

Evaluation des potentiels d'économie d'énergie en éclairage public de Ouagadougou

Master d'ingénierie en Eau et Environnement-Ingénieurs-2iE : Option Energie et Procédés Industriels

MEMOIRE DE FIN CYCLE

Présenté et soutenu publiquement le 18 Juin 2011 par

HISSEIN GALMAYE

Sous la supervision de :

Pr. Yezouma COULIBALY

M. Justin BASSOLE

Jury d'évaluation du memoire:

Presidente: Dr Mariam Pabyam Sido

Enseignante au 2ie

Membres et correcteurs: Pr Yezouma COULIBALY

M.Bruno BOUTEILLE

M.Francis Semporé

REMERCIEMENT

Je trouve ici l'occasion d'exprimer mes vifs remerciements et témoigner ma sincère reconnaissance à tous ceux ou celles qui, de près ou de loin, de quelque manière que se soit, ont contribué à l'aboutissement de ce projet en particulier à :

Monsieur **Célestin ZOUNGRANA**, Chef de Service du SGRO qui nous a très bien accueillis. Qu'il trouve mon entière reconnaissance ainsi qu'à tout le personnel de SGRO pour leur franche collaboration et leur soutien;

Mr. KARAMBIRI Stanislas, Chef de Division Cartographie et Maintenance éclairage public à la SONABEL, pour son soutien à la réalisation de ce projet ;

Mon encadreur, **Pr.Yezouma COULIBALY**, enseignant chercheur à **l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2ie)** pour son entière disponibilité, ses précieux conseils;

Mon Co-encadreur, **Mr Justin BASSOLE** ;

Monsieur **Yao AZOUMAH**, notre professeur et directeur de Laboratoire d'Energie Solaire et Economie d'Energie(LESEE), pour ses conseils et les efforts dont il n'a fait aucun ménage afin que nous puissions finir en bonté.

Tous les enseignants du 2iE sans aucune exception;

C'est l'occasion également pour moi de dire merci à tous mes compatriotes étudiants tchadiens et mes camarades de classes avec qui j'ai passé un agréable moment à Ouagadougou.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

ALLAH, le miséricordieux;

Mon cher père AL-Hadj Galmaye Abdallah

Ma défunte mère Doby Bollou

Ma tante Hadja Boudi Bollou

*Mes frères, sœurs et parents plus
particulièrement à mon oncle Yosko Bollou
et mon grand frère Youssouf Galmaye pour
leurs encouragements et leurs soutiens.*

A tous ceux qui me sont chers

Qu'ALLAH vous bénisse!!!

LISTE DES ABREVIATIONS

AfE: Association Française de l'Eclairage

EP : Eclairage Public

GEI : Génie Energétique et Industriel

HPL : Lampes à Vapeur de Mercure Haute Pression

IRC : Indice de Rendu de Rouleur

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

LED : Diode électroluminescente (Light Emitting Diodes, en anglais)

LESEE : Laboratoire d'Energie Solaire et Economie d'Energie

SONABEL : Société National d'Electricité du Burkina

SGRO : Service de Gestion Réseau Ouaga

SHP : Lampes à Vapeur de Sodium Haute Pression

TRI: Temps de Retour sur l'Investissement

UTER: Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche

TI : Treshold Incrément

ΔC : Economie d'énergie

C_{ma} : Cout de maintenance

C_{en} : Cout d'énergie

C_a : Cout de consommation

C_E : Cout d'exploitation

I : investissement

E_m : Economie monétaire

RESUME

Ce rapport a été rédigé dans le cadre du Projet de Fin d'étude : **Evaluation des potentiels d'économie d'énergie en éclairage public de Ouagadougou.**

Son but était de réduire la facture énergétique de l'éclairage public de la ville en utilisant tous les moyens modernes disponibles afin de proposer un scénario d'économie d'énergie.

L'influence de l'utilisation des lampadaires à LED sur l'avenue Pascal Zagré et sur tout le parc existant de SHP250 fut étudiée. L'analyse des performances photométriques nous ont permis de formuler un certain nombre de modification qui consiste d'une part à diminuer les couts de l'électricité et d'autre part à améliorer le niveau d'éclairement.

L'utilisation des lampadaires à LED a un impact considérable sur la consommation, et peuvent entrainer des réductions de plus de **40%** comme dans le cas de l'Avenue de Pascal Zagré tout en assurant des bons résultats photométriques. Les systèmes de commande et de gestion sont également très importants pour réduire les consommations. Ainsi, en procédant à un remplacement des lampes existantes de l'Avenue Pascal Zagré par des LEDs et en utilisant des variateurs de puissance avec des horloges astronomiques, la facture d'électricité est réduite de **72%** ; cependant la comparaison de la solution SHP250 existante et le nouveau scénario à LED montre que le temps de retour sur investissement¹ lié aux couts d'achat des LEDs est assez important de l'ordre de **11.90 ans** sur **12 années** d'exploitation qui est due en grande partie aux prix très élevé des lampadaires à LED.

En effet, de plus en plus des municipalités optent en vue de parvenir à un éclairage optimisé, pour une rénovation de leur éclairage public pour lutter contre la pollution lumineuse et réduire les gaz à effet de serre tout en réalisant des économies d'énergie.

Rappelons enfin que l'essentiel du potentiel d'économie d'énergie pour les installations d'éclairage public réside dans la qualité de l'étude qui doit être le préalable de toute installation.

Mots clés : Eclairage public, économie d'énergie, gaz à effet de serre, amélioration de l'éclairage.

¹ L'économie générée par les variateurs de puissances n'a pas été prise en compte.

ABSTRACT

This report was prepared under the Final Project Study: **Evaluation of potential energy savings in public lighting in Ouagadougou.**

His goal was to reduce energy costs for street lighting in the city using all modern means available in order to propose a scenario of saving energy.

The influence of the use of LED lamps on Pascal Avenue Zagr  and all the existing fleet of SHP250 was studied. The analysis of the photometric allowed us to formulate a number of changes which is firstly to reduce electricity costs and secondly to improve the level of illumination.

The use of LED lamps has a huge impact on consumption, and can lead to reductions of more than 40% as in the case of Pascal Avenue Zagr  while providing good photometric results.

Control systems and management are also very important to reduce consumption. Thus, proceeding from the replacement of existing lamps by LEDs and using variable power clocks with astronomical electric bill is reduced to 80%, however, the payback on investment is quite important to the order of **11.65 years** (over **12 years** of operation), due largely to the high price of LED lamps compared to incandescent lamps.

Indeed, more and more municipalities are opting to achieve optimized illumination, for a renovation of public lighting in the fight against light pollution and reduce greenhouse gas emissions while achieving energy savings.

Finally, remember that most of the savings potential of energy for public lighting installations is the quality of the study to be a prerequisite of any installation.

Keywords: public lighting, energy saving, greenhouse gas emissions, improving lighting.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	i
DEDICACE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iii
RESUME	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES	5
INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE.....	6
1. OBJECTIF ET PRESENTATION DES PARTIES PRENANTES DE L'ETUDE.....	7
1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE	7
1.2. PRESENTATION DES PARTIES PRENANTES DE L'ETUDE.....	7
2. GENERALITES	8
2.1. Description des différents éléments d'éclairage public	8
2.1.1. Les armoires	8
2.1.2. Supports	8
2.1.3. Le système d'appareillage	9
2.1.4. Le luminaire	10
2.1.5. Les sources lumineuses	10
2.2. ECONOMISEURS D'ENERGIE.....	14
2.2.1. Système simple.....	14
2.2.2. Variateur de puissance.....	14
2.3. ECLAIRAGE PUBLIC	15
2.3.1. Types d'Implantation	16
2.3.2. La méthode de dimensionnement de l'éclairage public.....	16
3. L'ETAT DES LIEUX DE L'ECLAIRAGE PUBLIC DE OUAGADOUGOU	18

3.1.	<i>Caractéristiques techniques du réseau d'éclairage public de Ouagadougou</i>	18
3.2.	<i>Diagnostic des mesures d'éclairage</i>	20
3.3.	<i>Consommation énergétique de la ville de Ouagadougou</i>	21
4.	<i>ANALYSE ET ETUDE DES DONNEES RECUILLIES</i>	22
5.	<i>ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE</i>	27
5.1.	<i>PROPOSITION D'AMELIORATION DE LA QUALITE DE L'ECLAIRAGE DE TROIS SITES RETENUS DANS LA VILLE DE OUAGADOUGOU</i>	27
5.2.	<i>ETUDE DU PROJET D'ECLAIRAGE A LED DE L'AVENUE PASCAL ZAGRE</i>	27
5.2.1.	<i>MODIFICATION DU SYSTEME DE COMMANDE</i>	32
5.2.2.	<i>PROPOSITION DE REDUCTION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE</i>	34
6.	<i>CONFIGURATION OPTIMALE</i>	37
7.	<i>ANALYSE FINANCIERE</i>	38
7.1.	<i>Investissement initial du projet</i>	38
7.2.	<i>Coûts d'exploitation</i>	39
7.2.1.	<i>Coût de maintenance: Cma</i>	39
7.2.2.	<i>Coût de l'énergie</i>	40
7.3.	<i>Economie réalisée avec la technologie LED</i>	41
7.4.	<i>Evaluation du Projet</i>	42
7.4.1.	<i>Le Temps de Retour sur Investissement(TRI)</i>	42
	<i>CONCLUSION ET RECOMMANDATION</i>	44
	<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	47
	<i>ANNEXES</i>	48
	<i>ANNEXE 1 : Impact de l'installation des Lampadaires sur tout le parc existant de SHP250</i>	49
	<i>ANNEXE 2 : DESCRIPTION de Dialux</i>	54
	<i>ANNEXE 3 : FICHES Dialux de la situation optimale de l'Avenue Pascal Zagré</i>	56
	<i>ANNEXE 4 : FICHES Dialux de la situation actuelle de l'Avenue Pascal Zagré</i>	60

<i>ANNEXE 5 : classifications des voies</i>	<i>64</i>
<i>ANNEXE 6: Valeurs recommandées des niveaux de luminance.....</i>	<i>65</i>
<i>ANNEXE 7 : GLOSSAIRE</i>	<i>66</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques générales des lampes.....	11
Tableau 2 : Caractéristiques photométriques des lampes.	11
Tableau 3 : Choix de la hauteur de feu H suivant la largeur de chaussée L.	17
Tableau 4 : Choix de l'espacement E entre les foyers suivant la hauteur de feux.....	17
Tableau 5 : Les types et puissances des lampes utilisés en EP de Ouaga	19
Tableau 6 : Caractéristiques des luminaires utilisés	20
Tableau 7 : Situation de la consommation énergétique de la ville de Ouagadougou (2010).....	21
Tableau 8 : résultat des expérimentations de la SONABEL sur les luminaires à LED.	24
Tableau 9 : Comparaison des consommations d'énergie	28
Tableau 10: Performances photométriques pour $\text{incl}90^\circ=0^\circ$	29
Tableau 11 : Performances photométriques pour $\text{incl}90^\circ=5^\circ$	30
Tableau 12: Performances photométriques pour $\text{incl}90^\circ=15^\circ$	31
Tableau 13: Impact de l'utilisation de l'interrupteur astronomique	32
Tableau 14: Impact de l'utilisation de variateur de puissance.....	36
Tableau 15: Performances photométriques de la situation optimale ($\text{Incl. } 90^\circ= 15$)	37
Tableau 16: Coût d'investissement.....	38
Tableau 17 : Calcul du cout de maintenance lampe SHP250.....	39
Tableau 18 : Calcul du cout de maintenance LED	40
Tableau 19 : Coûts d'exploitation sur 12 ans	41
Tableau 20 : Economie réalisée avec la technologie LED	41
Tableau 21 : Temps de retour sur investissement	42

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : un candélabre</i>	<i>9</i>
<i>Figure 2 : disposition des différents types d'implantations.</i>	<i>16</i>
<i>Figure 3: Répartition en % de la consommation énergétique</i>	<i>21</i>
<i>Figure 4: Eclairage de l'Avenue Mogho Naaba</i>	<i>23</i>
<i>Figure 5 : Eclairages de l'Avenue PASCAL ZAGRE</i>	<i>25</i>
<i>Figure 6 : Eclairages de l'Avenue de la DIGNITE</i>	<i>26</i>

INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

L'éclairage public est un service au cœur de la politique d'une ville. Il est en effet garant de la sécurité publique, de l'amélioration du cadre de vie des habitants et de la promotion de l'image de la ville par la mise en valeur du patrimoine et l'éclairage événementiel.

Ainsi, l'éclairage public est aussi l'un de postes les plus importants de consommation d'énergie électrique des mairies des grandes villes. Cela est dû à plusieurs raisons notamment la mauvaise gestion de l'éclairage, un mauvais dimensionnement de la puissance à installer ainsi qu'à la non utilisation des lampes adaptées aux besoins, la vétusté de matériels est également en cause. Tous ces facteurs ont un impact non négligeable sur le budget de ces institutions en charge de ce secteur.

Pour remédier à cette situation, il faut réduire et maîtriser les consommations, et améliorer le niveau d'éclairement sur les voies de circulations et dans les quartiers afin d'avoir les valeurs optimales requises par les normes.

Dans ce projet de fin d'étude qui traite de l'évaluation de potentiel d'économie d'énergie en éclairage public, nous émettrons des propositions pour diminuer les pertes d'énergie dans les installations et réduire les factures d'électricité de la municipalité. Nous présentons également une situation optimale applicable à l'Avenue PASCAL ZAGRE. Cette étude met l'accent sur l'utilisation des lampadaires à LED ainsi que son impact sur le budget de la ville.

Nous procéderons à un diagnostic de la situation de l'éclairage public de trois sites retenus à savoir l'Avenue PASCAL ZAGRE, Avenue de la DIGNITE et l'Avenue MOGHO NAABA pour connaître l'état de leurs patrimoines lumières et leurs consommations. Une étude comparative de la situation photométrique et énergétique actuelle de l'Avenue PASCAL ZAGRE et la solution optimale proposée servira à dégager l'importance d'une étude d'avant projet.

