 paires de batteries en série pour obtenir la tension de système 48 V

On multiplie la capacité de charge fois 2 pour

- Pour la zone 2 :

Capacité de charge :

$$Cu = \frac{30628 \times 3}{0,6 \times 48} = 3190,41 \text{ Ah}$$

$$Nb = \frac{3190,41}{200} = 15,95 = 2 \times 16 \text{ Batteries} = 32 \text{ Batteries}$$

- Pour la zone 3

$$Cu = 5351,66 \text{ Ah}$$

$$Nb = 28 * 2 = 56 \text{ Batteries}$$

- Pour la Zone 4

$$Cu = 3910,83$$

$$Nb = 20 * 2 = 40 \text{ Batteries}$$

5. 3. Estimation des couts :

Dispositif	Prix (DA)
Panneau	15200
lampadaire sunstay BRP	80000
lampadaire Lumagen2	9000
Régulateur	76900
batterie 12V 250 Ah	57000
Batterie 24V 200 Ah	63000
Poteaux	9000

Tableau 6 : Prix de Dispositifs

Dispositif	Nombre	Prix totale (DA)
Lampadaire Sunstay	478	13 284 000,00
Lampadaire LumaGen2	262	6550000,00
Panneaux	102	1550400,00
Régulateur	13	999700,00
Batteries 12V 250 Ah	20	1140000,00
Batteries 24V 200 Ah	128	8064000,00
Les poteaux	740	6660000

Tableau 7 : Prix totale de l'achat de chaque dispositif

Sans calculer le coût des câbles nécessaires pour connecter le réseau d'éclairage dans les endroits exposés à l'ombre et d'autres coûts tels que les poteaux et autres services, nous avons conclu que le coût de notre projet atteint jusqu'à **38 788 100,00 DA**

Conclusion

Dans ce chapitre on a donné une nouvelle conception d'éclairage public par voie photovoltaïque pour notre université Saad Dahlab Blida.

Le chapitre est composé de 2 étapes, La première étape c'est de faire une conception tridimensionnelle de l'université, puis la nouvelle répartition de l'éclairage via le programme DIALux, on a utilisé deux types de lampadaires, le premier est autonome et le deuxième n'est pas autonome, dans la deuxième étape on a fait un dimensionnement pour alimenter les zones qui sont allumées par ce lampadaire non autonome avec un kit photovoltaïque, on a donné les résultats et une estimation du coût total de projet.

Conclusion générale

Un système photovoltaïque autonome est un système électrique destiné à effectuer une tâche bien déterminée en utilisant l'énergie solaire comme source primaire. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires ; les batteries qui constituent le champ de stockage, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge ainsi, il règle la valeur de la tension nominale ; le câblage qui relie les différents composants du système entre eux. (6)

Dans ce travail on a donné une proposition d'un système d'éclairage public qui utilise que l'énergie solaire photovoltaïque pour l'université Saad Dahlab Blida 1.

On a fait une planification complète pour une nouvelle conception d'éclairage professionnelle avec logiciel DIALux evo version 9.2 pour toute l'université, on a calculé et visualisé l'éclairage des espaces extérieurs.

On va utiliser deux types de lampadaires travaillent avec la technologie LED, le premier et un lampadaire autonome solaire de la marque Phillips de type ' ALL IN ONE ' c'est-à-dire il ne besoin pas de sources d'alimentations il a juste besoin d'implantation et d'orientation correcte on va l'utiliser dans les zones où il n'y a pas d'ombrage, le deuxième lampadaire aussi et un lampadaire LED mais il n'est pas autonome on va l'utiliser dans les zones d'ombrage.

Comme résultat global pour toute l'université, en faisant la somme des résultats obtenus, on a obtenu :

- 478 Luminaire solaire autonome **Sunstay BRP710 LED60**
- 262 luminaire **Luma gen2**

on a passé en revue quelques méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome pour alimenter les zones ombragées en utilisant le luminaire Luma Gen 2 qui a une puissance de 38W. La méthode de dimensionnement simplifiée a été détaillée et utilisée en se basant sur le mois le plus défavorable afin de déterminer les caractéristiques d'un système PV d'éclairage public pour toutes les zones de l'université

on travaille avec des modules de 280 W.

nous avons besoin de 102 panneaux solaires pour alimenter le système d'éclairage dans les endroits ombragés dans toute l'université, et ces panneaux sont répartis sur les quatre zones qui ont des endroits ombragés, et chaque région a un certain nombre de panneaux au détriment de son énergie Besoins;

Pour le système de stockage de batteries on a choisi deux type de batteries , 20 batteries de capacité de 250 Ah et 12 v de voltage pour la première zone qui fonctionne avec une tension de système de 24V et 128 batteries de 200 Ah de capacité et 24V de voltage pour les zones qui fonctionne avec une tension de système de 48 V

On à utiliser 13 régulateurs solaire EPEVER MPPT 100A

On calculer le cout totale de l'achat de les équipements nécessaires pour le projet mais sans compte les couts d'autre équipements pour compléter le projet .

