



CONCEPTION D'UN LAMPADAIRE SOLAIRE POUR L'ÉCLAIRAGE DE L'AXE CARREFOUR PK10 – HÔTEL DU 15 JANVIER À COTONOU

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ENERGÉTIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 25/01/23 par

Cédrick Uriel OlorunToby GBEGNON (20150064)

Directeur de mémoire : Dr Y. Moussa SORO, Maître de Conférences CAMES à 2iE

Maître de stage : Ing. Germain AKINDES, Ingénieur en électrotechnique, Directeur Générale
de CETRA SARL

Structure d'accueil du stage : CETRA SARL

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr.Ing.habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE

Membres et correcteurs : Ing. Sédi AGBOKOU

Dr. Daniel YAMEGUEU

Promotion [2022-2023]

DÉDICACES

- ♣ *Au Dieu, Tout –puissant, pour sa bonté infinie et sa protection.*
- ♣ *À mon cher oncle Yves ATCHADE, pour son amour inégalé, tous les efforts consentis tout au long de mes études, et qui a cru en mon potentiel et s'est donné pour faire de moi ce que je suis aujourd'hui.*
- ♣ *À ma chère mère Régina E. S. ATCHADE, pour le don de la vie, ses sacrifices, son éducation et ses encouragements durant toutes mes années d'études et de formation.*
- ♣ *À mon cher père Prosper GBEGNON, co-auteur du don de ma vie.*
- ♣ *À mes chers, oncle Clovis ATCHADE, tante Clarisse KINDAFODJI, pour leurs soutiens et confiance renouvelés*
- ♣ *À mon frère Marie-Fidel GBEGNON, pour son affection et son soutien.*
- ♣ *À mes grands-parents maternels : Florence SAGBOHAN et feu Félix ATCHADE.*
- ♣ *À mes tuteurs Jean – Baptiste et Célestine HIEN, pour leur bienveillance.*

Je vous dédie ce mémoire, le fruit de ces cinq dernières années de dur labeur.

CITATION

'Le monde appartient à la discipline et aux disciplinés, et le secret de la discipline, c'est le travail.'

Victor CHERBULIEZ.

REMERCIEMENTS

- ♣ Je voudrais tout d'abord adresser ma gratitude à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2ie en particulier au directeur **Pr. El Hadj Bamba DIAW** pour la qualité de la formation acquise durant ces cinq (05) dernières années.
- ♣ Je tiens à remercier vivement **Dr. Y. Moussa SORO** mon **directeur de ce travail**, pour sa patience, son encadrement, sa disponibilité, ses conseils, et ses remarques.
- ♣ Toutes mes reconnaissances à **M. AKINDES Germain, Ingénieur en électrotechnique** et **Directeur gérant** de CETRA SARL, pour son accueil au sein de sa structure, ses remarques, ses conseils, son encadrement.
- ♣ J'adresse mes remerciements à **M. KOURAKOU Rachid, Ingénieur en énergie** à CETRA SARL pour son accueil et sa collaboration.
- ♣ Je tiens également à remercier tous mes enseignants du 2iE qui ont contribué à ma formation en particulier **Dr. Ahmed BAGRE** pour ses cours dispensés en éclairage public.
- ♣ Remerciements spéciaux à **M. DOGNON Irené** et **M. HOUNGBEDJI Aurel** pour l'écoute et l'accompagnement dont j'ai bénéficié qui m'ont permis de trouver mon stage.
- ♣ Mes pensées vont également à mes camarades de promotion de travail.

RÉSUMÉ

Plusieurs villes du Bénin telles que Cotonou, Porto-Novo, Parakou, Bohicon, Abomey, Sèmè-Kpodji, Abomey-Calavi et Natitingou ont bénéficié du Projet d'Aménagement Urbain et d'Appui à la Décentralisation (PAURAD). Ce projet concerne entre autres la construction de nouvelles infrastructures et la réalisation des travaux d'éclairage public solaire des rues dans les villes du Bénin suscitées. Dans la ville de Cotonou, sur certaines artères, principalement l'axe « Carrefour PK10 – Hôtel 15 Janvier », une étude d'éclairage public solaire a été réalisée et il en résulte de la conception, l'assemblage et l'installation de **68 lampadaires solaires à luminaire LED** supportés par des candélabres de type **simple crosse** le tout implanté en **bilatérale quinconce**, avec un espacement de **vingt-deux (22) mètres**. Le système solaire de chaque candélabre alimentant les lampes LED est constitué respectivement d'un **module photovoltaïque polycristallin de 270 Wc**, d'une **(01) batterie lithium de 12V 200Ah** et d'un **régulateur de charge MPPT 150/45**. Les luminaires fourniront un éclairage moyen de **10 lux** chacun.

Au plan financier, le coût de ce projet est estimé à **134 143 814 F CFA**. Au plan social, ce projet permettra le développement de l'économie nocturne et une présence de confort et de sécurité nocturne pour les usagers des voies. Au plan environnemental, l'utilisation d'énergie solaire comme source d'alimentation électrique permettra d'éviter **3,78 tonnes de CO₂** tout au long du projet.

Mots Clés :

1. Candélabre
2. Éclairage public routier
3. Énergie solaire photovoltaïque
4. Luminaire LED
5. Photométrie

ABSTRACT

Several cities in Benin such as Cotonou, Porto-Novo, Parakou, Bohicon, Abomey, Sèmè-Kpodji, Abomey-Calavi and Natitingou have benefited from the Urban Development and Decentralization Support Project (PAURAD). This project concerns, among other things, the construction of new infrastructures and the carrying out of public solar street lighting works in the aforementioned cities of Benin. In the city of Cotonou, on certain arteries, mainly the “Carrefour PK10 – Hotel 15 Janvier” axis, a solar public lighting study was carried out and resulted from the design, assembly and installation of **68 solar street lights with LED lighting** supported by candelabras of the **simple bracket** type, all located axially with a spacing of **twenty-two (22) meters**. The solar system of each lamppost allowing the power supply consists of a **270 Wp crystalline poly photovoltaic module** powered by **one (01) 12V 200Ah lithium battery** equipped with an **MPPT 150/45 charge regulator**. The luminaries will provide an average illumination of **10 lux** respectively.

Financially, the cost of this project is estimated at **134, 143, 814 F CFA**. In addition, the notice of social and environmental impacts has led to the conclusion that there will be the development of the nocturnal economy and a presence of comfort and nocturnal safety for road users on the social, environmental, use of photovoltaic panels will save **3.78 tons of CO₂**.

Keys words

- 1. Candelabra**
- 2. Public road lighting**
- 3. Photovoltaic solar energy**
- 4. LED light**
- 5. Photometry**

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE :	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ANADERE :	Agence Nationale de Développement des Energies Renouvelables
CIE :	Commission Internationale de l'Éclairage
GES :	Gaz à Effet de Serre
IP :	Indice de Protection
LED :	Diode Electroluminescente (Light-Emitting Diode, en anglais)
MPPT :	Maximum Power Point Tracking
ODD :	Objectifs de Développement Durable
SBEE :	Société Béninoise d'Energie Electrique

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES	I
CITATION.....	II
REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	V
LISTE DES ABRÉVIATIONS	VI
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES FIGURES.....	4
1. INTRODUCTION	5
2. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	5
3. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF.....	7
4. MÉTHODOLOGIE	7
REVUE DE LITTÉRATURE.....	8
1. DEFINITIONS DE CONCEPTS : NOTION D'ECLAIRAGE, ENERGIE SOLAIRE ET DE LAMPADAIRE SOLAIRE A LED	8
2. L'ECLAIRAGE PUBLIC SOLAIRE A LED AU BENIN.....	9
CHAPITRE I: L'ÉCLAIRAGE PUBLIC	11
1. DEFINITION ET BUT DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC	11
1.1. EXIGENCES NORMATIVES	11
1.1.1. Norme NF EN 13201	11
1.1.2. Norme NF C 17-200.....	11
1.1.3. Norme NF C15-100.....	12
1.1.4. Norme NF C18-510.....	12
2. CATEGORIES D'ÉCLAIRAGE PUBLIC	12
3. L'ÉCLAIRAGE PUBLIC ROUTIER.....	12
3.1. Matériels d'équipements d'éclairage public routier	12
3.2. Techniques d'implantations des candélabres	15
4. TECHNIQUES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES CANDÉLABRES.....	18
4.1. Source centralisée : réseau public de distribution d'énergie électrique	18
4.2. Sources décentralisées : les énergies renouvelables	23
CHAPITRE II: ÉTUDE PHOTOMÉTRIQUE	26
1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE PUIS CHOIX DE LA CLASSE ET SITUATION D'ÉCLAIRAGE	26
1.1. Présentation de la zone d'étude	26
1.2. Choix de la classe et situation d'éclairage.....	26
2. EXIGENCES DES PERFORMANCES PHOTOMETRIQUES	27
3. CALCUL DES PERFORMANCES PHOTOMETRIQUES.....	28
4. DISPOSITIF D'ÉCLAIRAGE	30
5. DISPOSITION SPATIALE	31
5.1. Type d'implantation	32
5.2. Espacement entre les candélabres.....	33
6. CALCUL DU FLUX LUMINEUX	33
7. CHOIX DU LUMINAIRE	34

8.	CHOIX DU SUPPORT DE LA CROSSE ET DU MASSIF	34
9.	DETERMINATION DU NOMBRE DE LUMINAIRES ET DE SUPPORTS	35
10.	ÉTUDE PHOTOMETRIQUE PAR LE LOGICIEL DIALUX 10.1	35
10.1.	Paramètres d'entrée de l'étude	36
10.2.	Paramètres de sorties	37
	SYNTHESE	38
CHAPITRE III : ÉTUDE ÉLECTRIQUE		39
1.	ESTIMATION DE LA RESSOURCE SOLAIRE	39
2.	ESTIMATION DES BESOINS JOURNALIERS.....	40
3.	ESTIMATION DE LA PUISSANCE PV.....	40
3.1.	Détermination de la puissance totale à installer :	41
4.	ESTIMATION DE LA CAPACITE DES BATTERIES D'ACCUMULATEUR.....	42
4.1.	Détermination de la capacité minimale des batteries.....	42
4.2.	Détermination de la capacité totale à installer :.....	43
5.	CALCUL DES RATIOS DE VERIFICATION	43
6.	CHOIX DU REGULATEUR DE CHARGE/DECHARGE	44
7.	ORIENTATION ET INCLINAISON DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	45
CHAPITRE IV : ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES CANDÉLABRES SOLAIRES ET ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE		47
A.	ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES CANDELABRES SOLAIRES	47
1.	ÉVALUATION DU COUT D'INVESTISSEMENT INITIAL	47
2.	ÉVALUATION DU COÛT D'EXPLOITATION.....	48
B.	ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE	50
3.	IMPACTS POSITIFS	50
4.	QUANTITES DE GES.....	50
CONCLUSION GÉNÉRALE		52
BIBLIOGRAPHIE.....		53
ANNEXES.....		56

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: CARACTERISTIQUES DES LAMPES USUELLES EN ECLAIRAGE PUBLIC [21]	13
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS TYPES D'IMPLANTATION [16]	17
TABLEAU 3 : PERFORMANCES PHOTOMETRIQUES A ATTEINDRE SELON LA CLASSE CE4	29
TABLEAU 4 : TYPE DE REVETEMENT DE LA CHAUSSEE	29
TABLEAU 5 : PERFORMANCES PHOTOMETRIQUES	30
TABLEAU 6 : FACTEUR DE MAINTENANCE ET INDICE DE PROTECTION	31
TABLEAU 7 : FLUX LUMINEUX DES TRONÇONS	34
TABLEAU 8 : CARACTERISTIQUES DU LUMINAIRE	34
TABLEAU 9 : CANDELABRE CROSSE MASSIF	35
TABLEAU 10 : RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS	37
TABLEAU 11 : DONNEES D'ENSOLEILLEMENT	39
TABLEAU 12 : RATIOS DE VERIFICATIONS	44
TABLEAU 13 : ANGLES D'INCLINAISON PAR RAPPORT A L'HORIZONTAL	45
TABLEAU 14 : RESULTATS DE L'ETUDE ELECTRIQUE	46
TABLEAU 15 : COUTS D'INVESTISSEMENT INITIAL DES LAMPADAIRES SOLAIRES	47
TABLEAU 16 : COUTS D'EXPLOITATION DES LAMPADAIRES SOLAIRES	49

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : INDICATION GEOGRAPHIQUE DU BUREAU D'ETUDE CETRA.....	6
FIGURE 2 : LUMINAIRE [12]	14
FIGURE 3 : DIFFERENTES PARTIES D'UN CANDELABRE [12]	15
FIGURE 4 : ARCHITECTURE IMPLANTATION UNILATERALE [16]	16
FIGURE 5 : ARCHITECTURE IMPLANTATION BILATERALE VIS-A-VIS [16].....	16
FIGURE 6 : ARCHITECTURE IMPLANTATION BILATERALE EN QUINCONCE [16]	17
FIGURE 7 : ARCHITECTURE IMPLANTATION EN AXIAL [16]	17
FIGURE 8 : SCHEMA SYNOPTIQUE D'ALIMENTATION EN BASSE TENSION [12].....	18
FIGURE 9 : COFFRET DE COMMANDE ET DE PROTECTION CPP.....	19
FIGURE 10 : SCHEMA DE MISE A LA TERRE DE TYPE TN-C ET TN-S [12]	20
FIGURE 11 : SCHEMA DE MISE A LA TERRE DE TYPE TT [12]	20
FIGURE 12 : DISPOSITIF DE COMMANDE LUMANDAR [16]	21
FIGURE 13 : DISPOSITIF DE COMMANDE HORLOGE ELECTROMECHANIQUE [16]	22
FIGURE 14 : DISPOSITIF DE COMMANDE HORLOGE ASTRONOMIQUE [16]	22
FIGURE 15 : ALIMENTATION EN MOYENNE TENSION INTERMEDIAIRE [17]	23
FIGURE 16 : LAMPADAIRE SOLAIRE	24
FIGURE 17 : LAMPADAIRE SOLAIRE TOUT EN UN	25
FIGURE 18 : VUE DU TRONÇON N °1	31
FIGURE 19 : VUE DU TRONÇON N °2	32
FIGURE 20 : VUE DU TRONÇON N °3.....	32
FIGURE 21 : ARCHITECTURE DE L'IMPLANTATION RETENUE	33
FIGURE 22 : PARAMETRES D'IMPLANTATION DE L'AXE CARREFOUR PK10- HOTEL DU 15 JANVIER	36
FIGURE 23 : INFORMATIONS RELATIVES A L'IMPLANTATION DES CANDELABRES ET DU LUMINAIRE CHOISIS	37
FIGURE 24 : RESULTATS DE SIMULATION	38

1. INTRODUCTION

La lutte contre l'obscurité a toujours été un problème pour l'espèce humaine. Historiquement, les Hommes furent obligés de se servir du feu pour s'éclairer [1]. Au fil du temps, les moyens permettant de s'éclairer ont connu un profond développement via les avancées techniques et technologiques, qui ont permis à leur tour le développement de nombreux pays notamment en termes de sécurité routière. On note aujourd'hui, l'évolution pour l'éclairage de l'utilisation du rayonnement solaire (énergie solaire), elle-même source de développement durable. Dans cette dynamique, le Gouvernement béninois fort conscient des enjeux de développement a envisagé une intervention significative en matière d'aménagement équilibré et durable de l'espace national en lien avec les ODD à travers l'amélioration du cadre de vie qui participerait au développement durable puis l'approfondissement de la décentralisation et de la déconcentration. Les réformes, programmes et projets relatifs à cet effet consistent en la Réhabilitation et en l'Aménagement des voiries primaires, secondaires et tertiaires dans les villes de Cotonou, Porto-Novo, Parakou, Bohicon, Abomey, Sèmè - Kpodji, Abomey-Calavi et Natitingou. Dans ce cadre, le projet d'Aménagement Urbain et d'Appui à la Décentralisation (PAURAD) s'inscrit dans une dynamique continue d'amélioration du cadre de vie des populations, de lutte contre la pauvreté et de renforcement des capacités des municipalités. L'objectif ici est de faciliter l'accès aux services urbains et d'améliorer la gestion urbaine dans les communes de ces villes respectives dont la mise en œuvre est effectuée par l'Agence d'Exécution des Travaux Urbains AGETUR-SA. Au titre des activités du projet, ces villes ont bénéficié de diverses infrastructures, notamment le pavage et l'assainissement de certains axes routiers. Toutefois, l'absence d'éclairage public sur les voies amplifie le risque d'accidents de circulation pendant la nuit, et la question de sécurité s'en trouve également hypothéquée. À cet effet l'AGETUR-SA, maître d'ouvrage délégué, a décidé de recruter le consultant CETRA SARL pour la mission d'étude technique des travaux d'éclairage solaire des rues aménagées dans les communes concernées par le projet. Le présent document s'inscrit dans le cadre de la conception d'un lampadaire solaire pour l'éclairage de l'axe carrefour pk10 - hôtel du 15 janvier situé dans la ville de Cotonou. Notre travail consistera à réaliser une étude photométrique de notre zone d'étude, une étude électrique, une évaluation économique et une étude environnementale.

2. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

La société CETRA créée depuis 1990, est juridiquement constituée en Société À Responsabilité Limitée (SARL) et comptabilise plus d'une trentaine d'années d'expérience dans les missions diverses. Ces missions ont été réalisées sur toute l'étendue du Bénin et aussi à l'extérieur.

Le Bureau d'Etudes Conseils - Etudes - TRAVAUX (BE CETRA) est un Bureau spécialisé en ingénieries Electrique et Énergétique et en Efficacité Énergétique. Il réalise dans ces domaines des expertises, des audits, des diagnostics, des évaluations et des contrôles et suivis d'exécution et autres appuis techniques aux maîtres d'ouvrage.

Les bureaux du BE CETRA se situent à Zongo, en face de la mosquée centrale et à l'adresse suivante : Rue BECHARDIN DURHAND R.5-144 Zongo-DOTA, COTONOU-BÉNIN.

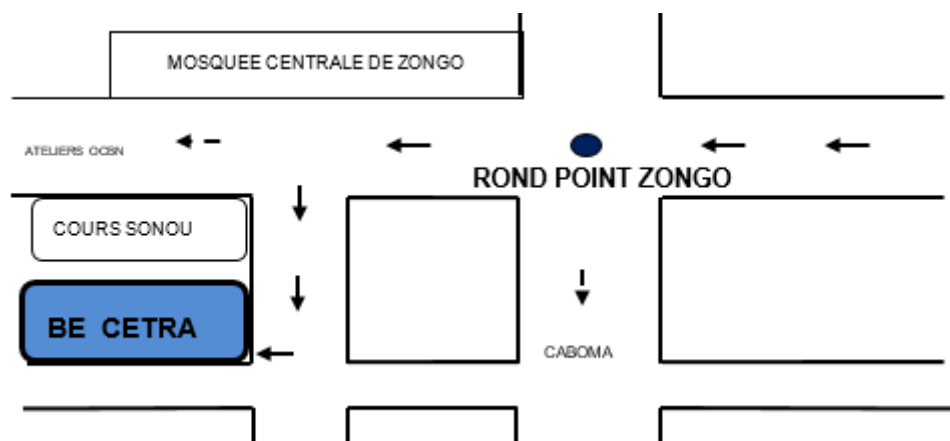


Figure 1 : Indication géographique du bureau d'étude CETRA

L'effectif actuel permanent est de 6 : (Direction : 1 ; Secrétariat : 1 ; Ingénieurs assistants : 2 ; Stagiaires : 2).