Dès lors, après une généralité sur l'éclairage public, un état de lieu de l'éclairage public de Ouagadougou, une analyse et une étude des données recueillies sur les trois sites précités, ensuite nous ferons une analyse technico-économique pour choisir parmi des scénarios la situation optimale que nous exposerons. Puis, nous procéderons à l'évaluation financière de cette solution optimale en comparaison avec la solution existante pour enfin, émettre des recommandations qui contribueront à l'amélioration de la situation de l'éclairage public de la municipalité.

1. OBJECTIF ET PRESENTATION DES PARTIES PRENANTES DE L'ETUDE

1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif général visé par ce projet de fin d'étude est l'utilisation de tous les moyens modernes disponibles pour réduire la facture énergétique de l'éclairage des villes afin de proposer un scénario d'économie d'énergie.

Comme objectifs spécifiques, il s'agit de :

- Faire une recherche bibliographique sur les éclairages, les lampes et autres matériels haute efficacité recommandé dans l'éclairage public ainsi que l'éclairage public.
- Mesures sur site (à partir d'un luxmètre) de l'éclairement de quelques rues choisies.
- Proposition de mesures d'économie d'énergie à partir de calculs par le logiciel Dialux.

1.2. PRESENTATION DES PARTIES PRENANTES DE L'ETUDE

Les parties prenantes de ce thème de mémoire soumis à notre étude sont essentiellement:

- Le 2iE, représenté par son Laboratoire d'Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE)
- La Société National d'Electricité du Burkina (SONABEL), représenté par son Service Gestion Réseau Ouaga (SGRO).

Il faut noter que la SONABEL a pour mission la production, le transport et la distribution d'électricité.

.

2. GENERALITES

2.1. DESCRIPTION DES DIFFERENTS ELEMENTS D'ECLAIRAGE PUBLIC ^[1]

D'une façon générale, un réseau d'éclairage public est constitué :

- des armoires ou coffret de commande ;
- des supports ;
- du système d'appareillage ;
- des sources lumineuses ;
- des câbles ;
- des luminaires.

2.1.1. LES ARMOIRES

Les armoires de l'éclairage public (EP) se présentent sous deux modèles : le standard et le moderne. Les premiers sont généralement placés à l'intérieur des postes de transformation et les seconds sont placés à l'extérieur. Elles sont généralement maçonnées avec des portes en bois. Le bois est traité contre les termites et les remontées de câble sont protégées contre les chocs.

Une armoire est constituée des éléments suivants :

- un coupe-circuit ;
- un compteur ;
- des contacteurs ;
- un interrupteur horaire ou crépusculaire ;
- des commutateurs ;
- de la filerie de câblage ;
- des connecteurs.

2.1.2. SUPPORTS

Les luminaires sont fixés sur des supports qui sont soit des candélabres, soit des consoles.

➤ Les candélabres

La fixation des luminaires peut être assurée par divers moyens. Il peut être adapté à une console fixée sur une immeuble ou accroché à des câbles (type caténaire). La manière privilégiée consiste cependant à utiliser des candélabres.

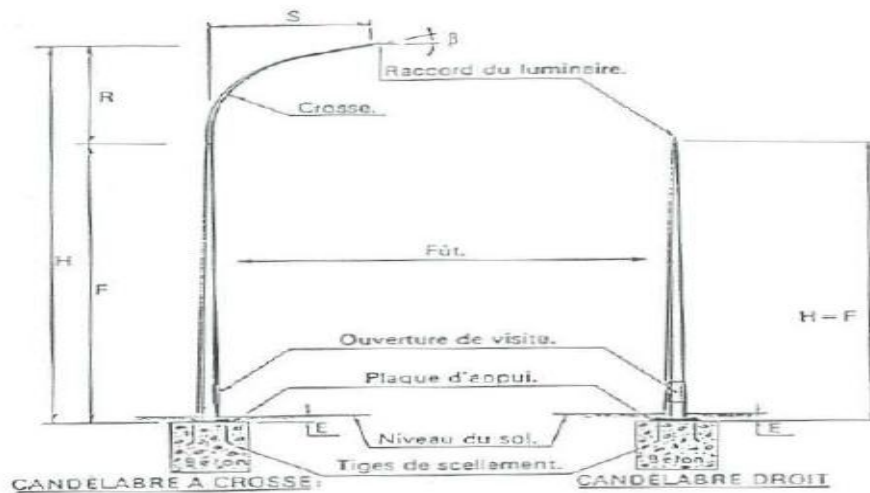


Figure 1 : un candélabre^[2]

Les caractéristiques géométriques de l'installation, sur la figure ci-dessus

Sont :

- H : hauteur minimal
- E : sur implantation du massif
- h : hauteur du feu
- F : hauteur du fût
- S : saillie de la crosse
- R : la remontée

➤ Console

Une console est un support de luminaire appliqué sur une paroi verticale.

2.1.3. LE SYSTEME D'APPAREILLAGE

Il est souvent monté sur des platine pré câblées au niveau de la porte de visite du candélabre ou directement dans les luminaires lorsqu'il y'est incorporé. L'appareillage est spécifique pour chaque type des lampes. Il est constitué :

- d'un ballast pour stabiliser et limiter l'intensité des lampes à sa valeur nominale ;
- d'un condensateur pour améliorer le facteur de puissance ;
- d'un amorceur qui sert aussi bien à la protection et à l'allumage temporisé.

Certaines lampes peuvent être utilisé sans appareillage tandis que d'autres ne peuvent s'en passer pour leur fonctionnement.

2.1.4. LE LUMINAIRE

C'est un ensemble mécanique, optique et électrique qui comprend une ou plusieurs lampes qui doit répondre aux objectifs suivants :

- Distribuer le flux lumineux en assurant aux lampes conservation des caractéristiques et durée de vie,
- Contrôler le flux en évitant tout gêne d'éblouissement.

Il y'a trois modèles de luminaires à savoir les luminaires défilés ou masqués, les luminaires semi-défilés ou semi-masqués et les luminaires non défilés ou non masqué.

Ces luminaires peuvent être << ouvert >> ou <<fermé>>.

2.1.5. LES SOURCES LUMINEUSES

Les lampes employées en éclairage public doivent posséder certaines qualités, imposées par les exigences spécifiques de l'utilisation.

Les deux qualités essentielles sont :

- L'efficacité lumineuse : une efficacité lumineuse élevée diminue à la fois les frais de l'installation (puissance mise en œuvre) et les dépenses de fonctionnement (énergie consommée).
- La durée de vie économique : la durée de vie économique d'une lampe est la durée de vie optimale du point de vue de son coût en utilisation (prix le plus faible en lumen. heure).

En plus de ces deux caractéristiques essentielles, d'autres paramètres, ici de moindres importances, doivent néanmoins être rappelés :

1- La couleur apparente des lampes :

- Chaude : aspect blanc jaune-jaune
- Intermédiaire : aspect blanc-neutre
- Froide : aspect blanc bleuté

2- Le rendu des couleurs (IRC) : cette caractéristique essentielle en éclairage intérieur n'est pas, en éclairage public, dans la majorité des cas, fondamentale.

Ces sources de lumière de l'éclairage électrique peuvent être classées en trois grandes familles :

- les lampes à décharges mixtes ;
- les lampes à décharge haute pression ;
- Les lampes électroluminescentes.

2.1.5.1. Caractéristiques des lampes à usage éclairage public

Nous tirons ces différentes caractéristiques des lampes du document de l'AFE [3].

Tableau 1 : Caractéristiques générales des lampes

Technologie	Avantage	Inconvénient
Vapeur de mercure Haute Pression	- Bonne efficacité lumineuse - Rendu de couleur acceptable - Faible encombrement - Durée de vie élevée	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Vapeur de Sodium Haute Pression	- Très bonne efficacité lumineuse	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Vapeur de Sodium Basse Pression	- Bonne visibilité pour temps de brouillard - Exploitation économique	- Temps d'allumage et rallumage long (5min) - Rendu de couleur médiocre
Iodure métallique	- Bonne efficacité lumineuse - Bon rendu de couleur - Durée de vie élevée	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes

Tableau 2 : Caractéristiques photométriques des lampes [3][4].

Type de lampes	Puissance (W)	Flux lumineux(Lm)	Efficacité lumineuse (Lm/W)	IRC	Durée de vie moyenne (H)
Vapeur de Sodium Haute Pression	35 à 1000	1300 à 130000	37 à 130	25 à 85	12000
Vapeur de Mercure Haute Pression	50 à 1000	1 770 à 58 500	35 à 130	33 à 49	10000
Lampe aux iodures métalliques	35 à 2000	3 400 à 189 000	68 à 96	65 à 85	8000
Les lampadaires à LED	35 à 200	1000 à 15000	70 à 150		50000

2.1.5.2. Avancée Technologique des lampes

➤ Les lampes à vapeur de mercure haute pression

Elles étaient autre fois utilisées en abondance pour l'éclairage public. Elles sont actuellement de plus en plus remplacées par les lampes à vapeur de sodium haute pression, qui ont un meilleur rendement lumineux. Elles produisent une lumière blanc-bleuté, grâce à une décharge électrique à travers la vapeur de mercure à haute pression (500 fois la pression des tubes fluorescents) contenue dans l'ampoule. Ces lampes sont interdites dans les régions réglementant l'éclairage, car elles consomment non seulement beaucoup d'énergie, mais aussi constitue une source de pollution de l'environnement.

➤ Les lampes à vapeur de sodium à haute pression

Egalement des lampes à décharge, elles émettent une lumière jaune-orange, plus éblouissante, et elles donnent un rendu de couleur un peu meilleur que ces dernières (mais rayonnent en bandes pour les observations atomiques)

Actuellement c'est ce type de lampes qui est le plus couramment installé pour l'éclairage public, bien que son efficacité lumineuse soit moins bonne que celle des lampes à vapeur de sodium basse pression.

➤ Les lampes aux iodures métalliques

Elles constituent une possibilité rentable et à bon rendement énergétique si un programme de remplacement ou de remise à neuf est pris en considération. Dans certains cas, il est possible de remplacer les lampes à vapeur de mercure directement par des lampes aux halogénures enfichables. On considère un remplacement de ce type si le remplacement par des lampes à vapeur de sodium (dont l'efficacité est meilleure) est impossible.

➤ Les lampes à LED

Les LED ont d'abord été utilisées en tant que voyants lumineux dans l'équipement électrique car leur luminosité n'était pas assez intense pour l'éclairage courant. Des recherches récentes ont néanmoins permis de développer de nouveaux matériaux qui diffusent plus de lumière et présentent des valeurs d'efficacité énergétique qui se rapprochent de celles des lampes fluorescentes droites. Les LED sont des modules à semi-conducteurs qui ont l'énorme avantage par rapport aux lampes fluorescentes de ne pas contenir de mercure. Les LED standard sont bleues, vertes, jaunes et rouges. Seules quelques couleurs spécifiques peuvent être obtenues en utilisant certains types de semi-conducteurs. En théorie, le mélange de bleu, jaune et rouge peut produire une lumière blanche, mais les LED standard souffrent de nombreuses contraintes.

L'intensité du rendement lumineux des modules rouges et bleus est élevée alors que l'intensité du rendement lumineux des jaunes ou verts en même format est moindre.

Le rendement lumineux décroît avec la température. Les LED lumineuses produisent de la chaleur qui augmente leur température et réduit leur intensité lumineuse. Malheureusement, l'effet thermique sur les LED rouges est beaucoup plus important que sur les autres couleurs et ainsi la couleur émise par la lumière blanche peut changer (sauf rouge) tandis que le groupe de LED chauffe.

Un article publié en octobre 2006 par le syndicat de l'éclairage français à l'issue d'une étude menée sur les LEDs [5] relate ici la perte de flux due aux collimateurs et à la température.

Les LED utilisées « brutes » ont une ouverture de faisceau de 140°. Dans la majeure partie des utilisations en éclairage extérieur (sauf balisage) on doit donc utiliser des collimateurs pour obtenir un faisceau de 10°, 30° ou 60° afin d'obtenir une photométrie adaptée au profil d'implantation sur une voie de circulation. On peut estimer que la perte de flux moyenne due à la présence de collimateurs est de 15 % à 20 %.

La chute de flux est estimée à partir de tests et de calculs en laboratoires établis sur une durée de 8 000 heures. Cette chute de flux dépend des conditions de fonctionnement : courant de fonctionnement et température de jonction T_j . On peut estimer qu'à 50 000 heures la chute de flux est d'environ :

– 20 % avec une $T_j = 55\text{ °C}$;

– 25 % avec une $T_j = 85\text{ °C}$;

Mais en éclairage extérieur, compte tenu des garanties à apporter aux clients (mesures d'éclairement contractuelles), on retiendra comme chute de flux réelle :

– 15 % à 25 000 heures ;

– 25 % à 50 000 heures.

Ces contraintes notamment la chute de flux due à la température peuvent être en partie évitées dans l'équipement en prévoyant des dispositifs de rafraîchissement, en particulier parce que la chaleur dégagée est beaucoup plus concentrée dans les LED qu'avec les autres types de lampe mais les LEDs actuellement disponible sur le marché disposent déjà des dissipateurs thermiques et vus aussi la rapide progression des LEDs en matière de performance.

2.2. ECONOMISEURS D'ENERGIE

2.2.1. SYSTEME SIMPLE

On comprend généralement, sous cette désignation, les horloges astronomiques, les interrupteurs crépusculaires et les cellules photo-électriques ayant pour fonction de provoquer les allumages, les extinctions ou les changements de régime.

