

Dédicaces

*A DIEU tout puissant à qui je dois mon existence,
A mes parents qui m'ont forgé de leur éducation,
A ma tante Marguerite OUEDRAOGO pour son assistance et ses prières,
A la famille BELEMVIRE pour leur chaleureuse hospitalité et leur soutien,
A mes frères et sœurs, mes amis, qui ont toujours été une force à mes côtés,
A tout ceux qui ont de l'égard envers ma personne, je vous dédis ce travail.*

☞Remerciements☜

Au terme de ce travail nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation. En effet, cette étude n'aurait pu aboutir sans le concours de plusieurs personnes morales et physiques. Ainsi je voudrais remercier particulièrement les personnes ci-après : Monsieur le Directeur Général de la Société Africaine d'Énergie et Télécommunications SATEL SA; Monsieur William NZEUGANG ingénieur chef projet de SATEL SA; Mon maitre de stage Monsieur KANDIA Faiçal, Directeur Technique de SATEL SA pour sa disponibilité, et les connaissances qu'il m'a transmises. Et à l'ensemble du personnel de l'entreprise.

Monsieur le Directeur Général de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement-2IE; Docteur Y. Moussa SORO, mon encadreur pédagogique à 2IE pour son dévouement tout au long de notre formation d'ingénieur; Monsieur Ahmed BAGRE, Directeur des études de 2IE; L'ensemble du corps professoral et administratif de 2IE. Enfin je remercie tous mes promotionnaires de 2IE.

Avant-Propos

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) est un établissement d'enseignement supérieur et de recherche basé à Ouagadougou au Burkina Faso. Sa création en 2006, résulte de la fusion et restructuration des écoles inter-États EIER (École d'Ingénieurs de l'Équipement Rural) et ETSHER (École des Techniciens de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural), créées respectivement en 1968 et 1970 par 14 États d'Afrique de l'Ouest et Centrale pour former des ingénieurs spécialisés dans les domaines de l'équipement et de l'hydraulique. Il s'agit d'un partenariat public privé international entre des États africains, des entreprises, des acteurs techniques et financiers et des organismes académiques et scientifiques.

2iE dispense une formation de pointe dans les domaines de l'Eau, de l'Énergie, du Génie Civil et de l'Environnement conformément au Processus de Bologne : Licence, Master, Doctorat ; en partenariat avec les meilleures universités du monde, offrant ainsi une grande mobilité aux étudiants.

En Afrique, les diplômes de 2iE sont reconnus par le Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur (CAMES). En Europe, ils sont labélisés EUR-ACE à travers l'accréditation par la Commission des Titres d'Ingénieur (CTI).

Dans un souci de former des Ingénieurs de Conception et des Techniciens Supérieurs hautement qualifiés et aptes à relever les challenges, les étudiants bénéficient d'une formation théorique et d'une formation pratique qui consiste en des travaux pratiques et visites sur sites. Les formations pour le niveau master sont sanctionnées par des stages de production en entreprise ou dans un laboratoire de recherche en vue de la rédaction d'un mémoire. Ce mémoire intervient dans le domaine de formation de l'étudiant, qui est mis à l'épreuve pendant une période d'au moins vingt semaines sur un problème d'actualité dans la structure d'accueil. C'est pour s'inscrire dans cette dynamique que nous avons été reçus au sein de la Société Africaine de Télécommunication et d'Énergie (SATEL SA) pour la rédaction du mémoire d'ingénieur. Ce stage s'est déroulé durant la période du 16 février 2016 au 18 Août 2016 et a eu pour thème: *«Suivi du projet d'éclairage public de l'avenue de la Bonté/Tanghin, et étude comparative entre une installation solaire et celle raccordée au réseau SONABEL »*.

Le présent document en est la parfaite illustration et rend compte des travaux effectués.

Résumé

Ce document traite de l'étude de la réalisation du projet d'éclairage public d'une route interurbaine. La voie est longue de 4 km avec une largeur de 12 m. Elle relie deux quartiers de la ville de Ouagadougou (Tanghin et Somgandé/côté Ouest de la clinique notre dame de la paix). Pour mener à bien cette étude il a été nécessaire de faire des simulations sur des logiciels CANECO BT pour la partie électrique et DIALUX éclairage public pour l'étude photométrique. Après simulation, nous retenons un ensemble de 107 candélabres à fixer suivant un écartement de 38 m. Nous retenons également un câble d'alimentation triphasé de type U1000R2V Cuivre de section 25mm² (description de la dénomination du câble en annexe). La chute de tension calculée est de 3% avec une charge d'environ 11 kVA par tranche. A l'aide de DIALUX nous avons vérifié la bonne conformité de l'éclairage produit en comparant les notes de calculs aux valeurs recommandées selon les normes d'éclairage intégrées dans le logiciel. En outre, gardant la même voie et les mêmes conditions, nous dimensionnons un réseau d'éclairage public solaire. Cette deuxième étude est comparée à l'étude de notre projet. Les résultats de cette comparaison révèlent que pour le solaire nous investissons **210 902 339 FCFA** et **171 147 015,21 FCFA** pour le système classique. Mais sur 20ans, les coûts de fonctionnements sont de **606 331 941,51 FCFA** pour l'installation raccordée à la SONABEL et de **420 131 330 FCFA** pour le solaire. Nous en déduisons une économie de plus de **147 000 000 FCFA** avec le solaire par rapport au système connecté au réseau SONABEL. Par ailleurs avec l'installation solaire nous évitons l'émission de 405 679,104 kg de CO₂. Nous pensons alors qu'il serait plus avantageux de réaliser une installation d'éclairage public solaire car elle est écologique et plus économique.

MOTS CLES :

1. Réseau d'éclairage public
2. Eclairage public solaire
3. Candélabre
4. Eclairage moyen
5. Photométrie
6. Ecartement

Abstract

This document deals with the public lighting project implementation study of an interurban road. We monitored the installation of the project electrical equipment. The road is 4 km long with 12 m width. It joins two districts of Ouagadougou city (Tanghin and Somgandé/West side of "Notre dame" hospital). To conclude this study, it was essential to perform some simulations on CANECO BT for the electrical part and DIALUX street lighting for the photometric study. After simulation, we keep 107 candelabra to set at space of 38 m. We also keep a three-phase power cable type U1000RV copper with 25mm² cross section (in annex the cable denomination description). The calculated voltage drop is 3% with approximately 11 kVA load per edge. With the help of DIALUX we checked the lighting compliance by comparing the calculation notes with the lighting standards integrated in the software.

Thus keeping the same road and the same conditions, we size a solar public lighting. This second study is compared with our project study. The results comparison show that at the investment, the installation connected to SONABEL is more profitable at 39 000 000 CFA franc. But over 20 years, we save 186 000 000 CFA franc with the solar. We obtain by subtracting these values that the solar installation is much more profitable by 147 000 000 CFA franc than the one connected to SONABEL network. Furthermore with the solar installation we avoid a CO₂ emission of 405 679,104 kg. Therefore we think that it will be more attractive to realize a solar public lighting which is environmental-friendly and cost-effective.

KEY WORDS:

1. Public lighting
2. Solar public lighting
3. Candelabra
4. Mean illumination
5. photometry
6. spacing

Sigles et abréviations

2iE: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

EP: Eclairage Public

SONABEL: Société Nationale d'Electricité du Burkina

LED: Light Emitting Diode

PVC: Poly-Chlorure de Vinyle

CIE: Commission Electrotechnique International

NF: Norme Française

UTE: Union Technique de l'Electricité

BT: Basse Tension

HT: Haute tension

TGBT: Tableau Général Basse Tension

TT: Tout à la Terre

I: Intensité du courant en (A)

In: Intensité nominale en (A)

KVA: Kilovolt Ampère

KVAr: Kilo Volt Ampère réactif

JdB: Jeu de Barre

TPC: Tuyau Pour Câbles

GES: Gaz à effet de serre

SHP: Sodium Haute Pression

Lm: lumen

R: Indice global des propriétés réfléchissantes d'un revêtement

Sommaire

| | |
|---|-----|
| DEDICACES | I |
| | I |
| | I |
| REMERCIEMENTS | II |
| AVANT-PROPOS | III |
| RESUME | IV |
| ABSTRACT | V |
| SIGLES ET ABREVIATIONS | VI |
| Liste des tableaux | IX |
| Liste des figures | X |
| INTRODUCTION..... | 2 |
| I CONTEXTE | 2 |
| II PROBLEMATIQUES | 3 |
| III OBJECTIFS DU STAGE ET PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEILLE | 3 |
| III.1 OBJECTIFS | 3 |
| III.2 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL..... | 3 |
| III.2.1 Historique et mission..... | 4 |
| Domaine d'activités:..... | 4 |
| III.2.2 Organisation..... | 5 |
| CHAPITRE I: | 6 |
| GENERALITES SUR LE RESEAU D'ECLAIRAGE PUBLIC | 6 |
| I. DEFINITION ET BUT DE L'ECLAIRAGE PUBLIC | 7 |
| I.1 PHOTOMETRIE..... | 7 |
| I.1.1 INTENSITE LUMINEUSE ET FLUX LUMINEUX..... | 7 |
| I.1.2 ECLAIREMENT ET LUMIERE | 7 |
| I.2 MATERIEL D'EQUIPEMENT D'UN RESEAU D'ECLAIRAGE PUBLIC | 8 |
| I.2.1 LAMPES | 8 |
| I.2.2 LUMINAIRE | 10 |
| I.2.3 SUPPORTS | 11 |
| I.3 MODES D'IMPLANTATION DES FOYERS D'ECLAIRAGE PUBLIC | 12 |
| I.3.1 IMPLANTATION SUR CHAUSSEE SIMPLE | 12 |
| I.3.2 IMPLANTATION SUR CHAUSSEE DOUBLE | 12 |
| I.3.3 IMPLANTATION DES FOYERS DANS LES « ZONES DE TRANSITIONS »..... | 14 |
| II. STRUCTURE DES RESEAUX GENERALEMENT RENCONTREE | 14 |
| II.1 RESEAUX SOUTERRAINS | 14 |
| II.2 RESEAUX AERIENS..... | 15 |
| CHAPITRE II: | 16 |
| ETUDE COMPLETE DU PROJET | 16 |
| I. PRESENTATION..... | 17 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| II | REALISATION DU DOSSIER D'EXECUTION..... | 18 |
| II.1 | Etude photométrique | 18 |
| II.1.1 | Etude par la méthode simplifiée | 18 |
| II.1.2 | Étude photométrique par le logiciel DIALUX | 20 |
| II.2 | Etude électrique du projet..... | 24 |
| II.2.1 | Plan d'implantation | 24 |
| II.2.2 | Dimensionnement électrique | 29 |
| | Calcul électrique de la première, deuxième et troisième tranche : | 29 |
| | Etude électrique par CANECO:..... | 30 |
| III | Coffret de commande | 35 |
| | CHAPITRE III: | 40 |
| | REPRISE DE L'ETUDE DU PROJET AVEC DES CANDELABRES SOLAIRE | 40 |
| I | PRESENTATION DE LA LAMPE | 41 |
| II | ETUDE PHOTOMETRIQUE | 42 |
| III | ETUDE ELECTRIQUE | 45 |
| IV | EVALUATION DU MATERIEL..... | 49 |
| | CHAPITRE IV: | 50 |
| | ETUDE COMPARATIVE ENTRE LE SYSTEME SOLAIRE ET CELUI RACCORDE AU RESEAU SONABEL | 50 |
| I | ETUDES COMPARATIVE | 51 |
| I.1 | ETUDE ECONOMIQUE ET FINANCIERE | 51 |
| I.2 | ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL | 54 |
| II | QUELQUES SUGGESTIONS AUX PROBLEMES D'ECLAIRAGES PUBLIC | 55 |
| II.1 | L'ECLAIRAGE SOLAIRE..... | 55 |
| II.2 | ECLAIRAGE PUBLIC RACCORDE AU RESEAU NATIONAL (SONABEL)..... | 56 |
| | CONCLUSION GENERALE | 57 |
| | REFERENCES | IX |
| | OUVRAGES CONSULTES ET SITES INTERNET VISITES | IX |
| | ANNEXES:..... | X |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Caractéristiques des différents types de lampes | 9 |
| Tableau 2: Ordre de grandeur hauteur de feu [1] | 18 |
| Tableau 3: Ordre de grandeur espacement [1] | 19 |
| Tableau 4: Tableau donnant le rapport en fonction de la voie [1] | 19 |
| Tableau 5: Résumé du matériel du projet..... | 37 |
| Tableau 6: Caractéristiques des deux types de lampes..... | 41 |
| Tableau 7: Comparaison des caractéristiques photométriques des deux types d'installation .. | 45 |
| Tableau 8: Ensemble du matériel | 49 |
| Tableau 9: Résumé du calcul du coût de fonctionnement..... | 52 |
| Tableau 10: Etude économique de l'éclairage public raccordé au réseau | 53 |
| Tableau 11: Résumé de l'étude économique de l'éclairage public solaire..... | 53 |
| Tableau 12: Evaluation des gaz à effet de serre dégagé..... | 54 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1: Organigramme SATEL SA..... | 5 |
| Figure 2: Architecture implantation unilatérale | 12 |
| Figure 3: Architecture implantation bilatérale vis à vis | 12 |
| Figure 4: Architecture implantation axiale sur terre-plein central | 13 |
| Figure 5: Architecture implantation sur accotements | 13 |
| Figure 6: Implantation des foyers dans les zones de transitions | 14 |
| Figure 7: Le type de lampe à utiliser [2] | 21 |
| Figure 8: Caractéristiques géométriques de la voie [2]..... | 21 |
| Figure 9: Paramètres d'implantation des candélabres de la voie [2]..... | 22 |
| Figure 10: Résultats photométrique de la première chaussée [2]..... | 23 |
| Figure 11: Architecture global de la voie..... | 25 |
| Figure 12: Poste numéro un avec sa charge | 26 |
| Figure 13: Poste numéro deux avec sa charge | 27 |
| Figure 14: Poste numéro trois avec sa charge | 28 |
| Figure 15: Capture d'écran montrant le dimensionnement de la source [2] | 30 |
| Figure 16: Capture d'écran montrant le dimensionnement de la protection [2] | 31 |
| Figure 17: Capture d'écran illustrant le dimensionnement des câbles [2] | 32 |
| Figure 18: Résultats des calculs électriques de la première et deuxième tranche [2] | 33 |
| Figure 19: Résultats des calculs électriques de la troisième tranche [2] | 34 |
| Figure 20: Schéma électrique du coffret de commande..... | 36 |
| Figure 21: Présentation globale de la voie | 38 |
| Figure 22: Présentation de poste électrique haut de poteau H61 du projet | 39 |
| Figure 23: Lampe équivalente [3] | 41 |
| Figure 24: Lampe réelle | 41 |
| Figure 25: Type de lampe à utiliser [2] | 42 |
| Figure 26: Paramètres d'implantation des candélabres de la voie [2]..... | 43 |
| Figure 27: Résultats des calculs photométriques de la première chaussée [2]..... | 44 |
| Figure 28: Schémas synoptique d'un lampadaire solaire | 48 |

Introduction

I Contexte

L'Eclairage Public (EP) est l'ensemble des moyens d'éclairages mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur ou à l'extérieur des villes. Dans le cadre de notre stage de fin d'étude en ingénierie des systèmes électriques et énergétiques, un projet d'éclairage public de voie nous a été confié par la Société Africaine d'Energie et de Télécommunication, SATEL SA. Notre travail est intitulé comme suit : « **Suivi du projet d'éclairage public de l'avenue de la Bonté/Tanghin, et étude comparative entre une installation solaire et celle raccordée au réseau SONABEL** ».

Comment mener à bien les études et les travaux du présent projet? Quelles nouvelles méthodes peut-on intégrer dans le dimensionnement pour optimiser la qualité des installations? Pour un tel projet, que vaut l'éclairage public classique comparé à celui des lampadaires solaires? Dans la suite du document, nous ferons tout d'abord une présentation de la structure d'accueil et donnerons des généralités sur les réseaux d'éclairage public. Ensuite nous répondrons à toutes nos interrogations en faisant d'abord l'étude complète du projet avant de proposer une étude comparative entre l'éclairage public solaire et l'éclairage public raccordé au réseau. Après avoir examiné les causes de l'inefficacité de l'éclairage public solaire à Ouagadougou, nous suggérerons des solutions d'amélioration. Enfin, nous proposerons une méthode de calcul économique et financière des deux types d'installation d'éclairage. Ce calcul permettra en plus des autres critères (photométriques, écologiques) de dégager la meilleure installation pour les futurs projets.

II Problématiques

Le Burkina Faso connaît un important déficit énergétique qui compromet fortement sa dynamique de développement. La demande de raccordement au réseau de la SONABEL croît d'environ 13% chaque année en moyenne et la demande moyenne actuelle des consommateurs est de 197 MW en temps normal et de 217 en période de pointe. Avec une puissance exploitable de 280 MW la SONABEL ne parvient pas à satisfaire les besoins en électricité de la population du fait des indisponibilités et du vieillissement des groupes électrogènes et également au manque d'eau dans les barrages hydro-électriques à certaines périodes de l'année. Face à ce déficit notre projet a pour ambition de satisfaire au maximum les mesures d'économies d'énergies. Nous devons envisager également d'autres sources d'énergies comme le solaire pour l'installation des projets d'éclairages.

III Objectifs du stage et présentation de la structure d'accueil

III.1 Objectifs

Notre stage a pour premier objectif de réaliser l'étude et le suivi des travaux de l'éclairage public de l'avenue de la bonté. Ensuite reprendre la même étude avec des lampadaires solaires. Enfin nous avons pour objectif de faire une étude comparative entre les deux systèmes afin de dégager l'installation la plus avantageuse en termes de rentabilité économique et de développement durable.