Le bureau d'étude possède des compétences dans de nombreux domaines de secteurs d'activités tels que :

- ❖ Ingénierie électrique : installations courant fort, courant faible, commande, protection et signalisation.
- ❖ Ingénierie énergétique : bilan énergétique, efficacité énergétique
- ❖ Maîtrise d'œuvre phase Études : Études techniques ;
- ❖ Appuis au Maître d'ouvrage : Rédaction de DAO, Choix des entreprises ;
- ❖ Maîtrise d'œuvre phase Travaux : Suivi-contrôle d'exécution des ouvrages, essais et réceptions ;
- ❖ Audits électriques et énergétiques ;
- ❖ Test de fonctionnement des installations et campagne de mesures électriques ;
- ❖ Diagnostics stratégiques et plans de mise à niveau.

3. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF

Mieux éclairer les rues et les routes, assurer une sécurité, et faciliter les déplacements nocturnes, constituent les enjeux de l'éclairage public. L'éclairage public est devenu une priorité pour les distributeurs d'énergie électrique, les autorités administratives et politiques en Afrique. Au Bénin, l'éclairage public à lui seul représente une bonne part dans la consommation d'électricité (30%). Face à l'augmentation des coûts d'énergies, des villes travailleraient à améliorer le rendement de leurs réseaux d'éclairage public. A cet effet, le recours aux nouvelles technologies est obligé afin de contribuer à la réduction de la consommation électrique. Pour ce qui est de l'éclairage public, les nouvelles technologies telles que les systèmes d'éclairage public moderne autonome ; c'est-à-dire les systèmes d'éclairage public solaire indépendant ou tout-en-un constituent une innovation dans le domaine de l'éclairage public, de par leurs grandes utilités d'éclairer avec une source d'énergie propre et durable.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude qui traite de « la conception d'un lampadaire solaire pour l'éclairage de l'axe carrefour pk10-hôtel du 15 janvier ».

L'objectif est de réaliser une étude d'éclairage public solaire à travers une étude photométrique, électrique puis une évaluation économique et une étude environnementale.

4. MÉTHODOLOGIE

Notre présentation s'articulera autour des points ci-après :

- **Le découpage de l'axe CARREFOUR PK10 – HOTEL DU 15 JANVIER** : ce point vise à découper l'axe concerné en plusieurs zones d'étude,
- **Une étude photométrique** : l'objectif est de déterminer les paramètres photométriques en fonction de chaque zone délimitée en se basant sur les normes requises,
- **Une étude électrique** : qui consistera à dimensionner le système d'alimentation solaire photovoltaïque,
- **Une évaluation économique** : cela consistera à établir un devis estimatif et quantitatif de l'ensemble du projet,
- **Une étude environnementale** : elle consistera à évaluer la quantité de gaz à effet de serre (GES) à éviter.

REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature est une étape de notre travail qui a permis de faire un état des lieux de l'éclairage public solaire au Bénin. Elle a consisté à définir les concepts d'éclairage, énergie solaire et de lampadaire solaire à LED ; puis à présenter les situations actuelles sur l'éclairage public solaire au Bénin.

1. DEFINITIONS DE CONCEPTS : NOTION D'ECLAIRAGE, ENERGIE SOLAIRE ET DE LAMPADAIRE SOLAIRE A LED

Les technologies de l'éclairage sont nées du besoin de substituer la lumière du soleil. De la préhistoire à nos jours, trois types de technologies ont été successivement développées : tout d'abord les lampes à combustion (huile, gaz) puis, à partir de 1880, les lampes à incandescence (filament chaud de tungstène sous gaz inerte ou halogène) et, depuis les années cinquante, les lampes à décharge (tubes fluorescents à mercure, lampes à vapeur de sodium). D'un point de vue scientifique, l'éclairage constitue un sujet de question de recherche dépassant des approches techniques. C'est ce que soulève (Sandra Mallet et Cécilia Comelli, 2017) : « Des travaux d'histoire, de psychologie, de philosophie, de sociologie, de géographie et d'urbanisme ont été réalisés sur la perception des éclairages, les politiques d'éclairage et l'urbanisme-lumière, la pollution lumineuse notamment plusieurs thèses dans le monde francophone - (cf. par exemple : Schivelbusch, 1983 ; Deleuil, 1993 ; Mosser, 2003 ; Glodt, 2006 ; Mallet, 2009 ; Challéat, 2010 ; Hernandez, 2010 ; Giordano, en cours ; Bertin, 2016) » [2]. De même, la CIE définit l'éclairage dans son Vocabulaire Internationale : « Application de lumière à un site, à des objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus » [3].

Pour ce qui est de l'énergie solaire photovoltaïque, elle constitue une technologie permettant de produire de l'électricité à partir du soleil grâce à « l'effet photovoltaïque », processus découvert par Edmond Becquerel en 1839. Ce processus repose sur l'utilisation des semi-conducteurs. En poussant plus loin la réflexion, l'énergie solaire selon est définie à partir d'un ensemble de données décrivant le rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Selon l'équipe de recherche menée par (A.Mefti et al., 2002), il s'agit de la notion de gisement solaire qui est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire [4].

Le troisième concept est celui du lampadaire solaire à LED. L'éclairage électrique avec l'invention de la première lampe à décharge en passant par l'utilisation de la lampe à incandescence a profondément bouleversée la vie quotidienne [5]. Aujourd'hui, pendant que l'incandescence est jugée trop énergivore, nous vivons une vraie révolution grâce à l'arrivée

des semi-conducteurs : la diode électroluminescente (LED). Les lampes à LED n'émettent pas de la lumière à partir d'un filament chauffé, mais à partir d'un processus complexe ayant lieu dans un matériau semi-conducteur. L'émission de la lumière par le semi-conducteur reste un procédé qui révèle d'un phénomène appelé « électroluminescence ». Cet avènement a donc suscité l'utilisation de système d'éclairage à lampe LED. Selon (Abderrazak et al., 2010), le lampadaire LED constitue un système d'éclairage composé d'un luminaire LED ; panneau photovoltaïque qui permet de délivrer une tension continu qui servirait à charger une batterie et d'un régulateur de charge qui assurerait une bonne durée de vie de la batterie le tout montée sur un support appelé candélabre [6]. Cela a donc fait naître l'apparition de plusieurs technologies de lampadaires solaires LED telles que les lampadaires solaires indépendants et les lampadaires solaires tout-en-un. Cette nouvelle technologie de lampadaire représente une idée innovante dans le domaine de l'éclairage public de par sa grande utilité d'éclairer avec une ressource solaire propre et durable.

2. L'ECLAIRAGE PUBLIC SOLAIRE A LED AU BENIN

La situation énergétique du Bénin est en plein essor. Depuis plusieurs années, l'Etat Béninois s'est engagé dans le développement des énergies renouvelables notamment le solaire et l'accès aux équipements photovoltaïques [7]. Les différents investissements réalisés dans l'énergie solaire ont permis d'améliorer l'accès à l'énergie pour les populations rurales et urbaines et de réduire le coût des services énergétiques. L'énergie solaire, atout majeur du Bénin, semble constituer un vecteur de transition énergétique. Divers programmes étatiques avec succès relatifs visent à favoriser le développement des installations solaires photovoltaïques. Les actions de l'Etat Béninois dans le développement d'énergie solaire furent réalisées par le biais de grands projets d'infrastructures [7]. Ces projets font parties des projets du volet énergie renouvelable qui constitue l'objectif n°7 des ODD qui porte sur l'environnement et le cadre de vie. Parmi ces projets, nous notons le Programme Régionale de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (PRODERE), programme cofinancé par l'UEOMA et l'Etat Béninois, (UEMOA et ABREE,2013) qui a permis de mettre l'accent sur quelques actions prioritaires sur l'énergie solaire telles que :

- La construction de mini centrales solaires dans les localités rurales [7],
- L'installation des lampadaires solaires sur les campus universitaires et les principales artères des quatre grandes villes (Porto-Novo, Cotonou, Abomey-Calavi, Parakou) [7].

A ces projets, vient s'ajouter le projet de développement du secteur des énergies renouvelables, projet mis en place par le gouvernement Béninois. Ce projet conduit par l'ANADERE vise à développer le secteur de l'éclairage public solaire par l'installation de 150 000 lampadaires sur toute l'étendue du territoire national [7]. Grâce à ces différents projets, diverses artères et rues de Cotonou et Abomey-Calavi sortent des ténèbres, plusieurs communautés béninoises ont vu leurs conditions de vie, activités économiques s'améliorer, et se développer [8]. De même, malgré la mise en place de ces différents projets, nous notons quelques problèmes liés à la gestion d'éclairage public solaire. Nous constatons que bon nombre de lampadaires solaires ne sont plus fonctionnels sur les axes routiers, les zones urbaines et rurales et donc n'assurent plus le service public dédié. C'est le cas des artères Sikècodji à Vèdoko, en passant par Akpakpa à Sainte-Rita où nous notons, des défauts de maintenance, actes de vandalismes liés aux différentes installations d'éclairage public solaire présentes sur ces lieux. Egaleme nt sur l'axe Godomey – Ouidah, les lampadaires solaires installés ne fonctionnent plus, cette situation plonge cette zone dans une obscurité totale occasionnant des accidents de circulation [9]. Ces situations sont dues aux ; non transfert des infrastructures d'éclairage public solaire aux mairies, défaut de définitions claires et contractualisées pour la maintenance et l'entretien des installations, l'absence de mécanismes de gestions des lampadaires et de statistiques nationales, techniques et financières complètes sur l'éclairage public, aux actes de vandalismes généralisés [10].

CHAPITRE I: L'ÉCLAIRAGE PUBLIC

L'éclairage public participe à la sécurité des déplacements des véhicules et des personnes en leur permettant de voir, d'être vu et de se reconnaître [11]. Dans ce chapitre, nous aborderons la notion d'éclairage public en s'attardant sur les exigences normatives requises et les éléments constitutifs d'un réseau d'éclairage public.

1. DEFINITION ET BUT DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC

L'éclairage public regroupe les moyens utilisés pour éclairer les espaces publics (monuments et sites, installations sportives) et les voiries (sites concernés). Il doit assurer une bonne visibilité qui dépendra [12]:

- Du contraste entre l'objet à visualiser et le fond,
- De l'éblouissement dont l'inconfort doit être réduit au strict minimum, la perception des obstacles se faisant le plus souvent par effet silhouette.

1.1. EXIGENCES NORMATIVES

En éclairage public, il est nécessaire de faire recours aux normes afin de mener à bien les différents projets d'éclairage public. Au titre de ces normes, nous pouvons évoquer :

1.1.1. Norme NF EN 13201

La norme européenne **NF EN 13201** fixe, pour tous les types de voies, les performances photométriques minimales à maintenir pour « voir et être vu » en toute circonstance et sans lesquelles aucune situation d'éclairage ne pourrait être appréciée et comparée objectivement. Cette norme comporte cinq documents distincts à savoir [13] :

- ✓ EN 13201-1 : document technique sélection des classes d'éclairage,
- ✓ EN 13201-2 : exigence des performances,
- ✓ EN 13201-3 : calcul des performances,
- ✓ EN 13201-4 : méthodes de mesures des performances photométriques,
- ✓ EN 13201-5 : calcul des efficacités énergétiques.

1.1.2. Norme NF C 17-200

La norme française **NF C 17-200** fixe les exigences à respecter sur les installations électriques extérieures, notamment les installations d'éclairage extérieures des voies publiques et privées (lotissements, voies des établissements industrielles et commerciaux). Concrètement pour l'éclairage public, elle se traduit par [14] :

- ✓ La règle du nombre : sur un circuit, le nombre de luminaires doit être adapté en fonction du type et du calibre du dispositif de protection contre les surintensités,
- ✓ Des prescriptions pour les protections contre les perturbations de tensions (transitoires et temporaires) qui doivent être traitées séparément par des équipements dans l'armoire de commande et dans les ouvrages d'éclairage extérieurs.

1.1.3. Norme NF C15-100

La norme française NF C15-100 porte sur les installations électriques à basse tension.

1.1.4. Norme NF C18-510

La norme française NF C18-510 énumère les règles concernant les opérations sur les ouvrages et installations électriques dans un environnement électrique, ainsi que la prévention du risque électrique.

2. CATEGORIES D'ÉCLAIRAGE PUBLIC

L'éclairage public doit permettre aux usagers de circuler la nuit avec un certain confort. Trois catégories d'éclairage public sont à distinguer :

- ✓ Éclairage des espaces verts,
- ✓ Éclairage décoratif (projecteur),
- ✓ Éclairage routier (voirie).

Nous nous intéressons dans notre cas à l'étude d'éclairage routier.

3. L'ÉCLAIRAGE PUBLIC ROUTIER

L'éclairage routier regroupe les moyens utilisés pour éclairer les espaces publics notamment les voiries souvent dans un environnement bâti discontinu, ou en hors agglomération à savoir :

- ✓ Autoroute,
- ✓ Route nationale,
- ✓ Route départementale,
- ✓ Rocade et périphérique.

3.1. Matériels d'équipements d'éclairage public routier

3.1.1. Types de lampes usuels en éclairage public routier

Plusieurs types de lampes sont à distinguer en éclairage public routier :

- Les lampes à vapeur de sodium basse pression,
- Les lampes à vapeur de sodium haute pression,
- Les lampes à iodure métallique,

- Les lampes à diodes électroluminescentes ou LED.

Le tableau ci-dessous permet de résumer les principales caractéristiques de ces types de lampes

Tableau 1: Caractéristiques des lampes usuelles en éclairage public [21]

Types de lampes Caractéristiques	Vapeur de sodium basse pression	Vapeur de sodium haute pression	Iodure métallique	LED
Puissances (W)	35 à 400	70 à 200	70 à 250	1 à 60
Flux lumineux ϕ (lm)	4600 à 40 000	3400 à 130 000	12 000 à 20 000	140 à 6000
Efficacités lumineuses (lm.W ⁻¹)	98 à 196	110 à 140	86 à 95	30 à 120
Durées de vie économiques (h)	12 000 à 14 000	15 000 à 20 000	4 000 à 8 000	25 000 à 30 000
Températures de couleur (K)	3 300 à 3 500	2 200 à 2 500	3 700 à 6 100	2 700 à 6 000
Indice de rendu des couleurs (IRC)	Non significatif	65 à 80	65 à 93	80 à 90
Mise en régime (min)	15	2 à 4	5 à 7	instantanée
Appareillages auxiliaires	Ballast +amorceur	Ballast ou ballast+amorceur	Ballast+amorceur ou ballast électronique	
Domaines d'utilisation	Routes, tunnels, passages inférieurs, balisage	Éclairage public, routes, autoroutes, grandes surfaces, éclairage urbain		Éclairage public, routes, autoroutes

3.1.2.Luminaires

Le luminaire désigne un ensemble mécanique, optique et électrique qui comprend une ou plusieurs lampes qui doivent répondre aux objectifs suivants [12] :

- ✓ Alimenter la lampe,
- ✓ Distribuer le flux lumineux en assurant aux lampes une conservation des caractéristiques et une durée de vie,
- ✓ Protéger contre les chocs, les corrosions, les intempéries,
- ✓ Contrôler le flux en évitant toute gêne d'éblouissement.

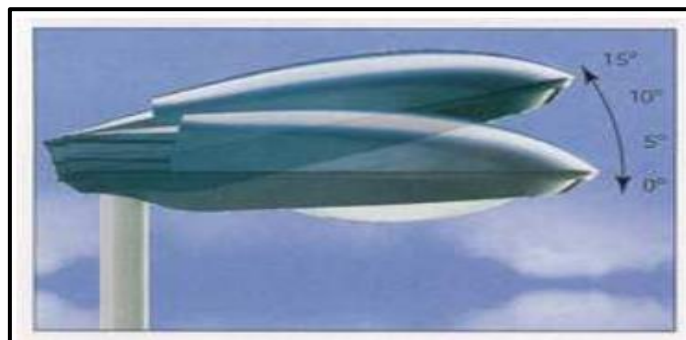


Figure 2 : Luminaire [12]

Il existe différentes catégories de luminaires en éclairage public routier [15] :

- ✓ Les luminaires défilés ou masqués : il s'agit d'un modèle dont les flux des lampes se coupent à ras le sol et les supports sont rapprochés
- ✓ Les luminaires semi-défilés ou semi-masqués : il s'agit d'un modèle où l'utilisation engendre la coupure des flux des lampes à une hauteur un peu plus élevée du sol ; et la distance entre deux rapports consécutifs est supérieure à celle du premier type,
- ✓ Les luminaires non-défilés ou non masqués : l'utilisation de ce modèle présente un inconvénient, celui du fort taux d'éblouissement ; cela est dû au fait que les flux des lampes se coupent très haut. La distance qui existe entre deux foyers consécutifs augmente, entraînant ainsi un nombre réduit de supports. Ce modèle peut être « ouvert » ou « fermé ».

Les luminaires sont constitués d' : [12]

- ✓ Une lampe,
- ✓ Un système optique qui se compose d' :
 - Un réflecteur réalisé en aluminium,
 - Un réfracteur en verre ou en matière plastique qui constitue alors la vasque de l'appareil,
 - Un dispositif de réglage de la source afin d'assurer la meilleure répartition possible du flux lumineux.

3.1.3. Candélabres

Les candélabres sont des consoles permettant la fixation des luminaires. Ils sont constitués de plusieurs parties [12] :

- Le fût représentant la partie principale d'un candélabre, assurant le lien entre le réseau de distribution d'énergie électrique et l'alimentation propre du luminaire,

- La plaque d'appui assurant la liaison entre le massif de fondation et le fût,
- La crosse assurant le déport du luminaire au-dessus de la chaussée.

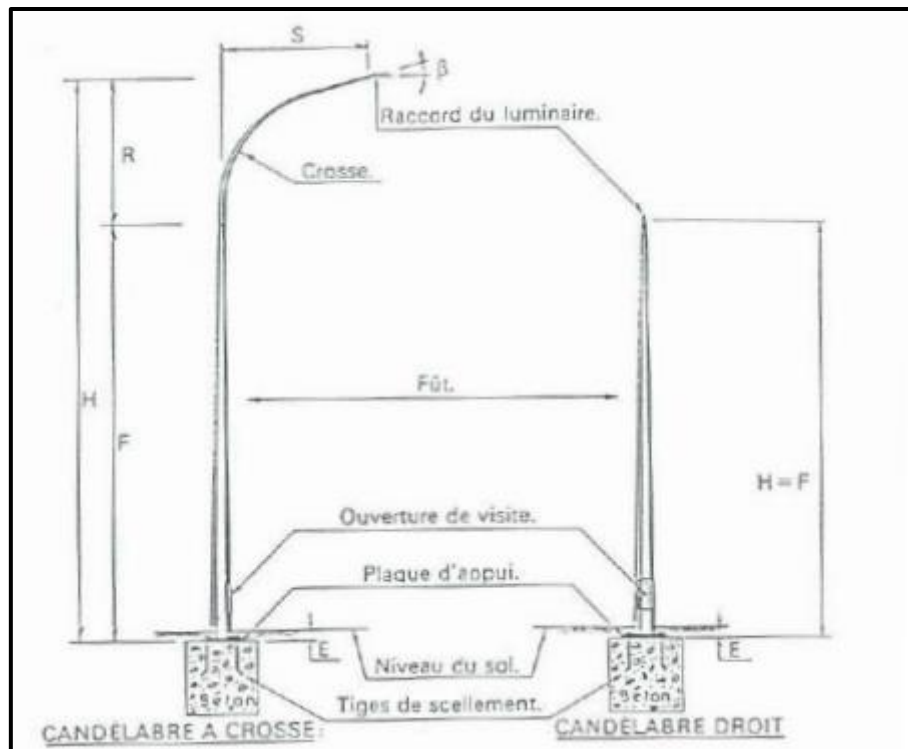


Figure 3 : Différentes parties d'un candélabre [12]

Il existe divers types de candélabres [12]:

- ✓ Les candélabres en acier
- ✓ Les candélabres en alliage d'aluminium
- ✓ Les candélabres en béton, bois, composite.