➤ L'horloge astronomique

L'horloge astronomique calcule, à partir d'informations géographiques et temporelles, la position du soleil et détermine les instants de commutation de l'éclairage public :

- Ce matériel prend en compte les changements d'heure.
- La durée d'éclairage annuelle est maîtrisée.
- Les horloges peuvent être synchronisées.
- La programmation est hebdomadaire ou annuelle.

➤ Interrupteur crépusculaire

Ils mesurent la quantité de lumière naturelle environnante et déclenchent l'éclairage à partir d'un seuil assigné. Ce dernier système pose des problèmes de fiabilité : en effet, en cas d'intempérie avec baisse de luminosité ou en fonction de l'environnement immédiat des installations (surface sombre, par exemple), les capteurs déclenchent parfois l'éclairage en pleine journée.

2.2.2. VARIATEUR DE PUISSANCE

Il permet d'adapter la consommation énergétique aux besoins. Il fournit une tension réduite à l'allumage puis atteint en pente son régime « normal ». L'appareil reste alors à ce statut jusqu'à la réception de l'ordre de réduction. A la réception du signal, il entame, en pente, l'abaissement de la tension jusqu'à la valeur économique préfixée.

Ce système permet de faire :

- La réduction de la puissance consommée par l'éclairage public avec des cycles prédéfinis
- La stabilisation de la tension du réseau
- L'augmentation de la durée de vie des lampes.

Nous décrivons ici deux variateurs des puissances tels que présentés par les différents constructeurs.

➤ **LUBIO**

LUBIO permet de faire des économies d'énergie significatives (> 30 %) sur des réseaux équipés de ballasts ferromagnétiques tout en prolongeant la durée de vie des lampes. Il peut être utilisé sur des réseaux équipés de ballasts électroniques, c'est un système électronique mis au point par Schneider Electric.

➤ **LE VALUX**

LE VALUX est un système électronique dont le fonctionnement est basé sur la variation des puissances des lampes qu'il commande. D'après le constructeur, les VALUX permettent :

- la réduction de 30 à 40 % de la facture énergétique grâce à la diminution de la puissance consommée et au lissage des surtensions.
- Augmentation de la sécurité des zones éclairées.
- Adéquation de l'éclairage aux diverses utilisations;

2.3. ECLAIRAGE PUBLIC

Il existe deux types d'éclairages : l'éclairage fonctionnel et l'éclairage résidentiel

L'éclairage fonctionnel a pour principaux objectifs:

- la sécurité : pour augmenter la sécurité de la circulation et réduire ainsi les accidents, pour améliorer celle des personnes et des biens en ayant une action préventive au niveau des agressions ;
- la rentabilité : pour augmenter la fluidité du trafic.

L'éclairage résidentiel a pour objectif, tout en assurant la sécurité, celui de donner une ambiance agréable et d'animer ainsi le quartier traité. L'effet recherché prime dans ce cas par rapport aux résultats photométriques obtenus. Il s'agira de créer une ambiance convenant au lieu à éclairer avec des appareils d'esthétiques adaptées à l'environnement et de technologie répondant au contexte local.

D'une manière générale, un niveau de luminance selon les types de voies est à respecter.

Ces valeurs sont consignées dans des tableaux en **ANNEXE 5 et 6**.

A la luminance moyenne recommandée sont associés, deux facteurs d'uniformité :

- le facteur U_0 ou facteur d'uniformité générale $U_0 = L_{\min}/L_{\text{moy}}$;
- le facteur U_l ou facteur d'uniformité longitudinale $U_l = L_{\min}/L_{\max}$

Les luminances sont, pour U_l mesurées sur des lignes parallèles à l'axe de la route. Nous sommes beaucoup plus exigeants pour ce facteur que pour l'autre afin d'être garanti contre l'apparition de zébrures transversales sur la route qui témoignent d'un éclairage médiocre, un écartement trop grand des candélabres tend toujours à les provoquer.

On peut s'appuyer sur deux paramètres pour un projet d'éclairage: la luminance ou l'éclairement ;

Sur la base de la luminance et de l'éclairement, le projet d'éclairage exige pratiquement le recours à un programme de calcul sur ordinateur dont un exemple est le Dialux de Philips que nous avons utilisé dans cette étude et dont une description est faite en ANNEXE 2.

2.3.1. TYPES D'IMPLANTATION

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

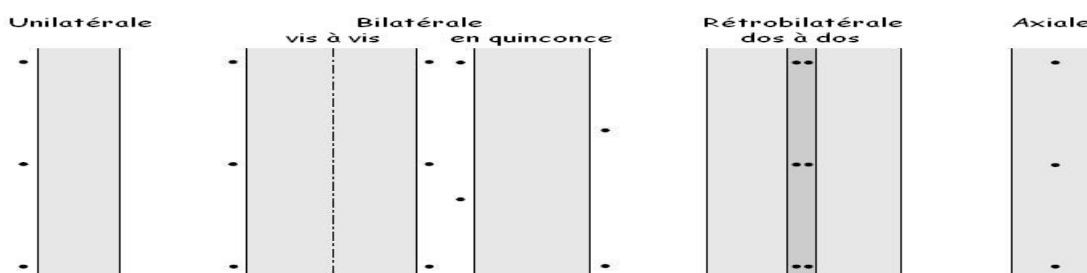


Figure 2 : disposition des différents types d'implantations (D'après document THORN LIGHTING).

2.3.2. LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT DE L'ECLAIRAGE PUBLIC

Nous avons deux méthodes pour le dimensionnement de l'éclairage public à savoir la méthode R et celle de luminance ponctuelle.

Ces méthodes permettent de déterminer l'implantation (hauteur et espacement) des luminaires et la puissance lumineuse à mettre en œuvre pour éclairer la voie considérée.

2.3.2.1. La méthode R

Pour obtenir une bonne uniformité d'éclairement, il est souhaitable que les profils d'implantation des luminaires respectent les rapports exprimés dans les deux (2) tableaux ci-dessous :

Tableau 3 : Choix de la hauteur de feu H suivant la largeur de chaussée L [7].

Type d'implantation	Unilatérale, axiale Bilatérale, quinconce	Bilatérale vis-à-vis
Hauteur de feu H	$H \geq L$	$H \geq L/2$

Tableau 4 : Choix de l'espacement E entre les foyers suivant la hauteur de feux [7].

Type d'implantation		Unilatérale, axiale bilatérale	Quinconce
Espace E en fonction de la lampe utilisée dans le luminaire	Laminares pour Lampe Ballon	$L = 3H$	$E \leq 2,7H$
	Luminaire pour lampe tubulaire claire	$3,5H \leq E < 4H$	$E \leq 3,2H$

2.3.2.2. Méthode de luminance ponctuelle

La méthode R qui est basée sur des règles empiriques d'implantation et sur le calcul du flux à installer dans chaque luminaire n'est pas suffisante lorsque les conditions précises d'uniformité et de niveau de luminance sont exigées, d'où la nécessité d'utiliser la méthode de luminance ponctuelle qui consiste à la classification des revêtement routiers, à la détermination de luminance de chaussée donc dans ce cas, un calcul point par point est nécessaire.

3. L'ETAT DES LIEUX DE L'ECLAIRAGE PUBLIC DE OUAGADOUGOU

3.1. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU RESEAU D'ECLAIRAGE PUBLIC DE OUAGADOUGOU

3.1.1. Moyens Matériels et logistiques

Les moyens matériels et logistiques utilisés sont :

- Un luxmètre pour le diagnostic de l'éclairement ;
- Une véhicule 4x4 pour les sorties de mesures d'éclairements ;
- Un ordinateur portable ;
- Internet ;
- Télémètre.

3.1.2. Construction du Réseau^[8]

Le réseau d'éclairage public de la ville de Ouagadougou est vaste. Sa construction varie en fonction de l'importance des voies à éclairer.

Cependant on distingue deux types de réseaux :

- Les réseaux associés aux réseaux de distribution publique BTA sont constitués de câbles BTA pré assemblés avec le câble de puissance ou brin EP.
- Les réseaux indépendants (poste de transformation uniquement pour l'EP)

3.1.3. Constitution technologique du réseau^[8]

1) Le coffret électrique

On distingue deux sortes de coffret

- Coffret monophasé
- Coffret triphasé

Le coffret triphasé est le plus utilisé car il permet d'équilibrer les charges du réseau de l'Eclairage Public.

Il se compose de:

- Un circuit de puissance constitué de :
 - Un coupe circuit principal (CCP) d'arrivé du courant (il est très bien indiqué en éclairage public car il évite de mettre toute une rue dans l'obscurité (plus avantageux que le disjoncteur qui lui est beaucoup plus sensible aux chocs et perturbations du réseau)).
 - Un compteur
- Un circuit de commande constitué de :
 - Un contacteur
 - Un dismatic de 3A pour la protection de circuit de commande

- Une coupe circuit de sortie
- Un interrupteur crépusculaire qui donne le signal au coffret son heure de fonctionnement.

2) Câble d'alimentation

➤ Le réseau aérien

Le réseau aérien est mixte (monophasé ou triphasé) mais à dominance triphasée.

Il est constitué de câbles pré-assemblés 4x16mm² en aluminium

➤ Le réseau souterrain

Le réseau souterrain est essentiellement triphasé car autonome et est constitué de câbles industriels U1000 R02V 4x10 mm² au 4x16 4x25 mm²

Il faut noter que quelque soit le type de réseau le cordon d'alimentation des lampes est constitué de câbles en cuivre de section 2x2.5 mm² (Raccordement du câble principal au luminaire).

3) Les types de lampes utilisées

Les lampes utilisées en EP de Ouagadougou sont deux types à savoir les lampes à vapeur de sodium haute pression (SHP) et les lampes à vapeur de mercure (HPL) avec des puissances variant de 125 à 400W.

Tableau 5 : Les types et puissances des lampes utilisés en EP de Ouaga

Nombres	Types	Puissance	Puissance totale(W)
1322	HPL	125	165250
5536	HPL	250	1384000
1004	SHP	150	150600
4250	SHP	250	1062500
188	SHP	400	75200

4) Les types de luminaires utilisés

Les types de luminaires utilisés sont associés aux lampes utilisées précitées ci-dessus. Ces luminaires sont de chez Philips Lighting.

Tableau 6 : Caractéristiques des luminaires utilisés

Marque de luminaire	Lampe
HGS101	HPL 125W
HGS102	HPL 250W
SGS102	SON (-E/T) 250W
Sélénium SGP340	SON-T 400W

5) Les candélabres (**cf. Fig1**)

6) Types d'éclairages (**cf. Fig4**)

7) Les systèmes de commande des réseaux EP de Ouagadougou

Ce sont généralement les systèmes simples qui comprennent les interrupteurs horaires, les cellules photoélectriques (Lumandar) et de variateur de puissance (Revalux).ils ont pour fonction de provoquer les allumages, les extinctions ou les changements de régime et réguler la tension d'alimentation des réseaux d'éclairage public aux heurs d'intense activité puis la puissance consommée durant la faible activité nocturne en abaissant la tension.

3.2. DIAGNOSTIC DES MESURES D'ECLAIREMENT

Conformément aux termes de référence, nous avons effectué des mesures d'éclairement de certaines rues de la ville de Ouagadougou afin d'analyser et apprécier la qualité de l'éclairage.

Ces rues ont été choisies en collaboration avec le chef de section de la Divion éclairage public et l'encadreur 2ie. A cet effet, nous avons fait des sorties de terrain pendant des nuits.

Ainsi nous représenterons dans la suite de l'étude sous forme de graphique les résultats des mesures d'éclairement des trois rues bien choisies.

3.3. CONSOMMATION ENERGETIQUE DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU

Tableau 7 : Situation de la consommation énergétique de la ville de Ouagadougou (2010) [12]

Désignation	kWh	FCFA
Consommation Energétique Globale	451 043 727	46 457 503 881
Consommation Energétique d'Eclairage Public(B)	9 695 123	1 427 876 557
Consommation Energétique Hors Eclairage Public(C)	441 348 604	45 029 627 324
Prise en Charge des Frais EP (C(KWh)*3FCFA) (E)	-	1 324 045 813
Frais EP supportés par la Municipalité (B-E)	-	103 830 744

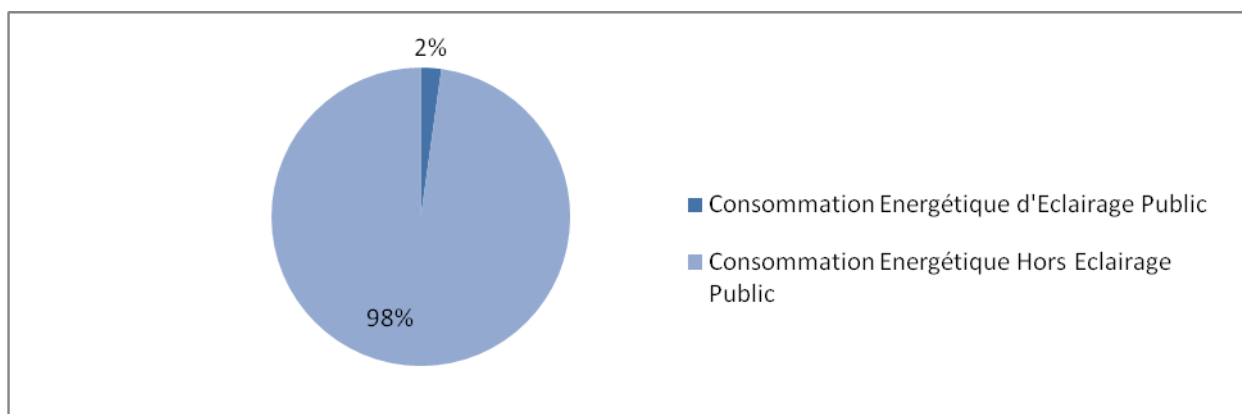


Figure 3: Répartition en % de la consommation énergétique

4. ANALYSE ET ETUDE DES DONNEES RECUILLIES

Dans le recueil des données, nous avons pris trois sites: l'avenue MOGHO NAABA, avenue PASCAL ZAGRE et l'avenue de la DIGNITE.