III.2 Présentation de la structure d'accueil

Notre stage s'effectue à SATEL SA (Société Africaine d'Energie et de Télécommunication) où nous avons eu à nous familiariser avec des équipements techniques, à participer à la réalisation de différents chantiers, à la mise en place et à la maintenance d'installations électriques.

III.2.1 Historique et mission

Société Anonyme (SA), SATEL a été créée le 06 septembre 2001. Elle a un capital de 124 000 000 FCFA. Elle est inscrite à la maison de l'entreprise sous le numéro de Registre du Commerce N°BF OUA2014 M6509 et le N° IFU 0000 1172Z comme numéro d'identification. Elle fait aussi partie de la division fiscale de la Direction des Grandes Entreprises (DGE). Depuis sa création, l'entreprise a acquis un fort potentiel de croissance et de bons résultats dus essentiellement au dynamisme et à la compétence de son personnel composé de :

- une Administration Générale (dirigée par un AG)
- un Secrétariat Général (dirigé par un SG d'entreprise)
- une Direction Technique (dirigée par un DT)
- une Direction Administrative et Financière (dirigé par un DAF)
- des départements Techniques
- les filiales du Mali et de Côte d'Ivoire
- les agences de Bobo-Dioulasso et de Lomé
- la Direction de la Commande et des Ventes

Domaine d'activités:

Les activités et les compétences de SATEL couvrent trois principaux domaines :

- ✓ **Energie** : la réalisation de postes et armoires électriques, la construction de lignes électriques moyenne et basse tension, l'électricité industrielle et minière, l'électricité tertiaire (bâtiment), l'éclairage public et l'énergie renouvelable.
- ✓ **Réseaux télécom, fibre optique et sécurité incendie:**
Réalisation des réseaux télécom et informatiques, réalisation des réseaux fibre optique, souterrain et aérien, réalisation des installations de sécurité incendie.
- ✓ **Vidéo surveillance et control d'accès :**
Réalisation des installations de vidéosurveillance, réalisation des systèmes de contrôle d'accès.

III.2.2 Organisation

La ressource humaine est composée d'une quarantaine de permanents répartis entre trois (03) Directions. L'organigramme ci-dessous présente la structure de la société.

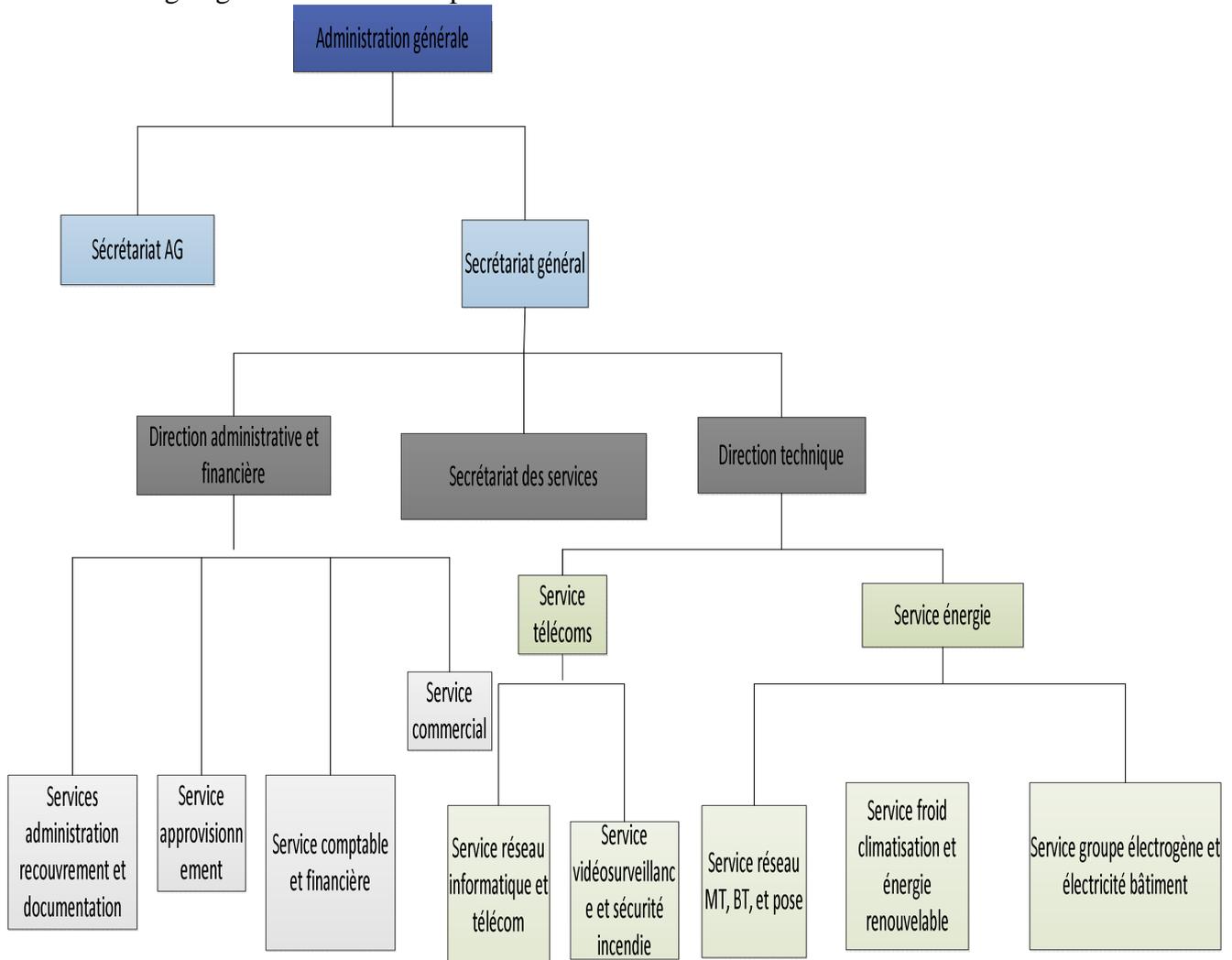


Figure 1: Organigramme SATEL SA

Chapitre I:

Généralités sur le réseau d'éclairage public

I. Définition et but de l'éclairage public

L'Eclairage public de voie est défini comme étant la réalisation d'un ouvrage d'éclairage par l'implantation des foyers lumineux sur les accotements de la voie et espaces public implantés selon le type de disposition choisi. Il a pour objectif de :

- réduire le nombre des accidents de nuit en rendant la circulation plus aisée ;
- augmenter la sécurité des personnes et des biens ;
- permettre d'effectuer des travaux et activités de nuit ;
- assurer une perception du cadre de vie et valoriser le site.

Nous allons passer en revue quelques définitions des paramètres de dimensionnement et d'installation d'un réseau d'éclairage public de voie.

I.1 Photométrie

La photométrie est une partie de la physique qui traite de la mesure des grandeurs lumineuses, de l'intensité lumineuse, du flux lumineux et de l'éclairement dont les définitions sont les suivantes.

I.1.1 Intensité lumineuse et flux lumineux

L'intensité lumineuse est une grandeur physique qui correspond, en photométrie, au pouvoir éclairant d'une source lumineuse ponctuelle. L'unité photométrique d'intensité lumineuse visuelle est la candela (cd). Le flux lumineux est la quantité de lumière émise par une source lumineuse dans un certain cône. Ce paramètre permet le choix de la lampe. Le symbole du flux lumineux est : Φ ; et son unité est : le lumen (lm)

I.1.2 Eclairement et lumière

L'éclairement est le flux lumineux reçu par unité de surface. Son symbole est : E, et son unité est: le lux (lx). La lumière est définie comme étant l'ensemble des rayonnements électromagnétiques visibles, c'est-à-dire susceptibles d'être perçus directement par l'œil. Le paramètre qui entre dans le dimensionnement est le niveau d'éclairage souhaité. Pour réaliser un réseau d'éclairage public il faut connaître et choisir les composants nécessaires en fonction des cahiers de charges afin d'obtenir le niveau d'éclairement souhaité avec une architecture donnée.

I.2 Matériel d'équipement d'un réseau d'éclairage public

Un réseau d'éclairage public se compose en général des équipements suivants :

- les supports ;
- les luminaires équipés de lampe ;
- les câbles ;
- les armoires de commande ;
- Le raccordement réseau.

I.2.1 Lampes

Les lampes sont des dispositifs ou des appareils destinés à produire de la lumière. Il existe plusieurs sortes de lampes : Les lampes à décharge, les lampes fluorescentes tubulaires, les lampes compactes, les lampes à incandescence ; et enfin les lampes à LED. Les lampes utilisées sur le réseau d'éclairage public au Burkina sont en général des lampes à vapeur de sodium à haute pression, des lampes à vapeur de mercure. Elles appartiennent à la famille des lampes à décharge. Avec l'arrivée des lampes à LED nous constatons une introduction de celles-ci. Les lampes utilisées en réseau d'éclairage public doivent posséder certaines qualités imposées par les exigences spécifiques de l'utilisation. Les deux qualités essentielles sont :

- **l'efficacité lumineuse** : c'est le rapport de flux lumineux émis par la lampe sur sa puissance électrique consommée ; elle s'exprime en Lumen/W. Quand elle est élevée, elle minimise à la fois les frais d'installation (puissance mise en œuvre) et les dépenses de fonctionnement (énergie consommée) ;
- **la durée de vie** : Elle se compose en durée de vie moyenne et en durée de vie utile.

La durée de vie moyenne d'un lot de lampe (installées à la même période) est le nombre d'heures pendant lesquelles ces lampes ont fonctionné jusqu'au moment où 50% d'entre elles ne fonctionnent plus. La durée de vie utile est le nombre d'heures après lesquelles les lampes n'émettent plus que 80% du flux lumineux d'origine. La durée de vie d'une lampe varie, bien entendu, d'un type de lampe à l'autre. Pour un même type de lampe, elle varie également avec l'installation. Le tableau suivant donne les avantages et les inconvénients de chaque type de lampes utilisées en général au Burkina Faso:

Tableau 1: Caractéristiques des différents types de lampes

| Type de lampe | Avantages | Inconvénients |
|------------------------------|--|--|
| Les lampes à décharge | <ul style="list-style-type: none"> - bonne efficacité lumineuse ; - bonne durée de vie économique ; - bonne résistance aux chocs, vibrations et intempéries ; | <ul style="list-style-type: none"> - non rallumage immédiat en cas de chute brève de tension ; - emploi obligatoire d'un amorceur en plus du ballast dans certains cas. |
| lampes fluorescentes | <ul style="list-style-type: none"> - Faible consommation électrique ; - durée de vie plus importante que les halogènes ; - faible risque de brûlure. | <ul style="list-style-type: none"> - effets néfastes pour la santé, le bien-être, l'environnement; - pollution électromagnétique en radiofréquences ; - présence de mercure, danger en cas de casse de la lampe pour la santé que pour l'environnement, |
| LED | <ul style="list-style-type: none"> - les performances évolues environ tous les 2 ans et les prix diminuent de 20 % chaque année; - La durée de vie est largement supérieure à celle des autres technologies - Ils atteignent un niveau maximal de luminosité dès l'allumage | <ul style="list-style-type: none"> - Encore mal adaptées à l'éclairage de forte puissance, - encore chères à l'achat |

I.2.2 Luminaire

Le luminaire est un appareil servant à répartir, à filtrer ou transformer la lumière d'une lampe.

Les qualités auxquelles un luminaire doit satisfaire sont :

- distribuer le flux lumineux émis par la lampe de façon à obtenir la répartition désirée tout en permettant aux lampes de garder des caractéristiques (flux, durée de vie, intensité et tension) proches de leurs caractéristiques nominales ;
- contrôler le flux lumineux pour éviter toute gêne visuelle des utilisateurs ;
- avoir des qualités électriques et mécaniques qui le rendent propre à son usage et en particulier qui lui permettent d'assurer la sécurité des personnes (utilisateurs et personnel d'entretien) ;
- Utiliser dans les meilleures conditions possibles les lampes et les dispositifs optiques et électriques afin de les protéger contre l'action des intempéries ou des agents du milieu ambiant pouvant nuire à leur efficacité.

Le luminaire est constitué de:

- La lampe : chaque type de luminaire correspond à un type de lampe bien déterminé ; le luminaire peut porter une ou plusieurs lampes ;
- Les supports de lampes : quel que soit les conditions d'utilisation, les douilles doivent assurer en permanence le bon positionnement des lampes et l'efficacité des contacts électriques ;
- Le corps : il peut être en une seule pièce ou formé d'éléments séparables ou non ; ces éléments sont indépendants du système optique ;
- Le système optique : il a pour rôle de changer la répartition du flux lumineux émis par la lampe ; la répartition peut être réalisée par des dispositifs constituant le système optique ; ce sont :
 - ❖ les réflecteurs : ce sont des dispositifs réalisés en aluminium traité, en métal peint, en verre ou autre matériau et qui sont rendus réfléchissants par dépôts d'aluminium ;
 - ❖ les réfracteurs : réalisés en verre ou en matière plastique, ils peuvent être associés à des réflecteurs pour donner la répartition souhaitée ;
 - ❖ les diffuseurs : ils servent à rendre meilleur le confort visuel en diminuant la luminance des lampes ; ils peuvent être assemblés avec les réflecteurs ou les réfracteurs. Il y a trois modèles de luminaires :

Les luminaires défilés ou masqués : lorsque ce modèle de luminaire est utilisé en éclairage public, les flux des lampes se coupent à ras le sol et les supports sont rapprochés ;

Les luminaires semi-défilés ou semi-masqués : leur utilisation engendre la coupure des flux des lampes à une hauteur un peu plus élevée du sol ; et la distance entre deux supports consécutifs est supérieure à celle du premier type ;

Les luminaires non-défilés ou non-masqués : l'utilisation de ce modèle présente un inconvénient majeur, 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. Ces luminaires peuvent être « ouverts » ou « fermés ».

I.2.3 Supports

Les supports en éclairage public sont des appuis sur lesquels les luminaires sont fixés.

Caractéristiques des supports

Un support d'éclairage public doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Résister aux intempéries et aux chocs ;
- Résister à la corrosion ;
- Etre relativement léger pour faciliter la manutention ;
- Offrir le maximum de place pour le logement des appareillages qui doivent être d'accès facile ;
- Nécessiter le minimum d'opérations d'entretien.

La détermination des caractéristiques dimensionnelles permettant le choix des supports sont :

- charges climatiques (vent, pluie)
- la hauteur de feu ;
- l'avancée du point lumineux ;
- Le design souhaité

En règle générale, le design est le premier paramètre de choix d'un support d'éclairage public. Les autres paramètres sont choisis en fonction de la géométrie de la voie et des conditions climatiques.

I.3 Modes d'implantation des foyers d'éclairage public

En fonction de la géométrie de la voie, plusieurs modes d'implantation peuvent être utilisés.

I.3.1 Implantation sur chaussée simple

- Implantation unilatérale :

Tous les foyers sont disposés sur un côté de la chaussée. Ainsi on a une implantation unilatérale à droite ou à gauche. Ce mode est réservé pour les voies à faible circulation et dont la largeur est inférieure ou égale à la hauteur de feu. Toutefois il faut remarquer qu'avec ce type, la luminance du côté opposé est moindre par rapport à celle du côté où sont implantés les supports.

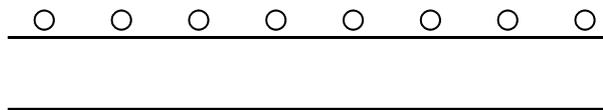


Figure 2: Architecture implantation unilatérale

- Implantation bilatérale vis à vis ou en opposition :

Dans cette disposition, les supports sont fixés de part et d'autre de la chaussée et se font face. La lumière n'est pas bien répartie et laisse des zones d'ombre si l'espacement entre foyers dépasse trente mètres. Elle est applicable lorsque la largeur de la chaussée dépasse une fois et demie la hauteur du luminaire.

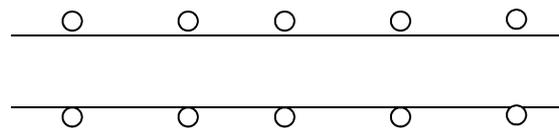


Figure 3: Architecture implantation bilatérale vis à vis

I.3.2 Implantation sur chaussée double

- Implantation axiale sur terre-plein central :

Dans la disposition axiale, les foyers sont placés suivant l'axe de la chaussée. Elle est utilisée dans le cas des grandes voies de circulation avec terre-plein central. L'utilisation de ce terre-plein permet d'éclairer chacune des deux chaussées. Ce type d'implantation peut également devenir la seule solution acceptable pour les voies bordées d'arbres.

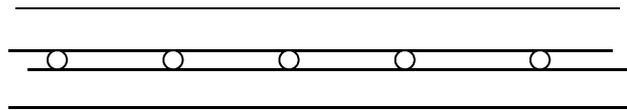


Figure 4: Architecture implantation axiale sur terre-plein central

Il faut signaler que sur les voies ayant de très grandes largeurs, il est possible d'appliquer simultanément l'implantation axiale sur terre-plein central et l'implantation bilatérale sur accotement.

- Implantation sur accotements ou sur trottoirs :

Cette implantation est plus onéreuse que la précédente car elle exige deux tranchées, deux câbles et deux rangées de candélabres. En revanche, elle permet d'effectuer l'entretien en réduisant la gêne de la circulation, en particulier lorsque les véhicules d'entretien peuvent stationner sur la bande d'arrêt d'urgence. C'est la solution généralement employée pour les autoroutes urbaines.