3.2. Techniques d'implantations des candélabres

On distingue plusieurs techniques d'implantation des candélabres. Elle permet d'obtenir les meilleurs paramètres d'éclairage requis. L'implantation des candélabres est faite en fonction de plusieurs paramètres telles que :

- La largeur de la voie,
- La hauteur de feu,
- Les aménagements existants ou accompagnants,
- Les réseaux souterrains existants.

Nous avons donc [16] :

- Implantation unilatérale : les candélabres sont implantés en ligne d'un seul côté de la chaussée. Elle n'est recommandée que dans le cas où la largeur de la chaussée (l) est voisine ou inférieure à la hauteur de feu (h). Elle est utilisée dans le cas d'une voie urbaine, d'un chemin piéton et d'une piste cyclable.

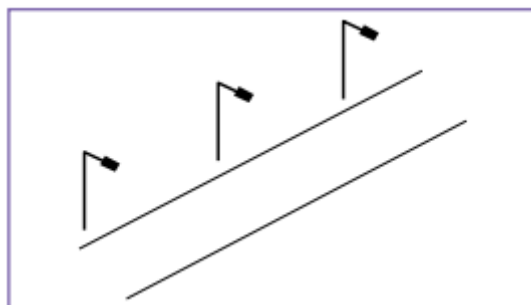


Figure 4 : Architecture implantation unilatérale [16]

- Implantation bilatérale en vis-à-vis : les candélabres sont implantés des deux côtés de la chaussée et se font face. Elle n'est recommandée dans le cas où la largeur de la chaussée (l) est supérieure à une fois et demie la hauteur de feu (h). Elle est utilisée dans le cas des voies urbaines larges.

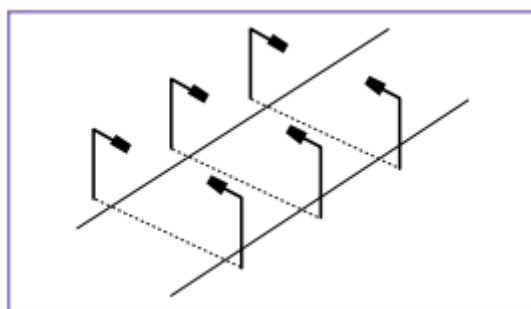


Figure 5 : Architecture implantation bilatérale vis-à-vis [16]

- Implantation bilatérale en quinconce : les candélabres sont implantés à mi-distance longitudinale les uns des autres. Ce type d'implantation est recommandable dans le cas où la largeur de la chaussée (l) reste inférieure à une fois et demie la hauteur de feu (h). Elle est utilisée dans le cas des cheminements piétons, des pistes cyclables et des voies secondaires. Il faut veiller à ne pas l'utiliser dans les courbes.

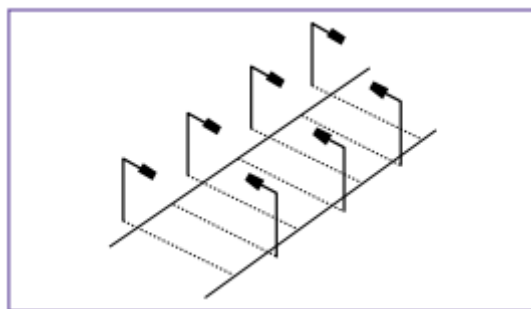


Figure 6 : Architecture implantation bilatérale en quinconce [16]

- Implantation en axial : les candélabres sont constitués de double crosse, elle n'est recommandée que dans le cas où la largeur de la chaussée (l) est voisine ou inférieure à la hauteur de feu (h). Elle est utilisée dans le cas des autoroutes, des chaussées doubles à deux sens de circulation.

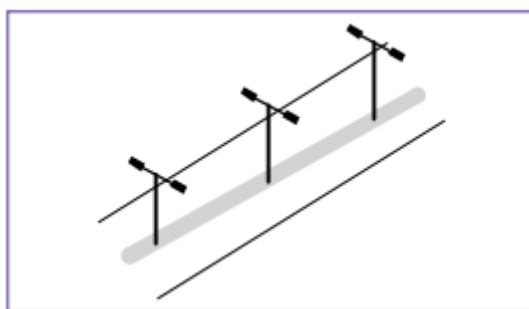


Figure 7 : Architecture implantation en axial [16]

Dans certains cas, quand le terre-plein central est trop large, il est conseillé de choisir une installation bilatérale en quinconce sur chaque voie. Ceci donne quatre rangées de lampadaires.

Le tableau ci-dessous récapitule les différents types d'implantations des candélabres.

Tableau 2 : Caractéristiques des différents types d'implantation [16]

Types d'implantations	Rapport entre l et h	Utilisations
Unilatérale	$l \leq h$	Voies urbaines Pistes cyclables Chemins piétons
Bilatérale vis à vis	$l > 1,5 h$	Voies urbaines larges
Bilatérale en quinconce	$l \leq 1,5 h$	Cheminements piétons, pistes cyclables Voies secondaires
Axial	$l \leq h$	Autoroutes Voies urbaines importantes

4. TECHNIQUES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES CANDÉLABRES

Les techniques d'alimentation électrique usuelles en éclairage public routier peuvent être regroupées en deux catégories selon les sources : les sources centralisées puis les sources décentralisées. Au nombre des sources centralisées, nous disposons du réseau public de distribution d'énergie électrique ; en ce qui concerne les sources décentralisées, nous comptons les sources d'énergie renouvelables en particulier l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie éolienne.

4.1. Source centralisée : réseau public de distribution d'énergie électrique

Les réseaux d'éclairage public routier alimentés à partir d'un réseau public de distribution d'énergie électrique sont réalisés selon différents régimes de tension :

- En basse tension (220 / 380 V) par un réseau aérien ou souterrain, indépendant ou commun au réseau de distribution public,
- En moyenne tension sous 3200 ou 5500 V à partir des transformateurs placés au pied de certains candélabres.

4.1.1. Alimentation en basse tension

En basse tension, l'alimentation se fait à partir d'une armoire de livraison privée spécialisée, installée de préférence à proximité d'un poste de distribution public, sauf dans le cas où la puissance de l'installation ou de l'association avec d'autres charges justifie un poste de transformation. L'alimentation comprend [12] :

- ✓ Les appareils de comptage,
- ✓ Une protection générale,
- ✓ L'appareil de commande,
- ✓ Les protections des différents départs et les réseaux de terre.

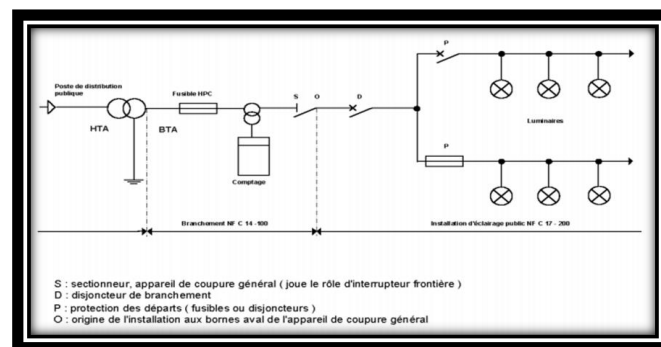


Figure 8 : Schéma synoptique d'alimentation en basse tension [12]

✚ Armoires

Également appelées *coffret de commande et de protection* (CPP), elles permettent l'alimentation du réseau d'éclairage routier à partir du réseau public de distribution d'énergie électrique. Ils comportent des dispositifs de protection, de commande et de comptage pour la consommation électrique.



Figure 9 : Coffret de commande et de protection CPP

✚ Dispositifs de protections

La norme française *NFC 17-200* impose une protection contre :

- ✓ Les contacts directs,
- ✓ Les contacts indirects,
- ✓ Les surintensités telles que les surcharges et les courts-circuits.

➤ Les contacts directs

Toutes les parties actives des matériels électriques doivent être protégées par isolation ou par des obstacles contre tout contact direct. Le matériel utilisé doit avoir au moins un degré de protection IPXX et IKXX [4].

➤ Les contacts indirects

Les contacts indirects dépendent [12] :

- ❖ Du schéma de mise à la terre,
- ❖ De la classe des luminaires.

En partant de deux principes généraux :

- ❖ La protection du départ : temporisé
- ❖ La protection de chaque candélabre : instantanée

La norme NFC 17-200 considère deux types d'installations :

- Type 1 : installations dont une interruption pourrait mettre en cause la sécurité des personnes.
- Type 2 : installations dont l'interruption ne compromet pas réellement la sécurité des usagers.

Les schémas de mise à la terre usuellement utilisés sont :

- Le type TN : les masses des appareils sont reliées au neutre de la source d'alimentation.

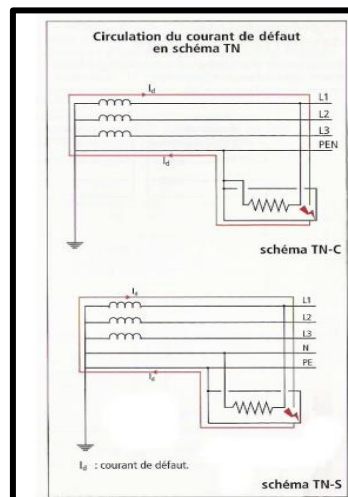


Figure 10 : Schéma de mise à la terre de type TN-C et TN-S [12]

- Le type TT : les masses des appareils et le neutre de la source sont reliés à des prises de terre distinctes.

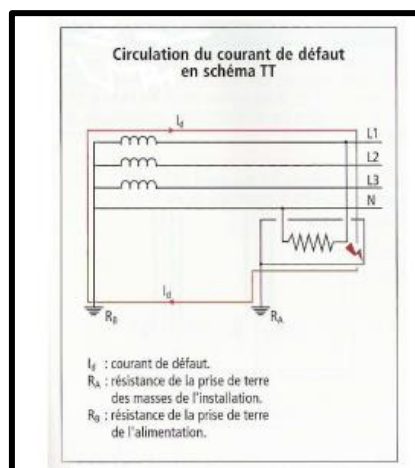


Figure 11 : Schéma de mise à la terre de type TT [12]

En éclairage public routier, seuls les matériels de classe I et II sont utilisés.

➤ Surintensités

La norme NFC 17-200 impose la protection des canalisations contre les surcharges et court-circuit de manière à éviter tout échauffement nuisible à l'isolation des conducteurs et à leur environnement.

Cette protection est assurée par des éléments de protections tels que :

- ❖ Des fusibles,
- ❖ Des disjoncteurs différentiels.

🚦 **Dispositifs de commande**

Les dispositifs de commande permettent de contrôler la mise en service et la mise hors service des équipements de l'éclairage public routier qui lui sont raccordés par le réseau public de distribution d'énergie électrique. Dans la très grande majorité des cas, les luminaires doivent fonctionner quand la lumière naturelle n'est pas suffisante pour assurer une vision suffisante nécessaire à la sécurité et au confort de tous les usagers de la route [16]. Les principaux dispositifs de commande en éclairage public routier sont les suivants :

- Allumage manuel : c'est le plus rudimentaire des modes de commande, l'éclairage est déclenché par un simple interrupteur manœuvré à la demande. Il se rencontre parfois sans organe de protection.
- Cellules photosensibles avec ou sans réglage de sensibilité : elles constituent des systèmes communément appelés « lumandar ». L'appellation générique est « commande par cellule photoélectrique » ou « interrupteur crépusculaire ». Le principe réside par la commande de la fermeture du contacteur de commande, piloté par l'état de sortie d'une cellule photoélectrique. Ils permettent de façon automatique de déclencher l'extinction et l'allumage des luminaires en fonction de la luminosité du jour. Par ailleurs, elles peuvent être associées à des horloges afin de couper la commande pendant une partie de la nuit.



Figure 12 : Dispositif de commande lumandar [16]

- Les horloges électromécaniques : ce type d'horloge commande l'extinction et l'allumage des luminaires à des heures spécifiques. Elles sont installées dans les coffrets de commande et de protection (CPP) et doivent être réglées et actualisées régulièrement afin de suivre approximativement les heures de lever et de coucher du soleil.



Figure 13 : Dispositif de commande horloge électromécanique [16]

- Les horloges astronomiques : également appelées calculateurs astronomiques, il s'agit d'un boîtier modulaire placé dans le coffret de commande de l'éclairage avec une antenne intérieure qui est disponible pour une remise à l'heure journalière automatique, afin de pallier la dérive minime du quartz de l'appareil. Elles permettent de suivre parfaitement les heures d'éclairement naturel grâce aux éléments initialisés à l'installation qui sont principalement la date, l'heure et la longitude du site.



Figure 14 : Dispositif de commande horloge astronomique [16]

- Commande par voie hertzienne : ce principe repose sur l'émission d'ordres d'allumage / extinction depuis un émetteur au niveau de la commande centrale, lui-même opérant généralement grâce à un calculateur astronomique couplé à une cellule photoélectrique. Les ordres émis sont reçus par des récepteurs au niveau de chaque point de livraison d'énergie électrique.

A ces dispositifs de commandes sont associés différents modes de fonctionnement tels que :

- Le fonctionnement permanent,

- Le fonctionnement semi-permanent,
- Le fonctionnement par régulation / réduction de puissance.

4.1.2. Alimentation en moyenne tension

L'alimentation en moyenne tension se fait [17]:

- À partir du réseau de distribution basse tension 230/400 V, par l'intermédiaire de transformateurs élévateurs 0,4 / 5,5 kV,
- À partir du réseau de distribution HT par l'intermédiaire de transformateurs abaisseurs 20 / 5,5 kV ou 20 / 3,2 kV.

Cette alimentation comprend [12] :

- Des câbles haute tension de catégorie A,
- Des transformateurs abaisseurs d'une puissance de 0,4 kVA à 50 kVA,
- Des câbles basse tension de catégorie B alimentant un ou plusieurs candélabres,
- Un réseau de terre.

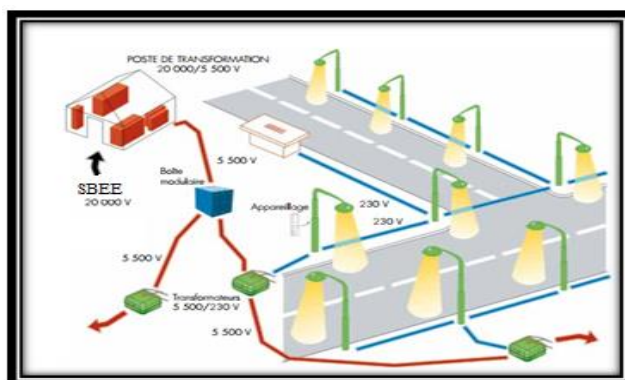


Figure 15 : Alimentation en moyenne tension intermédiaire [17]

4.2. Sources décentralisées : les énergies renouvelables

Un système d'éclairage public routier alimenté à partir d'une source d'énergie renouvelable constitue un mode d'éclairage public alimenté dans des conditions normales par sa propre source d'énergie captée localement (solaire et/ou éolienne) et stockée en attendant sa restitution selon les besoins de l'application.

4.2.1. Énergie solaire

L'énergie solaire tire sa source du soleil où nous distinguons trois types d'utilisation du soleil à savoir :

- Le solaire passif,

- Le solaire photovoltaïque
- Le solaire thermique.

L'éclairage public solaire représente un système utilisant une source d'énergie dont le fonctionnement électrique est réalisé à partir des cellules photovoltaïques. Le système se compose des éléments séparés les uns des autres tels que :

- Un générateur photovoltaïque : c'est un assemblage de plusieurs cellules photovoltaïques générant du courant continu disposé en série ou parallèle pour former un ensemble de quelques kilowatt-crête (kWc). La fabrication des cellules photovoltaïques les plus couramment utilisées est faite à base de silicium. Il s'agit d'un cristal semi-conducteur. On distingue trois technologies de cellules photovoltaïques :
 - Le silicium monocristallin, avec un meilleur rendement de 16 à 21 %,
 - Le silicium multicristallin ou le polycristallin, avec un rendement moins élevé de 13 à 15 %,
 - Le silicium amorphe possédant un rendement meilleur en cas de faible luminosité mais reste malgré tout deux fois moins efficace.
- Une batterie d'accumulateur : caractérisées par leurs capacités, durées de vie, et leurs autonomies, ils servent de stockage et assurent la fonction d'autonomie et de stabilisation de la tension. Il existe quatre principaux types de batteries solaires : les batteries au plomb (OPZ, AGM, GEL) et les batteries lithiums. Les types usuels en éclairage public routier sont les batteries GEL ou lithiums,
- Un régulateur de charge : il contrôle l'état de charge et de décharge de la batterie,
- Un luminaire assurant l'éclairage du lieu cible,
- Un mât servant de support de l'ensemble.



Figure 16 : Lampadaire solaire

Il existe également des solutions de lampadaires solaires compacts qui rassemblent toutes les composantes en un seul bloc. C'est le cas du lampadaire tout en un avec le développement de la performance des batteries lithium. Il a l'avantage de réduire la surface de saleté et donc de minimiser les opérations d'entretien.



Figure 17 : lampadaire solaire tout en un

Dans ce chapitre, nous avons offert un aperçu sur l'éclairage public et les différentes techniques d'alimentation électrique. Les chapitres que nous aborderons dans la suite de notre travail traiteront de manière générale, l'étude d'un système d'éclairage public solaire relatif à une zone bien déterminée. Cette étude sera déclinée en quatre sous chapitres :

- Une étude photométrique : il s'agira de faire une étude photométrique complète de la zone par la méthode R et une étude par le logiciel Dialux,
- Une étude électrique : il s'agira de déterminer la configuration et le choix des différents éléments constituant le système solaire,
- Une évaluation économique qui permettra de déterminer le coût global du projet,
- Une évaluation environnementale qui permettra de définir les limites du projet.

CHAPITRE II: ÉTUDE PHOTOMÉTRIQUE

Un projet d'éclairage public a pour objectif de réaliser une étude pour déterminer le nombre de points lumineux à installer permettant d'offrir une ambiance confortablement éclairée compte tenu de l'espace considéré et suivant la luminance moyenne de la chaussée proposée par les normes. Les conditions photométriques à respecter en éclairage public sont fonction de la norme relative à l'éclairage public : la norme européenne **EN 13201** qui fixe, pour tous les types de voies, les performances photométriques minimales à maintenir pour « voir et être vu » en toute circonstance et sans lesquelles aucune situation d'éclairage ne pourrait être appréciée et comparée objectivement. La méthodologie à suivre est énoncée ci-après :

- La détermination de la classe et situation d'éclairage relative à notre zone d'étude,
- Les exigences des performances photométriques à maintenir,
- Le calcul des performances photométriques,
- La détermination des paramètres du dispositif d'éclairage,
- La détermination de la disposition spatiale,
- Le calcul du flux lumineux requis,
- Le choix du luminaire et de ses caractéristiques.
- Étude à l'aide du logiciel Dialux.