D'une façon générale, on remarque que l'éclairage n'est pas le même dans tous les sites. C'est ainsi que d'un site à un autre et compte tenu de la durée de l'installation, du type d'implantation et des appareillages utilisés, les éclairages moyens varient beaucoup. Au niveau de l'Avenue MOGHO NAABA, la moyenne des éclairages est de 17.5 lux, celle de Pascal ZAGRE est de 39 lux et celle de la dignité varie entre 6 et 6.25 lux.

L'influence des édifices et des arbres en bordure de la chaussée n'est pas négligeable. Dans la prise des mesures, nous avons choisi des endroits afin que l'influence d'autres sources lumineuses soit minime voire négligeable. Les mesures ont été prises à une hauteur d'environ 1 mètre du sol. Elles ont été faites entre deux points lumineux en créant un maillage qui tient compte de la largeur et de la longueur de la chaussée entre ces deux points lumineux.

L'implantation de l'Avenue MOGHO NAABA est unilatérale et celles de PASCAL ZAGRE et de la dignité sont bilatérales (face à face pour PASCAL ZAGRE et alterné pour la DIGNITE).L'installation faite à l'avenue de la DIGNITE est plus neuve que celles de PASCAL ZAGRE et MOGHO NAABA mais son éclairage moyen est plus faible; ceci nous montre qu'au niveau de cette avenue il a été utilisé des lampes de petite puissance et les normes d'implantation des candélabres ne sont pas respectées.

Cas de l'avenue MOGHO NAABA

La SONABEL a reçu pour expérimentation six luminaires à LED : deux de 90 W, deux de 100 W, un de 120 W et un de 140 W. Les luminaires ont été posés sur le réseau d'éclairage public existant de 125 W mercure de cette Avenue.

Les caractéristiques de cette zone sont les suivantes :

Largeur de la rue	Longueur de la voie	Nbre de voie	espacement	Hauteur de feu	Types des lampes
8m	1269.62m	1	43.78m	7.18m	Des LEDs et des lampes à vapeur de mercure de 125W

Eclairage

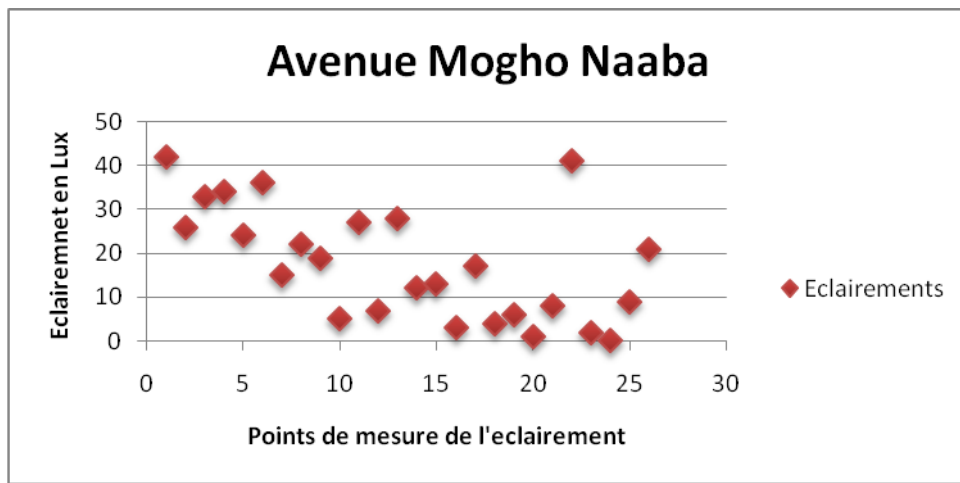


Figure 4: Eclairage de l'Avenue Mogho Naaba

Emin	0 lux
Emax	42 lux
Emoy	17,5 lux
Uniformité générale	0

La valeur moyenne de l'éclairage est de 17.5 lux. Cette valeur est plus faible que celle de la norme qui exige pour une voie secondaire un éclairage moyen de 20 lux, elle serait encore plus faible sans la présence des lampadaires à LED en expérimentation puisque cette rue est éclairée à la fois au HPL 125W et LEDs. En plus de cette faible performance, le facteur d'uniformité générale est pratiquement nul.

La situation optimale devrait être :

- Eclairage moyen ≥ 20 lux
- Uniformité générale ≥ 0.4

Le faible niveau d'éclairage est dû à la présence des zones d'ombre, à la discontinuité de distribution au sol.

Les zones d'ombre sont dues au feuillage des arbres, à la chute des candélabres. Aussi, il faut noter que ces éclairages ont été obtenus sur une chaussée tout au long de laquelle sont plantés des arbres. Ces arbres influencent bien les mesures. C'est donc aux endroits de la chaussée où on a des arbres que l'éclairage est un peu faible quand bien même les luminaires ne soient pas placés au dessus des arbres. Au niveau de cette Avenue, il se pose surtout le problème de maintenance puisque par endroit, on

remarque que des lampes sont grillées ou vieilles. Cet état occasionne aussi des zones d'ombre denses sur la chaussée.

La mauvaise uniformité est quand elle due à un espacement trop grand entre les candélabres (qui sont dans ce cas précis des poteaux basse tension (BT) utilisés comme support) et incompatible à la largeur de la chaussée ainsi qu'à la présence des plusieurs gammes de puissances des lampes à LED. Cependant, les résultats des expérimentations faites par la SONABEL (Société Nationale Burkinabé d'Electricité) sur les luminaires à LED sont concluants au niveau de l'éclairage, le tableau ci-après indique les valeurs trouvées.

Tableau 8 : résultat des expérimentations de la SONABEL sur les luminaires à LED.

Type de luminaire		VM 125 W	VM 250 W	SHP 150 W	SHP 250 W	LED 90 W	LED 100 W	LED 120 W	LED 140 W
Eclairage mesuré (lux)	Rue1	4	11	19	87	24	37	53	49
	Rue2	7	19	22	121	24	48		

De ces mesures nous pouvons déduire :

- Au niveau de l'éclairage, celui des lampes à LED 90 W correspond aux lampes SHP 150 W,
- De ce qui précède, l'utilisation de luminaires à LED 90 W serait avantageuse par rapport aux luminaires SHP 150 W, car ces luminaires présentent une économie d'énergie d'environ 40%,
- Une lampe à LED de 90 W (24 lux) éclaire plus qu'une lampe à vapeur de mercure de 250 W (19 lux).

Cas de l'Avenue Pascal ZAGRE

A ce niveau ce sont des lampes à vapeur de sodium (SHP) de 250 W qui sont utilisées, la largeur de la chaussée, le nombre de voies et l'espacement sont respectivement 16m, 2 et en moyenne 36.2m avec une longueur de la voie de 3040.8m; la hauteur de feu est de 8m.

La situation est tout autre, nous avons :

Eclairage

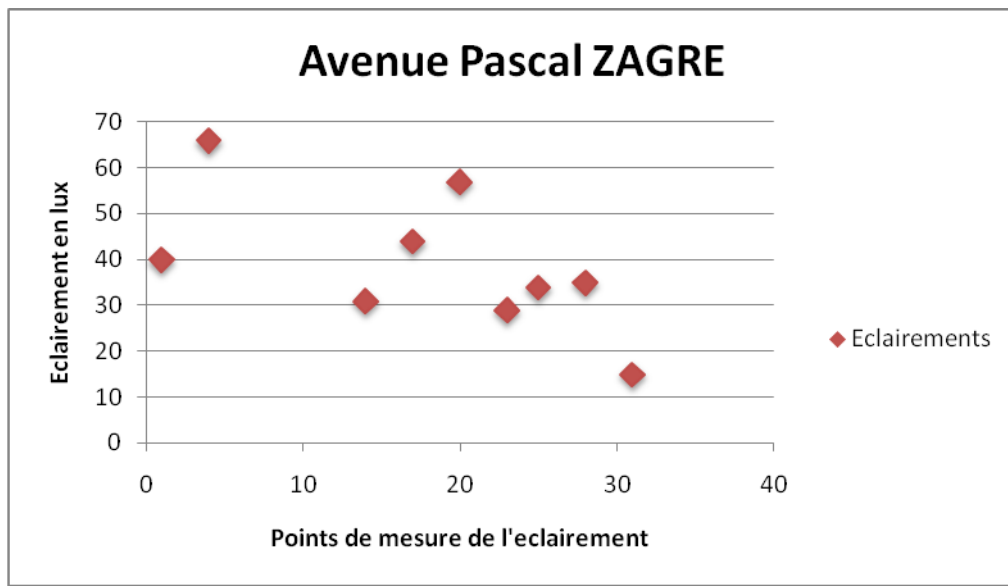


Figure 5 : Eclairages de l'Avenue PASCAL ZAGRE

Emin	12 lux
Emax	66 lux
Emoy	39 lux
Uniformité générale	0.3
TI	14%

La valeur moyenne de l'éclairage est supérieure à celle requise (20 à 30 lux pour une voie principale) et il y'a une mauvaise uniformité générale (0.3). Malgré ces faibles performances, le facteur d'éblouissement est acceptable.

Ce défaut d'uniformité serait causé par le luminaire installé du à son angle d'inclinaison. En adoptant un luminaire avec un angle d'inclinaison adaptée, nous arriverons à uniformiser l'éclairage. Cependant les lampes de 250 W sont trop puissantes pour avoir les valeurs requises, il faudra les changer par des lampes moins puissantes pour optimiser les caractéristiques photométriques et réaliser des économies d'énergie.

Cas de l'Avenue de la dignité

L'éclairage de cette Avenue a été réalisé par la société taïwanaise Soltech Burkina en collaboration avec la mairie, l'éclairage est fait par des lampadaires à LEDs solaires. C'est une rue longue de 1457.4m avec une largeur de 11m, le nombre de voie, la hauteur de feux et l'espacement sont respectivement 1 ; 6m et 34.7m. Au niveau de cette avenue, nous n'avons pas réussi à avoir la documentation concernant son éclairage et surtout les caractéristiques techniques des lampadaires utilisés.

Eclairage

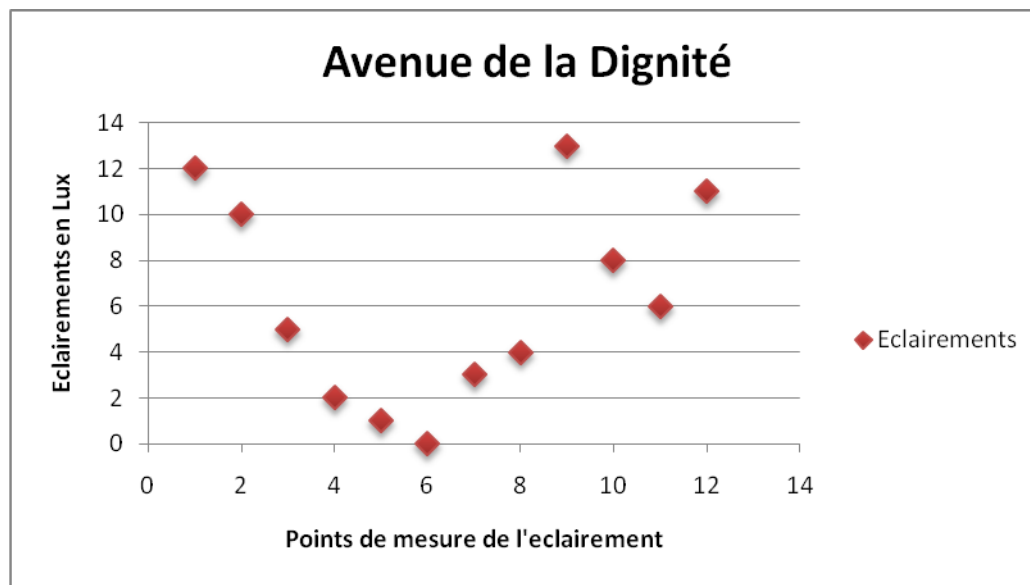


Figure 6 : Eclairages de l'Avenue de la DIGNITE

Emin	0lux
Emax	13lux
Emoy	6,25lux
Uniformité générale	0

Les faibles valeurs sont dues à un éclairage très directif, aux lampes utilisées qui aurait des puissances inadaptées vus le faible niveau d'éclairage au dessous des luminaires et aussi au recul très important des candélabres, l'essentielle de la lumière émise étant projetée sur le bord et non sur la chaussée.

Il faudra rapprocher les candélabres de la chaussée, la hauteur et l'espacement ne correspondent pas également à la norme en vigueur. Il serait donc judicieux de changer les lampes actuelles par des têtes de lampadaires à LEDs de forte efficacité et de placer les candélabres à une distance raisonnable de la voie en épousant les contours, ce qui améliorerait la qualité de son éclairage.

D'une manière générale, la situation photométrique de cette Avenue est très inconfortable.

5. ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE

5.1. PROPOSITION D'AMELIORATION DE LA QUALITE DE L'ECLAIRAGE DE TROIS SITES RETENUS DANS LA VILLE DE OUAGADOUGOU

La qualité de l'éclairage exige le respect de la norme AFE (éclairage compris entre 20 et 30lux).

Ainsi pour une meilleure qualité de l'éclairage public nous proposons :

- La suppression des lampes dont l'éclairage dépasse 30 lux.
C'est le cas de l'Avenue PASCAL ZAGRE.
- La suppression et le remplacement des lampes à vapeur de mercure par des lampes économes en énergie de l'Avenue MOGHO NAABA.
- La reprise de l'éclairage bilatéral alterné de l'Avenue de la DIGNITE en positionnant les candélabres en bordure de ladite Avenue et en adaptant la puissance des lampes.

Il faut noter que de toutes les propositions, La suppression des lampes dont l'éclairage dépasse 30 lux au profit des lampadaires à LED fera l'objet d'une étude de cas.