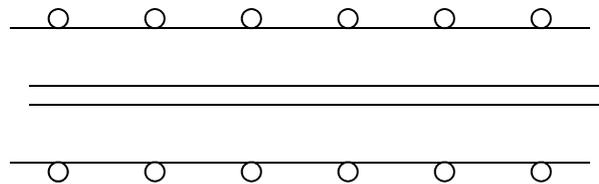


Figure 5: Architecture implantation sur accotements

I.3.3 Implantation des foyers dans les « zones de transitions »

L'adaptation oculaire du conducteur se fait aisément lors de l'entrée dans une zone éclairée, mais pas à la sortie, à moins que des précautions ne soient prises. Pour habituer le conducteur aux conditions de visibilité dans la zone non éclairée, on doit aménager une « zone de transition » dans laquelle la luminance de la chaussée est réduite. La longueur de cette zone doit être telle qu'elle soit parcourue en 10 secondes environ, ce qui donne pour une vitesse de 100 km/h, une longueur d'au moins 200 m. Ceci peut se faire en conservant le même espacement et la même hauteur de feu, tout en réduisant la puissance des sources. Une autre solution, très intéressante, consiste à terminer l'installation d'éclairage par un tronçon éclairé unilatéralement. Les foyers étant placés à gauche pour le conducteur qui quitte la zone éclairée de la route principale, la puissance des lampes restant inchangée.

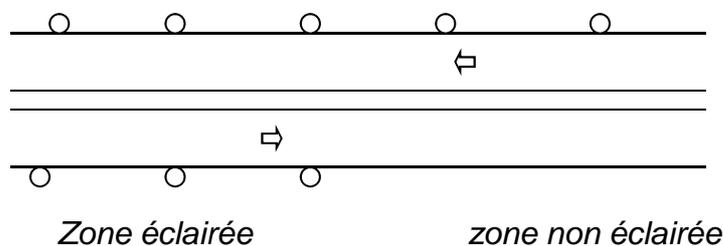


Figure 6: Implantation des foyers dans les zones de transitions

II. Structure des réseaux généralement rencontrée

Les réseaux d'éclairage public peuvent être soit :

- Souterrains,
- Aériens.

II.1 Réseaux souterrains

Le réseau est réalisé en souterrain lorsque la puissance est relativement élevée et pour des considérations d'ordre esthétique. L'emploi des câbles doit se faire en tenant compte des règles habituelles relatives à l'établissement des canalisations électriques souterraines. Les profondeurs normales de pose en absence de considérations sont :

- 0,80 m sous trottoir ;
- 1,00 m à 1,20 mm sous chaussée ;

Un dispositif avertisseur (grillage, bande plastique) est à prévoir. Les foyers sont raccordés suivant l'une des méthodes ci-après :

- passage « en courant » encore appelé « passage en boucle » de la canalisation d'alimentation ;
- dérivation sur câble d'alimentation par l'intermédiaire d'une boîte enterrée.

La première méthode est utilisée lorsque la section des câbles est inférieure ou égale à 25 mm². Elle évite l'utilisation de nombreuses boîtes de dérivation pouvant être la cause de défauts risquant de se répercuter sur un circuit principal. On a recours à la seconde méthode lorsque les conditions d'utilisation ne permettent pas de réaliser les passages en coupure.

Une solution mixte peut également être retenue : limiter l'utilisation des boîtes de dérivation aux câbles de section supérieure à 25 mm² et conserver le passage en coupure pour les sections plus faibles. L'équilibrage des phases doit être respecté en cas de distribution basse tension triphasée.

II.2 Réseaux aériens

Ils sont rependus dans les zones urbaines de faible et moyenne densité et dans les zones rurales. Rappelons d'une part que l'installation de luminaires sur des supports haute tension est rigoureusement interdite, Et d'autre part que le fait d'utiliser les supports de la distribution basse tension évite d'accroître le nombre de supports et par conséquent, limite l'encombrement de voies publiques. Suivant leur situation par rapport aux réseaux de distribution d'énergie électrique, on peut distinguer trois types de circuits d'éclairage :

Eclairage public électriquement non séparé : cas des circuits d'éclairage public ayant le neutre commun avec le réseau de distribution publique ;

Eclairage public électriquement séparé : deux circuits de distribution publique et d'éclairage ;

Eclairage public physiquement séparé : les circuits d'éclairage public sont considérés comme physiquement séparés des circuits de distribution publique s'ils satisfont simultanément aux trois conditions suivantes :

- ils sont électriquement séparés ;
- ils sont réalisés en conducteurs isolés torsadés ;
- ils ne sont pas inclus dans une torsade de distribution publique.

Chacun de ces trois types peut se trouver en présence d'un réseau électrique de distribution publique en conducteurs nus ou isolés.

Chapitre II:

Etude complète du projet

I. Présentation

Le projet global consiste en la construction d'une route bitumée longue de 4 km, y compris les travaux d'aménagements tels que les caniveaux, l'éclairage public et les feux tricolores. Les travaux ont été confiés à la société GLOBEX CONSTRUCTION, entreprise spécialisée dans la construction des ponts et chaussées. La réalisation d'ouvrage électrique tel que l'éclairage public et les feux tricolores a été sous-traité avec l'entreprise SATEL spécialisée dans ce domaine. Un cahier de charge a été fourni pour la réalisation du projet.

Cahier de charge :

Caractéristiques de la chaussée :

- Route interurbaine
- Enrobé moyen
- Largeur : 12 m
- Longueur : 4 km

Technologie d'éclairage public :

- Eclairage public unilatéral avec des candélabres de hauteur 12m simple foyer lumineux équipés d'une lampe sodium haute pression de puissance 250 W
- Les câbles d'alimentation se feront en sous-terrain avec un câble de section convenable enterré sous tube PVC ou tube gorgé
- Le raccordement au réseau SONABEL se fera à partir de postes haut de poteau de type H61 à construire.

Travaux à réaliser par l'entreprise :

- La réalisation du dossier d'exécution composé de :
 - L'étude photométrique permettant de choisir l'espacement des candélabres,
 - L'étude électrique permettant de choisir les sections des câbles
 - Le plan d'implantation
 - Et les notes de calcul
- Réalisation de travaux conformément au dossier d'exécution validé.

Au cours de la réalisation du projet, l'entreprise SATEL doit se soumettre aux exigences de :

- La société GLOBEX CONSTRUCTION, qui est en charge de l'exécution du marché global pour la construction de la voie
- La Société National d'Electricité du Burkina (SONABEL), chargée du suivi et control des travaux d'éclairage public.

II Réalisation du dossier d'exécution

En considérant le cahier de charge et les généralités vues au chapitre précédant, nous pouvons faire le dossier d'exécution de l'ouvrage demandé. Le dossier d'exécution commence par une étude photométrique.

II.1 Etude photométrique

Nous avons utilisé deux méthodes pour l'étude: la méthode simplifiée basé sur des formules de calcul empirique et la méthode de calcul par logiciel DIALUX. La longueur des candélabres et les types de lampes étant donnés dans le cahier de charge, notre travail est de trouver l'espacement maximal de ces candélabres équipés des lampes SHP de 250 W.

II.1.1 Etude par la méthode simplifiée

Cette méthode ne donne pas les valeurs ponctuelles d'éclairement de luminance. Elle est basée sur des règles empiriques d'implantation et sur le calcul du flux à installer. Dans cette méthode du point de vue de l'uniformité, il est recommandé de respecter certaines relations, établies empiriquement entre les différents paramètres de l'installation. La méthode nous permettra de calculer l'espacement entre les candélabres, de vérifier si la hauteur de feu donnée est convenable. Par ailleurs nous pouvons calculer le niveau d'éclairement moyen pour ensuite la comparer à l'éclairement moyen déterminé à partir de Dialux.

❖ Hauteur de feu

Elle est fonction de la largeur de la voie et du type d'implantation. Nous avons une voie simple à éclairer avec une largeur de 12 mètres et longue de 4 kilomètres. Le cahier de charge nous impose des supports de 12 m implantés sur les accotements; c'est à dire une implantation unilatérale avec une hauteur de feux de 12 mètres.

H=12m

Tableau 2: Ordre de grandeur hauteur de feu [1]

| Type d'implantation | Bilatérale vis-à-vis | autres |
|---------------------|----------------------|--------------|
| Hauteur de feu | $H \geq L$ | $H \geq L/2$ |

L : la largeur de la voie en mètre

H : la hauteur de feu en mètre

La hauteur de 12 m est convenable car elle respecte la règle : $H \geq L/2$.

❖ Espacement

Elle dépend du type de source et du type d'implantation.

Le tableau suivant donne un ordre de grandeur des espacements en fonction du type d'implantation des candélabres.

Tableau 3: Ordre de grandeur espacement [1]

| Type de source | Quinconce | Autres |
|----------------|---|-------------|
| SBP | $E = 3 H$ | $E = 2.7 H$ |
| SHP | E compris entre : $(3.5 \text{ et } 4.5) * H$ | $E = 3.2H$ |

E= écartement en mètre

H= hauteur de feu en mètre

Nous obtenons un écartement de 38.4 m en implantation unilatérale classé dans la catégorie autre en utilisant les lampes SHP.

❖ Calcul de l'éclairage moyen

L'éclairage moyen est donné par la formule suivante :

$$E = R * L$$

Avec :

E : éclairage moyen en Lux

R : le rapport

L : luminance en cd/m^2 (tableau de luminance de la lampe en annexe)

Tableau 4: Tableau donnant le rapport en fonction de la voie [1]

| Nature de la chaussée | Rapport R |
|-----------------------|-----------|
| Enrobés clairs | 7 |
| Béton | 10 |
| Enrobés moyens | 14 |
| Enrobés sombres | 18 |

Nous obtenons un éclairage moyen de 21 lux en considérant comme nature de la chaussée une enrobé moyen. Le niveau d'éclairage obtenu permet de conclure que la chaussée sera bien éclairée. En effet, suivant les recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques de l'Association Française de l'Eclairage Public il est stipulé que la norme à respecter (NF EN 13201) pour un éclairage de qualité est que l'éclairage soit compris entre 20 et 30 lux.

II.1.2 Étude photométrique par le logiciel DIALUX

DIALUX éclairage public est un logiciel développé par l'entreprise DIAL GmbH, plateforme de services pour les techniques d'éclairage. DIALUX permet le calcul de la lumière du jour et de la lumière artificielle. Ce calcul repose sur la norme DIN 5034 et la publication 110 de la CIE. DIALUX permet de calculer les éclairagements, les facteurs lumières du jour, les luminances, et permet de réaliser des études d'ombrage ainsi que des rendus de couleurs. Le logiciel permet en plus du calcul, de simuler et de vérifier de façon professionnelle tous les paramètres des installations d'éclairage public, fournissant des résultats normalisés. DIALUX est également flexible dans l'exécution de l'étude photométrique de sorte que l'on puisse modifier les valeurs en vue d'optimiser les résultats.

- **Paramètres d'entrée de l'étude**

L'étude sur le logiciel nécessite des paramètres d'entrés qui sont les suivants :

- Puissance et type de lampe à utiliser
- Les caractéristiques géométriques de l'installation et le type de revêtement de la chaussée.

La chaussée est définie en renseignant les paramètres suivants:

- Type de chaussée (Simple ou Double);
- Terre-plein central;
- Largeur de chaussée;
- Nombre de voies;
- Caractéristiques des candélabres et le type d'implantation
 - Type d'implantation
 - Espacement voulu
 - Hauteur du point d'éclairage
 - La sailli
 - L'inclinaison du bras
- Type d'installation (Unilatérale, Bilatérale vis-à-vis, Bilatérale alternée, Axiale)

Les paramètres photométriques prennent en compte la géométrie des voies, les aménagements connexes (terre-plein central, trottoirs, voies de sécurité) et le type de revêtement.

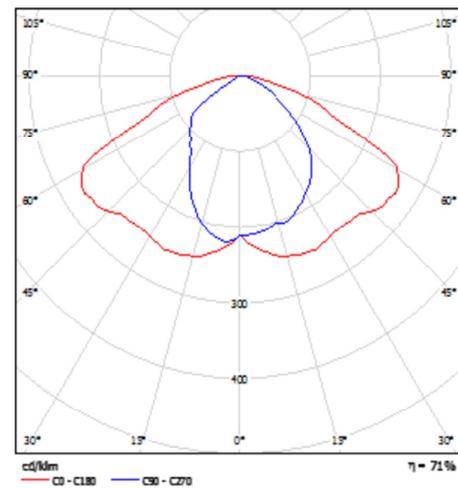
❖ Paramètres d'entrée sur DIALUX

Sur DIALUX nous entrons la catégorie de lampe prévu pour notre projet. La figure suivante illustre la présentation de la lampe sur le logiciel.



Classification des luminaires par UTE: 0.71E
CIE Flux Code: 46 79 97 100 71

Emission de lumière 1:



Étant donné l'absence de propriétés de symétrie, il est impossible de créer un tableau UGR pour ce luminaire.

Figure 7: Le type de lampe à utiliser [2]

Après la présentation de la lampe, nous nous intéresserons aux caractéristiques géométriques de la voie et le type de revêtement. Sur DIALUX nous entrons les caractéristiques suivantes :

Rue 1 / Données de planification

Profil de la rue

Piste cyclable 2 (Largeur: 1.000 m)
Chaussée 2 (Largeur: 10.000 m, Nombre de voies: 2, Revêtement: R3, q0: 0.070)
Piste cyclable 1 (Largeur: 1.000 m)

Facteur d'entretien: 0.80

Disposition des luminaires

Figure 8: Caractéristiques géométriques de la voie [2]

Le renseignement des Caractéristiques des candélabres et des paramètres d'implantation sont représentés sur la figure numéro 09.

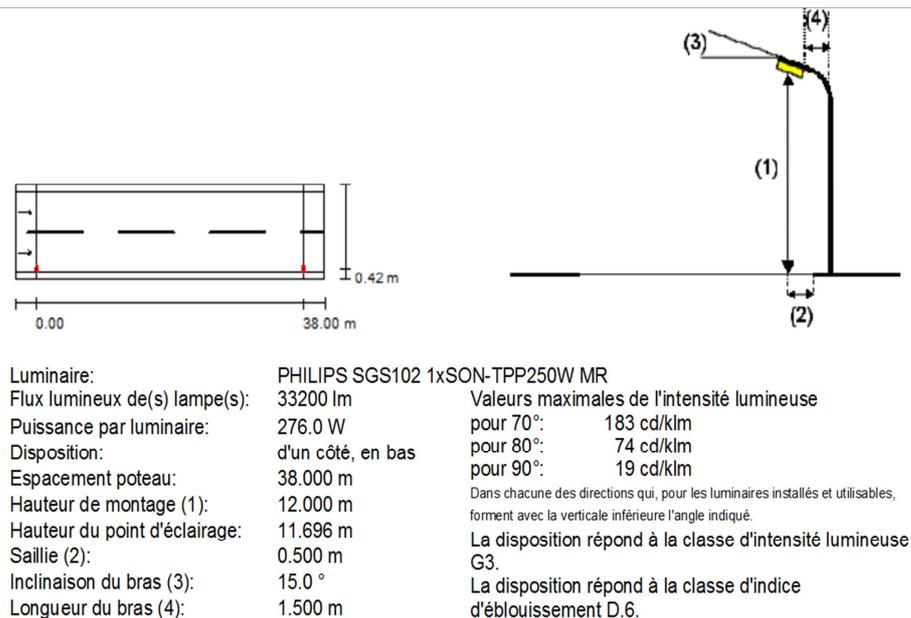


Figure 9: Paramètres d'implantation des candélabres de la voie [2]

Paramètres de sortie

Ainsi le dimensionnement de l'éclairage public consistera à calculer les paramètres photométriques suivants :

- La luminance moyenne (L)
- Le facteur d'uniformité général (U0)
- Le facteur d'uniformité longitudinale (U1)
- Calcul de l'éblouissement perturbateur (TI)

L'obtention des paramètres de sortie permettra de juger la qualité de l'installation selon les résultats attendus par les normes de calcul suivant DIALUX.

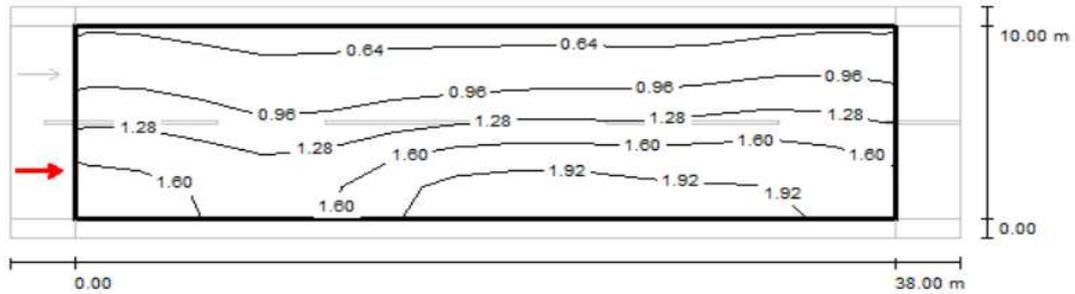
❖ Résultats de l'étude par DIALUX

Après avoir entrés le type de la lampe et les caractéristiques d'implantation des candélabres, nous simulons et nous obtenons les résultats suivants:



Editeur (trice)
Téléphone
Fax
Email

PHILIPS SGS102 1xSON-TPP250W MR / Fiche technique luminaire



Valeurs en Candela/m², Echelle 1 : 315

Trame: 13 x 6 Points
Position de l'observateur: (-60.000 m, 2.500 m, 1.500 m)
Revêtement: R3, q0: 0.070

| | L_{moy} [cd/m ²] | U0 | UI | TI [%] |
|---|--------------------------------|-------|-------|--------|
| Valeur effective selon calcul: | 1.52 | 0.5 | 0.9 | 7 |
| Valeurs de consigne selon la classe ME4a: | ≥ 0.75 | ≥ 0.4 | ≥ 0.6 | ≤ 15 |
| Rempli/Non rempli: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Figure 10: Résultats photométrique de la première chaussée [2]

Ces résultats donnent le niveau d'éclairage de la première chaussée avec les valeurs réelles. Toutes ces valeurs calculées satisfont aux valeurs recommandées selon la classe choisie. Ainsi, nous pouvons conclure que la chaussée sera bien éclairée car ces caractéristiques photométriques respectent les consignes des normes d'éclairage public intégrées dans DIALUX (figure numéro 10 ci-dessus). Avec ce niveau d'éclairage, et en utilisant des candélabres de 12 m équipés de luminaires SHP 250 W nous devons utiliser un écartement maximum de 38m.