1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE PUIS CHOIX DE LA CLASSE ET SITUATION D'ÉCLAIRAGE

1.1. Présentation de la zone d'étude

L'axe CARREFOUR PK10 (STATION JNP) – HOTEL DU 15 JANVIER, objet de notre étude est un ouvrage de type voirie. Il est composé de deux chaussées munies d'une voie chacune séparées par un terre-plein central et autorisé aux piétons et cyclistes sans piste cyclable.

1.2. Choix de la classe et situation d'éclairage

Selon la norme EN 13201-1, les voies sont regroupées en différentes situations d'éclairage, classe d'éclairage, et selon les paramètres spécifiques par zone d'étude.

Les groupes de situations d'éclairage [20]

Les situations d'éclairage sont fonction de la vitesse et des types d'usagers. Nous pouvons distinguer les catégories suivantes selon le tableau présenté en (Annexe 1 : Groupe et classes d'éclairage) :

- A1, A2, A3 : Trafic motorisé prépondérant pour une vitesse $v > 60$ km/h ;

- *B1, B2*: Trafic motorisé + cyclistes; pour une vitesse v tel que, $30 < v \leq 60$ km/h ;
- *C1, D1 à D4*: Trafic motorisé + cyclistes + piétons pour une vitesse v compris entre 5 et 30 km/h;
- *E1, E2*: Piétons en priorité.

✚ **Les paramètres spécifiques par zone d'étude [20]** selon le tableau présenté en (Annexe 2 : Paramètres spécifiques des groupes de situation d'éclairage).

Ces paramètres sont liés à :

- Géométrie des voies : séparation des voies, présence d'échangeurs et d'intersection, zones de conflit
- Nature du trafic : densité, présence de cyclistes et piétons, stationnement, difficultés de navigation
- Environnement : exigences visuelles, ambiance, conditions climatiques

✚ **Les classes d'éclairage [20]**

En fonction des paramètres définis précédemment, on distingue :

- *Classe ME, MEW, CE* pour un Trafic motorisé prépondérant ;
- *Classe S, A* pour les piétons et cyclistes ;
- *Classe ES, EV*, pour des zones à risques.

Nous constatons également que chaque situation d'éclairage correspond à une ou plusieurs classe (s) d'éclairage. Les classes d'éclairage sont également réparties en sous-groupes de type ME_x , CE_x , S_x ... où x peut prendre la valeur entre 1 et 6, (**Confère** Annexe 1 : Groupe et classes d'éclairage).

En se référant à la catégorie de vitesse à laquelle appartient notre zone d'étude ainsi qu'aux paramètres spécifiques propres à notre zone d'étude, nous pouvons dire que l'axe carrefour pk10 (station jnp) – hôtel du 15 janvier, est une **voie de desserte** destiné aux véhicules motorisés lents, et autorisé aux piétons et cyclistes sans présenter une piste cyclable. La vitesse admise est comprise entre **5 et 30 km/h**. Nous déduisons qu'elle appartient donc à la situation d'éclairage de type **D1** associée à la classe **CE4**.

2. EXIGENCES DES PERFORMANCES PHOTOMETRIQUES

La norme NF EN 13201-2 relative aux exigences des performances photométriques définit les performances photométriques pour chaque classe et donne les valeurs minimales à maintenir. Il s'agit de :

- La luminance moyenne
- L'éclairement moyen
- Le facteur d'uniformité générale U_0
- Le facteur d'uniformité longitudinale U_l
- Le taux d'éblouissement T_i
- Le rapport de contigüité SR

Notre zone d'étude appartenant à la situation d'éclairage **D1** associée à la classe **CE4**, les performances photométriques liées à cette classe sont ***l'éclairement moyen minimal*** puis le ***facteur d'uniformité générale de luminance***, (confère Annexe 4 : Exigences photométriques de la classe d'éclairage CE).

Définitions des paramètres des performances de la classe CE4

- Éclairement moyen E_{moy}

L'éclairement horizontal de la surface d'une voirie est égal à la plus petite valeur d'éclairement sur la voirie. Quant à l'éclairement moyen d'une voirie, elle est égale à la moyenne arithmétique des éclairements horizontaux et représente la valeur minimale moyenne à maintenir sur la surface d'une voirie [18].

- Facteur d'uniformité générale de luminance (U_0)

Il se définit étant le rapport de la luminance minimale [L_{min}] d'une surface éclairée à sa luminance moyenne [L_{moy}] pour des conditions équivalentes. L'uniformité générale de luminance U_0 permet de garantir une répartition de la lumière satisfaisante sur l'ensemble du projet [18].

3. CALCUL DES PERFORMANCES PHOTOMETRIQUES

La norme EN 13201-3 donne les procédures et méthodes de calcul des performances photométriques. Il s'agira de déterminer :

- La valeur minimale de l'éclairement moyen à maintenir,
- La valeur minimale du facteur d'uniformité générale à maintenir
- La valeur minimale de la luminance moyenne à maintenir.

Les autres exigences suscitées n'interviendront pas dans le calcul car elles n'appartiennent pas à la classe d'éclairage **CE4**. Selon les valeurs minimales des performances photométriques à maintenir selon la classe **CE4**, nous retenons les valeurs comme présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Performances photométriques à atteindre selon la classe CE4

Classe	Éclairage horizontal	
	E _{moy} en lux [minimal à maintenir]	U _o [minimal]
CE0	50	0.4
CE1	30	0.4
CE2	20	0.4
CE3	15	0.4
CE4	10	0.4
CE5	7,5	0.4

Rapport R

Une autre caractéristique de la route intervenant dans l'étude photométrique des projets d'éclairage public est le revêtement de la chaussée. Les revêtements de chaussée présentent une grande diversité quant à leurs propriétés réfléchissantes. Ceux-ci dépendent :

- De leur nature (composition, texture, clarté ...)
- De leur état de surface (usure, planéité, humidité, pollution...).

La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) a proposé un système de classification des surfaces routières appelé système de classification R relative aux propriétés réfléchissantes de la chaussée. Ainsi, pour un projet d'éclairage public, la CIE a proposé quatre types de revêtement de chaussée [18]. Un ouvrage de type voirie faite en **pavée artificiel** est concerné pour notre cas d'étude ; nous déduisons donc le revêtement correspondant à notre zone d'étude ; il est question d'un revêtement de type béton, ce qui permet de déterminer la valeur du rapport R tel que présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Type de revêtement de la chaussée

Nature de la chaussée	Rapport R
Enrobés clairs	7
Bétons	10
Enrobés moyens	14
Enrobés sombres	18

En partant de la relation liant la luminance moyenne à l'éclairage moyen E et au rapport R tel que :

$$R = \frac{E}{L} \quad (1)$$

Nous retenons une valeur minimale de $L_{\text{moy}} = 1,0 \text{ cd/m}^2$ à maintenir conformément aux réglementations. Par suite, les performances photométriques à maintenir se résument à travers le tableau suivant :

Tableau 5 : Performances photométriques

Zone d'étude	Situation d'éclairage	Classe d'éclairage	Éclairement moyen E_{moy} [lux]	Facteur d'uniformité U_0	Luminance moyenne L_{moy} [cd/m ²]	Rapport R
CARREFOUR PK10 (STATION JNP) – HOTEL DU 15 JANVIER	D1	CE4	10	0,4	1.0	10

4. DISPOSITIF D'ÉCLAIRAGE

Le dispositif d'éclairage est un aspect prenant en compte les éléments constitutifs du système d'éclairage en particulier le type de source et la puissance, puis le type de luminaire. Toujours dans l'étude photométrique, nous devons considérer d'autres paramètres relatifs au dispositif d'éclairage tels que le facteur de maintenance et le facteur d'utilisation.

- **Le facteur de maintenance (v)** permet de prendre en compte la dépréciation du flux lumineux de l'installation compte tenu des pertes de lumière liées à l'effet des salissures sur les surfaces et au vieillissement de l'installation (degré de pollution du lieu à éclairer). Ce facteur prend en compte l'indice de protection des luminaires à installer.

L'indice de protection IP des luminaires se définit en fonction de la configuration des installations et du milieu d'évolution de nos lampadaires, il est une caractéristique mécanique des luminaires définies par deux ou trois chiffres où [12] :

- Le 1er caractérise la pénétration de corps solides étrangers,
 - Le 2ème caractérise la pénétration des liquides,
 - Le 3ème caractérise le degré de protection aux chocs.
- **Le facteur d'utilisation (u)** : désigne le rapport entre le flux lumineux utile et le flux lumineux de la source. Il s'agit de la quantité de flux lumineux que l'on utilise de la source lumineuse. Généralement le facteur d'utilisation u pour les lampes LED est pris égale à : $u = 0,55$.

Dans notre cas d'étude, les lampadaires seront installés dans une ville côtière qui bénéficie d'un climat humide et tropical, le tableau suivant présente les niveaux de pollution auxquels sont associés les degrés de protection du luminaire :

Tableau 6 : Facteur de maintenance et indice de protection

Catégories de pollution	Degré de protection du luminaire		
	IP 23 à 44	IP 54 à 55	IP 65 à 66
Lieu moyennement pollué, site essentiellement rural et résidentiel	0,75	0,85	0,95
Lieu fortement pollué, soit site industriel ou urbain	0,5	0,7	0,85

Ayant à faire à un lieu fortement pollué urbain, nous retiendrons une **valeur $v = 0,85$** comme facteur de maintenance ; **$u = 0,55$** comme facteur d'utilisation pour la suite de nos calculs. Les luminaires devront être dotés d'un indice de protection **IP65**.

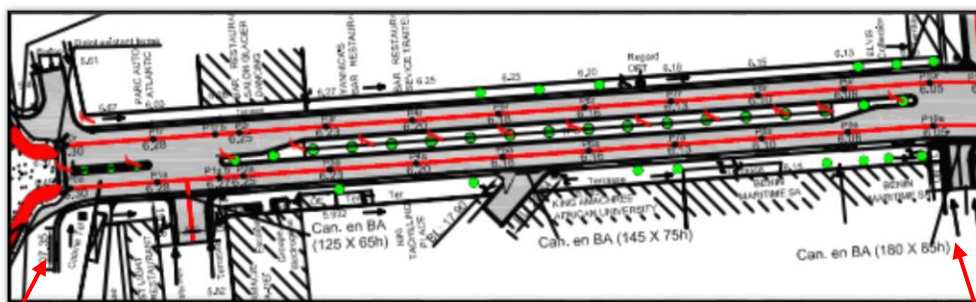
5. DISPOSITION SPATIALE

La disposition spatiale dans un projet d'éclairage public consiste à déterminer le type d'implantation et l'espacement requis entre les lampadaires liés à la géométrie de la voie.

✚ Présentation géométrique

L'axe CARREFOUR PK10 (STATION JNP) – HOTEL DU 15 JANVIER est divisé en trois tronçons :

- Le premier tronçon débute de « cabine tel » et prend fin à « Bénin Maritime SA », il présente **une chaussée** constituée de **deux voies de 7 m de largeur chacune**. Ces deux voies sont séparées par un **terre-plein central de 5 m de large** et bordées par des **trottoirs de 5 m de large**.



Début

Figure 18 : Vue du tronçon n°1

Fin

- Le deuxième tronçon débutant de « Université d'Abomey-Calavi » et prenant fin à « Terrasse agence Diamond Bank », se présente de la même façon que le précédent.

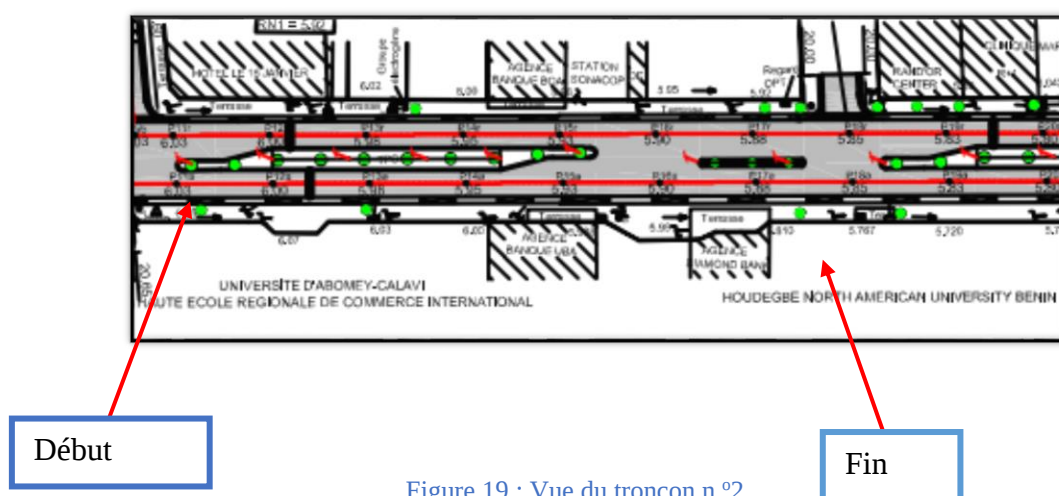


Figure 19 : Vue du tronçon n °2

- Le troisième tronçon se présente également de la même façon que les deux précédents mais commence à partir de « Houdegbe North American University » et se termine à « Experience coiffure et terrasse ».

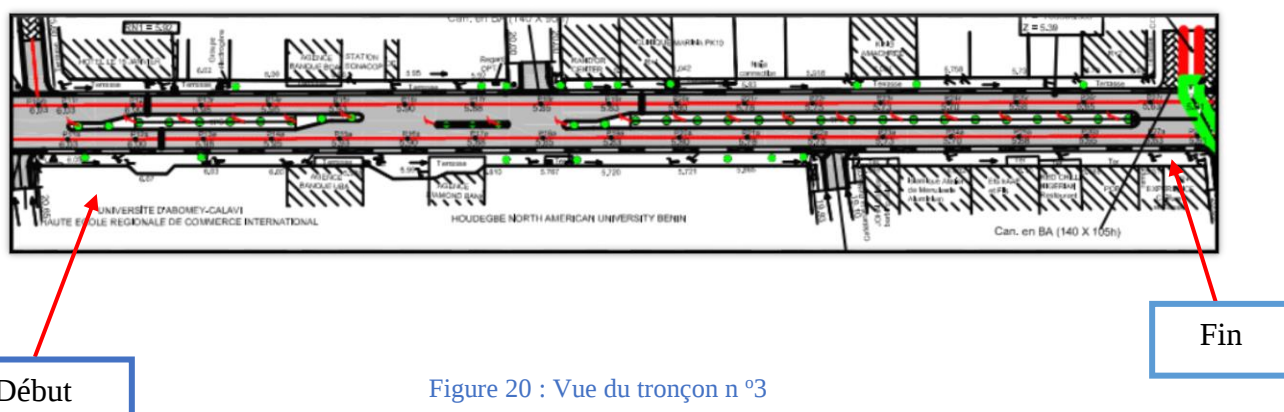


Figure 20 : Vue du tronçon n °3

5.1. Type d'implantation

Pour identifier le type d'implantation approprié, nous devons tenir compte des paramètres primordiaux tels que *la largeur de la voie*, *les aménagements existants ou accompagnants* et *la nature de la zone d'étude*. D'après les caractéristiques propres à notre zone d'étude (voie urbaine de desserte), nous déduisons donc une implantation **bilatérale en quinconce** satisfaisante aux exigences de la norme NF EN 13201. Cette implantation a été choisie en fonction des paramètres existants sur la voie en particuliers la présence des poteaux électriques et de télécommunication le long des trottoirs, la présence des bâtiments le long des trottoirs également, la présence des cheminements piétons

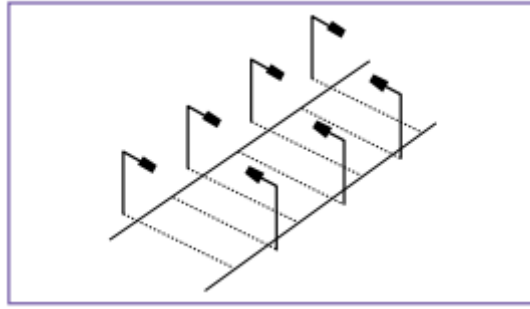


Figure 21 : Architecture de l'implantation retenue

5.2. Espacement entre les candélabres

La détermination de l'espacement entre les candélabres est fonction du type d'implantation choisi et de la largeur de la voie. Pour une implantation bilatérale en quinconce, les relations suivantes nous permettent de déterminer la *hauteur de feu (h)* et *l'espacement (e)* requis entre les candélabres, (**confère** Annexe 6 : Espacement des candélabres en fonction de l'implantation) :

$$\frac{h}{l} \geq 1 \quad (2)$$

$$e < 3,2h$$

Les tronçons de notre zone d'étude ont une largeur de 7m respectivement, nous déduisons donc une **hauteur de feu h de 7 m** et un écartement entre candélabre de 22,4 m.

Tout en satisfaisant aux contraintes du projet, nous retenons un **espacement (e)** pris égale à **22m**.

6. CALCUL DU FLUX LUMINEUX

Le calcul du flux lumineux requis permet de choisir la puissance du luminaire à installer. La formule permettant de déterminer le flux lumineux requis peut s'écrire :

$$F = \frac{E \times l \times e}{v \times u} \quad (3)$$

- F : flux lumineux (lm)
- E : éclairage moyen (lux) pris à 10 lux
- l : largeur de la chaussée pris à 7 m
- e : espacement entre candélabres pris à 22 m
- v : facteur de maintenance pris à 0,85
- u : facteur d'utilisation pris à 0,55

Nous trouvons ainsi le flux lumineux requis sur chaque tronçon qui se présente dans le tableau ci-après :

Tableau 7 : Flux lumineux des tronçons

Tronçons	l (m)	e (m)	E (lux)	Implantation	v	u	Flux lumineux F (lm)
Tronçon 1	7	22	10	Bilatérale en quinconce	0,85	0,55	3 294
Tronçon 2	7	22	10	Bilatérale en quinconce	0,85	0,55	3 294
Tronçon 3	7	22	10	Bilatérale en quinconce	0,85	0,55	3 294

7. CHOIX DU LUMINAIRE

Le choix du luminaire à installer se fera en fonction du flux lumineux requis.

Nous retenons donc le luminaire LED **Solar Street light LF-60** du fabricant **SINES** respectant les conditions du projet dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Caractéristiques du luminaire

Caractéristiques	Solar Street light LF – 60
Source	LED
Puissance absorbée (W)	60
Flux lumineux (lm)	7000
Tension de service (VDC)	12/24
Etanchéité	IP65

8. CHOIX DU SUPPORT DE LA CROSSE ET DU MASSIF

Quant au choix du support, il se fera en fonction des caractéristiques des luminaires à implanter, de la zone d'implantation et des équipements et en satisfaisant aux exigences de la norme EN 40. Alors, nous choisissons **un candélabre muni d'une crosse** ; en **composite** du fait de sa résistance aux conditions climatiques les plus défavorables et aux agressions des milieux marins caractérisés par de forts vents et une humidité très élevée avec une hauteur d'au moins sept (07) mètres.

Nous retenons donc le candélabre **SE-0900-PLA** de la gamme STILI du fabricant **DESCHAMPS** muni d'une crosse de type simple feu du fabricant **ECLATEC**, (confère Annexe 8 : Fiche technique candélabre STILI du fabricant DESCHAMPS ; Annexe 9 : Fiche technique crosse Cytise du fabricant ECLATEC).