5.2. ETUDE DU PROJET D'ECLAIRAGE A LED DE L'AVENUE PASCAL ZAGRE

Nous étudierons l'implantation des luminaires à LED en conservant le même espacement et la même hauteur de feu. Les candélabres existants sont conservés et nous utiliserons les lampadaires à LED de Philips. L'élément qui a motivé notre choix est le fait que ce luminaire est adapté à ce type de voie avec ses autres caractéristiques consignées ci-dessous,

Le simple changement du luminaire nous conduit à des économies d'énergie, Etant donné que nous conservons l'existant, le tableau 9 montre la comparaison des consommations en supposant un fonctionnement journalier de douze heures, les performances photométriques ayant déjà été déterminées au chapitre précédent.

Tableau 9 : Comparaison des consommations d'énergie

	Existant	Rénovation
Type de lampe	SHP250W PHILIPS	LED PHILIPS
Durée de vie (h)	8000	50000
Flux lumineux (lm)	25000	16000
Puissance lampe (W)	250	158
Efficacité lumineuse (lm/W)	100	100
Puissance (pertes) ballast (W)	25	0
Nombre de luminaires	168	168
Puissance totale luminaire (W)	276	158
Puissance totale Installation (W)	46368	26544
Consommation annuelle installation (Wh)	200 309 760	114 670 080

D'où une économie d'énergie $\Delta C = 85\,639\,680\text{ Wh}$ soit **43%** de réduction.

Les performances photométriques issues de ce changement, en ne faisant varier que l'angle d'inclinaison dans le plan à 90° pour remédier au défaut d'uniformité transversale sont données dans les tableaux suivants :

Tableau 10: Performances photométriques pour $\text{incl}90^\circ=0^\circ$

Type de luminaire	Philips BVP506 GC 1xECO130-1S/756 DM	
Type de Lampe	ECO142-1S/756	
Puissance(W)	158	
Flux (lm)	13028	
	Unité	Avenue Pascal ZAGRE
Chaussée		Simple
Largeur de la chaussée	m	16
Nombre de voie		2
Qo		0,07
Implantation		Bilatérale face à face
Avancée	m	0.654
Incl90°	Deg	0°
Lmoy (cd/m²)	cd/m²	1,8
Lmin/Lmax		0,5
Uo		0,66
TI	%	9
Emoy	lux	23
Emin/Ehmax		0,265
Emin/Ehmoy		0,478

Tableau 11 : Performances photométriques pour $\text{incl}90^\circ=5^\circ$

Type de luminaire	Philips BVP506 GC 1xECO130-1S/756 DM	
Type de Lampe	ECO142-1S/756	
Puissance(W)	158	
Flux (lm)	13028	
	Unité	Avenue Pascal ZAGRE
Chaussée		Simple
Largeur de la chaussée	m	16
Nombre de voie		2
Qo		0,07
Implantation		Bilatérale face à face
Avancée	m	0.654
Incl90°	deg	5°
Lmoy (cd/m²)	cd/m²	1,8
Lmin/Lmax		0,6
Uo		0,52
TI	%	12
Emoy	lux	24
Emin/Ehmax		0.294
Emin/Ehmoy		0,509

Tableau 12: Performances photométriques pour $\text{incl}90^\circ=15^\circ$

Type de luminaire	Philips BVP506 GC 1xECO142-1S/756 DM	
Type de Lampe	ECO142-1S/756	
Puissance(W)	158	
Flux (lm)	13028	
	Unité	Avenue Pascal ZAGRE
Chaussée		Simple
Largeur de la chaussée	m	16
Nombre de voie		2
Qo		0,07
Implantation		Bilatérale face à face
Avancée	m	0.654
Incl90°	deg	15°
Lmoy (cd/m²)	cd/m²	1,8
Lmin/Lmax		0,8
Uo		0,69
TI	%	13
Emoy	lux	25
Emin/Ehmax		0,316
Emin/Ehmoy		0,530

En faisant varier l'angle d'inclinaison sur ces différentes simulations, nous nous apercevons que l'angle le plus fort donne des meilleures valeurs dans ce cas précis : nous opterons donc pour un luminaire à LEDs avec une inclinaison de 15° ce qui est conforme à la configuration existante.

5.2.1. MODIFICATION DU SYSTEME DE COMMANDE

L'une des actions à mener pour réduire la consommation d'énergie concerne le système de commande. Nous proposerons une étude des cas portant sur l'utilisation du système Lumandar qui est un modèle d'interrupteur crépusculaire actuellement utilisé sur le réseau de l'éclairage public de Ouagadougou et les interrupteurs crépusculaires astronomiques, les heures de fonctionnement de l'interrupteur existant sont donnés à titre indicatif avec une marge d'erreur puisque nous n'avons pas eu les données nécessaires sur les heures de fonctionnement au niveau de la SONABEL, l'étude porte ici sur l'Avenue Pascal Zagré et sera extrapoler sur l'ensemble du réseau EP.

- Prix d'un kWh incluant le coût de l'énergie : 122FCFA ;
- Nous considérons un ratio de 0,8 Kg de CO₂/kWh^[8] d'énergie produite ;
- Durée moyenne annuelle de fonctionnement de l'éclairage public commandé par un interrupteur crépusculaire : 4500 heures ;
- Durée moyenne annuelle de fonctionnement de l'éclairage public commandé par une horloge astronomique : 4200 heures ;
- Puissance souscrite : 26.54 kW (équivalent à 168 lampes de 158W).

Tableau 13: Impact de l'utilisation de l'interrupteur astronomique

Systèmes de commandes	Heures de fonctionnement annuel (H)	Puissance souscrite (KW)	Energie Consommée en KWh	Coût annuel(FCFA)	Economie (FCFA)	
Interrupteur crépusculaire	4500	26,54	119 430	14 570 460		
Interrupteur astronomique	4200	26,54	111 468	13 599 096	971364	7%

L'installation de cet interrupteur a occasionné une baisse de **7%** de la consommation et une réduction de **6 369.6Kg de CO₂**.

Un des avantages de cet interrupteur est qu'il permet de programmer les temps d'allumage et est préférable à celui des interrupteurs crépusculaires qui mesurent la quantité de lumière naturelle environnante et déclenchent l'éclairage à partir d'un seuil assigné. Ce dernier système pose des problèmes

de fiabilité selon la SONABEL: en effet, en cas d'intempérie avec baisse luminosité ou en fonction de l'environnement immédiat des installations (surface sombre, phares des usagés par exemple), les capteurs provoquent parfois l'extinction ou l'allumage de l'éclairage.

Cependant nous pourrions extrapoler ces résultats en appliquant sur tous les postes de la ville, nous aurions une baisse semblable.

Prenons comme base la consommation annuelle de 2010

$$C_{2010} = \mathbf{9\ 695\ 123kWh}$$

La consommation serait réduite de :

$$\Delta C_{2010} = 9\ 695\ 123 \times 0.07 = \mathbf{678\ 658.61kWh \text{ soit une réduction de } 543t \text{ de } CO_2}$$

Appliquons le coût du kWh 122F, l'économie annuelle en terme monétaire serait

$$Em = 122 \times 678\ 658.61 = \mathbf{82\ 796\ 350.42FCFA}$$

$$Em_{2010} = \mathbf{82\ 796\ 350.42FCFA}$$

Pour l'année 2011, en considérant un accroissement annuel de 10% de la consommation

Nous aurons :

$$C_{2011} = 1.1 \times 9\ 695\ 123 = 10\ 664\ 635.3 \text{ kWh}$$

Réduction annuelle:

$$\Delta C_{2011} = 0.07 \times 10\ 664\ 635.3 = 746\ 524.471kWh \text{ soit une réduction de } 597.22t \text{ de } CO_2$$

Économie monétaire :

$$Em_{2011} = 122 \times 746\ 524.471 = \mathbf{91\ 075\ 985.46FCFA}$$

$$Em_{2011} = \mathbf{91\ 075\ 985FCFA}$$

Cette économie réalisée permettra de prendre en charge, tous les ans, des projets de réhabilitation en éclairage public.

5.2.2. PROPOSITION DE REDUCTION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE

L'installation de lampadaire à LED de 158W sur l'Avenue Pascal ZAGRE permet d'avoir les caractéristiques optimales de l'éclairage, et elle permet également d'avoir une économie d'énergie. Cette dernière peut être augmentée en agissant sur le système de gestion de l'installation. Il s'agit donc ici de faire des propositions en vue d'économiser de l'énergie.

Cette économie d'énergie sous entend la réduction de l'émission des gaz à effet de serre.

☐ **Evaluation des économies des gaz à effet de serre (CO₂)**

Nous considérons toujours un ratio de 0,8 Kg de CO₂/kWh d'énergie produite.

☐ **Evaluation des économies d'énergie**

La proposition d'amélioration et de réduction de la consommation énergétique se fera en jouant sur les heures de fonctionnement de l'éclairage public.

Trois plages de fonctionnement sont observées.

- **18h-24h utilisation de 100% de la puissance soit 25 lux entièrement ;**
- **24h-2h réduction à 48% de la puissance soit 18lux ;**
- **2h à 6h réduction à 68% de la puissance soit 15lux.**

Le constat est que de 18h à 24h l'influence de la circulation est dense tandis qu'à partir de 24h jusqu'au matin (6h), elle est moindre.

Pendant cette période (24h-6h), il faut néanmoins assurer le minimum d'éclairage pour des raisons de sécurité de quelques personnes qui fréquentent la route en ce moment là.

En d'autres termes, il s'agira pour nous de proposer des systèmes d'économie d'énergie pouvant diminuer la puissance à ces heures de faible fréquentation.

Un régulateur-réducteur de tension permet donc de diminuer la consommation énergétique par réduction de la tension d'alimentation des lampes aux heures creuses de la nuit. Il permet aussi d'augmenter la durée de vie des lampes (de 30 à 50%) par régulation de leur tension d'alimentation.

Sa commande va être dans notre cas ici un interrupteur crépusculaire astronomique dont l'ensemble qui, en plus de commander l'allumage et l'extinction des lampes aux moments opportuns, est programmé pour diminuer la puissance consommée à certaines heures de la nuit.

Situation sans utilisation d'un variateur de puissance

Tension d'entrée secteur : **230 V**

Nombre d'heures de fonctionnement : **4200 heures / an**

Soit P1 la puissance souscrite : **P1= 26.54 kW**

Consommation : $26.54 \times 4200 = \mathbf{111\ 468\ kWh}$

Cout annuel de consommation : $(111\ 468 \times 122) = \mathbf{13\ 599\ 096\ FCFA}$

Situation avec l'utilisation d'un variateur de puissance

Nombre d'heures de fonctionnement : **4200 heures / an**

Fonctionnement en économie : **2190 heures/an (de 24H a 6H)**

Tensions d'économie pour les différents de puissances :

- De 24h à 2h : 48% de la puissance soit une tension d'économie de 165.6V ;
- De 2h à 6h : 63% de la puissance soit une tension d'économie de 138V

■ **Calcul de consommation 1 de 24h à 2h :**

Tension d'économie : **165.6V**

Nombre d'heur de fonctionnement : **730 heures/an**

Puissance d'un point lumineux : **81.90 W**

Puissance totale P2 = $168 \times 81.90 = 13.76\ kW$

Consommation1 : $730 \times P2 = (730 \times 13.76) = \mathbf{10\ 044.21kWH}$

Consommation totale1 : $10\ 044.21 + (4200-730) \times 26.54 = \mathbf{102\ 138.01kWh}$

■ **Calcul de consommation 2 de 2h à 6h :**

Tension d'économie : **138V**

Nombre d'heur de fonctionnement : **1460 heures/an**

Puissance d'un point lumineux : **56.88 W**

Puissance totale P'2= $168 \times 56.88 = 9.55kW$

Consommation2 : $1460 \times P'2 = 1460 \times 9.55 = \mathbf{13\ 943kWh}$

Consommation totale2 : $13\ 943 + (4200-1460) \times 26.54 = \mathbf{86\ 662,6kWh}$

 Economie annuelle :

Economie d'énergie1 : $111\,468 - 102\,138.01 = 9\,329.99\text{kWh}$

Economie d'énergie2 : $111\,468 - 86\,662.6 = 24\,805.4\text{kWh}$

Economie d'énergie totale : $24\,805.4 + 9\,329.99 = 34\,135.39\text{kWh}$ soit une économie d'énergie de **32%** avec une économie monétaire de **4 164 517,58FCFA par an.**

Tableau 14: Impact de l'utilisation de variateur de puissance

	Sans dispositif	Avec dispositif (24h-6h)	Economie
ENERGIE	111 468kWh	77 332.61kWh	34 135.39kWh
CO2	89.17t	61.86t	27.31t
Facture	13 599 096FCFA	9 434 578.42FCFA	4 164 517.56FCFA

Les résultats obtenus révèlent une économie de consommation d'environ **32%** par rapport à une utilisation constante.

En outre, ce matériel offre les autres avantages suivants :

- augmentation de la durée de vie des lampes ;
- réduction des interventions de maintenance ;
- diminution des coûts liés à la récupération et au recyclage des lampes.

6. CONFIGURATION OPTIMALE

La configuration optimale de l'Avenue est constituée par des luminaires à LEDs avec toutes les caractéristiques existantes, ce type de luminaires permet d'obtenir les résultats photométriques optimaux.

Voici les caractéristiques photométriques de la situation optimale :

Tableau 15: Performances photométriques de la situation optimale (Incl. 90°= 15)

Type de luminaire	Philips BVP506 GC 1xECO142-1S/756 DM	
Type de Lampe	ECO142-1S/756	
Puissance(W)	158	
Flux (lm)	13028	
	Unité	Avenue Pascal ZAGRE
Chaussée		Simple
Largeur de la chaussée	m	16
Nombre de voie		2
Qo		0,07
Implantation		Bilatérale face à face
Avancée	m	0.654
Incl90°	deg	15°
Lmoy (cd/m²)	cd/m²	1,8
Lmin/Lmax		0,8
Uo		0,69
TI	%	13
Emoy	lux	25
Emin/Ehmax		0,316
Emin/Ehmoy		0,530

7. ANALYSE FINANCIERE

La mise en œuvre de la configuration optimale de l'Avenue Pascal ZAGRE définie ci-dessous nécessite un investissement que nous déterminons dans ce chapitre ainsi que le cout d'exploitation et l'économie annuelle réalisée.