Détermination du nombre de candélabres à installer :

Le nombre de candélabres (unité) est égal à la longueur totale de la voie (en mètre) sur l'écartement entre lampadaire (en mètre)

Données :

Longueur de la voie : 4000 m

Ecartement entre lampadaires : 38 m

Pour éclairer toute la route il faut installer 107 candélabres.

II.2 Etude électrique du projet

Alimentation électrique :

Données :

Longueur de la voie : 4000 m

Ecartement entre lampadaires : 38 m

Puissance unitaire des lampes : 250 W

Tension d'utilisation: 230/400V à prendre à partir de poste HTA/BT à construire.

II.2.1 Plan d'implantation

Nous divisons la voie en trois parties égales puis nous installons un poste de transformation a mis distance entre les deux extrémités de chaque partie. (Représentation 3D de la voie en annexe). La figure suivante matérialise l'architecture globale de la voie et sa subdivision en tranches (figure 11).

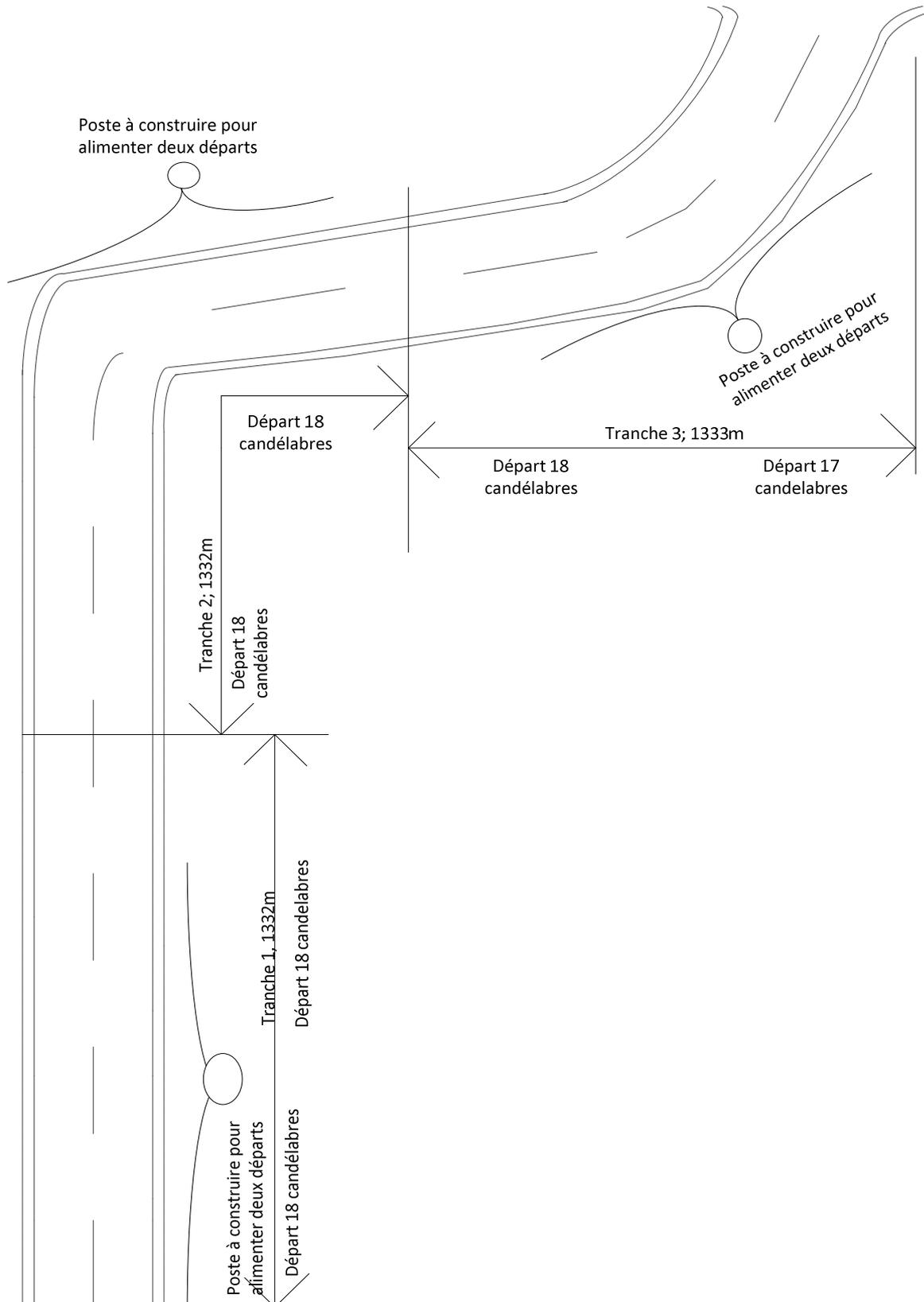


Figure 11: Architecture global de la voie

Chaque poste prendra deux départs. Nous aurons deux postes qui prendront 36 lampes et un poste qui prendra 35 lampes. Alors sur toute la voie nous avons un ensemble de six départs. Nous présentons les trois postes et leurs charges de la manière suivante :

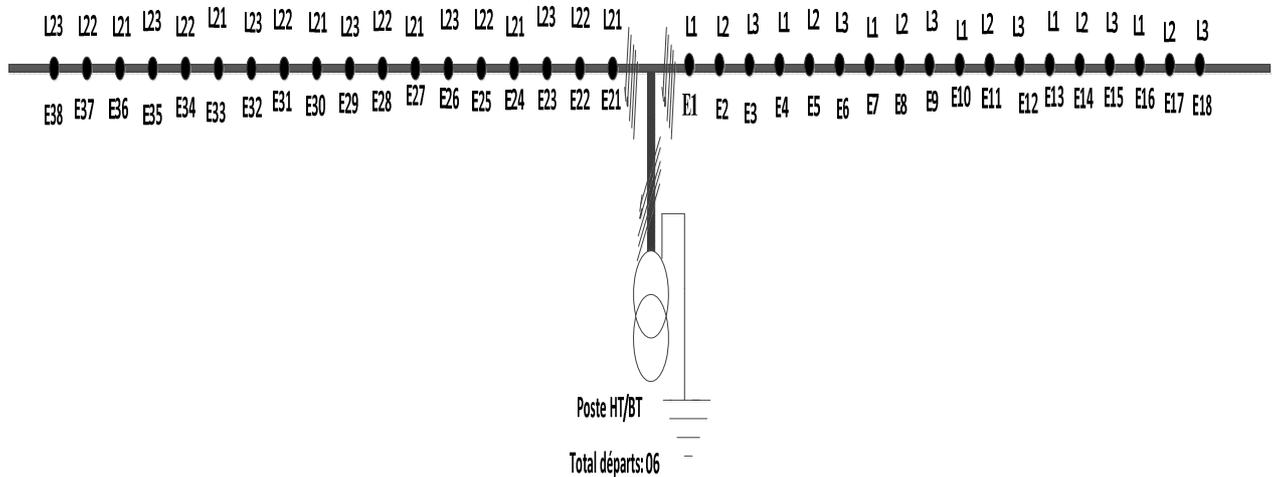


Figure 12: Poste numéro un avec sa charge

Légende :

Total lampes première tranche : 36

Lampes sur L1 : 6

Lampes sur L2 : 6

Lampes sur L3 : 6

Lampes sur L21 : 6

Lampes sur L22 : 6

Lampes sur L23 : 6

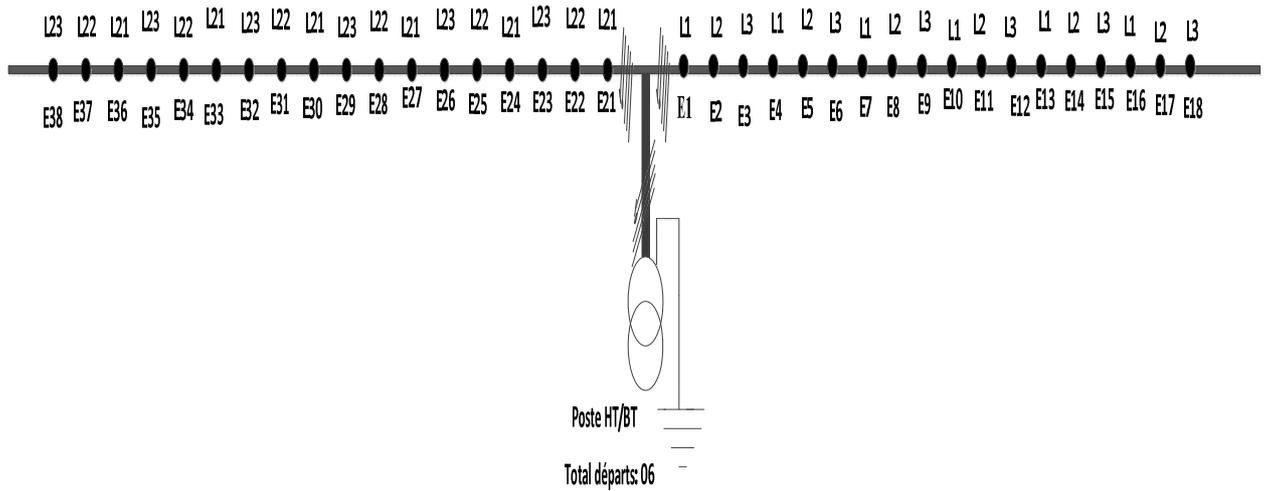


Figure 13: Poste numéro deux avec sa charge

Légende :

Total lampes deuxième tranche : 36

Lampes sur L1 : 6

Lampes sur L2 : 6

Lampes sur L3 : 6

Lampes sur L21 : 6

Lampes sur L22 : 6

Lampes sur L23 : 6

II.2.2 Dimensionnement électrique

L'ensemble de l'étude électrique de chaque tronçon se fera en utilisant le logiciel Caneco BT. Alors pour chaque poste nous déterminerons les sections des câbles à utiliser, les dispositifs de protections ; le niveau de tension et d'intensité. Ces résultats seront présentés et commentés pour chacune des trois tranches. Caneco BT détermine, de façon professionnelle, les sections de câbles et tout l'appareillage de protection. Il produit les schémas et les documents nécessaires à la conception, la réalisation, la vérification et la maintenance des installations. Les calculs de Caneco BT se basent sur quatre avis techniques (NF C 15-100, BS, RGIE et NIN) qui attestent la conformité normative. En outre Caneco BT prend en compte les normes internationales telles que les normes IEC364, HD384 et VDE.

Calcul électrique de la première, deuxième et troisième tranche :

Cette étude déterminera trois grands aspects :

- les caractéristiques du circuit électrique (niveau des courants d'allumage, des courants d'emploi,...),
- détermination des sections des conducteurs
- enfin, détermination des dispositifs de protections

La première et la deuxième tranche sont identiques; elles sont constituées chacune de 36 lampes dont 18 par départ, avec une puissance total de 9 kW.

La détermination de la puissance apparente nous permettra de choisir la puissance du transformateur :

$$P = 36 \times 250$$

$$\underline{P = 9 \text{ kW}}$$

La puissance apparente se calcul comme suit :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Avec

$$Q = P \tan(\phi)$$

Le cosinus phi des lampes étant de 0.8,

Alors :

$$S = \sqrt{P^2 + (P \tan(\phi))^2}$$

$$S = \sqrt{9000^2 + (9000 \tan(36,9))^2}$$

$$S=11.25 \text{ kVA}$$

Ainsi nous pouvons retenir un transformateur de 15 kVA; cependant le plus petit transformateur disponible sur le marché burkinabé est de 50 kVA ; donc nous retenons finalement un transformateur de 50 kVA.

Etude électrique par CANECO:

Les paramètres d'entrées de l'étude :

- La source
- Le tableau général basse tension (TGBT)
- Les protections
- Les départs

- Dimensionnement de la source :

Dans cette partie nous renseignons les paramètres suivants dans le logiciel (figure 15) : la puissance du transformateur, le régime de neutre, le type de conducteur et leur mode de pose.

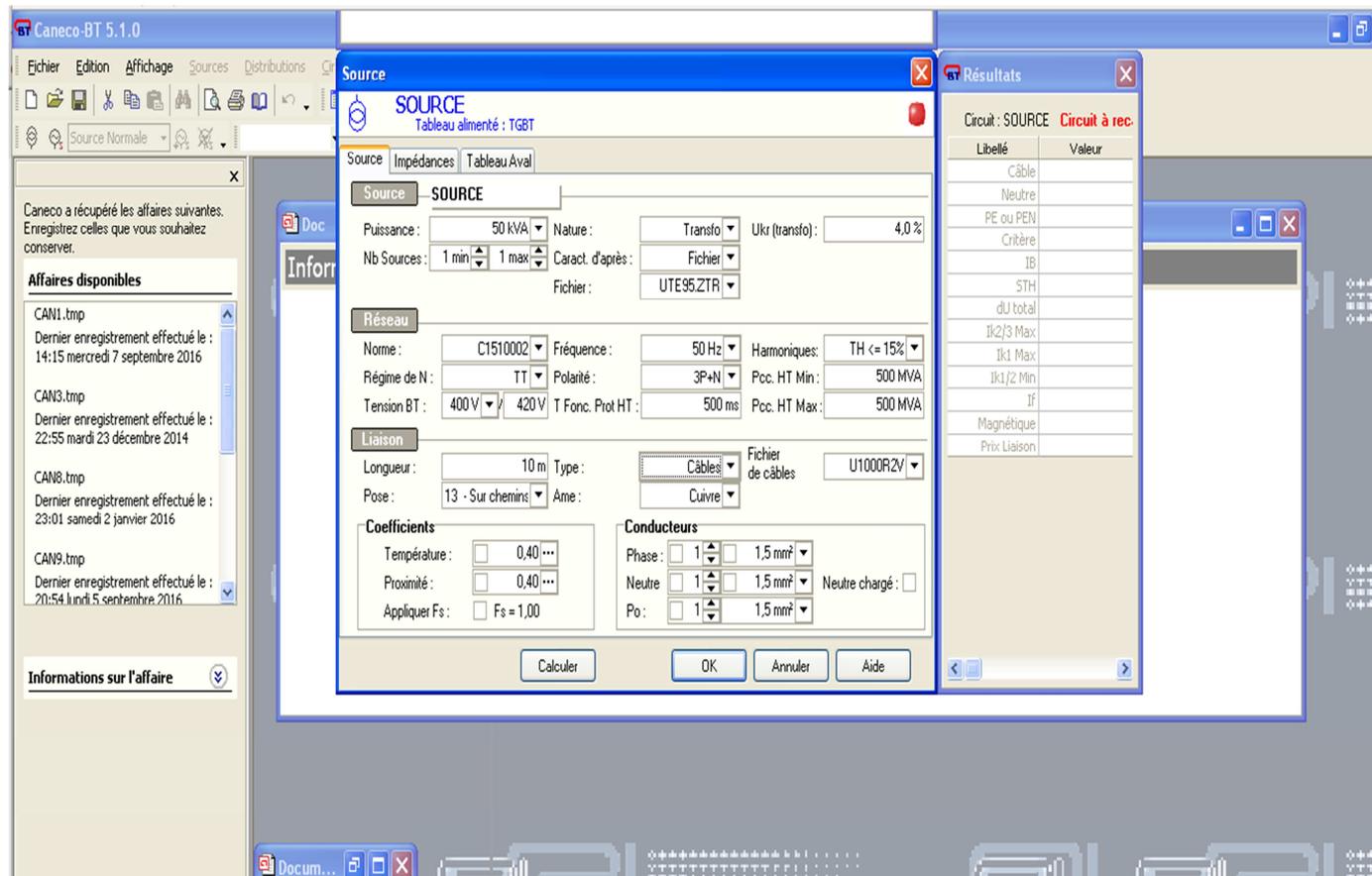


Figure 15: Capture d'écran montrant le dimensionnement de la source [2]

Type de protection :

Nous renseignons la puissance de la charge et le type de protection souhaité (figure 16). Ainsi le logiciel se sert de ces paramètres d'entrées pour nous sortir le calibre de la protection convenable.