Quant au massif, il garantira la stabilité du candélabre. Pour donc porter le candélabre, nous choisissons le massif **GR6** du fabricant STRADAL pouvant porter un candélabre de sept (07) mètres de haut, (**confère** Annexe 10 : Fiche technique massif)

Tableau 9 : Candélabre crosse massif

Caractéristiques	Candélabre STILI	Crosse double feu ECLATEC	Massif GR6
Hauteur h (m)	8	-	8 à 10
Poids (kg)	62,6	8	240
Entraxe (mm)	300	-	300
Diamètre en tête (mm)	70	800	-
Diamètre au pied (mm)	190		
Diamètre de l'extrémité extérieur (mm)	-	500	-
Inclinaison (°)	-	10	-

9. DETERMINATION DU NOMBRE DE LUMINAIRES ET DE SUPPORTS

La zone présente une longueur totale de 1500 mètres, l'espacement requis entre candélabres étant de 22 mètres, à partir de la relation suivante :

$$N = \frac{L}{e} \quad (4)$$

- N : nombre de candélabres
- L : longueur de la voie (m)
- e : espacement entre candélabres (m)

Nous déduisons donc le nombre total de candélabres à installer selon l'implantation choisie. Pour notre projet nous retenons **68 candélabres** à implanter avec **un (01) luminaire** par crosse, donc **68 luminaires** seront implantés pour l'ensemble du projet.

10. ÉTUDE PHOTOMETRIQUE PAR LE LOGICIEL DIALUX 10.1

DIALux est un logiciel développé par l'entreprise DIAL GmbH, plateforme de services pour les techniques du bâtiment et de l'éclairage. DIALux permet le calcul de la lumière du jour et de la lumière artificielle en extérieur ou dans un espace intérieur. Ce calcul repose sur la norme DIN 5034 (Deutsches Institut für Normung EV) et la publication 110 de la CIE. Les algorithmes de DIALux utilisent la méthode de la radiosité : les surfaces du modèle sont discrétisées en facettes et le rayonnement (émis et reçu) est calculé pour chacune des facettes. L'éclairement en chaque point est calculé sur la base du bilan des rayonnements lumineux reçus et émis depuis les facettes. DIALux permet de calculer les éclairements, les facteurs lumières du jour, les luminances, et permet de réaliser des études d'ombrage ainsi que des rendus.

En ce qui concerne notre cas qui est de l'éclairage public routier, l'utilisation de cet outil de simulation photométrique nous permettra de définir la voie en fonction de ces paramètres afin d'obtenir des valeurs photométriques selon la norme NF EN 13201. Ces valeurs permettront de vérifier les résultats obtenus par la méthode R afin de juger la qualité de l'installation.

10.1. Paramètres d'entrée de l'étude

Une étude d'éclairage public routier réalisée à l'aide du logiciel Dialux nécessite des paramètres d'entrée en fonction de la géométrie de la voie et des caractéristiques des luminaires à installer.

La chaussée est définie en renseignant les paramètres suivants :

- Le profil de la rue (chaussée, trottoir, terre – plein central, piste cyclable),
- Le revêtement en fonction du type de profil de la rue,
- Largeur et hauteur en fonction du type de profil de la rue,
- La classe d'éclairage.

Les paramètres renseignés définissant la chaussée se présentent comme suit :

The figure displays three screenshots of the 'Élément de profil actif' (Active profile element) settings in the Dialux software interface, arranged in a 2x2 grid with the bottom-right cell empty.

- Top-left screenshot (Chaussée 1):**
 - Nom: Chaussée 1
 - Revêtement de la chaussée: CIE R2, Q0 0.07
 - Largeur de chaussée: 7.000 m
 - Nombre de voies: 1
 - Champ d'évaluation:
 - Nom: Chaussée 1 (C4)
 - Classe d'éclairage: C4
- Bottom-left screenshot (Terre-plein central 1):**
 - Nom: Terre-plein central 1
 - Largeur: 5.000 m
 - Hauteur: 0.100 m
- Bottom-right screenshot (Trottoir 1):**
 - Nom: Trottoir 1
 - Largeur: 5.000 m
 - Hauteur: 0.100 m
 - Champ d'évaluation:
 - Nom: Trottoir 1 (C4)
 - Classe d'éclairage: C4

Figure 22 : Paramètres d'implantation de l'axe CARREFOUR PK10- HOTEL DU 15 JANVIER

Les luminaires sont définis en renseignant les paramètres suivants :

- Le choix du luminaire en fonction du flux lumineux requis

- Le type de disposition
- L'espacement
- La hauteur du point d'éclairage
- Le nombre de luminaire par poteaux
- La saillie du point lumineux

Les paramètres renseignés définissant le choix du luminaire et le type d'implantation se présentent comme suit :

The image shows a software interface for configuring luminaire installation. It consists of two main panels. The left panel, titled 'Disposition des luminaires', shows a list of selected luminaires: '1. BGP283 T25 1 xLED70-4S'. Below this, it specifies the 'Nom' (Name) as 'BGP283 T25 1 xLED70-4S', 'Heures de service' (Service hours) as '4000 Nombre d'heures par an', and 'Luminaire' (Luminaire) as 'BGP283 T25 1 xLED70-4S/740 DW50'. The right panel, titled 'Disposition lumineuses', contains various configuration parameters: 'Type de disposition' (Type of disposition) with icons for different layouts; 'Espacement poteau' (Pole spacing) set to 22.000 m; 'Hauteur du point d'éclairage' (Height of the lighting point) set to 7.000 m; 'Rotation du réverbère' (Luminaire rotation) set to 0.0°; 'Luminaires par poteau' (Luminaires per pole) set to 2; 'Inclinaison du bras' (Arm inclination) set to 10.0° with a checkmark; 'Minimum' set to 0.0°; 'Maximum' set to 15.0°; 'Pas' (Step) set to 5.0°; 'Saillie du point lumineux' (Luminaire offset) set to 0.000 m; 'Distance poteau/chaussée' (Pole/road distance) set to 2.500 m; 'Longueur du bras' (Arm length) set to 2.522 m; and 'Décalage longitudinal' (Longitudinal offset) set to 0.000 m.

Figure 23 : Informations relatives à l'implantation des candélabres et du luminaire choisis

10.2. Paramètres de sorties

Les paramètres obtenus après simulation sont regroupés selon les éléments constitutifs de la voie tels que :

Tableau 10 : Récapitulatif des résultats obtenus

Caractéristiques	Chaussée1	Chaussée 2	Trottoir
Eclairement E moyen (lux)	17,84	17,84	19,73
Facteur d'uniformité U_o	0,91	0,91	0,90
Luminaire LED	Philips – BGP283 T25	Philips – BGP283 T25	Philips – BGP283 T25

Champ d'évaluation (C4)		Trottoir 1 (C4)		
E_m	[lx]	☒	$\geq$	10.00
U_o		☒	$\geq$	0.40
Champ d'évaluation (C4)		Chaussée 1 (C4)		
TI	[%]		$\leq$	20
E_m	[lx]	☒	$\geq$	10.00
U_o		☒	$\geq$	0.40
Champ d'évaluation (C4)		Chaussée 2 (C4)		
TI	[%]		$\leq$	20
E_m	[lx]	☒	$\geq$	10.00
U_o		☒	$\geq$	0.40

Figure 24 : Résultats de simulation

SYNTHESE

Conformément aux exigences prescrites par la norme NF EN 13201, nous avons réalisé l'étude photométrique de notre voie d'étude suivant une approche méthodologique et suivant une approche logicielle. L'approche méthodologique nous a permis d'obtenir des valeurs photométriques répondant aux documents constitutifs de la norme NF EN 13201. De même, l'approche logicielle nous a également permis d'obtenir des valeurs photométriques selon les différents paramètres renseignés propres au profil de la rue. Après comparaison, nous constatons que les valeurs obtenues à l'aide du logiciel remplissent les conditions photométriques requises par la norme NF EN 13201. En conclusion, nous pouvons dire que l'AXE « carrefour PK10 - hôtel du 15 janvier » sera effectivement illuminé par soixante-huit (68) lampadaires solaires à simple crosse espacés de vingt-deux (22) mètres implantés en bilatéral quinconce. Les luminaires fourniront un éclairage moyen de 10 lux chacun.

L'objectif de ce chapitre a consisté à déterminer la configuration du système d'éclairage retenue pour l'éclairage requis de notre voie d'étude. Le chapitre suivant présente la taille optimale du système d'alimentation électrique des différents lampadaires solaires.

CHAPITRE III : ÉTUDE ÉLECTRIQUE

L'éclairage public solaire représente un système utilisant une source d'énergie dont le fonctionnement électrique est réalisé à partir des cellules photovoltaïques. Le principe consiste à convertir l'énergie de la lumière du soleil directement en énergie électrique par des cellules solaires à cause de l'effet photovoltaïque. Le dimensionnement de notre système photovoltaïque va consister à calculer la taille adéquate des différents composants du système pour son fonctionnement optimal selon la méthodologie suivante répartie en six étapes :

- ❖ Estimation de la ressource solaire
- ❖ Estimation des besoins énergétiques journaliers
- ❖ Calcul de la puissance PV
- ❖ Estimation de la capacité des batteries d'accumulateur
- ❖ Calcul des ratios de vérification
- ❖ Choix du régulateur de charge/décharge.

1. ESTIMATION DE LA RESSOURCE SOLAIRE

Les lampadaires solaires seront implantés dans une région de l'Afrique de l'Ouest, le Bénin plus précisément dans la ville de Cotonou. L'estimation de la ressource solaire est obtenue à partir de l'irradiation solaire de la zone mesurée sur toute l'année.

En se servant des données d'ensoleillement de la zone d'étude (Cotonou PK 10) à partir du logiciel RETScreen, nous obtenons le tableau suivant :

Tableau 11 : Données d'ensoleillement

Mois	Température de l'air [°C]	Rayonnement solaire quotidien [kWh/m ² /j]
Janvier	27,5	5,33
Février	28,6	5,54
Mars	29	5,49
Avril	28,8	5,28
Mai	28,2	4,94
Juin	26,8	4,28
Juillet	25,7	4,31
Août	25,3	4,21
Septembre	25,9	4,37
Octobre	26,9	4,82
Novembre	28,1	5,01
Décembre	27,7	5,15
Moyenne annuelle	27,4	4,89

En rapport avec notre étude, nous ferons les calculs avec un rayonnement solaire quotidien du mois le plus défavorable soit celui du mois d'Août, présentant un

rayonnement solaire plus faible par rapport aux autres mois ; nous retenons donc une irradiation solaire $H_i = 4,21 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$.

2. ESTIMATION DES BESOINS JOURNALIERS

Il s'agit d'exprimer les besoins en énergie diurne et nocturne des luminaires **Solar Street light LF-60** à installer. Pour des besoins d'éclairage requis pour notre voie d'étude, nous déduisons que nos luminaires fonctionneront uniquement en période nocturne, donc des besoins nocturnes à exprimer. Les batteries alimenteront ces luminaires sur une durée 12 heures soit de 19h à 07h. Les besoins journaliers d'un luminaire peuvent être estimés à partir de la relation suivante :

$$B_j = P \times t \quad (5)$$

- B_j : besoins journaliers (Wh/j)
- P : puissance du luminaire (W)
- t : durée de fonctionnement (h)

AN:

$$B_j = 60 \times 12 = 720 \text{ Wh/j}$$

3. ESTIMATION DE LA PUISSANCE PV

$$P_{C_{min}} = \frac{B_j}{H_i \times R_{gen} \times R_{bat}} \quad (6)$$

- $P_{C_{min}}$: puissance crête minimale (Wc)
- B_j : besoins journaliers (Wh/j)
- H_i : irradiation solaire de la zone ($\text{kWh/m}^2/\text{j}$)
- R_{gen} : Rendement du générateur PV (Pertes dues à la poussière, à l'échauffement des modules, au câblage, etc.), pris à 80%
- R_{bat} : Rendement des batteries, pris à 80%

AN :

$$P_{C_{min}} = \frac{720}{4,21 \times 0,8 \times 0,8}$$

$$P_{C_{min}} = 267 \text{ Wc}$$

➤ **Choix de la tension du générateur :**

Avec une puissance crête minimale de $P_{C_{min}} = 267 \text{ Wc}$ soit 0,267 kWc, nous retenons une tension du système de $V_{syst} = 12 \text{ VDC}$ comme tension du générateur.

➤ **Choix du module :**

Nous choisissons un module de **270 Wc** du fabricant CSUN, (**confère** Annexe 11: Fiche technique module PV)

➤ **Détermination du nombre de modules à installer :**

$$N_m = \frac{P_{cmin}}{P_m} \quad (7)$$

- N_m : nombre de modules à installer
- P_m : puissance du module choisi (Wc)
- $P_{C_{min}}$: puissance crête minimale déterminée (Wc)

AN :

$$N_m = \frac{276}{270}$$

$N_m = 1,02$; nous retenons un module à installer.

3.1. Détermination de la puissance totale à installer :

$$P_c = N_m \times P_m ; \geq P_{C_{min}} \quad (8)$$

- P_c : puissance crête totale à installer (Wc)
- N_m : nombre de modules à installer
- P_m : puissance du module choisi (Wc)

AN :

$$P_c = 1 \times 270$$

$$P_c = 270 \text{ Wc}$$

Les luminaires fonctionneront à l'aide des modules du fabricant CSUN, soit un module de 270 WC pour un luminaire de 60 W.

4. ESTIMATION DE LA CAPACITE DES BATTERIES D'ACCUMULATEUR

Les batteries alimenteront les lampadaires sur une durée 12 heures.

4.1. Détermination de la capacité minimale des batteries

Tout en considérant deux jours d'autonomie, nous obtenons :

$$C_{bat_{min}} = \frac{B_j \times J_r}{V_{syst} \times DM \times R_{bat}} \quad (9)$$

- $C_{bat_{min}}$: Capacité minimale des batteries (Ah)
- J_r : Nombre de jours d'autonomie, nous retenons deux jours d'autonomie
- DM : profondeur de décharge (50-80%) pour les batteries solaires ; nous prenons (75%)
- B_j : besoins journaliers (Wh/j)
- V_{syst} : tension du système pris à 12 V
- R_{bat} : rendement batterie (70-90%), nous retenons (80%)

AN :

$$C_{bat_{min}} = \frac{720 \times 2}{12 \times 0,75 \times 0,8}$$

$$C_{bat_{min}} = 200 \text{ Ah.}$$

❖ Choix de la batterie d'accumulateur :

Nous choisissons une batterie lithium de **12V / 200Ah** du fabricant ULTIMATRON LiFePO4 Smart BMS, (**confère** Annexe 12 : Fiche technique batterie solaire)

➤ Détermination du nombre de batterie d'accumulateur :

$$N_b = \frac{C_{bat_{min}}}{C_{bat}} \quad (10)$$

- N_b : nombre de batterie d'accumulateur à installer
- $C_{bat_{min}}$: Capacité minimale des batteries (Ah)
- C_{bat} : Capacité de la batterie choisie (Ah)

AN :

$$N_b = \frac{200}{200} = 1$$

➤ Détermination du nombre de batterie d'accumulateur en série :

$$N_{b_s} = \frac{V_{syst}}{V_{bat}} \quad (11)$$

- N_{b_s} : nombre de batteries en série
- V_{syst} : tension du système
- V_{bat} : tension nominale de la batterie

AN :

$$N_{b_s} = \frac{12}{12} = 1$$

➤ **Détermination du nombre de batteries d'accumulateur en parallèle :**

$$N_{brp} = \frac{C_{bat_{min}}}{C_{bat}} \quad (12)$$

- N_{brp} : nombre de batterie d'accumulateur en parallèle
- $C_{bat_{min}}$: Capacité minimale des batteries (Ah)
- C_{bat} : Capacité de la batterie choisie (Ah)

AN :

$$N_b = \frac{200}{200} = 1$$

4.2. Détermination de la capacité totale à installer :

$$C_{bat} = N_b \times C_{bat_{min}} ; \geq C_{bat_{min}} \quad (13)$$

AN :

$$C_{bat} = 1 \times 200 = \mathbf{200 Ah}$$

Chaque luminaire serait alimenté par une batterie lithium du fabricant ULTIMATRON LiFePO4 Smart BMS de 12V / 200Ah afin d'assurer une durée de fonctionnement de 12h pour l'éclairage de notre zone d'étude.

5. CALCUL DES RATIOS DE VERIFICATION

Trois ratios seront calculés afin de vérifier la compatibilité entre les besoins énergétiques journaliers, le générateur PV et les batteries d'accumulateur.

➤ **Degré de décharge quotidien Dd_q**

$$D_{d_q} = \frac{E}{C_{bat} \times V_{bat} \times R_{bat}} \leq \frac{DM}{J_r} \quad (14)$$

AN :

$$D_{d_q} = \frac{720}{200 \times 12 \times 0,8} \leq \frac{0,75}{2}$$

$$D_{d_q} = 0,38 \leq 0,38.$$

➤ **Ratio 1 : aptitude du module PV à couvrir les besoins journaliers :**

$$R_1 = \frac{P_c \times H_i \times R_{gen} \times R_{bat}}{E} > 1 \quad (15)$$

Il faut :

AN :

$$R_1 = \frac{270 \times 4,21 \times 0,8 \times 0,8}{720} > 1$$

$$R_1 = 1,01 > 1.$$

➤ **Ratio 2 : aptitude du générateur PV à recharger les batteries pour un nombre d'heure d'ensoleillement compris entre 20 et 40**

Il faut :

$$R_2 = \frac{C_{bat}}{ICC_{mod} \times N_{brp}} \quad (16)$$

- ICC_{mod} : courant de court-circuit du module choisi (A)

AN :

$$R_2 = \frac{200}{9,19 \times 1}$$

$$R_2 = 21,76.$$

Le tableau résume les valeurs des ratios de vérifications :

Tableau 12 : Ratios de vérifications

Ratios	Ddq	R1	R2
Valeurs	$0,38 \leq 0,38$	$1,01 > 1$	$20 \leq 21,76 \leq 40$
Vérifications	OK	OK	OK

Les trois conditions sont simultanément remplies, la compatibilité entre les besoins journaliers, le générateur PV et les batteries d'accumulateur est vérifiée, donc le système d'alimentation électrique répond aux conditions du projet.

6. CHOIX DU REGULATEUR DE CHARGE/DECHARGE

Le régulateur doit supporter les contraintes suivantes :

- Intensité maximale de courant de court-circuit fournie par le générateur,

- Intensité nominale de la totalité (fonctionnement simultané) des récepteurs alimentés par le régulateur,
- La puissance du régulateur doit être supérieure à celle des panneaux PV,
- La tension doit être identique à celle des panneaux PV.

La formule suivante permet de choisir le régulateur :

$$I_R = N_{br} \times ICC_{mod} \quad (17)$$

- I_R : intensité nominale du régulateur de charge/décharge (A)
- ICC_{mod} : tension de court-circuit du module choisi (A)
- N_{br} : nombre de modules PV en parallèle

AN:

$$I_R = 9,19 \times 1 = \mathbf{9,19 \text{ A}}$$

Nous retenons **un régulateur MPPT 150/45** du fabricant Victron energy, (**confère** Annexe 13 : Fiche technique régulateur de charge MPPT).

7. ORIENTATION ET INCLINAISON DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE

Notre zone d'étude est située en Afrique de l'Ouest dans la zone tropicale entre l'équateur et le tropique du cancer, entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude nord et les méridiens 1° et 30°40' de longitude est. Nous déduisons que les différents modules photovoltaïques seront orientés **plein sud**. Le tableau ci-dessous présente les angles d'inclinaison par rapport à l'horizontal.