Etant donné que nous conservons l'existant, la comparaison des consommations sera en supposant un fonctionnement annuel en fonction du système de commande utilisé². L'investissement comprend les prix d'acquisitions du matériel à installer ainsi que les frais de transports et diverses taxes que nous avons supposé à un pourcentage de 25% sur le prix en ce qui concerne les LED, les cout de maintenance et de l'énergie sont dans le cout d'exploitation. Les prix des appareils ont été pris au niveau de la SONABEL pour les SHP250W et sur le site d'ellopro³ [13] pour les lampadaires à LED, le coût de l'énergie sera calculé sur la base du prix du kWh qui est de 122 FCFA par kWh. Nous assimilerons l'économie d'énergie issue du changement des lampes par rapport à la situation existante (lampes de 250W) comme étant les gains financiers, les performances photométriques de ces deux lampes ayant déjà été déterminées au chapitre précédent.

7.1. INVESTISSEMENT INITIAL DU PROJET

L'investissement dans ce cas précis est composé du cout d'achat de l'appareil et en tenant compte du nombre d'appareil à remplacer. Les différents paramètres seront symbolisés par des alphabets pour détailler la méthode de calculs.

Tableau 16: Coût d'investissement

	Lampe SHP250	Technologie LED
Investissement		
Nombre de luminaires(A)	168	168
Cout luminaire + source (FCFA) (B)	148 174	1 009 921.189
Total (FCFA)	24 893 232	169 666 759.8

Investissement (I) est égal $(A \times B)_{LED}$ d'où $I = 1\,009\,921.189 \times 168 = 169\,666\,759.8$ FCFA

² Horloge astronomique pour la nouvelle configuration à LED et Lumandar pour l'installation existante.

³ Ellopro.fr est un site qui présente des offres à destination des professionnels et répertorie les produits de sociétés.

7.2. COUT D'EXPLOITATION

Le cout d'exploitation est composé du cout de maintenance, du cout d'énergie. Les coûts de maintenance sont composés du coût de changement de lampes, du nettoyage des luminaires (vasques et réflecteurs) et des réparations éventuelle mais ces cette dernière ne sera pas prise en compte dans cette étude. Le coût de l'énergie sera calculé sur la base du prix du kWh pondéré. Le cout d'exploitation est pris sur une durée de 12 ans compte tenus de la durée de vie en année des lampadaires à LED.

7.2.1. COUT DE MAINTENANCE: CMA

Il est composé des coûts partiels de : changement de lampes, nettoyage des luminaires et les nombres de changement des lampes sur 12 ans.

➤ Lampes SHP250

- Changement des lampes : 1000FCFA tous les deux (2) ans ;
- Nettoyage des luminaires : 1000 par an ;
- Cout de lampes : 16 215FCFA tous les deux (2) ans ;
- Cout de luminaires : 131 959FCFA tous les vingt cinq ans (25 ans). (Source : Division EP de la SONABEL sis à Goughin).

Tableau 17 : Calcul du cout de maintenance lampe SHP250

Désignation	Prix unit(FCFA)/an	Nombre des lampes	Prix (FCFA)
Changement de lampes	500	168	84 000
Nettoyage luminaires	1000		168 000
Cout lampes	8107,5		1 362 060
Cout luminaires	5 278.36		886 764.5
Total			2 500 824,5

➤ Lampadaire à LED

Pour ces lampadaires, il sera tenu compte du nettoyage des luminaires et de cout d'installation des lampes étant donné que le cout des lampes correspond à la durée d'exploitation.

- Cout d'installation des LEDs : 1000FCFA pour douze (12) ans ;
- Nettoyage des luminaires : 1000FCFA tous les deux (2) ans.

Tableau 18 : Calcul du cout de maintenance LED

Désignation	Prix unitaire (FCFA)/an	Nombre des LEDs	Cout Total
Installation	83.33	168	14000
Nettoyage	500	168	84000
Total			98000

7.2.2. COUT DE L'ENERGIE

➤ Consommation annuelle des lampes SHP250

Elle est calculée en tenant compte du système de commande existant.

$$Ca_{SHP} = 208\,656 \text{ kWh}$$

Le prix pondéré du kWh est $k = 122 \text{ F}$

Donc le coût de l'énergie est $C_{en1SHP} = 208\,656 * 122$

$$C_{en1SHP} = 25\,456\,032 \text{ F CFA}$$

Donc le cout d'exploitation est $CE_1 = C_{ma1} + C_{en1}$

$$CE_1 = 28\,460\,856,5 \text{ FCFA}$$

➤ Consommation annuelle des lampes LEDs

Elle est calculée en tenant compte uniquement de la modification du système de commande.

$$Ca_{LED} = 111\,484,8 \text{ kWh}$$

Le cout de l'énergie est $C_{en2LED} = 111\,484,8 * 122 = 13\,601\,145,6 \text{ FCFA}$

Donc Le coût d'exploitation $CE_2 = C_{ma2} + C_{en2}$ soit $CE_2 = 13\,699\,145,6 \text{ FCFA}$

Tableau 19 : Coûts d'exploitation sur 12 ans

Type de lampe	SHP250	Technologie LED
Coûts annuel maintenance (FCFA)	2 500 824,5	98 000
Coûts annuel consommation d'énergie(FCFA)	25 456 032	13 599
Total(C)	27 956 856,5	13 699 145.6

7.3. ECONOMIE REALISEE AVEC LA TECHNOLOGIE LED

Tableau 20 : Economie réalisée avec la technologie LED

Energie économisée à la fin de la durée de vie des lampes (KWH) (D)	1 166 054,4
Economie réalisée à la fin de la durée de vie des lampes (FCFA) (E)	171 092 530.8
Economie annuelle (FCFA)	14 257 710,9

Le calcul des énergies économisées et économie réalisée à travers cette étude est fait de la manière suivante :

Energie économisée à la fin de la durée de vie des lampes

$$D = (C_{SHP} - C_{LED}) \times 12$$

$$D'ou D = 1\,166\,054,4 \text{ kWh}$$

Evaluation des économies des gaz à effet de serre (CO₂)

Nous considérons un ratio de **0,8 Kg de CO₂/kWh** d'énergie produite, l'émission de GES évitées par la mise en œuvre de ce projet est évaluée à **77 736,96 kg de CO₂** évités par an soit environ **77.736 tonnes de CO₂**.

Economie réalisée à la fin de la durée de vie des lampes

$$E = (C_{\text{SHP}} - C_{\text{LED}}) \times 12$$

$$\text{D'où } E = 171\,092\,530.8 \text{ FCFA}$$

Economie annuelle

Elle est calculée sur la base du prix pondéré du kWh, avec les économies d'énergie réalisées par rapport à la consommation actuelle ;

Economie annuelle réalisée est $\Delta C = C_{\text{SHP}} - C_{\text{LED}}$ **d'où**

$$\Delta C = 27\,956\,856.5 - 13\,699\,145.6$$

$$\Delta C = 14\,257\,710.9 \text{ FCFA}$$

7.4. EVALUATION DU PROJET

L'élément d'évaluation considéré est le Temps de Retour sur Investissement.

7.4.1. LE TEMPS DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT (TRI)

La durée d'amortissement ou le temps de retour sur investissement est le délai nécessaire pour que le montant des gains financiers équilibre celui des investissements. C'est la durée requise pour récupérer l'argent investi dans le projet ;

Tableau 21 : Temps de retour sur investissement

Investissement (FCFA) (F)	169 666 759.8
Economie annuelle(FCFA) (G)	14 257 710,9
Retour sur investissement (F/G)	11.90

Le délai de récupération est de 11.90ans.

Utilisation des lampadaires à LED sur tout le parc existant de SHP250W

Le détail de cette étude de cas est joint en **ANNEXE 1**

De cette étude de cas il ressort que l'utilisation des lampadaires à LEDs sur tout le parc de SHP250W engendrerait :

- Une économie d'énergie de **2 458 200 kWh/an**, soit **43%** d'énergie économisée,
- Un gain financier annuel de **360 686 152,5FCFA**,
- **1 966 560Kg** de CO₂ évités par an soit environ **1 966.56** tonnes de CO₂
- Un Retour sur investissement de **11.90ans**

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

En éclairage, la consommation d'énergie est très liée à la lampe utilisée. Aussi, il est important de bien choisir le luminaire à installer pour avoir le maximum d'éclairement possible avec la lampe utilisée. Même si le flux lumineux émis augmente avec la puissance pour une même famille de lampe, avoir un bon éclairage ne nécessite pas toujours une source de forte puissance. En effet, il est impératif d'étudier l'ensemble luminaire-lampe et de vérifier ses performances photométriques pour orienter les choix. Nous avons pu le vérifier au niveau de l'Avenue PASCAL ZAGRE. L'utilisation de luminaire LED de 158W a donné des résultats optimaux, car ses caractéristiques photométriques sont meilleures comparées à celles de luminaire de 250 W actuellement en place. L'augmentation de l'angle à 90° a permis d'améliorer les uniformités longitudinale et générale. Le nombre de candélabres n'a pas été modifié si bien que les espacements ne sont pas corrects puisque les installations de l'éclairage public de la ville de Ouagadougou obéissent à une règle standard.

En effet, quelles que soient les rues, les espacements des candélabres sont tous environ 35m. Ce changement entraînera une économie d'énergie considérable. Cette étude a surtout porté sur l'utilisation des lampadaires à LED en éclairage avec comme illustration l'Avenue PASCAL ZAGRE, les résultats obtenus montrent que sans même avoir modifié l'implantation ni la hauteur des luminaires, l'installation rénovée en lampadaire à LED permet de faire des économies de plus de **40%** en terme de consommation d'énergie et **49%** en terme de gain financier par rapport à la solution existante en tenant compte du coût d'exploitation des deux scénarios malgré le coût d'achat bien supérieur des blocs luminaires LEDs comparé à celui de SHP, soit une économie d'énergie **97 171,2kWh/an** et un gain financier annuel de **14 257 710,9FCFA** avec un retour d'investissement de **11.90 ans**. Cette économie d'énergie entraînerait également **77 736,96Kg de CO₂** évités par an, donc la préservation de l'environnement. Ainsi l'installation des lampadaires à LED sur l'ensemble du parc existant de SHP250W réseau éclairage public engendrerait **2 458 200kWh/an**, un gain financier annuel **360 686 152.5FCFA** à la municipalité (Cf. ANNEXE 1), mais nous constatons que le Temps de Retour sur Investissement (TRI) est énorme si bien que cette augmentation de TRI est compensée par l'économie résultant d'une meilleure maintenance et d'une durée de vie plus élevée des LED ;néanmoins après **50 000 heures** soit **12 ans** de fonctionnement il faut changer tout le bloc à LED, voire tout le luminaire, ce qui représente un coût considérable. Rappelons que la durée de vie d'un luminaire est de 25 à 30 ans.

A ce jour, nous ne sommes pas en mesure d'affirmer que les LEDs peuvent remplacer les lampes à décharge surtout les lampes à vapeur de sodium haute pression lorsqu'elles sont utilisées en éclairage public dans des meilleures conditions puisqu'une lampe à LED de qualité reste encore très coûteuse à

l'achat, nous espérons que le progrès technique et le développement rapide des ventes devraient faire baisser les prix comme la technologie de fabrication de LED est en perpétuelle évolution avec de nouveaux produits chaque année.

Le système de commande utilisé joue également un rôle primordial dans la réduction des factures. L'utilisation d'horloge astronomique simple avec variateur de puissance l'a démontré. Notre étude de cas menée sur les horloges astronomiques et Interrupteurs crépusculaires déjà en expérimentation dans la ville de Ouagadougou, montre que l'utilisation des horloges astronomiques économise plus d'énergie que les interrupteurs crépusculaires et en extrapolant sur l'ensemble du réseau EP, nous aurons une économie d'énergie de **678 658.61kWh** et un gain financier de **82 796 350.42FCFA** soit une réduction de **7%**, ce qui permettra de prendre en charge d'autre projet d'éclairage public. Ainsi l'installation des variateurs de puissance avec des horloges astronomiques sur l'Avenue PASCAL ZAGRE à lampadaires LED ferait **32%** d'économie d'énergie à la municipalité.

En bref, vu leur potentiel énergétique et compte tenu des progrès technologiques rapides constatés, l'utilisation des lampadaires à LED, est intéressante. Pour s'enquérir de la performance de l'équipement (leur fiabilité, leurs exigences de maintenance électromécaniques et photométriques), une phase de test sur certaines rues est indispensable, C'est d'ailleurs l'objectif de la SONABEL qui est entrain d'expérimenter des lampadaires à LED sur l'Avenue MOGHO NAABA.