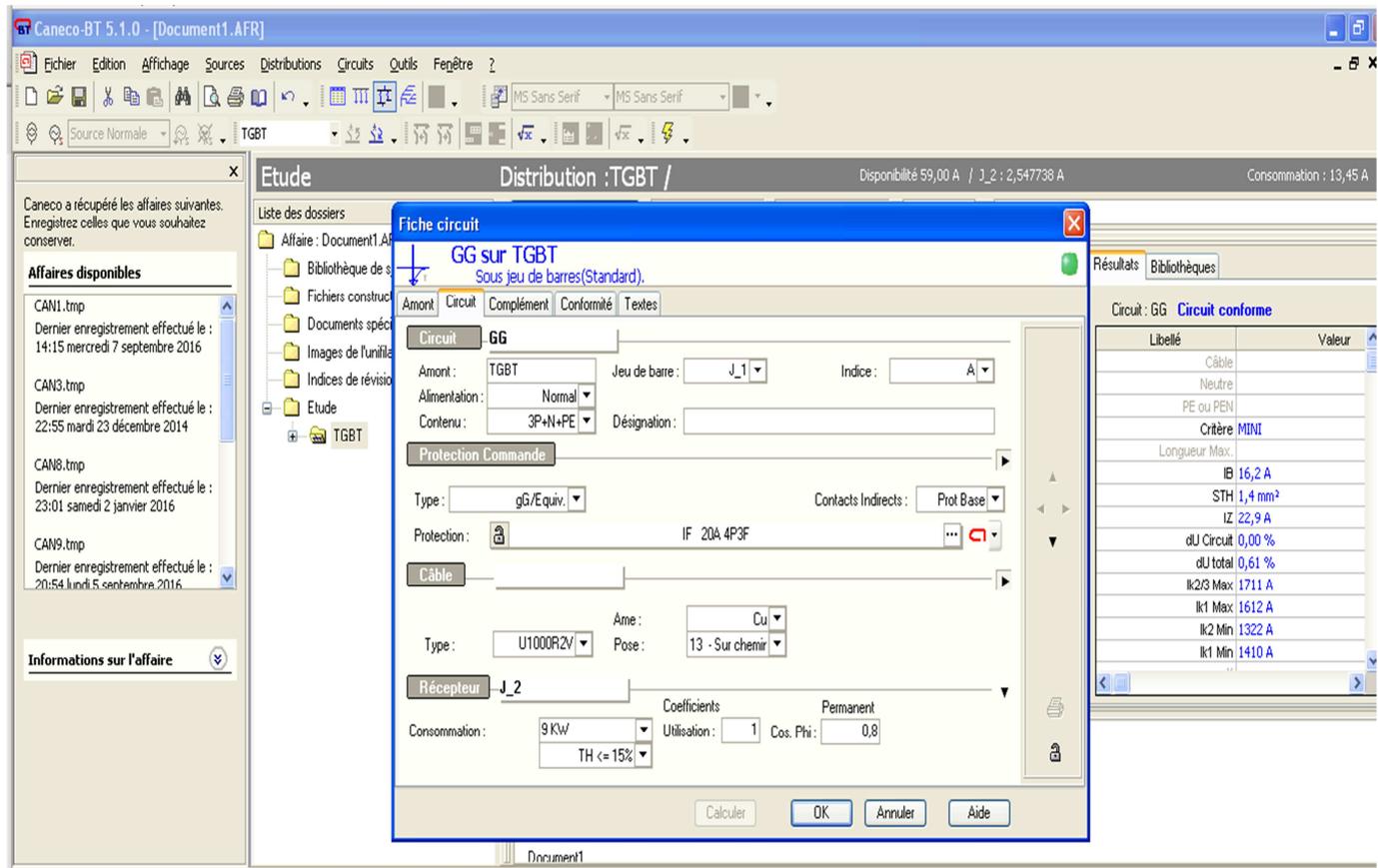


Figure 16: Capture d'écran montrant le dimensionnement de la protection [2]

Dimensionnement des câbles d'alimentation :

La section des câbles et la chute de tension sont déterminées en fonction du nombre de lampes, de la puissance unitaire de la lampe, du type de câble, du niveau de tension et enfin du mode de pose (figure 17).

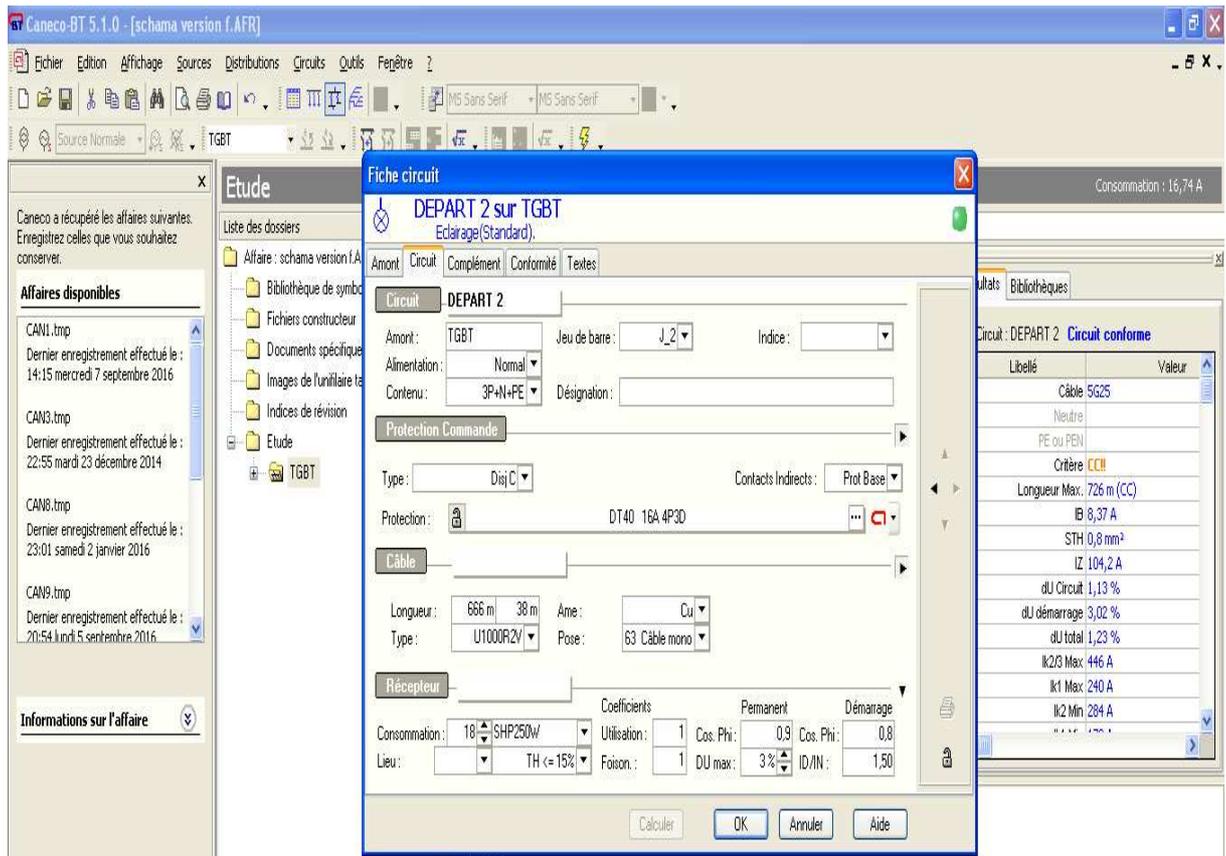


Figure 17: Capture d'écran illustrant le dimensionnement des câbles [2]

Résultats des calculs électriques de la première et de la deuxième tranche :

Après renseignement des paramètres d'entrées, nous lançons les calculs sur CANECO électrique. Ainsi, pour la première et la deuxième tranche le résumé des calculs est le suivant (figure 18) :

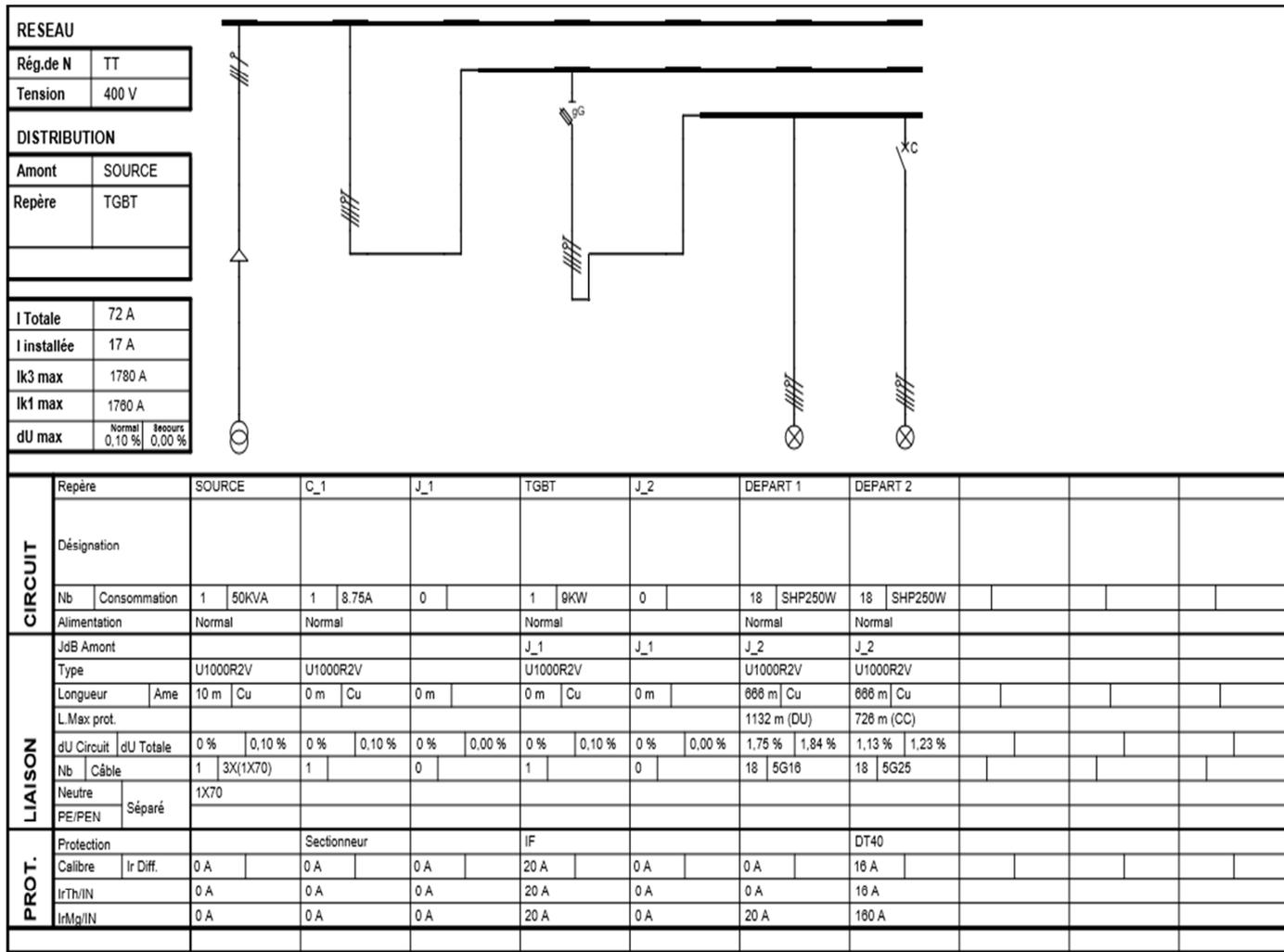


Figure 18: Résultats des calculs électriques de la première et deuxième tranche [2]

Le circuit fonctionne suivant le régime de neutre TT sur un niveau de tension de 400V. Les câbles sont de type U1000R2V Cuivre de section 25mm² avec une chute de tension d'environ 3% (Tableau de la dénomination des câbles en annexe). Les départs ont une protection avec fusible de calibre 16 ampères.

calculs électrique et résultats de la troisième tranche :

L'étude électrique de la troisième tranche est similaire à celle de la première et de la deuxième tranche ; nous notons cependant un total de 35 lampes au lieu de 36. Le premier départ prend 17 lampes et le deuxième départ prend 18 lampes. Ainsi nous retenons également pour cette dernière tranche un transformateur de 50 kVA. Le résultat de l'étude par CANECO se présente de la façon suivante :

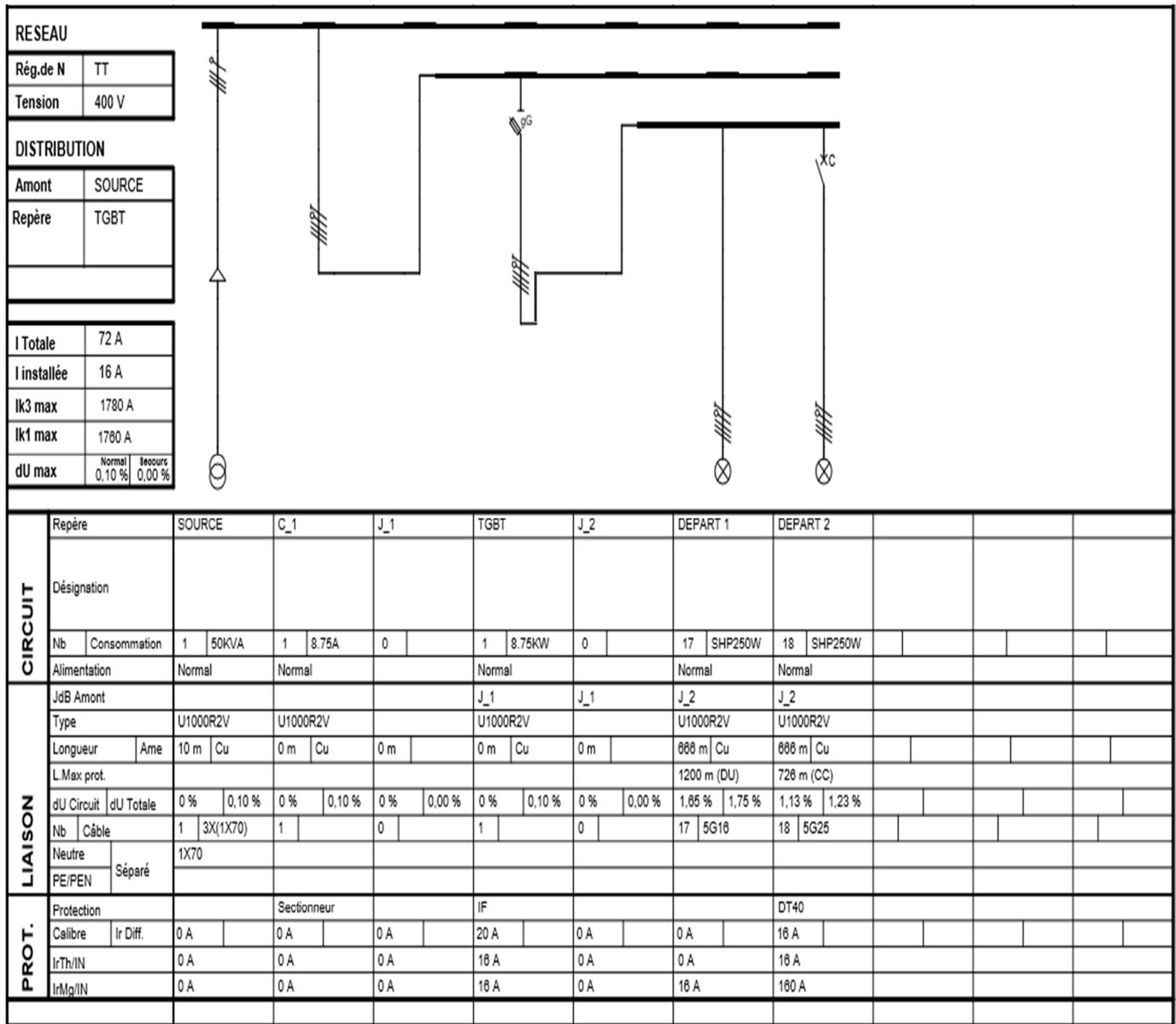


Figure 19: Résultats des calculs électriques de la troisième tranche [2]

Comme les deux première tranche, le circuit fonctionne suivant le régime de neutre TT sur un niveau de tension de 400V; les câbles sont de type U1000R2V Cuivre de section 25mm² avec une chute de tension d'environ 3%. Les départs ont une protection par fusible de calibre 16 ampères.

III Coffret de commande

Le coffret de commande se compose en deux parties principales : nous avons le circuit de puissance et le circuit de commande (figure 20). Sur le circuit de puissance le câble d'alimentation de la SONABEL vient se raccorder sur un sectionnaire de 60A. Ce premier sectionneur a pour rôle principal d'isoler ou de fermer le circuit de puissance. Au sortie de se sectionneur nous passons par un compteur d'énergie pour se connecter à un contacteur (30A). Le circuit de puissance se termine par un second sectionneur après lequel nous raccordons le câble aux borniers de raccordements des départs lampes. Le circuit de commande à droite fonctionne sous deux modes : le mode automatique et le mode manuel.

Lorsque nous somme dans le mode automatique, le lumandar commande la bobine du contacteur de puissance. Le contact est ouvert en présence de lumière du jour et fermé la nuit. Dans le mode manuel, cela exige un opérateur pour fermer ou ouvrir le disjoncteur afin d'exciter le contacteur qui permettra d'allumer les lampes. Le mode manuel est nécessaire pour les maintenances pendant la journée.