Tableau 13 : Angles d'inclinaison par rapport à l'horizontal

Latitude du lieu	Angle d'inclinaison
0° – 9°	15°
10° – 20°	Latitude + 5°
21° – 45°	Latitude + 10°
46° – 65°	Latitude + 15°
66° – 75°	80°

Nous retenons donc une inclinaison de **15°** pour une meilleure optimisation de la production solaire.

Les calculs effectués précédemment nous ont permis de déterminer la taille exacte des différents composants du système solaire photovoltaïque. Les résultats issus de ces calculs se présentent comme suit :

Tableau 14 : Résultats de l'étude électrique

Dénominations	Caractéristiques
Besoin journalier	720 Wh
Puissance crête	270 Wc
Panneau photovoltaïque installé par luminaire	1 CSUN de 270 Wc
Orientation	Plein sud
Inclinaison	15°
Capacité des batteries	200 Ah
Batterie installée par luminaire	1 batterie de 12V 200Ah Lithium ULTIMATRON LiFePO4
Régulateur par luminaire	1 régulateur MPTT 150/45 Blue solar

La configuration des différents lampadaires solaires ainsi que la taille du système d'alimentation électrique étant définies, nous passons à l'évaluation économique et à l'étude environnementale détaillée de l'ensemble à travers le chapitre suivant.

CHAPITRE IV : ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES CANDÉLABRES SOLAIRES ET ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

A. ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES CANDELABRES SOLAIRES

Les fournitures nécessaires aux travaux d'éclairage de notre voie d'étude par les candélabres solaires vont résulter dans cette partie d'une part des évaluations quantitatives et estimatives de l'ensemble des matériels puis d'autre part des coûts d'exploitation. Ces différents coûts constituant le coût global du projet peuvent être détaillés de la manière suivante :

- Coût d'investissement du projet,
- Coût de maintenance,
- Coût de remplacement.

Il faut noter que selon la loi des finances 2020 en République du Bénin, tous les matériels concernant les énergies renouvelables sont exonérés des frais de transport. Le coût d'investissement initial est donc calculé sur la base des coûts unitaires des composants du lampadaire solaire

1. ÉVALUATION DU COUT D'INVESTISSEMENT INITIAL

Les coûts d'investissement initial sont élaborés sur la base des prix d'achat respectifs de chaque composant constituant le lampadaire solaire :

Tableau 15 : Coûts d'investissement initial des lampadaires solaires

Investissement Initial des lampadaires solaires					
N	Désignation des ouvrages	Unités	Quantités	Prix unitaire HT (F CFA)	Prix total HT (F CFA)
1	LUMINAIRES				
1.1	Fourniture de luminaires LED 60 W 12 V du fabricant SINES	U	68	195 743	13 310 524
2	CANDÉLABRES - CROSSES				
2.1	CANDÉLABRES DROITS EN COMPOSITE				
2.1.1	Fourniture de mâts cylindriques 8 m en composite + teinte Ral à définir orientés de 6 degrés par rapport à l'horizontal	U	68	94 140	6 401 520
3	CROSSES FONCTIONNELS				

3.1	Fourniture de crosses simple feu inclinées de 10 degrés en acier thermolaquage par poudrage polyester, RAL à définir	U	68	55 072	3 744 896
4	MASSIFS BÉTONS PRÉFABRIQUÉS				
4.1	Fourniture de massifs pour mât de hauteur comprise entre 6m et 8m	U	68	159 979	10 878 572
5	GÉNÉRATEURS SOLAIRES - RÉGULATEURS DE CHARGE - BATTERIES SOLAIRE				
5.1	GÉNÉRATEURS SOLAIRES				
5.1.1	Fourniture de panneaux solaires poly cristallin de 270 Wc du fabricant CSUN	U	68	34 420	2 340 560
5.2	BATTERIES SOLAIRE				
5.2.1	Fourniture de batteries lithium 12V 200Ah du fabricant ULTIMATRON LiFePO4 Smart BMS	U	68	218 618	14 866 024
5.3	RÉGULATEUR DE CHARGE				
5.3.1	Fourniture de régulateurs de charge BlueSolar 150/45 12 V du fabricant Victron Energy	U	68	59 701	4 059 668
5.4	SUPPORTS EN ACIER INOXYDABLE				
5.4.1	Fourniture de supports en acier inoxydable pour panneaux solaires orientés à 6 degrés	U	68	15 000	1 020 000
5.4.2	Fourniture de boîtiers aérés pour batteries et contrôleur de charge	U	68	15 000	1 020 000
6	ASSEMBLAGE ET POSE				
6.1	Assemblage et pose		68	40 000	2 720 000
7	COÛT D'INVESTISSEMENT INITIAL				
7.1	Montant Hors Taxe (HT)				60 361 764
7.2	Montant Tout Taxe Comprise (TTC)				71 226 882

Le coût d'investissement initial de l'installation des lampadaires solaires est alors estimé à **71 226 882 FCFA**.

2. ÉVALUATION DU COÛT D'EXPLOITATION

Le coût d'exploitation encore appelé coût de fonctionnement est constitué du coût de maintenance puis celui de remplacement des matériels. Nous ne prévoyons pas une maintenance dans notre cas, mais plutôt évaluons le coût d'exploitation à partir des différents remplacements à effectuer. Il faut connaître la durée de vie des équipements ainsi que la fréquence de

renouvellement. Les paramètres entrant dans le calcul du coût d'exploitation sur vingt (20) ans sont :

- Le coût de remplacement des luminaires : les luminaires LED du fabricant SINES seront remplacés lorsqu'ils atteindront leur durée de vie utile. Ils ont une durée de vie d'environ cinq (05) ans, donc ils seront remplacés trois fois en vingt (20) ans,
- Le coût de remplacement des batteries : les batteries lithium 12V 200Ah du fabricant ULTIMATRON ont une durée de vie de quinze (15) ans, donc elles seront remplacées une fois en vingt (20) ans,
- Le coût de remplacement des panneaux photovoltaïques CSUN : les panneaux ayant une durée de vingt (20) ans, les coûts seront donc nuls,
- Le coût de remplacement des régulateurs : les régulateurs Victron Energy ayant une durée de vie d'environ dix (10) ans, ils seront remplacés deux fois en vingt (20) ans.

Le tableau ci-contre présente le coût d'exploitation des lampadaires solaires à partir de la relation suivante :

$$C_R = C_{INIT} \times F_r \quad (18)$$

- C_R : coût de remplacement
- C_{INIT} : coût d'investissement initial
- F_r : fréquence de renouvellement

Tableau 16 : Coûts d'exploitation des lampadaires solaires

Coût d'exploitation				
Matériels	Coût d'investissement initial (F CFA)	Durées de vie (années)	Fréquence de remplacement	Coût de remplacement sur 20 ans (F CFA)
Batteries lithium	14 866 024	15	1	14 866 024
Luminaires LED	13 310 524	5	3	39 931 572
Régulateur de charge	4 059 668	10	2	8 119 336
Coût total (F CFA)	62 916 932			

Durant les vingt (20) années de fonctionnement du projet, les dépenses liées au remplacement de l'ensemble des matériels s'élèvent à un montant total de **62 916 932 F CFA**.

Sur le plan économique, l'ensemble de l'étude technique nous a permis de faire une estimation globale de l'implantation des candélabres solaires le long de l'axe

CARREFOUR PK10- HOTEL DU 15 JANVIER constituée du coût d'investissement initial d'une valeur de 71 226 882 FCFA et du coût d'exploitation sur vingt (20) ans, d'une valeur de 62 916 932 FCFA. Cette estimation globale s'élève à une valeur de **134 143 814 F CFA**.

B. ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

Les lampadaires ordinaires sont alimentés à l'électricité et cette consommation d'électricité provient de la combustion des fossiles. La combustion de fossiles signifie ici une augmentation de carbone. En mettant à niveau les lampadaires ordinaires vers les lampadaires solaires, des économies d'énergies ainsi que la réduction d'émission de CO₂ sont possibles. Dans cette partie, nous ferons ressortir les impacts positifs liés au projet, puis déterminerons la quantité de gaz à effet de serre notamment le dioxyde de carbone CO₂ à éviter durant l'exploitation du projet tout en faisant recours à une source d'énergie renouvelable d'origine solaire comme source d'alimentation d'énergie électrique.

3. IMPACTS POSITIFS

Quels que soient les impacts négatifs engendrés par le projet pendant :

- la phase de construction,
- la phase d'exploitation,

Leur cumule est négligeable par rapport aux impacts positifs étudiés sur le milieu physique et humain (social, culturel et économique). Ce projet présente les avantages suivants :

- L'utilisation des panneaux photovoltaïques permettra d'éviter les émissions de gaz à effet de serre nocives pour la santé et l'environnement,
- Le développement de l'économie nocturne à travers les loisirs culturels, la restauration nocturne,
- La présence de confort et de sécurité nocturne pour les usagers de la voie
- La baisse de la criminalité,

4. QUANTITES DE GES

Les paramètres entrant dans la détermination de la quantité de GES à éviter lors de l'utilisation de l'énergie solaire sont les suivantes :

- Le facteur d'émission de GES exprimant la quantité de CO₂ par kilowattheure d'électricité produite (QCO₂). Au Bénin, ce facteur est pris égale à 0,72 kg CO₂éq / kWh,
- L'énergie consommée annuellement par les lampadaires solaires.

$$QCO_2 \text{ évitée} = QCO_2 \times E_c \quad (19)$$

- $QCO_2 \text{ évitée}$: quantité de CO_2 évitée (kg $CO_{2\text{éq}}$)
- QCO_2 : facteur d'émission de GES (kg $CO_{2\text{éq}}$ / kWh)
- E_c : énergie consommée annuellement par les lampadaires solaires (kWh)

AN :

$$QCO_2 \text{ évitée} = 0,72 \times 0,72 \times 365$$

$$QCO_2 \text{ évitée} = 189,216 \text{ kg } CO_{2\text{équ}}$$

L'utilisation de l'énergie solaire comme source d'alimentation électrique nous permettra d'éviter 189,216 kg CO_2 annuellement. Durant la durée de vie du projet (20 ans), cette source d'énergie nous permettra d'éviter **3784, 22 kg $CO_{2\text{équ}}$** soit **3,78 tonnes CO_2** .

L'étude environnementale et sociale nous a permis de déterminer l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles engendrées par l'implantation des lampadaires solaires sur l'axe « carrefour pk10 – hôtel du 15 janvier » objet de notre étude ainsi que la quantité de CO_2 évitée tout au long du projet.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Force est de constater que l'énergie solaire est devenue la source fiable d'éclairage public. Grâce à cette source, les lampadaires solaires connaissent une forte indépendance vis-à-vis de l'énergie conventionnelle fournie par le distributeur d'énergie électrique. On note également que les pays où le rayonnement solaire est assez considérable, les lampadaires solaires constituent la meilleure option pour éclairer les espaces publics, les parcs, les rues, les routes.

Les travaux effectués dans ce mémoire d'ingénieur avaient pour objectif de réaliser une étude technique des travaux d'éclairage public solaire des voies aménagées dans la ville de Cotonou plus précisément sur l'axe carrefour PK10-hôtel du 15 janvier. Ces travaux se résument à la réalisation d'une étude photométrique, électrique et économique de l'installation. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons réalisé un travail subdivisé en quatre parties. Dans un premier temps, nous avons fait une généralité sur l'éclairage, dans un second temps, nous avons abordé les notions relatives à l'éclairage public, en particulier l'éclairage public routier tout en abordant les différentes techniques d'alimentation électrique et les différents modes de pose. Par la suite, nous avons procédé à une étude technique de l'axe carrefour PK10-hôtel 15 janvier ; objet de notre étude pour finir par une étude économique puis une évaluation environnementale et sociale. Des résultats obtenus, il ressort que l'axe : objet de notre étude sera éclairé par 68 luminaires LED alimentés à partir d'une source d'énergie solaire le tout implanté en bilatérale quinconce sur le terre-plein central espacés d'une distance de 22 mètres. Il faut noter que l'implantation de ces différents lampadaires solaires occasionnera un coût global d'une valeur de **134 143 814 F CFA**.

Notons que cette étude a surtout porté sur l'utilisation des lampadaires LED compte tenu de leur durée élevée de vie et leur forte détection des obstacles. Les résultats ont montré que l'utilisation des sources lumineuses de type LED ont permis d'atteindre les exigences photométriques requises.

Toujours dans l'optique d'améliorer la qualité de l'éclairage public solaire, nous recommandons d'avoir recours aux lampadaires solaires compactes modernes intégrant dans une seule unité des luminaires LED, un panneau solaire, des batteries lithium-ion, un système de gestion de batterie, des capteurs de nuit et de mouvement ainsi que des commandes automatiques. L'avenir de l'éclairage solaire public dépendra de la capacité des villes à assurer une bonne maintenance.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] www.ec-la-bergerie.ac-aix-marseille.fr/spip/sites/www.ec-la-bergerie/spip/IMG/pdf/histoire-de-l-eclairage.pdf
- [2] S. Mallet et C. Comelli, « Politiques d'éclairage public et transformations des espaces urbains : une approche critique », *Cybergeo Eur. J. Geogr.*, oct. 2017, doi: 10.4000/cybergeo.28796.
- [3] Embrechts, J. s. d. « Introduction aux techniques de l'éclairage ».
- [4] https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_002_07.pdf
- [5] Zissis, Georges. s. d. « La technologie LED : Une révolution dans le domaine de l'éclairage, mais pas seulement... ».
- [6] Abderrazak, M., M. Fathi, et A. Chikouche. 2010, « Éclairage public solaire autonome à LEDs Blanches haute puissance ». In.
- [7] Beaurain, Christophe, et Mahugnon Bérenger Amoussou. 2016. « Les enjeux du développement de l'énergie solaire au Bénin. Quelques pistes de réflexion pour une approche territoriale ». *Mondes en développement* 176 (4): 59-76. <https://doi.org/10.3917/med.176.0059>.
- [8] <http://news.acotonou.com/h/83609.html>
- [9] <http://news.acotonou.com/h/145027.html>
- [10] <http://24haubenin.com/?La-strategie-de-gestion-durable-de-l-eclairage-public-adoptee>,
- [11] Dr Bruno Laffite, « Les technologies à haute performance énergétique », Août 2017.
- [12] MICHEL Diebolt / GRAFF Jean-Jacques, « cours EFI & M2. Cours EIER TOME 7 : éclairage public », 29/12/2006 : p 1-68.
- [13] ASSOCIATION FRANÇAISE DE L'ÉCLAIRAGE, « Normes et réglementations en éclairage public : les essentiels » ; fiche 9, p 1-2.
- [14] ASSOCIATION FRANÇAISE DE L'ÉCLAIRAGE, « Éclairage public : la norme NF C17200 », fiche 12, page 1-2.
- [15] OUEDRAOGO Brice Anselme, « Suivi du projet d'éclairage public de l'avenue de Labonte/Tanghin, et étude comparative entre une installation solaire et celle raccordée au réseau SONABEL ; Mémoire pour l'obtention pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2iE avec grade de master, spécialité génie électrique et énergétique » Ouagadougou, 2017.
- [16] COOPERATION MUNICIPALE- CoMun GOUVERNANCE LOCALE ET PARTICIPATIVE AU MAGRHEB, « Fondamentaux de l'éclairage public » ; Mars 2018, page 1-52.

[17] ABEL, « Haute tension éclairage public » ; édition 2010, page 1-84.

[18] GROUPE DE TRAVAIL C TRANSPORT – ÉCLAIRAGE PUBLIC, ÉCLAIRAGE DE VEHICULE ET DE LA SIGNALISATION- DE LA IBE-IBV, « Code de bonne pratique. Éclairage public. » ; Partie 1, édition 2015, page 1-70.

[19] COLLOQUE AFE- CIE France, « Métrologie en éclairage public : état des lieux et perspectives. La norme NF EN 13201 » ; 22 Janvier 2009, page 1-4.

[20] BERNARD DUVAL-ASSOCIATION FRANCAISE DE L'ÉCLAIRAGE, « Les aspects réglementaires de l'énergie public, les critères de choix des équipements d'éclairage. La norme européenne d'éclairage public NF EN 13201 », Page 1-51.

[21] MOUSSA Soro, « Conception et dimensionnement d'un système PV avec stockage », Mars 2014, page 1-34.

[22] BOURGEOIS René / COGNIEL Denis, « MEMOTECH PLUS ELECTROTECHNIQUE », 7e édition, page 184-185.

SITES INTERNET

1. <http://éclairagepublic.eu/annuaire.html> consulté le 06 avril 2022
2. <https://www.domomat.com/blog/les-differents-types-de-lampes-ou-dampoules/> consulté le 06 avril 2022
3. <https://www.lightzoomlumiere.fr/definition/éclairage-routier/> consulté le 06 avril 2022
4. <https://www.memoireonline.com/11/13/7774/Commande-de-l-éclairage-public-et-mesure-de-la-temperature--base-de-pic18f4550.html> consulté le 12 avril 2022
5. <https://elearning.univ-blida.dz/course/info.php?id=2812> consulte le 17 avril 2022
6. <https://énergieplus-lesite.be/theories/éclairage12/caracteristiques-des-luminaires/facteur-de-maintenance/?phrase=facteur+de+maintenance+d%27un+luminaire#> consulté le 13 mai 2022
7. http://éclairagepublic.eu/lexique_f.html consulté le 19 juin 2022.
8. <https://www.ecosolaire.com/2017/10/10/inclinaison-du-panneau-solaire-photovoltaïque/> consulté le 28 juin 2022.
9. https://www.se4allafrica.org/fileadmin/uploads/se4all/Documents/Country_PANEE/Benin_Plan_d_Actions_National_pour_l'E2%80%99Efficacite%CC%81_Energie%CC%81tique_PANEE_.pdf, consulté le 15 février 2023.