Ainsi pour l'amélioration de la qualité de l'éclairage public et la réduction de la consommation énergétique et des gaz à effet de serre nous avons formulé un certain nombre de recommandations :

- Installer sur l'ensemble du réseau des horloges astronomiques plus fiables que ceux actuellement en place.
- Le système d'EP de la Ville de Ouagadougou est obsolète, il faut s'inscrire dans une dynamique de modernisation à l'image des grandes villes en tendant vers la télégestion du réseau. Les installations de projets d'extension devraient déjà en tenir compte.
- La suppression et le remplacement systématique des lampes à vapeur de mercure haute pression par des lampes économiques.
- L'entretien périodique du réseau EP ;
- Le remplacement systématique des lampes avariées ;
- La suppression et le remplacement des lampes dont l'éclairement dépasse 30lux
- Réhabiliter et remplacer les éléments mécaniques:

- Redresser les candélabres inclinés ;
 - Remplacer les candélabres manquants ;
 - Remplacer les candélabres, luminaires et consoles d'éclairage oxydés par du matériel résistant à la corrosion.
- La ville doit exiger l'utilisation de logiciels de calculs d'éclairage lors des études d'avant projets pour une plus grande précision dans les installations.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Manuel du participant à la formation Eclairage Public, du centre de formation et de perfectionnement de la SONABEL, conçu par MM. Pascal KERE et Francis ZAGRE, Mars 2002
- [2] Cour EIER Tome 7 Eclairage public.pdf
- [3] Association française de l'éclairage : Recommandation relatives à l'éclairage des voies publiques, février 1988.
- [4] Division Eclairage extérieur du syndicat de l'éclairage français. ALAIN CHARDIGNY, 2008, lux N°249
- [5] Les LED en éclairage public : mythe ou réalité ? ALAIN CHARDIGNY septembre/octobre 2008
- [6] L'éclairage : notions de base, projets d'installation .Patrick Vandeplanque, octobre 2005.
- [7] Eclairage public et économie d'énergie, Bureau de la commission française de l'éclairage Public, 13 décembre 2008, Vol 41.
- [8] Rapport de mémoire de fin d'études, Economie d'énergie et éclairage public d'Ouagadougou, présenté par Galo GUIE BI, juin 2010.
- [9] Cours d'audit Energétique du Professeur Yézouma COULIBALY, Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement, UTER Génie Energétique et Industriel, 2008.
- [10] Maitrise de la demande d'énergie appliquée à l'éclairage public : étude de cas de la ville de Dakar, Ibrahim Paul N'diaye, 2002-2003.
- [11] Optimisation des foyers lumineux dans les réseaux d'éclairage public, Messan AMOUSSOU-KOUEDETE, Juillet 1992
- [12]. Rapport d'activité SONABEL 2010
- [13] [http:// www.afe-eclairage.com.fr/Association française de l'éclairage .](http://www.afe-eclairage.com.fr/Association%20fran%C3%A7aise%20de%20l'%C3%A9clairage)
- [14] <http://www.phillips.com>
- [13] <http://www.ellopro.fr>
- [14] <http://www.la-diege.fr>
- [15] [http:// www.eclairage-public-a-led.com](http://www.eclairage-public-a-led.com)
- [16] <http://www.mbab-energie.com>

ANNEXES

ANNEXE 1 : IMPACT DE L'INSTALLATION DES LAMPADAIRES SUR TOUT LE PARC EXISTANT DE SHP250

Investissement initial du projet

L'investissement dans ce cas précis est composé du cout d'achat de l'appareil et en tenant compte du nombre d'appareil à remplacer (cout de changement de lampes ne faisant pas partie). Les différents paramètres seront symbolisés par des alphabets pour détailler la méthode de calculs.

Tableau 1: Coût d'investissement

	Lampe SHP250	Technologie LED
Investissement		
Nombre de luminaires(A)	4250	4250
Cout luminaire + source (FCFA) (B)	148 174	1 009 921.189
Total (FCFA)	629 739 500	4 292 165 053

Investissement (I) est égal $(A \times B)_{LED}$ d'où $I = 1\,009\,921.189 \times 4250$

$$I = 4\,292\,165\,053 \text{ FCFA}$$

Donc le cout d'investissement initial est 4 292 165 053 FCFA

Coûts d'exploitation

Le cout d'exploitation est composé du cout de maintenance, du cout d'énergie. Les coûts de maintenance sont composés du coût de changement de lampes, du nettoyage des luminaires (vasques et réflecteurs) et des réparations éventuelle mais ces cette dernière ne sera pas prise en compte dans cette étude. Le coût de l'énergie sera calculé sur la base du prix du kWh pondéré. Le cout d'exploitation est pris sur une durée de 12 ans compte tenus de la durée de vie en année des lampadaires à LED.

Coût de maintenance: Cma

Il est composé des coûts partiels de : changement de lampes, nettoyage des luminaires et les nombres de changement des lampes sur 12 ans.

➤ **Lampes SHP250**

- Changement de lampes : 1000FCFA tous les deux (2) ans ;
- Nettoyage des luminaires : 1000 par an;
- Cout de lampes : 16 215FCFA tous les deux (2) ans ;
- Cout de luminaires : 131 959FCFA tous les vingt cinq ans (25 ans). (Source : Division EP de la SONABEL sis à Goughin).

Tableau 2 : Calcul du cout de maintenance lampe SHP250

Désignation	Prix unit(FCFA)/an	Nombre des lampes	Prix (FCFA)
Changement de lampes	500	4250	2 125 000
Nettoyage luminaires	1000		4 250 000
Cout lampes	8107,5		34 456 875
Cout luminaires	5 278.36		22 433 030
Total			63 264 905

➤ **Lampadaire à LED**

Pour ces lampadaires, il sera tenu compte du nettoyage des luminaires et de cout d'installation des lampes étant donné que le cout lampes correspond à la durée d'exploitation.

- Cout d'installation des LEDs : 1000FCFA pour douze (12) ans ;
- Nettoyage des luminaires : 1000FCFA tous les deux (2) ans.

Tableau 3 : Calcul du cout de maintenance LED

Désignation	Prix unitaire (FCFA)/an	Nombre des LEDs	Cout Total
Installation	83.33	4250	354 152.5
Nettoyage	500	4250	2 125 000
Total			2 479 152.5

Coût de l'énergie

Les consommations annuelles sont calculées en tenant compte de la modification du système de commande.

➤ Consommation annuelle des lampes SHP250

$$Ca_{SHP} = 5\,278\,500 \text{ kWh}$$

Le prix pondéré du kWh est $k = 122 \text{ F}$

Donc le coût de l'énergie est $C_{en1SHP} = 5\,278\,500 \times 122$

$$C_{en1SHP} = 643\,977\,000 \text{ FCFA}$$

Donc le cout d'exploitation est $CE_1 = C_{ma1} + C_{en1}$

$$CE_1 = 707\,241\,905 \text{ FCFA}$$

➤ Consommation annuelle des lampes LEDs

$$Ca_{LED} = 2\,820\,300 \text{ kWh}$$

Le cout de l'énergie est $C_{en2LED} = 2\,820\,300 \times 122 = 344\,076\,600 \text{ FCFA}$

Donc Le coût d'exploitation $CE_2 = C_{ma2} + C_{en2}$

$$CE_2 = 346\,555\,752,5 \text{ FCFA}$$

Tableau 4 : Coûts d'exploitation sur 12 ans

Type de lampe	SHP250	Technologie LED
Coûts annuel maintenance (FCFA)	63 264 905	2 479 152,5
Coûts annuel consommation d'énergie(FCFA)	643 977 000	344 076 600
Total(C)	707 241 905	346 555 752,5

Economie réalisée avec la technologie LED

Tableau 5 : Economie réalisée avec la technologie LED

Energie économisée à la fin de la durée de vie des lampes (KWH) (D)	29 498 400
Economie réalisée à la fin de la durée de vie des lampes (FCFA) (E)	4 328 233 830
Economie annuelle (FCFA)	360 686 152,5

Le calcul des énergies économisées et économie réalisée à travers cette étude est fait de la manière suivante :

Energie économisée à la fin de la durée de vie des lampes

$$D = (Ca_{SHP} - Ca_{LED}) \times 12$$

$$\text{D'où } D = 29\,498\,400 \text{ kWh}$$

Evaluation des économies des gaz à effet de serre (CO₂)

Nous considérons un ratio de **0,8 Kg de CO₂/kWh** d'énergie produite, l'émission de GES évitées par la mise en œuvre de ce projet est évaluée à **1 966 560 Kg** de CO₂ évités par an soit environ **1 966.56** tonnes de CO₂.

Economie réalisée à la fin de la durée de vie des lampes

$$E = (C_{\text{SHP}} - C_{\text{LED}}) \times 12$$

$$\text{D'où } E = 4\,328\,233\,830 \text{ FCFA}$$

Economie annuelle

Elle est calculée sur la base du prix pondéré du kWh, avec les économies d'énergie réalisées par rapport à la consommation actuelle ;

Economie annuelle réalisée est $\Delta C = C_{\text{SHP}} - C_{\text{LED}}$ d'où

$$\Delta C = 360\,686\,152.5 \text{ FCFA}$$

L'élément d'évaluation considéré est le Temps de Retour sur Investissement.

Le Temps de Retour sur Investissement (TRI)

La durée d'amortissement ou le temps de retour sur investissement est le délai nécessaire pour que le montant des gains financiers équilibre celui des investissements. C'est la durée requise pour récupérer l'argent investi dans le projet.

Tableau 6 : Temps de retour sur investissement

Investissement (FCFA) (F)	4 292 165 053
Economie annuelle(FCFA) (G)	360 686 152.5
Retour sur investissement (F/G)	11.90

Le délai de récupération est de 11.90 ans.

ANNEXE 2 : DESCRIPTION DE DIALUX

Qu'est ce que Dialux ?

Dialux est un logiciel puissant dédié à l'analyse, la simulation et la sélection de systèmes d'éclairage :

- Vous pouvez utiliser Dialux pour simuler des situations d'éclairage réelles et analyser les différentes installations jusqu'à ce que vous trouviez les solutions qui répondent le mieux à vos exigences techniques, financières et esthétiques.
- Dialux utilisent non seulement des luminaires repris de la banque de données Philips, mais peut aussi traiter des données photométriques enregistrées au format externe Phillum de Philips.
- Des menus simples, des boîtes de dialogue logiques ainsi qu'une approche progressive vous aident à trouver les solutions les plus efficaces et les plus économiques pour vos applications d'éclairage.

Que pouvez-vous faire avec Dialux Eclairage Public?

- Vous pouvez spécifier et calculer des projets standards d'éclairage public pour lesquels vous avez déterminé dans le logiciel les résultats requis (profils) pour votre installation. Les profils dépendent de la catégorie d'éclairage et des recommandations nationales.
- Dans les limites du profil, vous pouvez spécifier les exigences en matière d'éclairage et enregistrer celles-ci dans un fichier en vue de futurs projets d'éclairage public.
- Dans les limites du profil, vous pouvez déterminer la méthode de quadrillage du calcul (qui détermine la disposition des points de calcul sur la chaussée et ses abords), basée sur des normes ou réglementations locales (CIE, DIN, CEN, CoeSE, etc.)
- Vous pouvez calculer un éventail très large de données chiffrées qui couvrent pratiquement toutes les recommandations nationales et internationales existantes.
- Vous pouvez sélectionner des luminaires dans la banque de données Philips ou dans des fichiers spécialement formatés ;
- Vous pouvez effectuer des calculs d'éclairage pour des espaces qui ne sont pas directement liés à la chaussée principale.
- Vous pouvez spécifier, séparément du projet principal, des rangées de luminaires additionnelles, parallèles à la chaussée principale.
- Vous pouvez spécifier
- des facteurs de maintenance.
- Vous pouvez rapports dont les résultats s'affichent en formats textuels et graphiques.

Vous pouvez afficher un résumé des projets, un résumé détaillé, les formats choisis pour la présentation des calculs d'un projet spécifié et / ou les résultats de différents projets.

- Dialux accepte toutes les données chiffrées qui, selon les recommandations nationales ou internationales, sont généralement utilisées dans la spécification et le calcul d'un éclairage public. Vous pouvez redéfinir les paramètres d'éclairage requis et les zones de calcul correspondantes dans un profil d'exigences.

Ce profil vous permet également de définir les limites des données chiffrées.

- Le logiciel Dialux est livré avec plusieurs séries d'exigences de profil prédéfinies.

Dialux éclairage public est conçu pour des chaussées à deux ou quatre voies, le programme en génère automatiquement les contours ainsi que la méthode de calcul et les calculs établis dans le profil.

- Dans l'éditeur de projets, le programme calcule, compare et optimise les éléments dans différents projets.
- Pour définir la voie publique, vous spécifiez les paramètres suivants: type de chaussée

(à deux ou quatre voies)

- Terre-plein central
- Largeur de chaussée
- Nombre de voies
- Tableau des réflexions sur la surface routière
- Qo du tableau des réflexions sur la surface routière

Dialux Eclairage Public supporte les installations standards suivantes pour l'emplacement des luminaires

- unilatéral gauche
 - unilatéral droit
 - bilatéral vis à vis
 - en quinconce
 - central (rétro bilatéral)
 - central et sur accotements
 - sur caténaire
- Dialux Eclairage Public peut optimiser des projets individuels ou multiples.

Vous pouvez déterminer la meilleure série de paramètres d'installation, dans les limites des données chiffrées.