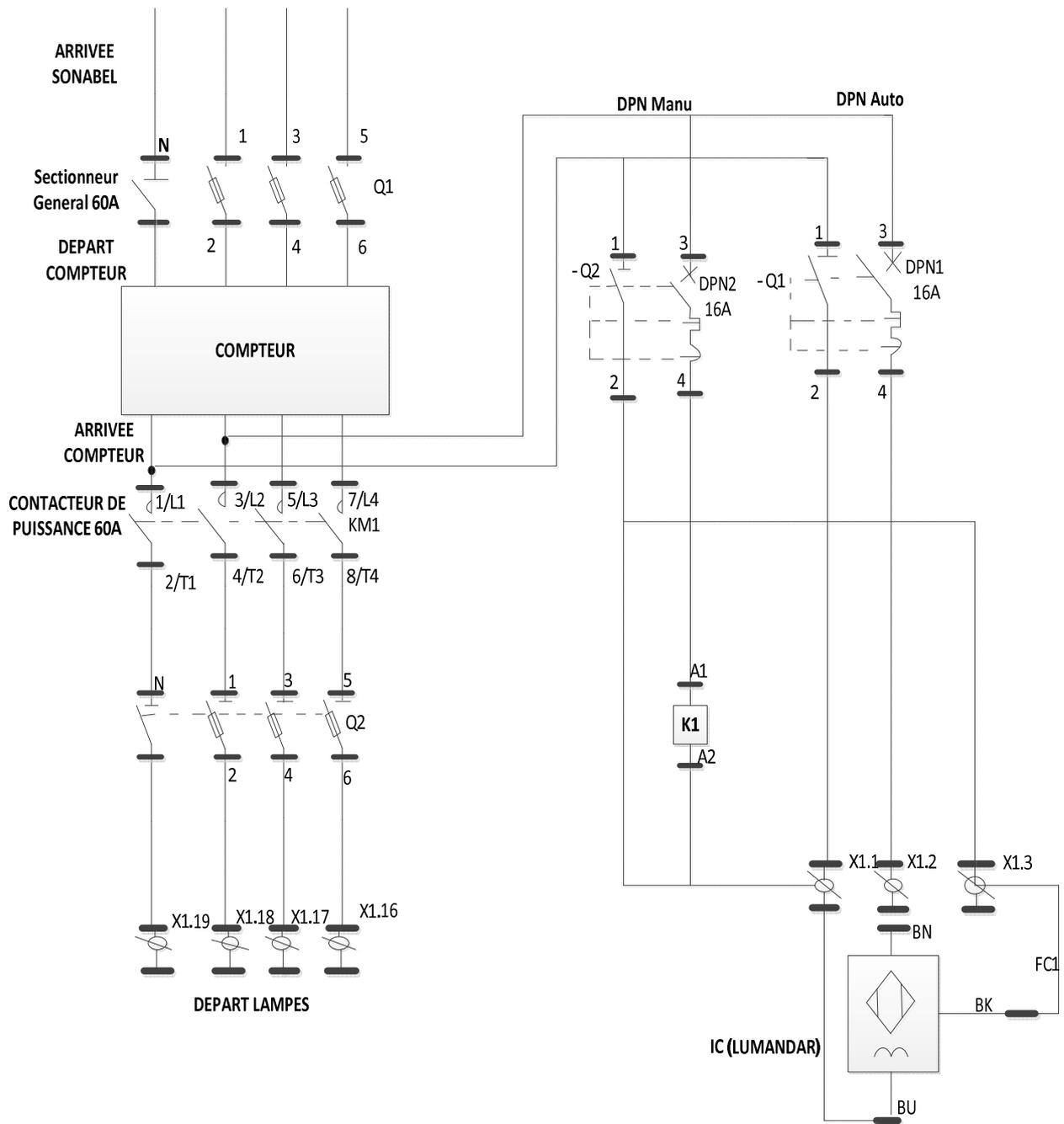


Figure 20: Schéma électrique du coffret de commande

IV Evaluation du matériel et du coût du projet

Le coût global de la fourniture et la pose de l'ensemble du matériel pour la réalisation du projet s'élève à **171 147 015 FCFA hors TVA et 201 953477 FCFA TTC** (détail des calculs sur le tableau numéro 10 de la page 53). Le tableau suivant présente le matériel nécessaire à la réalisation du présent projet d'éclairage.

Tableau 5: Résumé du matériel du projet

| Numéro | Désignation | Unité | Quantité |
|--------|---|-------|----------|
| 1 | Fourniture et pose de candélabres simple foyer lumineux (12m de hauteur) et accessoires | u | 107 |
| 2 | Fourniture et pose de transformateur requis | u | 3 |
| 3 | Fourniture et pose d'armoire EP | u | 3 |
| 4 | Fourniture et pose de câbles 4*25mm ² cuivre | m | 4207 |
| 5 | Fourniture et pose de câble 1,5mm ² | m | 1352 |
| 6 | Fourniture et pose de gaine TPC 63 | m | 4207 |
| 7 | Fourniture et pose de cuivre nu 25mm ² | m | 4207 |
| 9 | Tranchée 0.4*0.8+sable hydraulique | m | 4207 |

La figure suivante présente la voie après levages des candélabres et la pose des postes électriques.



Figure 21: Présentation globale de la voie

Les postes sont installés sur haut de poteau ; ils sont de type H61 avec des transformateurs de puissance 50 kVA. La figure 22 ci-dessous illustre en image l'un des trois postes électriques du projet.



Figure 22: Présentation de poste électrique haut de poteau H61 du projet

Après ces six mois de travail, nous avons pu réaliser des résultats satisfaisant sur le terrain à l'intention de GLOBEX CONSTRUCTION qui nous a confié l'installation du réseau d'éclairage public et à l'intention également de l'ensemble des usagers de la ville de Ouagadougou. Nos travaux ont été contrôlés à tous les niveaux par la Société National d'Electricité (SONABEL).

Chapitre III:

Reprise de l'étude du projet avec des candélabres solaire

I Présentation de la lampe

L'étude solaire portera sur les lampes à LED ; nous utiliserons le logiciel DIALUX et le catalogue de luminaire Philips pour l'étude photométrique. Cependant le catalogue ne présente pas de lampes à LED fonctionnant en courant continu. Nous trouverons donc l'équivalent de notre luminaire réel sur le catalogue Philips pour faire notre simulation sur logiciel. Dans le tableau ci-dessous, nous présentons les caractéristiques de la lampe LED qui est à notre possession (lampe réelle) et celles de son équivalent dans le catalogue qui sera utilisée dans les calculs.

Tableau 6: Caractéristiques des deux types de lampes

| Désignation | Puissance (W) | Tension (V) | Capacité lumineuse (Lumens/W) |
|--------------------|---------------|-------------|-------------------------------|
| Lampe réelle | 50 | 12 | 133 |
| Lampes équivalente | 44 | 12 | 125 |



Figure 23: Lampe équivalente [3]



Figure 24: Lampe réelle

II Etude photométrique

Paramètres d'entrés de l'étude :

Ces paramètres sont les mêmes que ceux de l'étude précédente; ce sont entre autres :

- Puissance et type de lampe à utiliser
- Paramètres d'implantation des candélabres de la voie

La chaussée est définie en renseignant les paramètres suivants:

- Type de chaussée (Simple ou Double);
- Terre-plein central;
- Largeur de chaussée;
- Nombre de voies;
- Type d'installation (Unilatérale, Bilatérale vis-à-vis, Bilatérale alternée, Axiale)
- Puissance et type de lampe à utiliser

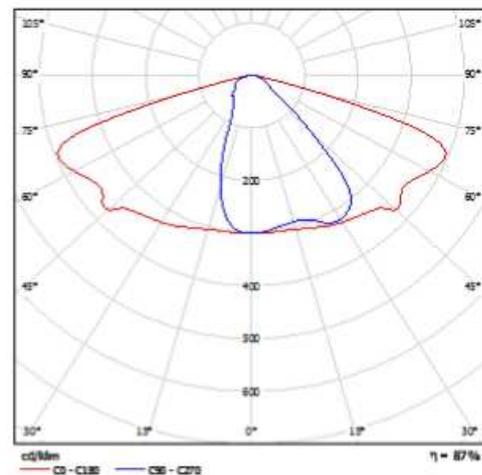
Sur DIALUX nous entrons la catégorie de lampe prévu pour notre projet (figure 25).

PHILIPS BGP340 1xLED55-3S/740 DM / Fiche technique luminaire



Classification des luminaires par UTE: 0.87E
CIE Flux Code: 45 80 98 100 87

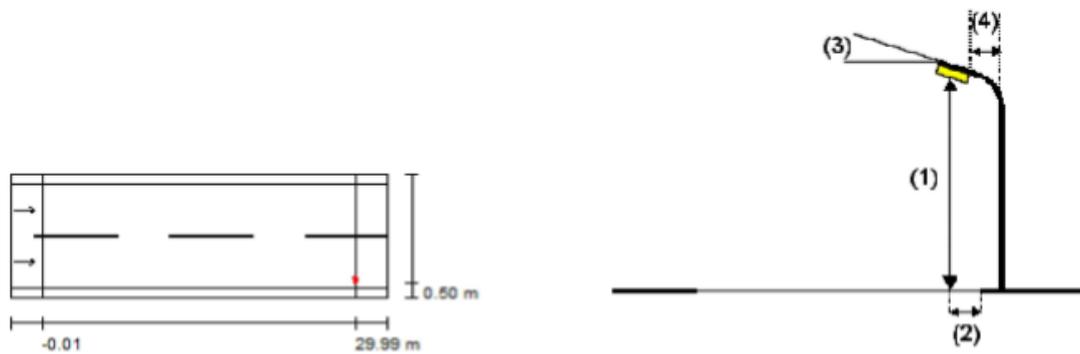
Emission de lumière 1:



Étant donné l'absence de propriétés de symétrie, il est impossible de créer un tableau UGR pour ce luminaire.

Figure 25: Type de lampe à utiliser [2]

Après illustration de la lampe, nous avons les données qui caractérisent l'implantation des candélabres (figure 26).

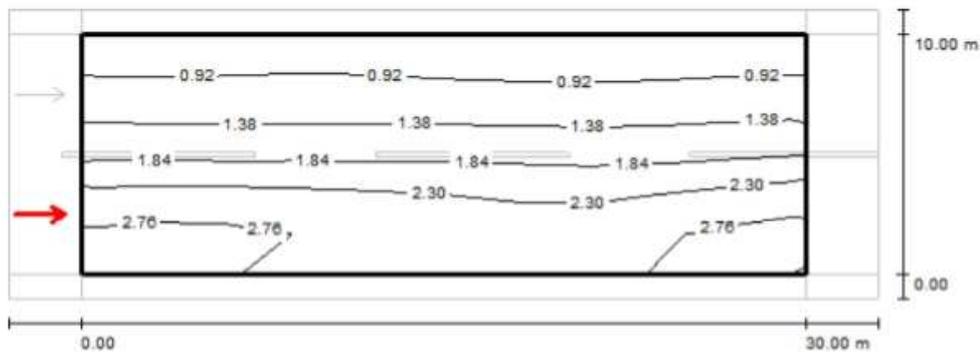


| | | |
|-------------------------------|----------------------------------|--|
| Luminaire: | PHILIPS BGP340 1xLED55-3S/740 DM | |
| Flux lumineux de(s) lampe(s): | 5500 lm | Valeurs maximales de l'intensité lumineuse |
| Puissance par luminaire: | 44.0 W | pour 70°: 546 cd/klm |
| Disposition: | d'un côté, en bas | pour 80°: 157 cd/klm |
| Espacement poteau: | 30.000 m | pour 90°: 14 cd/klm |
| Hauteur de montage (1): | 9.000 m | Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, |
| Hauteur du point d'éclairage: | 9.086 m | forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué. |
| Saillie (2): | 0.964 m | La disposition répond à la classe d'intensité lumineuse |
| Inclinaison du bras (3): | 15.0 ° | G1. |
| Longueur du bras (4): | 1.500 m | La disposition répond à la classe d'indice |
| | | d'éblouissement D.6. |

Figure 26: Paramètres d'implantation des candélabres de la voie [2]

La simulation de ces paramètres d'entrés nous donne les résultats photométriques suivants :

Rue 1 / Champ d'évaluation Chaussée 1 / Observateur 1 / Courbes isolux (L)

Valeurs en Candela/m², Echelle 1 : 258

Trame: 10 x 6 Points
 Position de l'observateur: (-60.000 m, 2.500 m, 1.500 m)
 Revêtement: R3, q0: 0.070

| | L_{moy} [cd/m ²] | U0 | U1 | TI [%] |
|---|--------------------------------|------------|------------|-----------|
| Valeur effective selon calcul: | 1.78 | 0.4 | 0.8 | 8 |
| Valeurs de consigne selon la classe ME4a: | ≥ 0.75 | ≥ 0.4 | ≥ 0.6 | ≤ 15 |
| Rempli/Non rempli: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Figure 27: Résultats des calculs photométriques de la première chaussée [2]

Ces résultats donnent le niveau d'éclairage de la chaussée avec les valeurs réelles. Toutes ces valeurs calculées satisfont aux valeurs recommandées selon la classe choisie. Ainsi, nous pouvons conclure que la chaussée sera bien éclairée car ces caractéristiques photométriques respectent les consignes des normes d'éclairages publics intégrés sur DIALUX (figure numéro 27 ci-dessus). Avec ce niveau d'éclairage, et en utilisant des candélabres de 9 m équipés de lampes à LED 50 W nous devons utiliser un écartement maximum de 30 m, soit un ensemble de 134 candélabres à installer.

Résumé des résultats de l'étude photométrique :

Nous nous intéressons à déterminer l'installation qui éclaire le mieux. Nous comparons donc les caractéristiques photométriques de l'installation raccordée au réseau et celles de l'installation solaire. Cette comparaison nous permettra de conclure sur l'installation qui offre au mieux les meilleures conditions de visuelles.

Tableau 7: Comparaison des caractéristiques photométriques des deux types d'installation

| Désignations | Lmoy (cd/m ²) | Uo (constante) | UI (lumen) | TI en % |
|--|------------------------------|-------------------|---------------|---------|
| Installation solaire | 1.84 | 0.4 | 0.85 | 6 |
| Installation raccordé au réseau SONABEL | 1.46 | 0.5 | 0.85 | 8 |
| Valeur de consigne | >= 0.75 | >= 0.4 | >= 0.6 | < 15 |

Les deux installations offrent quasiment les mêmes confort visuel car leurs notes de calcul sont très proches. Cependant, l'installation solaire semble plus intéressante car d'une part son indice d'éblouissement est plus faible et elle présente une valeur de luminance plus élevée en candela par mètre carré par rapport à l'installation raccordé au réseau SONABEL.

III Etude électrique

L'étude électrique nous donnera la puissance d'un module photovoltaïque ; la capacité de la batterie et le type de régulateur à utiliser pour l'installation d'un lampadaire.

Etude de dimensionnement du système photovoltaïque :

- ✓ Rôle : déterminer les éléments de sorti
 - La puissance crête
 - La capacité de stockage
 - L'inclinaison des modules
 - La tension d'utilisation
 - Le régulateur

Calcul de la puissance crête :

La détermination de la puissance crête est donnée par la formule suivante:

$$P_c = \frac{C_j}{E_j * K}$$

Avec :

C_j : la consommation journalière en Wh/j

E_j : ensoleillement sur le plan des modules en kWh/m²/j pour le mois le plus défavorable

K : facteur de correction prenant en compte les divers rendements

Les paramètres de calcul :

La consommation journalière s'obtient en multipliant la puissance d'une lampe (50W) par le temps de fonctionnement journalier (17h du soir à 6h du matin, soit 13h de fonctionnement). L'ensoleillement du mois le plus défavorable est le mois d'Août avec une valeur moyenne de 5.15Kwh/m²/jour. (Tableau donnant l'ensoleillement des mois pour la ville de Ouagadougou en annexe). Le facteur de correction est le produit entre le rendement du régulateur (0.9), le rendement de la batterie (0.8).

Alors

$$Pc = \frac{650}{5,15 * 0,72}$$

$$**Pc = 174 Wc**$$

Le meilleur choix sur le marché étant un module monocristallin de marque victron energie 100 Wc/12 V (fiche technique en annexe), nous retenons donc deux modules de 100 Wc à installer sur chaque candélabre.

Estimation de la capacité de la batterie :

La capacité de stockage de la batterie se calcul par la formule suivante :

$$C = \frac{Cj * Nj}{Ubat * rendement batterie * Dm}$$

Avec:

C : capacité en ampère par heure

Cj : consommation journalière

Nj : nombre de jours d'autonomie

Ubat : tension aux bornes de la batterie

Dm : profondeur de la décharge

Les paramètres de calcul :

La consommation journalière est égale à la puissance d'une lampe (50 W) multipliée par le temps de fonctionnement journalier (17h du soir à 6h du matin, soit 13h de fonctionnement). Le nombre de jours d'autonomie choisi est de deux jours ; la tension aux bornes de la batterie est de 12 V ; Le rendement de la batterie est de 0.8 ; la profondeur de décharge est de 0.75.

Alors :

$$CAh = \frac{650 * 2}{12 * 0.8 * 0.75}$$

$$**CAh = 180 Ah**$$

Nous disposons de batterie de 200 Ah/12 V ; de marque victron energy. Alors nous la retenons pour notre installation. (Fiche technique en annexe)

Calcul de la section des câbles :

La section des câbles est calculée en limitant la chute de tension à 3% ; nous appliquons la formule suivante :

$$\Delta V(V)=R*I \text{ ou } R = \frac{2*\rho*L*I}{s}$$

D'où :

$$S \geq \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta VL(\%) * U}$$

Avec :

R=résistance total de câble (Ω)

L= longueur(L)

S= section(m^2)

ρ = résistivité e dépend de matériaux

- $\rho = 0,027\Omega.mm^2/m$ pour câble en aluminium
- $\rho = 0,017\Omega.mm^2/m$ pour câble en cuivre

paramètres de calcul :

Notre choix se porte sur le câble en cuivre avec la resistivité égal a $0.017 \Omega.mm^2/m$.