ANNEXES

ANNEXE 1 : GROUPE ET CLASSES D'ECLAIRAGE.....	57
ANNEXE 2 : PARAMETRES SPECIFIQUES DES GROUPES DE SITUATION D'ECLAIRAGE	58
ANNEXE 3 : ECLAIREMENT MOYEN A MAINTENIR DES VOIES URBAINES.....	59
ANNEXE 4 : EXIGENCES PHOTOMETRIQUES DE LA CLASSE D'ECLAIRAGE CE.....	60
ANNEXE 5 : INDICE DE PROTECTION IP	61
ANNEXE 6 : ESPACEMENT DES CANDELABRES EN FONCTION DE L'IMPLANTATION	62
ANNEXE 7 : FICHE TECHNIQUE LUMINAIRE LED SINES.....	63
ANNEXE 8 : FICHE TECHNIQUE CANDELABRE STILI DU FABRICANT DESCHAMPS	64
ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE CROSSE CYTISE DU FABRICANT ECLATEC.....	66
ANNEXE 10 : FICHE TECHNIQUE MASSIF	67
ANNEXE 11: FICHE TECHNIQUE MODULE PV	68
ANNEXE 12 : FICHE TECHNIQUE BATTERIE SOLAIRE	70
ANNEXE 13 : FICHE TECHNIQUE REGULATEUR DE CHARGE MPPT.....	71
ANNEXE 14 : RESULTATS ETUDE PHOTOMETRIQUE SUR DIALUX 10.1.....	72
ANNEXE 15 : VUE EN PLAN – RUE : CARREFOUR PK10- HOTEL DU 15 JANVIER	77
ANNEXE 16 : ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE	78

Annexe 1 : Groupe et classes d'éclairage

Groupe de situations d'éclairage	Vitesse (km/h)	Types d'usagers	Nature des voies ou zones	Classes d'éclairage
A1	> 60 km/h	Trafic motorisé	Routes Autoroutes	ME 1 à ME 5
A2		Trafic motorisé Véhicules lents	Routes Autoroutes	ME 2 à ME 5
A3		Trafic motorisé Véhicule lents Cyclistes piétons	Routes Autoroutes	ME 1 à ME 5
B1	$30 \leq V \leq 60$ km/h	Trafic motorisé Véhicules lents	Voirie	ME 2 à ME 6
B2		Cyclistes Piétons		ME 2 à ME 5
C1	< 30 km/h	Cyclistes Piétons	Voirie	S 1 à S 6
D1 D2	$5 \leq V \leq 30$ km/h	Motorisés	Voirie	CE 2 à CE 5
D3 D4		Véhicules lents Piétons cyclistes		S 1 à S 6
E1	$0 \leq V \leq 5$ km/h	Piétons seuls		S 1 à S 6 CE 2
E2		Motorisés Véhicules lents Piétons cyclistes		S 1 à S 5 CE 2

Annexe 2 : Paramètres spécifiques des groupes de situation d'éclairage

Paramètres spécifiques		
Paramètres	Options	
Zones Géométrie de l'installation	Séparation des chaussées	☒ Oui ☐ Non
	Type de croisements	Echangeurs Intersections
	Espacement entre échangeurs, distance entre ouvrages	> 3 km ☒ ≤ 3 km
	Densité d'intersections	< 3 intersections/km ☒ ≥ 3 intersections/km
	Zone de conflit	☒ Non ☐ Oui
	Dispositifs ralentisseurs	Non ☒ Oui
	Références au trafic	Écoulement de trafic en nombre de véhicules par jour
Écoulement de trafic de cyclistes		☒ Normal ☐ Elevé
Écoulement de trafic de piétons		☒ Normal ☐ Elevé
Difficulté de la tâche de navigation		☒ Normale ☐ Supérieure à la normale
Véhicules en stationnement		☒ Oui ☐ Non
Reconnaissance des visages		☒ Non nécessaire ☐ Nécessaire
Risque d'agression		☒ Normal ☐ Supérieur à la normale
Autres influences liées à l'environnement		Complexité du champ visuel
	Niveau lumineux ambiant	Rural ☒ Urbain Centre-ville
	Conditions atmosphériques principales	☒ Sec ☐ Humide

Activer Windows
Accédez aux paramètres
afe
Échangeons la lumière

Annexe 3 : Eclairage moyen à maintenir des voies urbaines

Tableau 3 – Voies urbaines 2 - Éclairage moyen à maintenir

REPERES**	DEFINITION DE LA VOIE	CONTRAINTES	NIVEAU LUMINEUX AMBIANT FAIBLE À MOYEN	ELEVÉ	ÉCLAIREMENT À RETENIR POUR CONTRAINTES MAXI	NORME EN 13201.1 CLASSES D'ÉCLAIRAGE	SITUATIONS
7	VOIE URBAINE IMPORTANTE (BOULEVARD, AVENUE) Vitesse ≤ 50 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : élevée Véhicules en stationnement : oui Trafic cycliste : normal Intersection ≥ 3 par km Tâche navigation : élevée	—***	20	20	CE_2 $CE_2 = ME_2^*$	B ₂
8	VOIE URBAINE SECONDAIRE (RUE, AVENUE) Vitesse ≤ 50 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : normale à élevée Véhicules en stationnement : oui Trafic cycliste : normal Intersection ≤ 3 par km Tâche navigation : normale	10	15	20 (zone de conflit)	$CE_4 - CE_3 = CE_2$	B ₂
9	VOIE DE DESSERTE (RUE) Vitesse ≤ 30 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes	Complexité : normale ou élevée Véhicules en stationnement : oui Trafic cycliste ou piéton : normal ou élevé Tâche navigation : normale ou élevée Risque d'agression : normal ou élevé Reconnaissance visage : nécessaire	10	15	15 (zone de conflit)	$CE_4 - CE_3$	D ₁ D ₂ D ₃ D ₄

* Classes de niveau lumineux comparables

** : voir tableau 6

*** : les traits (—) signifient : cas peu probable.

Annexe 4 : Exigences photométriques de la classe d'éclairage CE

Tableau 2 — Classes d'éclairage CE

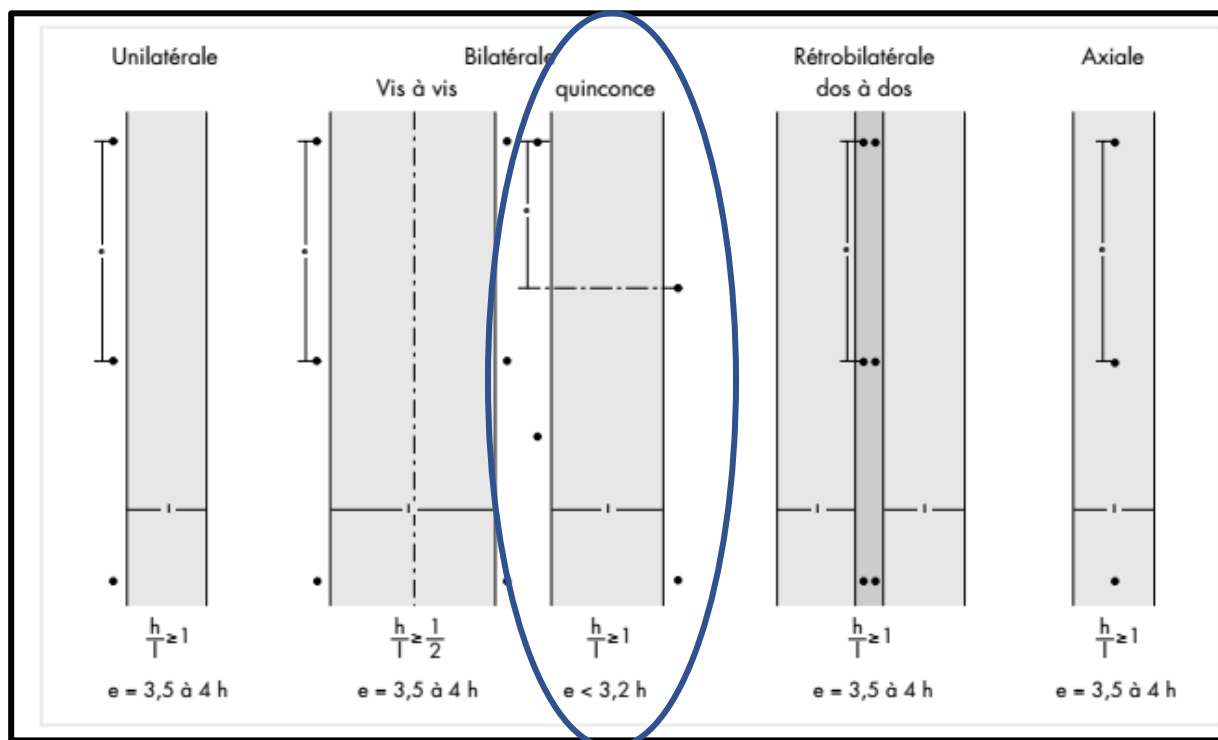
Classe	Éclairement horizontal	
	$\bar{E}$ in lx [minimal maintenu]	U_o [minimal]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

NOTE 3 Les classes CE sont principalement destinées à être utilisées lorsque les conventions de calcul de la luminance de la surface de la route ne s'appliquent pas ou sont techniquement inutilisables. Cela peut arriver lorsque les distances d'observation sont inférieures à 60 m et lorsque plusieurs positions d'observateur sont possibles. Les classes CE sont destinées simultanément à d'autres usagers de la route dans les zones de conflit. Les classes CE sont également applicables pour les piétons et les cyclistes lorsque les classes S et A définies à l'article 6 ne sont pas adéquates.

Annexe 5 : Indice de protection IP

Chiffre caractéristique	Premier chiffre. Degré de protection contre la pénétration des corps solides	Deuxième chiffre. Degré de protection contre la pénétration des corps liquides
0	Non protégé.	Non protégé.
1	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 50 mm.	Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau.
2	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 12,5 mm.	Protégé contre les chutes d'eau pour une inclinaison maximale de 15° du luminaire de part et d'autre de la verticale.
3	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 2,5 mm.	Protégé contre l'eau « en pluie » tombant de part et d'autre sous un angle inférieur ou égal à 60° par rapport à la verticale.
4	Protégé contre les corps solides de diamètre supérieur ou égal à 1 mm.	Protégé contre les projections d'eau dans toutes les directions.
5	Protégé contre les poussières nuisibles.	Protégé contre les jets d'eau.
6	Étanche aux poussières.	Protégé contre les paquets de mer.
7		Protégé contre les effets de l'immersion.
8		Protégé contre l'immersion prolongée.

Annexe 6 : Espacement des candélabres en fonction de l'implantation



Annexe 7 : Fiche technique luminaire LED SINES



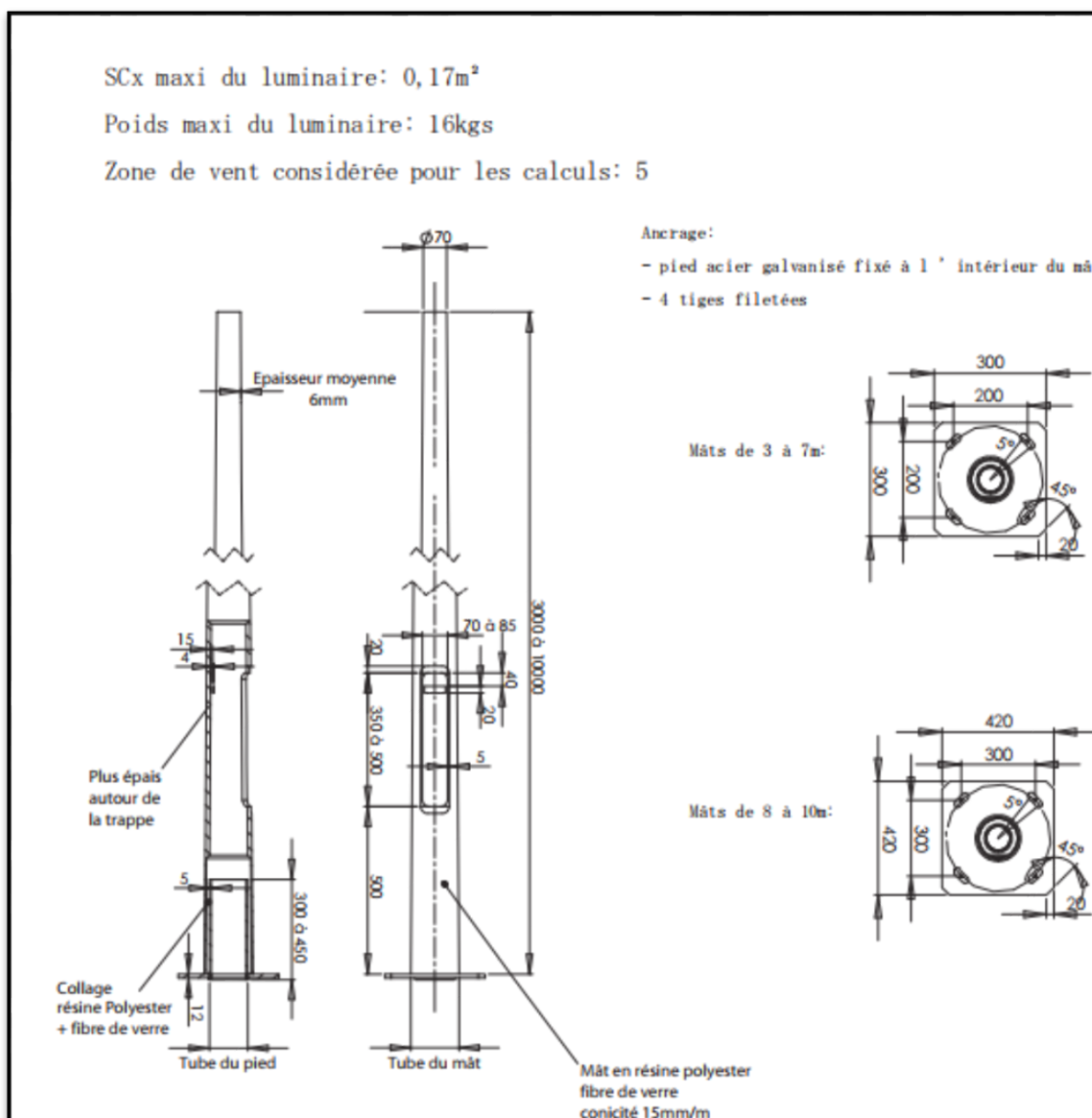
▪ Technical characteristics

Type	LF-20	LF-30	LF-40	LF-50	LF-60
LED quantity	20 pcs	30 pcs	40 pcs	50 pcs	60 pcs
Total power	20 W	30 W	40 W	50 W	60 W
Color rendering	> 75 CRI	> 75 CRI	> 75 CRI	> 75 CRI	> 75 CRI
Luminous flux	2400 lm	3600 lm	4800 lm	6000 lm	7200 lm
LED color temp	White (warm/neutral/cool)				
Input voltage	12V/24V DC, 110V/230V AC				
Frequency	50 ~ 60 Hz				
Power factor	>0.96				
Service life	>50000 Hours				
Casing material	Aluminum alloy die casting				
Ambient temp	-30 to +40°C				
Moisture allowed	≤95 %				

LED quantity	20 pcs	30 pcs	40 pcs	50 pcs	60 pcs
Total power	20 W	30 W	40 W	50 W	60 W
Color rendering	> 75 CRI	> 75 CRI	> 75 CRI	> 75 CRI	> 75 CRI
Luminous flux	2400 lm	3600 lm	4800 lm	6000 lm	7200 lm
LED color temp	White (warm/neutral/cool)				
Input voltage	12V/24V DC, 110V/230V AC				
Frequency	50 ~ 60 Hz				
Power factor	>0.96				
Service life	>50000 Hours				
Casing material	Aluminum alloy die casting				
Ambient temp	-30 to +40°C				
Moisture allowed	≤95 %				
Temp up at work	25°C				
IP Rate	IP65				
Packing	2 pcs/Carton (66 x 28 x 30 cm)				
Power Efficiency	88 % - 91 %				
Dimension	606 × 250 × 128 mm				
Diameter for fit	φ 60 mm				
Net Weight	4.0 kg	4.0 kg	4.0 kg	4.5 kg	4.5 kg
Height	3-5 m	4-6 m	4-6 m	6-8 m	6-8 m

Annexe 8 : Fiche technique candélabre STILI du fabricant DESCHAMPS





conicité 15mm/m											
Hauteur du mât	Modèle de mât selon le(s) luminaire(s) prévu(s)	Diamètre (mm)		Trappe (mm)		Fixation au sol		Poids (kg)		Déflexion (%) à vent Zone 5	
		en tête	au pied	ouverture	porte	entraxe (mm)	massif béton(m)**	du pied	du tube		total du mât
3m	1 en top	70*	115	350x70	400x75	200	0,4x0,4x0,6	10	8,2	18,2	1,8
	1 à 2 sur crosse(s)								11,3	21,3	2,17
	3 à 4 sur croses								16,3	26,3	2,21
3,5m	1 en top	70*	122,5	350x70	400x75	200	0,4x0,4x0,6	10,2	9,5	19,7	2,31
	1 à 2 sur crosse(s)								13,5	23,7	2,51
	3 à 4 sur croses								19,2	29,4	2,55
4m	1 en top	70*	130	400x75	450x105	200	0,4x0,4x0,6	10,2	11,9	22,1	2,65
	1 à 2 sur crosse(s)								15,6	25,8	2,9
	3 à 4 sur croses								21,9	32,1	3,03
4,5m	1 en top	70*	137,5	400x75	450x105	200	0,4x0,4x0,6	10,9	13,8	24,7	3,2
	1 à 2 sur crosse(s)								18	28,9	3,31
	3 à 4 sur croses								26	36,9	3,52
5m	1 à 2 en top ou sur crosse(s)	70*	145	400x75	450x105	200	0,4x0,4x0,8	10,9	20,9	31,8	3,66
	3 à 4 en top ou sur croses						0,4x0,4x1		29,8	40,7	4,02
	1 à 2 en top ou sur crosse(s)						0,4x0,4x0,8		25,9	37,6	4,65
6m	3 à 4 en top ou sur croses	70*	160	400x75	450x105	200	0,4x0,4x1	11,7	37,3	49	4,98
	1 à 2 en top ou sur crosse(s)						0,6x0,6x0,8		31,8	44,5	5,57
	3 à 4 en top ou sur croses						0,6x0,6x1		47,1	59,8	5,95
7m	1 à 2 en top ou sur crosse(s)	70*	175	500x85	550x110	200	0,5x0,5x1	24,8	37,8	62,6	6,58
	3 à 4 en top ou sur croses						0,5x0,5x1,2		56,3	81,1	6,94
	1 à 2 en top ou sur crosse(s)						0,6x0,6x1		44,9	76,5	7,03
8m	3 à 4 en top ou sur croses	70*	190	500x85	550x110	300	0,6x0,6x1,2	31,6	68,2	99,8	7,49
	1 à 2 en top ou sur crosse(s)						0,6x0,6x1		52,3	83,9	7,9
	3 à 4 en top ou sur croses						0,6x0,6x1,2		79,6	111,2	8,12
9m	1 à 2 en top ou sur crosse(s)	70*	232	500x85	550x110	300	0,6x0,6x1,2	31,6	79,6	111,2	8,12
	3 à 4 en top ou sur croses										
	1 à 2 en top ou sur crosse(s)										
10m	3 à 4 en top ou sur croses	70*	250	500x85	550x110	300	0,6x0,6x1,2	31,6	79,6	111,2	8,12
	1 à 2 en top ou sur crosse(s)										
	3 à 4 en top ou sur croses										

Annexe 9 : Fiche technique crosse Cytise du fabricant ECLATEC



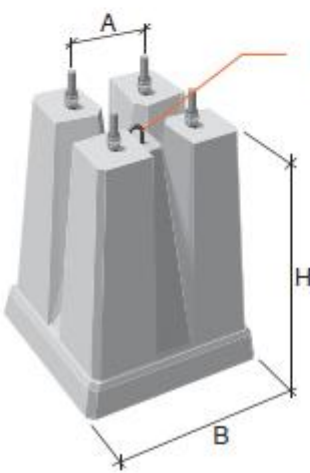
CYTISE	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)	Inclinaison (degrès)	Poids (kg)	SCx (m²)
Simple feu	800	500	-	-	10	8	0,12
	1000	600	-	-	10	10	0,14
	1200	700	-	-	10	12	0,18
Double feu	800	500	1600	-	10	12	0,20
	1000	600	2000	-	10	15	0,25
	1200	700	2400	-	10	18,5	0,32
Applique murale	800	500	-	410	10	6,9	0,10
	1000	600	-	477	10	9,8	0,14
	1200	700	-	477	10	11,8	0,18
feu	800	500	-	410	10	6,9	0,10
	1000	600	-	477	10	9,8	0,14
	1200	700	-	477	10	11,8	0,18

Annexe 10 : Fiche technique massif

MASSIFS POUR CANDÉLABRES


MÂTS de 8 à 10 mètres*

Profil 6
4 entrées



Maintenance :
par anneau de levage

POINTS FORTS :

- ▶ Excellent rapport poids / performance
- ▶ Tiges, écrous et rondelles électrozingués
- ▶ Profil unique facilitant la pose
- ▶ En stock sur l'usine de production



PERFORMANCE



ÉCONOMIE

GROUPE 6

Désignation	Code	Usines	A Entrée (mm)	B Entrée (mm)	H Hauteur (mm)	B Type (mm)	Poids (kg)
Massif GR6 Ent 300 H 850 Emb 550	11106300NW	BT DK EG	300	550	850	20	380

*La hauteur des mâts est donnée à titre indicatif, sans prise en compte des projecteurs, tout comme les correspondances de choix.
 Rappel : seule l'entreprise est responsable de la vérification de la stabilité du massif sélectionné et des hypothèses de mise en œuvre.
 Usines : BT : Besutiran / DK : Kékélé / EG : Besucaire

Annexe 11: Fiche technique module PV

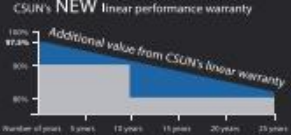



Powerguard Insurance Global Coverage

The power output shall not be less than 97.5% of the minimum power output stated in the product data sheet in the first year of the product's life cycle. The loss of power output shall not exceed 0.7% per year thereafter, ending with 80.7% in the 25th year.