En conclusion, nous espérons que les résultats de ce travail contribuèrent significativement dans la compréhension de ces systèmes photovoltaïque d'éclairage public et dans la prise de décision pour qu'un système d'éclairage solaire de ce type soit une réalité dans notre université Saad Dahlab Blida.

Bibliographie

Bibliographies de l'introduction :

[1] MASTER ACADEMIQUE" Etude Pratique et Dimensionnement d'un Système d'Eclairage Public Photovoltaïque Autonome Cas d'étude ; Unité de Recherche d'Adrar.

[2] S. MANSOUR, «Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé,» MEMOIRE de Master, université Abou Baker Belkaid-TLEMEN, 2014

[3] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES A CONAKRY ET DANS HUIT

Bibliographies de Chapitre 01

[1] K. LARBI et A. M'KHADMI, «utilisation de photovoltaïque en éclairage public,» mémoire MASTER, Université d'ADRAR, 2014.

[2] G. GUIE BI, «ECONOMIE D'ENERGIE ET ECLAIRAGE PUBLIC DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU,» mémoire master, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2010.

[3] F. James , C. Christoph et H. Gordon, «The Time Is Right for Connected Public Lighting Within Smart Cities,». article de journal, *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, p. 8, October 2012.

[4] «éclairage public,» wikipédia, 7 mars 2018. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89clairage_public. [Accès le mars 2018].

[5] «HISTOIRE DE L'ECLAIRAGE». disponible. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjww4C_ocrbAhWHvhQKHcQXCycQFgiPATAI&url=http%3A%2F%2Fekladata.com%2FDZ7ui60SGCVTQ7OV5FWkLzdLZ_c%2Fhistoire-de-leclairage.pdf&usq=AOvVaw2rwok451N64Y-avPgTok2i

[6] l. massol, «histoire de l'éclairage,». Article de journal. *joomlaArt*, 16 february 2007.

[7] A. Vautherot, «l'éclairage: histoire et évolution,». Article, GRALON. 30 mai 2011.

Disponible : <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materielsindustriels/article-l-eclairage---histoire-et-evolutions-1752.htm>. [Accès le 08 03 2018].

[8] «SOURCE ET LAMPES les lampes,» 04 \10\2004_20 \08\2017. Disponible : www.leclairage.fr/led/. [Accès le 2018 03 12].

[9] J. Jean, "*Reseaux d'éclairage public*", mémoire Master: formation à distance M1 GIES, 2010.

[10] B. ZERGUINE, «modélisation d'un système de production électrique par cellule photovoltaïque,» mémoire master, université ANNABA, 2010.

- [11] F. SANDRA, "*Eclairage urbain*", ENSAG M1CV2.
- [12] L. Cholé, «guide technique et réglementaire sur l'éclairage extérieur».
- [13] «Guide des Prescriptions Environnementales,» Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes, 2016.
- [14] Y. AIT BEN ADDI et H. AMHID, «éclairage photovoltaïque,» dans le cadre de projet professionnel, faculté polydisciplinaire OUARZAZATE, 2013.
- [15] «LED-expliquée simplement,» myclimate, suisse, 2015.
- [16] Lexies, «guide pratique de l'éclairage public,» l'association des petites villes de France, France, 2014.
- [17] «manuel technique de l'éclairage,» Agence nationale pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.
- [18] CETE, «formation "éclairage public",» DIR centre Est, France, 2007.
- [19] S. BRICOLEUR, «Guide de Comment choisir ses fils et câbles électriques,» Mano Mano, Puy-de-Dôme, 2017.
- [20] M. Hankins, "installations solaire photovoltaïque autonomes (conception et installation d'unités non raccordées au réseau)", 11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff, France: LEMONITEUR, 2012.
- [21] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES A CONAKRY ET DANS HUIT(8) AUTRES VILLES EN REPUBLIQUE DE GUINEE,» SOCIETE AFRICAINE DES BIOCARBURANTS ET DES ENERGIES RENOUVELABLES (SABER), AFRICAN BIOFUEL AND RENEWABLE ENERGY COMPANY (ABREC), Africa, 2011.
- [22] «Renewables 2017 Global Status Report,» rapport de REN21, 2017. Disponible : http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter_01/chapter_01/. [Accès le 10 mars 2018].
- [23] A. LABOURET et M. VILLOZ, "énergie solaire photovoltaïque", Paris: LEMONITEUR, 2006.
- [24] P. HOUEE, «une installation photovoltaïque en site isolé,», article, *forum des technologies*, p. 32, octobre-novembre 2011.
- [25] J.-I. PRENSIER et C. LUSSEAU, «Annexe : Principe de fonctionnement et constituants d'une batterie (Les vélos à assistance électrique au pédalage),» C A C H A N, 01 /01 /2004.
- [26] L. THIBAUT, «Caractéristiques d'une batterie au plomb,» article 09 2011. Disponible : <http://energie-developpement.blogspot.com/2011/09/caracteristiques-dune-batterie-au-plomb.html>. [Accès le 11/03/2018 19 :57].
- [27] Franck, « le choix d'une batterie solaire,» *Responsable de la SARL Ampoule-leds France*, 2006_2018.
- [28] R. Christian, «Cahier TECHNIQUE ASSOCIATION FRANÇAISE DE L'ÉCLAIRAGE,» Amiral Hamelin,, 17, rue de l'Amiral Hamelin, 75783 Paris , 16, 09_10_2007.