La longueur est prise égale a 5 mètres. L'intensité est sensiblement la même valeur que celle du régulateur qui vaut 20 A. La chute de tension est pris a 3% ;La tension U est de 12 V.

$$S = \frac{2*0,017*4*20}{0,03*12}$$

$$= 9,44 \text{ mm}^2$$

Nous retenons la section de câble systématiquement supérieur. Ainsi, nous choisissons un câble de 5 mm^2 cuivre de 4 m de long pour l'installation de chaque candélabre.

$$\underline{\underline{S=5 \text{ mm}^2}}$$

La schématisation d'un lampadaire solaire peut se présenter comme suivant la figure 28 ci-dessous.

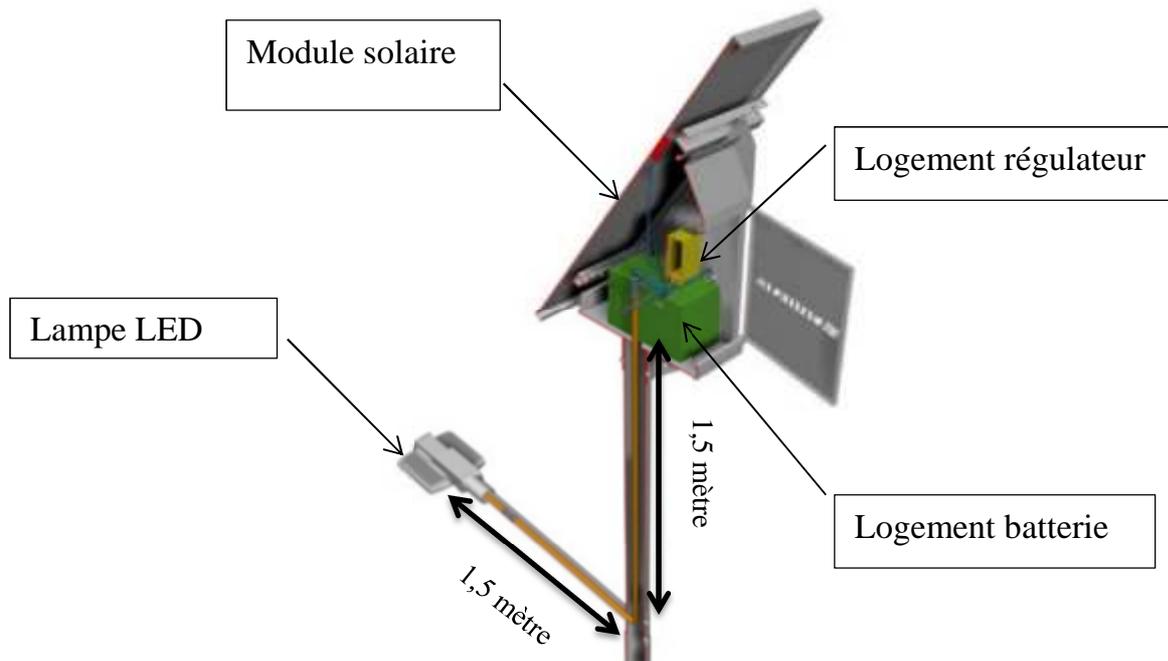


Figure 28: Schémas synoptique d'un lampadaire solaire

Méthode d'installation :

Le module photovoltaïque est installé suivant une inclinaison horizontale de 15 degré et orienté plein Sud (car le Burkina Faso est situé au-dessus de l'équateur). Les fiches techniques des équipements solaires sont présentées en annexes. Nous retenons une longueur de 4 m de câbles pour le raccordement d'une lampe sur son candélabre.

Effet de la poussière :

La réduction de l'efficacité des modules photovoltaïques de 15%-25% est due aux pertes engendrées dans les câblages, ou salissures (débris, poussières).

Beaucoup de modules photovoltaïques présentent un rendement très faible en contact avec de la poussière réduisant ainsi considérablement l'efficacité aussi bien en performance électrique, et la capacité, sachant que la plupart des panneaux sont conçus dans le but d'un fonctionnement correct pendant plus de deux décennies, mais cette durée est réduite à cause des conditions environnementales, en raison de l'impact de la poussière sur les panneaux. L'étude de la dégradation de ces derniers s'avère essentiel. Une étude sur la quantité d'énergie solaire absorbée par des modules impurs a été calculée et comparée à celle avec celles nettoyées. L'accumulation de poussière d'environ 2,5 g/m²/jour entre avril et juin cause une réduction de la transmission allant de 64% à 17% pour les angles d'inclinaison allant de 0 ° à 60 °, respectivement après 38 jours d'exposition, un taux de dégradation de l'efficacité de 7% peut être constaté. Au vu de ces effets négatifs, nous incluons le nettoyage des panneaux dans

le programme d'entretien périodique de notre installation afin de réduire les pertes d'énergie qui pourraient être constatées.

IV Evaluation du matériel

Nous recensons l'essentiel des équipements qui serviront à la réalisation du système solaire sur le tableau ci-dessous.

Tableau 8: Ensemble du matériel

| Numéro | Désignation | Unité | Quantité |
|--------|---|-------|----------|
| 1 | Fourniture et pose de candélabres simple foyer lumineux (9m de hauteur) et accessoires | u | 134 |
| 2 | Fourniture et pose de câbles 4*10mm ² cuivre pour raccordements des luminaires | m | 536 |
| 3 | Interrupteur crépusculaire | u | 134 |
| 4 | Fourniture et pose de module solaire de 200Wc (fiche technique en annexe V) | u | 134 |
| 5 | Fourniture de luminaire LED 50W/133lumens par watt | u | 134 |
| 6 | Fourniture et pose de batterie 100Ah | u | 134 |
| 8 | Fourniture et pose de régulateur Steca 20A | u | 134 |

Chapitre IV:

Etude comparative entre le système solaire et celui raccordé au réseau SONABEL

I Etudes comparative

Après avoir pris connaissance des deux types d'installation possible, une étude comparative nous permettra de conclure sur la méthode la plus optimale. Ainsi, nous ferons d'une part une étude économique et financière, et d'autre part une étude d'impact environnemental.

I.1 Etude économique et financière

Cette partie nous permettra de déterminer l'installation la plus intéressante en termes d'investissement. Pour cela, nous considérons les paramètres d'entrés suivants :

- Durée de vie du projet 20ans
- cout d'investissement de chaque installation
- Le cout d'exploitation annuel de chaque installation
- Le cout de l'énergie consommée par chaque installation
- Le cout de l'ensemble du matériel à remplacer durant 20 ans.

Méthode de calcul:

- Le coût de maintenance des luminaires, des modules solaire et des postes électriques est égal à 3% de la valeur d'investissement.
- Le coût de maintenance des batteries est égal à 15% du coût d'investissement des batteries.
- Le coût de fonctionnement représente l'énergie consommée par le projet. Nous résumons le calcul du coût de fonctionnement dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9: Résumé du calcul du coût de fonctionnement

| Désignation | Méthode de calcul | Résultats |
|--|--|------------------|
| Energie consommée sur un an | Puissance de lampe* nombre de lampe * temps de fonctionnement | 2 538 560 kWh |
| Energie consommée sur 20 ans | Energie consommée sur un an * 20 | 2 538 560 kWh |
| Coût de fonctionnement global du projet | coût du kWh en éclairage public * Energie consommée sur 20 ans | 309 704 320 FCFA |

Avec :

- Puissance d'une lampe : 250 W
- Coût du kWh en éclairage public 122 FCFA
- Nombre de lampes 107
- Temps de fonctionnement 4745 h/an
- La valeur résiduelle : elles représentent 10% du coût d'investissement des équipements. Elle se calcul à la fin de la durée de vie du matériel. Par ailleurs les équipements tels les batteries ne possèdent pas de valeur résiduelle car à la fin de leur vie elles sont quasiment inutilisable à nouveau.
- Coûts de remplacement : ils se déterminent à partir de la durée de vie des différents matériels; ainsi :
 - Pour les luminaires : la durée de vie est d'environ 5ans donc les luminaires seront remplacé 4 fois en 20ans.
 - Pour les batteries : la durée de vie est également de 5 ans
 - Pour les modules solaires : la durée de vie est de 20 à 25 ans, donc nous ne renouvelons pas les modules. Les tableaux suivants présentent le résumé de l'étude économique et financière des deux types d'installations.

Tableau 10: Etude économique de l'éclairage public raccordé au réseau

| Désignation | Luminaire | Supports | Postes | Câbles D'alimentation | Etude | Tranchées Plus Fouilles (Génie Civil) | Gaine | Accessoires De Montages (2%) | Total Investissement TTC (FCFA) |
|--|----------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------|
| Investissement du projet FCFA | 16 195 500 | 58710900 | 32 751 988 | 26448520 | 1 770 000,00 | 19 406 162,00 | 11 918 000,00 | 3 945 945,25 | 171 147 015,21 |
| Coût De Maintenance FCFA (20 Ans) | 573 321 | - | 531000 | - | - | - | - | - | 1 104 320,70 |
| Coût d'Energie Consommée Sur 20ans | 365 451 098 | - | - | - | - | - | - | - | 365 451 097,60 |
| Valeur Résiduelle FCFA (Après 20ans) | - | -5050400 | -1770000 | -992852 | - | - | - | - | - 7 813 252,00 |
| Coût De Remplacement FCFA (En 20ans) | 76 442 760 | - | - | - | - | - | - | - | 76 442 760,00 |
| Ensembles Des Coûts En FCFA Durant 20ans | 458 662 678,30 | 53 660 500,00 | 31 512 987,96 | 25 455 668,00 | 1 770 000,00 | 19 406 162,00 | 11 918 000,00 | 3 945 945,25 | 606 331 941,51 |

Dans cette première installation le cout global de l'investissement s'élève à **171 147 015,21 FCFA**. Cependant, durant les vingt années de fonctionnement du projet, nous ferons des dépenses liées à la maintenance, au fonctionnement, ou au remplacement du matériel. L'ensemble de ces charges a un coût de **606 331 941,51 FCFA**.

Tableau 11: Résumé de l'étude économique de l'éclairage public solaire

| Désignation | Luminaire | Supports | Panneaux | Batteries | Câbles | Régulateurs | Génie Civil | Lumandar | Etude | Accessoires De Montage (2%) | Total Investissement TTC(FCFA) |
|--|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------------------------|--------------------------------|
| Investissement du projet en FCFA | 31 624 000 | 63 720 000 | 37 878 000 | 25 252 000 | 5 534 200 | 10 277 800 | 18 939000 | 11 044 800 | 1 770 000 | 4 862 539 | 210 902 339 |
| Coût De Maintenance FCFA (En 20ans) | 568 170 | - | 1 136 340 | 3 787 800 | - | 681804 | - | - | - | - | 6 174 114 |
| Coût De Fonctionnement FCFA | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| Valeur Résiduelle FCFA (Après 20ans) | -1 893 900 | -6 372 000 | -3 787 800 | - | -1 893 900 | - | - | - | - | - | -13 947 600 |
| Coût De Remplacement FCFA (En 20ans) | 111 948960 | - | - | 59 594 720 | - | 24255608 | - | 26065728 | - | - | 221 865 016 |
| Ensembles Des Coûts FCFA (après 20ans) | 142 247 230 | 57 348 000 | 35 226 540 | 88 634520 | 3 640 300 | 35 215 212 | 18 939000 | 37 110528 | 1 770 000 | - | 420 131 330 |

Pour cette deuxième installation le cout global de l'investissement s'élève à **210 902 339 FCFA**. Cependant, durant les vingt années de fonctionnement du projet, nous ferons des dépenses liées à la maintenance, au remplacement du matériel. L'ensemble de ces charges a

un coût de **420 131 330 FCFA**. En résumé, nous remarquons que l'investissement de l'installation d'éclairage solaire (210 902 339 FCFA) est plus élevé que celui raccordé au réseau SONABEL (171 147 015FCFA) de plus de 39 000 000 FCFA. Cependant, durant les vingt années de vie du projet, le solaire est plus rentable en termes de coûts de fonctionnement à hauteur de 186 200 612 FCFA (valeur trouvée par différence de l'ensemble des coûts de fonctionnement des deux installations). Nous pouvons donc conclure que l'éclairage solaire serait plus rentable de 147 200 612 FCFA.

I.2 Etude d'impact environnemental

Cette étude concerne le volet énergie renouvelable, en effet, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque contribue à la réduction de gaz à effet de serre (GES). En se référant au bilan d'activité 2009 de la SONABEL, le facteur d'émission de gaz à effet de serre est de **0.72 kg de CO₂/ kWh** dans le secteur de l'énergie électrique. On pourra déterminer en fonction de l'énergie produite par le système, le facteur d'émission de gaz à effet de serre, et la quantité de GES qui sera évitée pendant la durée d'exploitation du projet. En considérant un nombre d'années d'analyse écologique de 20 ans (durée de vie du projet), nous déterminons la quantité de gaz à effet de serre évitée par la formule :

$$Q_{CO_2, \text{ évitée}} = E_p \times N_o \times Q_{CO_2}$$

Avec :

- E_p : Energie produite annuellement (kWh) ;
- N_o : Nombre d'année d'analyse écologique ;
- Q_{CO_2} : Facteur d'émission de gaz à effet de serre (kg CO₂eq).

La quantité de CO₂ évitée est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Evaluation des gaz à effet de serre dégagé

| Quantité de CO ₂ évitée | |
|--|--------------------|
| Energie produite (kWh/an) | 28172,16 |
| Nombre d'année d'analyse écologique | 20 |
| Q _{CO₂} (kg CO ₂ /kWh) | 0,72 |
| Q_{CO₂, évitée (kg CO₂ eq)} | 405 679,104 |

Le système d'énergie solaire photovoltaïque nous permettra d'éviter **405 679,104 kg de CO₂** sur 20 ans, ce qui équivaut à 20,3 tonnes de CO₂ par an. Se basant sur l'étude économique et

sur l'étude d'impact environnemental, nous préférons l'éclairage public solaire car il est plus rentable et protecteur de l'environnement par rapport à l'éclairage raccordé au réseau SONABEL.

II Quelques Suggestions aux problèmes d'éclairages public

II.1 L'éclairage solaire

Les installations d'éclairage public rencontrent divers dysfonctionnements auxquels nous présentons des suggestions concrètes. D'abord, le problème majeur de l'éclairage public solaire est le coût d'investissement ; en effet la qualité de l'installation dépend de la qualité du matériel utilisé. Cependant le matériel de qualité est encore onéreux à l'achat et plusieurs installateurs préfèrent des équipements à moindre coût (sans pour autant tenir rigueur de la qualité normative). En effet ; comme dans notre présent projet nous avons un coût d'investissement de **210 902 339 FCFA** pour le projet d'éclairage solaire contre **171 147 015,21 FCFA** pour le même projet raccordé au réseau. Par ailleurs, l'éclairage public photovoltaïque manque d'accompagnement technique. En effet, l'éclairage solaire est géré par les municipalités sans association d'autre entreprise de contrôle. Ensuite, les potentialités du Burkina dans l'énergie photovoltaïque restent encore mal exploitées du fait d'un manque d'organisation. En effet, si l'on considère tous les maillons du système des énergies renouvelable au Burkina, nous notons dans l'ensemble une certaine anarchie qui se traduit par le manque d'orientation des différentes actions. Dans de telles conditions, il est impossible d'identifier l'origine des composantes solaires que l'on retrouve dans notre pays, d'en apprécier la qualité et de savoir si l'installation est faite dans les règles de l'art. Ainsi, ce manque d'organisation entrave l'effectivité du développement énergétique du Burkina Faso. Pour terminer, nous notons que pour un pays qui regorge une grande potentialité d'énergie solaire comme le Burkina, notre Etat ne fait pas assez d'effort qui faciliterait le transfert des technologies, le transfert des connaissances à travers par exemple l'octroi de bourses d'étude ou de recherche, ou encore la création d'écoles de formations spécialisées dans le domaine.

Suggestions :

Nous pensons que les mesures d'allégement des taxes sur le matériel photovoltaïque doivent être toujours poursuivies par l'Etat afin d'encourager les projets d'éclairage solaire d'une part et également pour que les installations solaire soient à la portée des burkinabés dans leur ensemble. Par ailleurs, l'éclairage solaire ne doit pas être exempté de contrôle de la part de l'état à travers des entreprises reconnues dans le domaine (comme cela est fait pour

l'éclairage public raccordé au réseau par la SONABEL). En effet au lieu que les mairies confient leur projet d'éclairage solaire à des entreprises sans une forme de contrôle extérieur, elles devraient plutôt être en collaboration avec une structure de contrôle des équipements et des installations. Cela instaure une rigueur de travail pour obtenir des projets de meilleure qualité. Le choix de l'entreprise contrôle peut être fait par appel d'offre par exemple. Enfin, la création d'une agence telle l'ANEREE est une initiative à toujours accompagner et encourager. En effet, pour une meilleure organisation des différentes activités et pour dynamiser le marché des énergies renouvelables, c'est là toute la raison d'être de la création de l'Agence Nationale des Energies Renouvelables et de l'Efficacité. Ainsi, les ambitions pour le développement de l'énergie solaire pourraient connaître une concrétisation.

II.2 Eclairage public raccordé au réseau national (SONABEL)

La production électrique du Burkina étant en deçà des besoins de la population ; nous proposons quelques solutions pour optimiser l'utilisation de l'énergie disponible. Ainsi nous suggérons des luminaires plus économiques pour l'éclairage public raccordé au réseau ; en effet le remplacement progressif des lampes à sodium par des luminaires économiques tels les LED permettra de réduire le coût d'exploitation car ayant une durée de vie plus élevée, et permettra également de faire des économies d'énergie. Ensuite nous suggérons également en plus des interrupteurs horaires, l'intégration de plusieurs autres types d'économiseurs d'énergie dans les projets d'éclairage public. Pour terminer, nous notons que la réalisation d'économies d'énergie se ferait mieux à travers une politique de renouvellement. En effet, réaliser des économies d'énergie en éclairage public passe par la mise en œuvre d'une politique de renouvellement des équipements qui complètera la politique d'entretien prévu à l'installation du projet. Cette proposition est d'autant plus pertinente que les équipements vétustes sont coûteux en maintenance et également en dépenses d'énergies.