■ CSUN ■ Standard warranty

CSUN's NEW linear performance warranty



Number of years: 0 years, 10 years, 15 years, 20 years, 25 years

100%
97.5%
90%
80.7%

Additional value from CSUN's linear warranty

CE, TÜV, PV CYCLE, TIV, IEC, ISO 9001

© 2014 Sunergy Co., Ltd.
Version 02/2014 - LMD




CSUN 285-60P

High efficiency PERC tech for esthetic applications

Module Fire Performance: Type 1 (UL 1703)
Fire Resistance Rating: Class C (IEC 61730)

CSUN285-60P CSUN280-60P
CSUN275-60P CSUN270-60P

17.55%
Module efficiency

285 W
Highest power output

10 years
Material & workmanship warranty

25 years
Linear power output warranty

-  Industry leading conversion efficiency
-  Positive tolerance offer
-  Passed salt mist & ammonia corrosion, blowing sand and hail testing
-  Certificated to withstand wind (2400 Pa) and snow load (5400 Pa)
-  Excellent performance under weak light condition
-  Good temperature coefficient enables better output in hot climates

- China Sunergy Co., Ltd. designs, manufactures and delivers high efficiency solar cells and modules to the world from its production centers based in China, Turkey, South Korea and Vietnam.
- Founded in 2004, China Sunergy is well known for its advanced solar cell technology, reliable product quality, and excellent customer service.
- As one of leading PV enterprises, China Sunergy has delivered more than 4.0GW of solar products to residential, commercial, utility and off-grid projects all around the world.

* Note: All specifications, warranties, certifications about module of „CSUN“ series also apply to that of „SS1“.

All information and data are subject to change without notice.



www.sunergy-solar.com

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	CSUN 285-60P	CSUN 280-60P	CSUN 275-60P	CSUN 270-60P
Maximum Power - P _{mp} (W)	285	280	275	270
Positive Power Tolerance	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	38.8	38.5	38.4	38.3
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	9.55	9.41	9.27	9.19
Maximum Power Voltage - V _{mp} (V)	31.8	31.5	31.3	31.2
Maximum Power Current - I _{mp} (A)	9.02	8.89	8.79	8.67
Module Efficiency	17.55%	17.24%	16.49%	16.63%

Electrical data relates to standard test conditions (STC): irradiance 1000W/m²; AM 1.5; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module Type	CSUN 285-60P	CSUN 280-60P	CSUN 275-60P	CSUN 270-60P
Maximum Power - P _{mp} (W)	211	207	204	200
Maximum Power Voltage - V _{mp} (V)	29.7	29.4	29.2	28.9
Maximum Power Current - I _{mp} (A)	7.11	7.05	7.00	6.92
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	36.1	35.9	35.8	35.6
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	7.67	7.56	7.48	7.42

Electrical data relates to normal operating cell temperature (NOCT): irradiance 800 W/m²; wind speed 1 m/s; cell temperature 45°C; ambient temperature 20°C measuring uncertainty of power is within $\pm 3\%$.

Temperature Characteristics

Voltage Temperature Coefficient	-0.292%/K
Current Temperature Coefficient	+0.045%/K
Power Temperature Coefficient	-0.408%/K

Maximum Ratings

Maximum System Voltage (V)	1000
Series Fuse Rating (A)	20
Reverse Current Overload (A)	27

Mechanical Characteristics

Dimensions	1640 × 990 × 35 mm
Weight	18,3 kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front Glass	White toughened safety glass, 3,2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	6× 10 polycrystalline solar cells (4BB or 5BB 156.75 × 156.75 mm)
Junction Box	Rated current ≥ 13 A, IP ≥ 67, TUV&UL
Cable	Length 900 mm, 1 × 4 mm ²
Connector	Compatible with MC4

Packaging

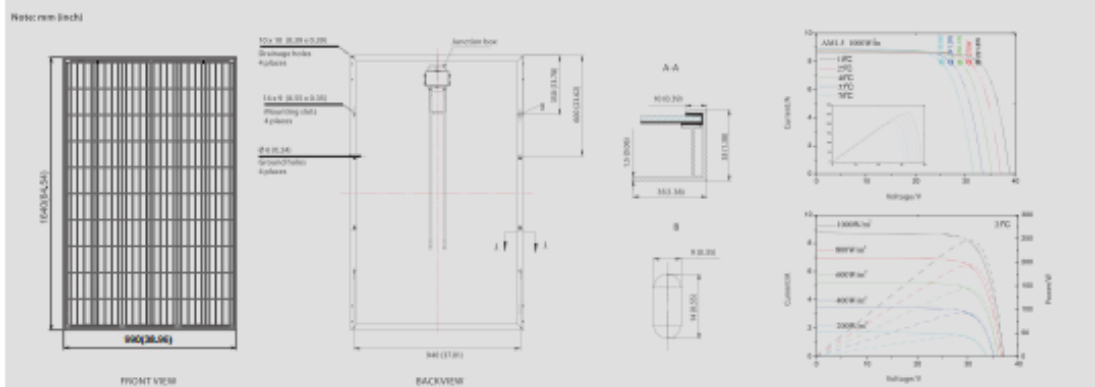
Container 20'	360 pcs.
Container 40'	840 pcs.
Container 40'HC	910 pcs.

System Design

Temp. Range	-40°C to +85°C
Hail	Max. diameter of 25mm with impact speed of 23m/s
Max. Capacity	Snow 5400 Pa, wind 2400 Pa
Application Class	A
Safety Class	II

Dimensions

IV-Curves



Annexe 12 : Fiche technique batterie solaire



ULTIMATRON
FRANCE

FICHE TECHNIQUE

UBL SMART BMS SÉRIE 12.8V

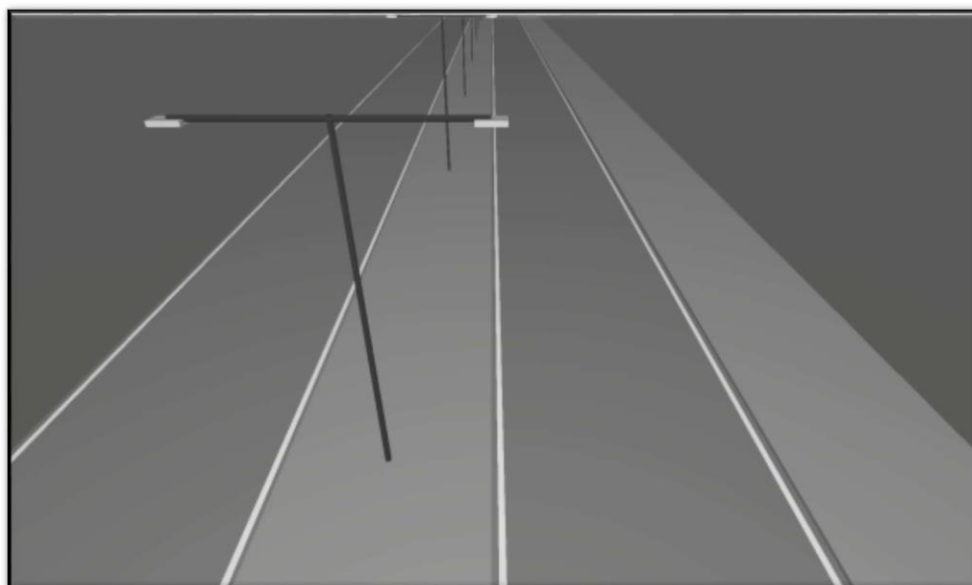
ULTIMATRON LiFePO4 Smart BMS 12.8V / 24V 54Ah-200Ah

Modèle	UBL-12V-100Ah	UBL-12V-150Ah	UBL-12V-200Ah	UBL-12V-54Ah	UBL-24V-54Ah	UBL-24V-100Ah
Capacité nominale	100Ah/1280Wh	150Ah/1920Wh	200Ah/2560Wh	54Ah/691.2Wh	54Ah/1382.4Wh	100Ah/2560Wh
Plage de tension de fonctionnement	10-14.6V				20-29.2V	
Tension nominale	12.8V				25.6V	
Nombre de cycle	> 3000 à 80% DoD					
Caractéristiques de charge	CCCV / IU					
Tension de charge	14.6V			14.6V	29.2V	29.2V
Courant de charge recommandé	20A			10.8A	10.8A	20A
Courant de charge maximum	50A			27A	27A	50A
Courant de décharge maximum	150A			150A	100A	100A
Courant de coupure de décharge de pointe (5 –16 ms)	450A			450A	300A	300A
BMS Batterie Management System	Intégré					
Surveillance	Bluetooth 4.0 avec application pour smartphone					
Application /Interconnexion	Connexion série et parallèle pour les applications 12V, 24V, 36V, 48V.				Connexion série et parallèle pour les applications 24V, 48V.	
Protection	IP65					
Plage de température (décharge)	-20 ~ 60°C					
Plage de température (charge) *	0 ~ 45°C					
Plage de température (stockage)	-5 ~ 35°C					
Vis de connexion	M8					
Garantie	Garantie du fabricant de 3 ans					
Poids	11.7kg	17.8kg	23.5kg	6.5kg	14.1kg	23.5kg
Dimensions (L x W x H) en mm	330*172*223mm	483*170*240mm	522*240*218mm	260*168*209mm	330*172*215mm	522*240*218mm

Annexe 13 : Fiche technique régulateur de charge MPPT

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)		
Courant de charge nominal	45 A	60 A	70 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	650 W	860 W	1000 W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1300 W	1720 W	2000 W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	2600 W	3440 W	4000 W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	50 A	50 A	50 A
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement		
Efficacité maximale	98 %		
Autoconsommation	10 mA		
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable)		
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable)		
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples		
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Protection	Polarité inversée de la batterie (fusible, non accessible par l'utilisateur) Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe		
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40°C)		
Humidité	95 %, sans condensation		
Port de communication de données et allumage/arrêt à distance	VE.Direct (Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web)		
Fonctionnement en parallèle	Oui (pas synchronisé)		
BOÎTIER			
Couleur	Bleu (RAL 5012)		
Bornes PV 3)	35 mm ² / AWG2 (Modèles Tr), Deux ensembles de connecteurs MC4		
Bornes de batterie	35 mm ² / AWG2		
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)		
Poids	3 kg		
Dimensions (h x l x p) mm	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 mm Modèles MC4 : 215 x 250 x 95 mm		
NORMES			
Sécurité	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2		
1a) Si une puissance PV supérieure est connectée, le contrôleur limitera la puissance d'entrée. 1b) La tension PV doit dépasser Vbat + 5 V pour que le contrôleur se mette en marche. Ensuite, la tension PV minimale est Vbat + 1 V 2) Un tableau de PV avec un courant plus élevé de court-circuit peut endommager le contrôleur. 3) Modèles MC4 : plusieurs paires de répartiteurs pourront être nécessaires pour configurer en parallèle les files de panneaux solaires. Courant maximal par connecteur MC4 : 30 A (les connecteurs MC4 sont raccordés en parallèle à un tracker MPPT)			

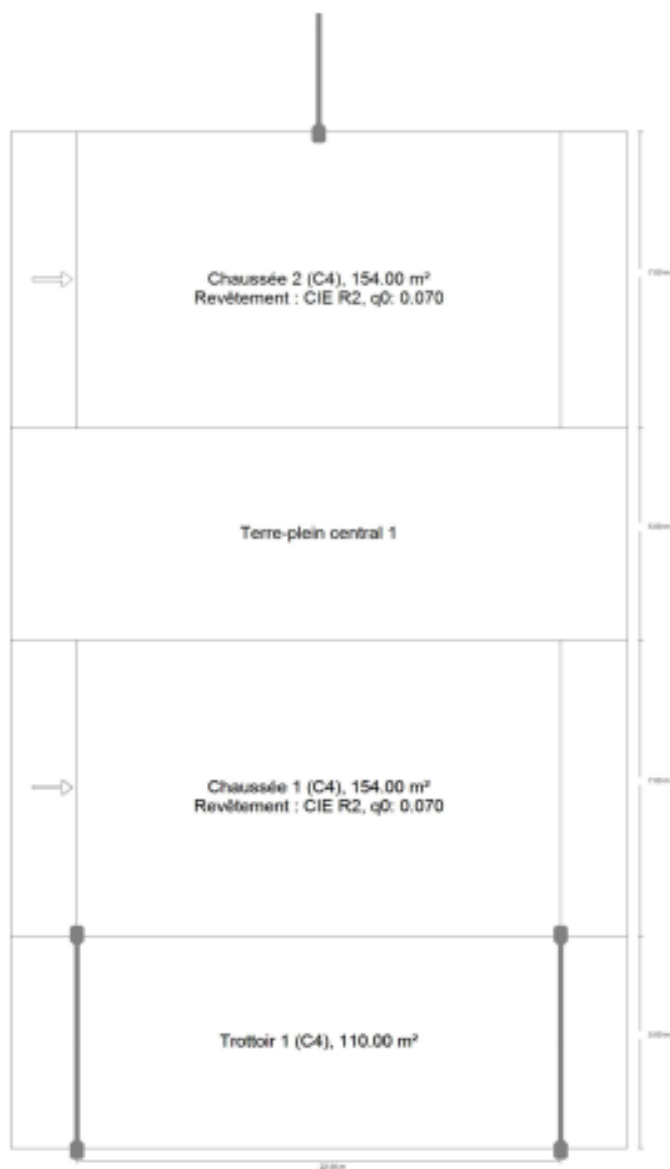
Annexe 14 : Résultats étude photométrique sur Dialux 10.1



Projet de fin d'étude

DIALux

Axe Station JNP- Hotel 15 Janvier
Résumé (à EN 13201:2015)

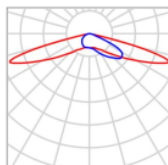


Projet de fin d'étude

DIALux

Axe Station JNP- Hotel 15 Janvier

Résumé (à EN 13201:2015)



Fabricant	Philips	P	41.0 W
Désignation	BGP283 T25 1 xLED70-4S/740 DW50	Φ_{Lampe}	7000 lm
		$\Phi_{\text{Luminaire}}$	6000 lm
Composants	1x LED70-4S/740	η	85.72 %

Activer Windows

Accédez aux paramètres p

Projet de fin d'étude

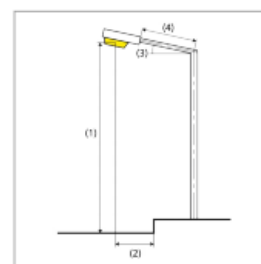
DIALux

Axe Station JNP- Hotel 15 Janvier

Résumé (à EN 13201:2015)

BGP283 T25 1 xLED70-4S/740 DW50 (deux côtés décalé, 2 Par candélabre)

Espacement poteau	22.000 m
(1) Hauteur point d'éclairage	7.000 m
(2) Saillie au point lumineux	0.000 m
(3) Inclinaison de bras	10.0°
(4) Longueur de bras	2.522 m
Heures de services annuelles	4000 h: 100.0 %, 82.0 W
Consommation	7380.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensités lumineuses max. Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué.	≥ 70°: 714 cd/klm ≥ 80°: 317 cd/klm ≥ 90°: 12.9 cd/klm
Catégorie, intensité lumineuse Les valeurs d'intensité lumineuse en [cd/klm] destinées au calcul de la classe d'intensité lumineuse se réfèrent au flux lumineux des luminaires conformément à EN 13201:2015.	-
Catégorie, index d'éblouissement	D.6
MF	0.85



Activer W
Accédez au

Projet de fin d'étude

DIALUX

Axe Station JNP- Hotel 15 Janvier

Résumé (à EN 13201:2015)

Résultats pour champ d'évaluation

Un facteur de maintenance de 0.85 a été estimé pour l'installation.

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 2 (C4)	E_{may}	17.84 lx	≥ 10.00 lx	✓
	U_o	0.91	≥ 0.40	✓
	$TJ^{(1)}$	11 %	-	
Chaussée 1 (C4)	E_{may}	17.84 lx	≥ 10.00 lx	✓
	U_o	0.91	≥ 0.40	✓
	$TJ^{(1)}$	11 %	-	
Trottoir 1 (C4)	E_{may}	19.73 lx	≥ 10.00 lx	✓
	U_o	0.90	≥ 0.40	✓

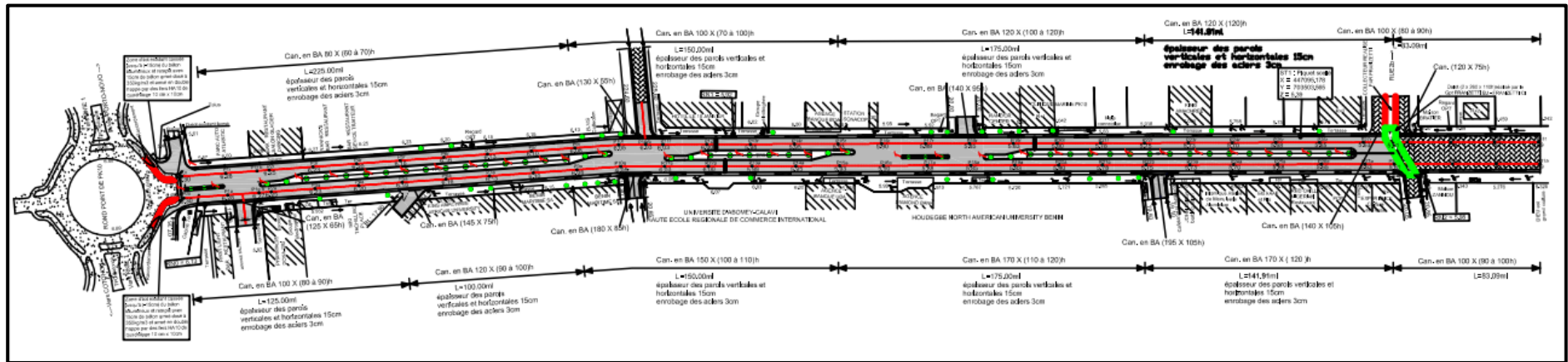
(1) pour information, ne fait pas partie de l'évaluation

Résultat pour les indicateurs de rendement énergétique

	Taille	Calculé	Consommation
Axe Station JNP- Hotel 15 Janvier	D_p	0.021 W/lx* m ²	-
BGP283 T25 1 xLED70-4S/740 DW50 (deux côtés décalé)	D_e	1.6 kWh/m ² an	656.0 kWh/an

Active
Accédez

Annexe 15 : Vue en plan – rue : CARREFOUR PK10- HOTEL DU 15 JANVIER



Annexe 16 : Organigramme de l'entreprise