Bibliographies de Chapitre 02

- [1] M. LOKANADHAM et R. BOGGALA, «OPTIMAL SIZING OF STAND ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A REVIEW,» *International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)*, n° %1ISSN: 2455-4847.
- [2] J. C. C. H. F, «The Time Is Right for Connected Public Lighting Within Smart Cities,» Cisco

Internet Business Solutions Group (IBSG), p. 8, october 2012.

[3] T. KHATIB, «A Review of Disigning, Installing and Evaluating Standalone photovoltaic power systems,» *Journal of Applied Sciences*, n° %1ISSN 1812-5654, 2010.

[4] M. FOKA, C. HOYOBONY TOKORO et G. HERMA, «ETUDE DE FAISABILITE DU PROJETD'ECLAIRAGE PUBLIC PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES A CONAKRY ET DANSUIT (8) AUTRES VILLES EN REPUBLIQUE DE GUINEE,» SOCIETE AFRICAINE DES BIOCARBURANTS ET DES ENERGIES RENOUVELABLES (SABER), AFRICAN BIOFUEL AND RENEWABLE ENERGY COMPANY (ABREC), Africa, 2011.

[5] A. LABOURET et M. VILLOZ, energie solaire photovoltaïque, paris: LEMONITEUR, 2006.

[6] A. BALOUKTSIS, T. KARAPANTSIOS, D. PASCHALLOUDIS, A. ANTONIADIS, A. BEZERGIANNIDOU et N. BILALIS, «Sizing Stand-Alone Photovoltaic Systems,» *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, vol. 2006, n° %1ID 73650, pp. 1-8,2006.

[7] M. Sidrach-de-Cardona et L. Mora Lo´pez, «A simple model for sizing stand alone photovoltaic systems,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, n° %10927-0248/98/\$, pp. 199-215, 1998.

[8] G. GUIE BI, «ECONOMIE D'ENERGIE ET ECLAIRAGE PUBLIC DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU,» mémoire master, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2010.

[9] M. HANKINS, installation solaires photovoltaïques autonomes (coception et installation d'unités nonraccordées au réseau), france: DUNOD, 2012.

[10] S. MERAD , «Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque d'un lieu peu fréquenté :Cas d'un Cabanon Situé à Marsat Ben M'Hidi (TLEMCEN),» L'UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, MASTER LMD, 2010.

[11] blogger, *guide photovoltaïque, l'information photovoltaïque*, france: Aideau, 2013.[12] D. BLANCHON, *fabricant de mats d'éclairage public*, france: DESCHAMPS (MATS COMPOSITE), 2002.

[13] CETE, «formation "éclairage public",» DIR centre Est, france, 2007.

[14] Mnual technique de l'éclairage, Maroc: Agence nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et l'Efficacité Energétique.

[15] guide photovoltaïque , 2012. [En ligne] Available :

http://www.photovoltaïque.guidenr.fr/III_effet_inclinaison_module_photovoltaïque.php. [Accès le23 5 2018].

Bibliographies de Chapitre 03

[1]KitSolaireDiscount.com : <https://kitsolaire-discount.com/DocKitSolaire/Doc/Document/ECO-270-290P-60.pdf>

[2] [1] K. LARBI et A. M'KHADMI, «utilisation de photovoltaïque en éclairage public,» mémoire MASTER, Université d'ADRAR, 2014

[3]<https://www.dialux.com/fr-FR/dialux-est-gratuit-et-ouvert>

[4]LAMPADAIRE PHILIPS LUMA GEN2 :

<https://www.documents.philips.com/assets/20201021/993b2ddd2a26498a8ff3ac5b00027807.pdf>

[5]Philips lampadaire sunstay BRP

<https://www.documents.philips.com/assets/20201020/350263a439c543baad50ac5a0183c30a.pdf>