Conclusion générale

Au terme de l'étude de notre mémoire d'ingénieur, nous avons pu suivre et assister à la réalisation de différents chantiers; et également mener l'étude de réalisation d'un projet d'éclairage public. En plus de cette expérience acquise, nous avons consolidé nos connaissances théoriques et vécu des réalités concrètes sur le terrain. Par ailleurs cette étude nous renseigne que l'éclairage public solaire a besoin de réglementation et de rigueur tant au niveau des équipements commercialisés qu'à l'exécution des travaux d'installations. Au vu des avantages qu'offrent les projets d'éclairage public, l'accent doit être mis après l'installation sur l'entretien du réseau pour permettre une bonne conservation des caractéristiques photométriques, électriques et mécaniques. En outre, pour la réalisation d'un projet d'éclairage public nous devons tenir compte de la sauvegarde de l'environnement pour faire un bon choix des équipements à savoir la source d'alimentation du réseau et les luminaires. A la fin de la mise en place de ce projet nous sommes convaincus qu'il affectera positivement les conditions de vie de la population. On assistera certainement à l'amélioration de leurs conditions de vie sociales et économiques avec l'émergence de nouvelles activités. Pour notre part, nous considérons cette étude comme une base et un guide dans l'élaboration d'autres projets.

Références

- [1] Electricité Strasbourg, Eclairage Public 2ie-Master 2 Génie Electrique, 2015-2016.
- [2] Dialux.
- [3] Phillips, *Catalogue de luminaires*.

Ouvrages consultés et sites internet visités

1. Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques, rédigées par l'Association Française de l'Eclairage, 6e édition-Février 1988
2. Cours EFI&M2, Electrification Rurale, Tome7 : Eclairage public, de Michel Diebolt et Jean Jacques Graff, mise à jour 29/12/2006
3. Support technique de formation Eclairage public, de la Sous-Direction de l'Eclairage Public de la SONABEL
4. Manuel du participant à la formation Eclairage Public, du centre de formation et de perfectionnement de la SONABEL, conçu par Monsieur. Pascal KERE et Francis ZAGRE, Mars 2002.
5. Support de cours d'éclairage public préparé et dispensé en Master2/GEE année académique 2015/2016
6. <http://www.afe-eclairage-electric.com> consulté les 21 et 22/03/2016
7. <http://www.abeleclairage.fr> consulté les 08 et 27/04/2016
8. <http://www.eclairage-public-a-led.com> consulté 17/07/2016
9. http://www.energieeffizienz.ch/files/SB_Flyer2007_f.pdf consulté le 02/07/2016
10. http://www.energie-cities.eu/db/svitstov_576_fr.pdf consulté le 19/08/2016
11. <http://www.econologie.com/ampoules-a-economie-d-energie-articles-552.html> consulté le 22/09/2016
12. www.astrosurf.com consulté le 09/10/2016
13. www.achatdesign.com consulté le 24/10/2016
14. www.neodelis.fr consulté le 07/12/2016

Annexes:

Annexe I : Tableau de la dénomination des conducteurs

| DESIGNATION CENELEC | | | | | DESIGNATION UTE | |
|---|---------|---|------------------------------|---|-----------------|---------------------------------------|
| Signification du symbole | Symbole | | | | Symbole | Signification du symbole |
| Série harmonisée | H | □ | Type de la série | → | U | Câble faisant l'objet d'une norme UTE |
| Série nationale reconnue | A | | | | | |
| Série nationale autre que reconnue | N | | | | 250 | 250 V |
| | | | | | 500 | 500 V |
| | | | | | 1000 | 1000 V |
| 300 / 300 V | 03 | □ | Tension nominale | → | | |
| 300 / 500 V | 05 | | | | | Ame rigide |
| 450 / 750 V | 07 | | | | S | Ame souple |
| 0.6 / 1 KV | 1 | | Souplesse et nature de l'âme | → | | Cuivre |
| PVC | V | | | | A | Aluminium |
| Caoutchouc vulcanisé | R | □ | Enveloppe isolante | → | C | Caoutchouc vulcanisé |
| Polyéthylène réticulé | N | | | | R | PR |
| Ruban en acier ceinturant les conducteurs | D | □ | Protection métallique | | V | PVC |
| PVC | V | | | | G | Gaine de bourrage |
| Caoutchouc vulcanisé | R | | Bourrage | → | O | Aucun bourrage |
| Polychloroprène | N | □ | Protection non métallique | → | 1 | Gaine d'assemblage |
| Câble rond | | | | | 2 | Gaine de prot. épaisse |
| Câble méplat divisible | H | □ | Forme du câble | | C | Caoutchouc vulcanisé |
| Câble méplat non divisible | H2 | | | | N | Polychloroprène |
| Cuivre | | | | | V | PVC |
| Aluminium | A | □ | Protection métallique | → | P | Gaine de plomb |
| | | | Souplesse et nature de l'âme | | F | Feuillards acier |
| Rigide, massive, ronde | - U * | □ | | | | Câble rond |
| Rigide, câblée, ronde | - R * | | | | M | Câble méplat |
| Rigide, câblée, sectorale | - S * | | | | | |
| Rigide, massive, sectorale | - W * | | | | | |
| Souple classe 5 pour installation fixe | - K | | | | | |
| Souple classe 5 | - F | | | | | |
| Souple classe 6 | - H | | | | | |
| La désignation peut être complétée par l'indication éventuelle d'un conducteur vert / jaune dans le câble | | | | | | |
| Câble sans vert / jaune = nXS | | | | | | |
| Câble avec vert / jaune = nGS | | | | | | |
| n = nbre de conducteur S = section | | | | | | |
| * Pour les câbles à âmes en aluminium, le tiret précédent le symbole est à supprimer | | | | | | |

Annexe II : Tableau de luminance en fonction de notre projet

| DEFINITION DE LA VOIE | CONTRAINTES | NIVEAU LUMINEUX AMBIANT | | LUMINANCE RETENUE POUR CONTRAINTES MAXI | NORME EN 13201.1 | |
|--|---|-------------------------|-------|---|---------------------------------|----------------|
| | | FAIBLE À MOYEN | ELEVE | | CLASSES D'ECLAIRAGE | SITUATIONS |
| AUTOROUTE INTERURBAINE Chaussées séparées Vitesse ≤ 130 km/h Motorisés seuls | Zone de conflit : non Complexité : normale Tâche de navigation : élevée Distance entre échangeur ≥ 3 km | | | | | A ₁ |
| | Trafic 15 000 ≤ V/I ≤ 25 000* | 1 | —*** | | ME ₃ | |
| | Trafic V/I > 25000* | 1,5 | — | 2 | ME ₂ ME ₁ | |
| ROUTE NATIONALE INTERURBAINE Chaussée unique Vitesse ≤ 90 km/h Motorisés Motorisés lents Cyclistes | Complexité : normale Véhicules en stationnement : non Tâche navigation : élevée Distance entre intersection ≤ 3 km | | | | | A ₂ |
| | Trafic motorisé < 7 000 V/I | 1 | — | | ME ₃ | |
| | Trafic motorisé ≤ 25 000 V/I | 1,5 | — | | ME ₂ | |
| | Trafic motorisé > 25 000 V/I | 1,5 | 2 | 2 (zone de conflit) | ME ₂ ME ₁ | |
| ROUTE SECONDAIRE INTERURBAINE Vitesse ≤ 90 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes | Complexité : normale Tâche navigation : normale Nombre d'intersections ≤ 3 par km | | | | | B ₂ |
| | | 0,75 | | | ME ₄ | |
| | | | | 1 (zone de conflit) | ME ₃ | |

Annexe III: Tableau donnant l'ensoleillement en fonction des mois de l'année pour la ville de Ouagadougou:

| <i>Mois</i> | <i>Portion d'utilisation du système dans le mois (0 - 1)</i> | <i>Moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur l'horizontale (kWh/m²/j)</i> | <i>Température moyenne mensuelle (°C)</i> | <i>Moyenne du rayonnement quotidien sur le champ PV (kWh/m²/j)</i> |
|--------------------|--|---|---|---|
| <i>janvier</i> | <i>1,00</i> | <i>5,47</i> | <i>25,1</i> | <i>6,18</i> |
| <i>février</i> | <i>1,00</i> | <i>6,36</i> | <i>27,6</i> | <i>6,90</i> |
| <i>mars</i> | <i>1,00</i> | <i>6,44</i> | <i>30,0</i> | <i>6,60</i> |
| <i>avril</i> | <i>1,00</i> | <i>6,39</i> | <i>33,0</i> | <i>6,21</i> |
| <i>mai</i> | <i>1,00</i> | <i>6,28</i> | <i>32,1</i> | <i>5,87</i> |
| <i>juin</i> | <i>1,00</i> | <i>6,11</i> | <i>29,6</i> | <i>5,61</i> |
| <i>juillet</i> | <i>1,00</i> | <i>5,72</i> | <i>28,1</i> | <i>5,31</i> |
| <i>août</i> | <i>1,00</i> | <i>5,36</i> | <i>27,1</i> | <i>5,15</i> |
| <i>septembre</i> | <i>1,00</i> | <i>5,78</i> | <i>27,9</i> | <i>5,79</i> |
| <i>octobre</i> | <i>1,00</i> | <i>5,89</i> | <i>29,7</i> | <i>6,24</i> |
| <i>novembre</i> | <i>1,00</i> | <i>5,69</i> | <i>28,9</i> | <i>6,36</i> |
| <i>décembre</i> | <i>1,00</i> | <i>5,36</i> | <i>26,2</i> | <i>6,14</i> |

Annexe IV: Fiche technique de la Batterie pour le système solaire

| 12 Volt Deep Cycle AGM | | | | | Spécifications générales |
|------------------------|-----|----|--------------|-------------|---|
| Référence | Ah | V | LxIxh Mm | Poids kg | |
| BAT212120080 | 12 | 12 | 151x 98 x101 | 4,1 | Technologie: plaques planes AGM Bomes: Cuivre, M8 Capacité nominale: décharge en 10h à 25 °C Durée de vie en floating: 7-10 ans à 20 °C Durée de vie en cyclage: 200 cycles à décharge 100% * 400 cycles à décharge 50% 900 cycles à décharge 30% |
| BAT412350080 | 35 | 12 | 197x165x170 | 12,5 | |
| BAT412550080 | 55 | 12 | 239x132x235 | 20 | |
| BAT412600080 | 60 | 12 | 258x166x235 | 24 | |
| BAT412800080 | 80 | 12 | 350x167x183 | 27 | |
| BAT412101080 | 100 | 12 | 330x171x215 | 32 | |
| BAT412121080 | 120 | 12 | 410x176x227 | 38 | |
| BAT412151080 | 150 | 12 | 485x172x240 | 47 | |
| BAT412201080 | 200 | 12 | 522x238x240 | 65 | |

| 12 Volts Deep Cycle GEL | | | | | Spécifications générales |
|-------------------------|-----|----|-------------|-------------|--|
| Référence | Ah | V | LxIxh Mm | Poids kg | |
| BAT412550100 | 55 | 12 | 239x132x235 | 20 | Technologie: plaques planes GEL Bomes: Cuivre, M8 Capacité nominale: décharge en 10h à 25 °C Durée de vie en floating: 12 ans à 20 °C Durée de vie en cyclage: 300 cycles à décharge 100% * 600 cycles à décharge 50% 1300 cycles à décharge 30% |
| BAT412600100 | 60 | 12 | 258x166x235 | 24 | |
| BAT412800100 | 80 | 12 | 350x167x183 | 26 | |
| BAT412101100 | 100 | 12 | 330x171x215 | 33 | |
| BAT412121100 | 120 | 12 | 410x176x227 | 38 | |
| BAT412151100 | 150 | 12 | 485x172x240 | 48 | |
| BAT412201100 | 200 | 12 | 522x238x240 | 66 | |



Victron Energy B.V. / De Paal 35
1351 JG Almere / The Netherlands



Annexe V: Fiche technique des modules photovoltaïques

| Numéro de l'article | Description | Poids | Données électriques sous STC (n) | | | | |
|---------------------|--|-------|----------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|
| | | | Puissance Nominale | Tension de puissance | Courant de puissance | Tension de circuit | Courant de court-circuit |
| | | | P _{MP} | V _{MP} | I _{MP} | V _{oc} | I _{sc} |
| | | Kg | W | V | A | V | A |
| SPM030301200 | 30 W-12 V Mono 430 x 545 x 25 mm séries 3a | 2,5 | 30 | 18 | 1,67 | 22,5 | 2 |
| SPM030501200 | 50 W-12 V Mono 630 x 545 x 25 mm séries 3a | 4 | 50 | 18 | 2,78 | 22,2 | 3,16 |
| SPM030801200 | 80 W-12 V Mono 1195 x 545 x 35 mm séries 3a | 8 | 80 | 18 | 4,45 | 22,3 | 4,96 |
| SPM031001200 | 100 W-12 V Mono 1195 x 545 x 35 mm séries 3a | 8 | 100 | 18 | 5,56 | 22,4 | 6,53 |
| SPM031301200 | 130 W-12 V Mono 1480 x 673 x 35 mm séries 3a | 12 | 130 | 18 | 7,23 | 22,4 | 8,49 |
| SPM031902400 | 190 W-24 V Mono 1580 x 808 x 35 mm séries 3a | 15 | 190 | 36 | 5,44 | 43,2 | 5,98 |
| SPM033002400 | 300 W-24 V Mono 1956 x 992 x 45 mm séries 3a | 24 | 300 | 36 | 8,06 | 45,5 | 8,56 |

| Module | SPM 030301200 | SPM 030501200 | SPM 030801200 | SPM 031001200 | SPM 031301200 | SPM 031902400 | SPM 033002400 |
|---|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Puissance nominale (± 3 % tolérance) | 30 W | 50 W | 80 W | 100 W | 130 W | 190 W | 300 W |
| Type de cellule | Monocristal | | | | | | |
| Nombre de cellules en série | 36 | | | | | 72 | |
| Tension de système maximale (V) | 1000V | | | | | | |
| Coefficient de température de P _{MP} (%) | -0,48/°C | -0,48/°C | -0,48/°C | -0,48/°C | -0,48/°C | -0,48/°C | -0,48/°C |
| Coefficient de température de V _{oc} (%) | -0,34/°C | -0,34/°C | -0,34/°C | -0,34/°C | -0,34/°C | -0,34/°C | -0,34/°C |
| Coefficient de température de I _{sc} (%) | +0,037/°C | +0,037/°C | +0,037/°C | +0,037/°C | +0,05/°C | +0,037/°C | +0,037/°C |
| Plage de température | -10°C à +85°C | | | | | | |
| Capacité de charge maximale en surface | 200 kg/m ² | | | | | | |
| Résistance à la grêle disponible | 23 m/s, 7,53 g | | | | | | |
| Type de boîte de connexion | PV-LH0801 | | PV-LH0808 | | | PV-JB002 | |
| Longueur des câbles/Type de connecteur | Pas de câble | Pas de câble | 900 mm MC4 | | | | |
| Tolérance de sortie | +/- 3 % | | | | | | |
| Cadre | Aluminium | | | | | | |
| Garantie du produit | 5 ans | | | | | | |
| Garantie sur les performances électriques | 10 ans 90 % + 25 ans 80 % de production de puissance | | | | | | |
| Unité d'emballage la plus petite | 1 panneau | | | | | | |
| Quantité par palette | 100 | | 40 | | 20 | | 18 |

1) STC (Conditions de tests standard): 1000 W/m², 25°C, AM (Air Mass - masse d'air) 1,5



Annexe VI: Fiche technique du régulateur du système solaire

| MPPT 2010 | |
|---|---|
| Caractérisation du comportement en service | |
| Tension de système | 12 V (24 V) |
| Puissance nominale | 250 W (500 W) |
| Taux de rendement max. | > 98 % |
| Consommation propre | 10 mA |
| Côté entrée DC | |
| Tension MPP | 15 V (30 V) < U_{panneau} << 100 V |
| Tension à vide du panneau solaire (à la température de service minimale) | **17 V ... 100 V (34 V ... à 100 V) |
| Courant du panneau solaire | 18 A |
| Côté sortie DC | |
| Courant de charge | 20 A |
| Courant de consommateur | 10 A |
| Tension finale de charge* | 13,9 V (27,8 V) |
| Tension de charge rapide* | 14,4 V (28,8 V) |
| Charge d'égalisation* | 14,7 V (29,4 V) |
| Tension de remise en marche (SOC/LVR) | > 50 % / 12,5 V (25,0 V) |
| Protection contre les décharges profondes* (SOC/LVD) | < 30 % / 11,5 V (23,0 V) |
| Conditions d'utilisation | |
| Température ambiante | -25 °C ... +40 °C |
| Équipement et installation | |
| Bornes de raccordement (fil à faible diamètre/unifilaire) | 16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4 |
| Type de protection | IP 32 |
| Dimensions (X x Y x Z) | 187 x 153 x 68 mm |
| Poids | 900 g env. |

* voir le point Options
 Caractéristiques techniques à 25 °C / 77 °F





Annexe VII : Travaux de raccordement des luminaires du projet



Annexe VIII: levé des candélabres du projet

Rue 1 / Aperçu 3D



Annexe IX : Aperçu 3D de la voie du projet (4Km) [2]