ANNEXE 3 : FICHES DIALUX DE LA SITUATION OPTIMALE DE L'AVENUE PASCAL ZAGRE

Avenue Pascal Zagré

DIALux

12.05.2011

Editeur (trice) HISSEIN Galmaye
Téléphone
Fax
Email hisseni_gal@yahoo.fr

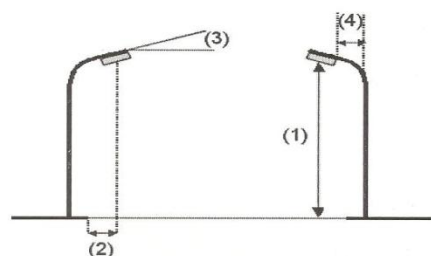
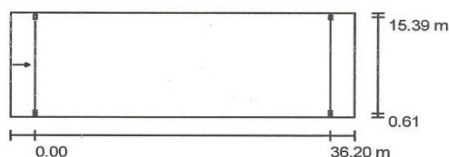
Rue 2 / Données de planification

Profil de la rue

Chaussée 1 (Largeur: 16.000 m, Nombre de voies: 1, Revêtement: R3, q0: 0.070)

Facteur de maintenance: 0.80

Disposition des luminaires



Luminaire:	Philips BVP506 GC 1xEco130-1S/756 DM	Valeurs maximales de l'intensité lumineuse
Flux lumineux de(s) lampe(s):	13028 lm	pour 70°: 543 cd/klm
Puissance par luminaire:	158.0 W	pour 80°: 309 cd/klm
Disposition:	des deux côtés, face à face	pour 90°: 11 cd/klm
Espacement poteau:	36.200 m	Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué.
Hauteur de montage (1):	8.000 m	La disposition répond à la classe d'indice d'éblouissement D.6.
Hauteur du point d'éclairage:	8.170 m	
Saillie (2):	0.654 m	
Inclinaison du bras (3):	15.0 °	
Longueur du bras (4):	1.000 m	

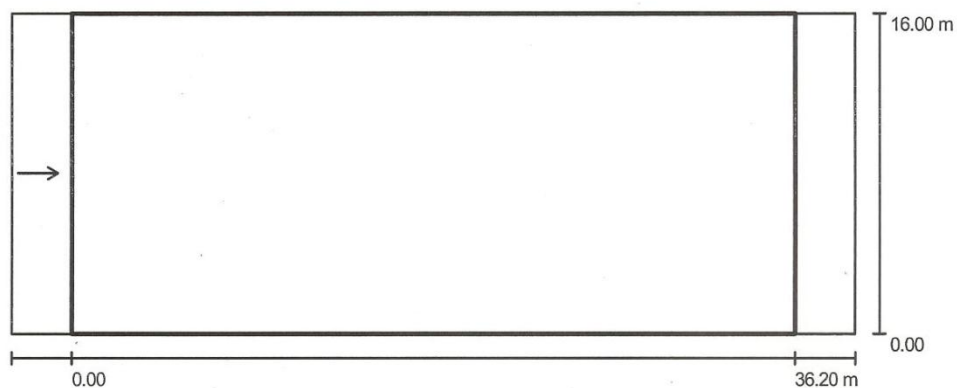
Avenue Pascal Zagré

DIALux

12.05.2011

Editeur (trice) HISSEIN Galmaye
Téléphone
Fax
Email hisseni_gal@yahoo.fr

Rue 2 / Champ d'évaluation Chaussée 1 / Aperçu des résultats



Facteur de maintenance: 0.80

Echelle 1:302

Trame: 13 x 3 Points

Eléments de rue correspondants: Chaussée 1.

Revêtement: R3, q0: 0.070

Classe d'éclairage choisie: ME5

(Toutes les exigences photométriques ne sont pas remplies.)

	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valeur effective selon calcul:	1.8	0.69	0.8	13	0.3
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 0.5	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15	≥ 0.5
Rempli/Non rempli:	✓	✓	✓	✓	✗

Observateurs correspondants (1 qté.):

N°	Observateur	Position [m]	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
1	Observateur 1	(-60.000, 8.000, 1.500)	1.8	0.69	0.8	13

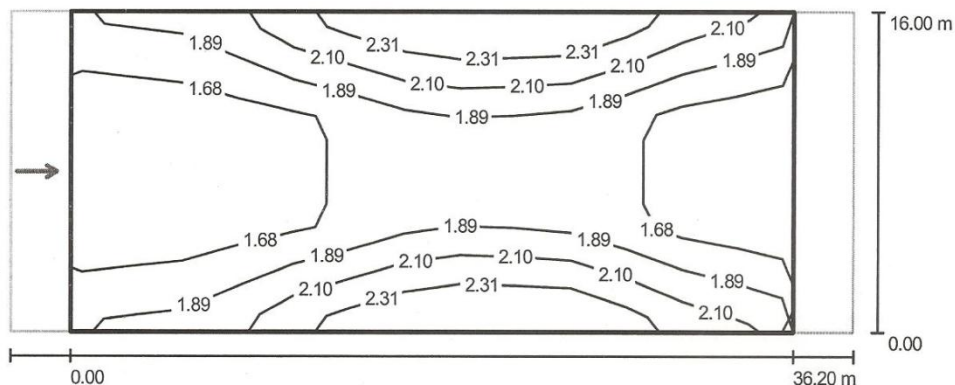
Avenue Pascal Zagré

DIALux

12.05.2011

Editeur (trice) HISSEIN Galmaye
Téléphone
Fax
Email hisseni_gal@yahoo.fr

Rue 2 / Champ d'évaluation Chaussée 1 / Observateur 1 / Courbes isolux (L)



Valeurs en Candela/m², Echelle 1 : 302

Trame: 13 x 3 Points
Position de l'observateur: (-60.000 m, 8.000 m, 1.500 m)
Revêtement: R3, q0: 0.070

	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valeur effective selon calcul:	1.8	0.69	0.8	13
Valeurs de consigne selon la classe ME5:	≥ 0.5	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15
Rempli/Non rempli:	✓	✓	✓	✓

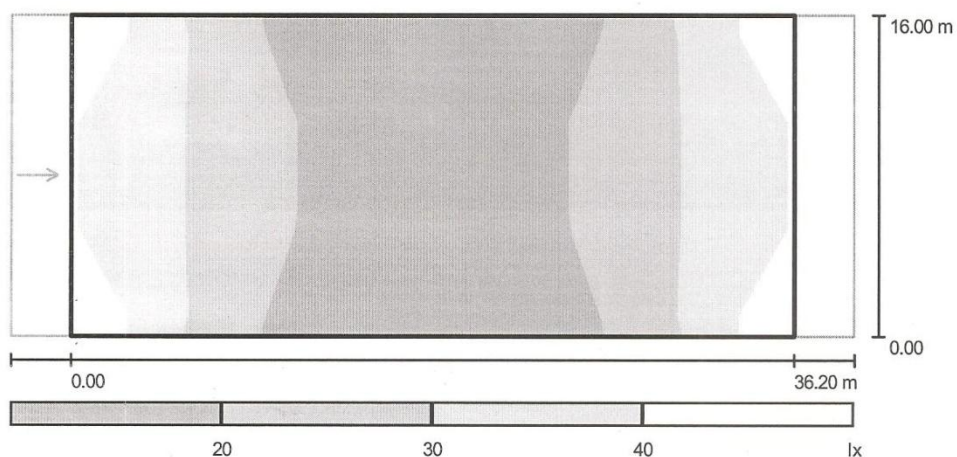
Avenue Pascal Zagré

DIALux

12.05.2011

Editeur (trice) HISSEIN Galmaye
Téléphone
Fax
Email hisseni_gal@yahoo.fr

Rue 2 / Champ d'évaluation Chaussée 1 / Valeurs grises (E)



Echelle 1 : 302

Trame: 13 x 3 Points

E_{moy} [lx]
25

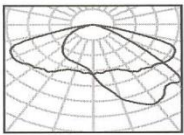
E_{min} [lx]
13

E_{max} [lx]
42

$E_{\text{min}} / E_{\text{moy}}$
0.530

$E_{\text{min}} / E_{\text{max}}$
0.316

ANNEXE 4 : FICHES DIALUX DE LA SITUATION ACTUELLE DE L'AVENUE PASCAL ZAGRE

Projet 1		DIALux 22.05.2011	
		Editeur (trice) Téléphone Fax Email	
Projet 1 / Liste des luminaires			
10 qté.	Idman 611HGV FG 1xSON-T250W TP P15X Article n°: Flux lumineux de(s) lampe(s): 28000 lm Puissance par luminaire: 276.0 W Classification des luminaires par UTE: 0.84E CIE Flux Code: 38 77 98 100 83 Composants: 1 x SON-T250W (Facteur de correction 1.000).		
DIALux 4.9 by DIAL GmbH		Page 3	

Projet 1

DIALux

22.05.2011

Editeur (trice)
Téléphone
Fax
Email

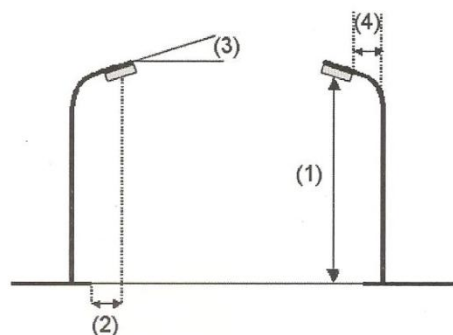
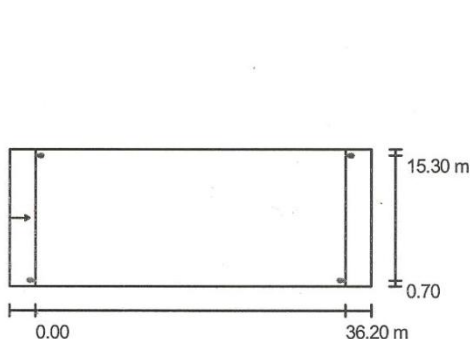
Rue 1 / Données de planification

Profil de la rue

Chaussée 1 (Largeur: 16.000 m, Nombre de voies: 1, Revêtement: R2, q0: 0.070)

Facteur de maintenance: 0.80

Disposition des luminaires



Luminaire:	Idman 611HGV FG 1xSON-T250W TP P15X	Valeurs maximales de l'intensité lumineuse
Flux lumineux de(s) lampe(s):	28000 lm	pour 70°: 451 cd/klm
Puissance par luminaire:	276.0 W	pour 80°: 208 cd/klm
Disposition:	des deux côtés, face à face	pour 90°: 37 cd/klm
Espacement poteau:	36.200 m	Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué.
Hauteur de montage (1):	8.000 m	La disposition répond à la classe d'indice d'éblouissement D.6.
Hauteur du point d'éclairage:	7.942 m	
Saillie (2):	0.716 m	
Inclinaison du bras (3):	15.0 °	
Longueur du bras (4):	1.000 m	

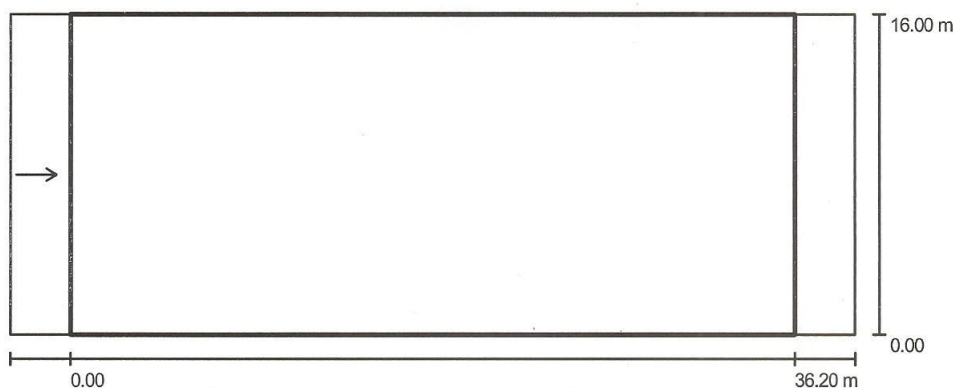
Projet 1

DIALux

22.05.2011

Editeur (trice)
Téléphone
Fax
Email

Rue 1 / Champ d'évaluation Chaussée 1 / Aperçu des résultats



Facteur de maintenance: 0.80

Echelle 1:302

Trame: 13 x 3 Points

Eléments de rue correspondants: Chaussée 1.

Revêtement: R2, q0: 0.070

Classe d'éclairage choisie: ME5

(Toutes les exigences photométriques sont remplies.)

	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valeur effective selon calcul:	2.8	0.71	0.8	14	0.5
Valeurs de consigne selon la classe:	≥ 0.5	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15	≥ 0.5
Rempli/Non rempli:	✓	✓	✓	✓	✓

Observateurs correspondants (1 qté.):

N°	Observateur	Position [m]	L_{moy} [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
1	Observateur 1	(-60.000, 8.000, 1.500)	2.8	0.71	0.8	14

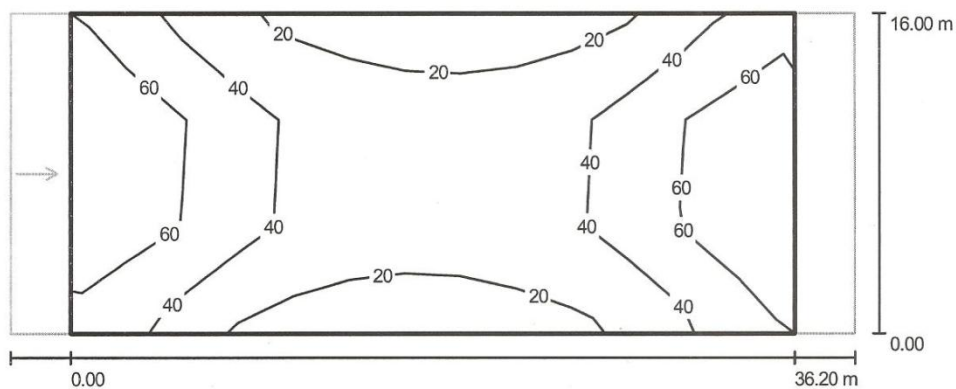
Projet 1

DIALux

22.05.2011

Editeur (trice)
Téléphone
Fax
Email

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



Valeurs en Lux, Echelle 1 : 302

Trame: 13 x 3 Points

E_{moy} [lx]
43

E_{min} [lx]
19

E_{max} [lx]
80

E_{min} / E_{moy}
0.429

E_{min} / E_{max}
0.232

ANNEXE 5 : CLASSIFICATIONS DES VOIES

Composition du trafic	Volume et vitesse du trafic (1) véhicules	Caractéristiques des voies	Exemples	Classe	Principes d'éclairage
Automobile seule	Circulation importante et rapide	Voies à chaussées séparées, sans croisement à niveau et à accès entièrement contrôlé	Autoroutes Routes express	A	Routier
		Autres voies réservées à la circulation automobile	Routes Voies de contournement radiales, etc ...	B	
	Circulation importante mais à vitesse moyenne $60 < V \leq 90$ km/h	Voies importantes réservées à la circulation automobile		C	
Tout véhicule et piéton	Tout véhicule vitesse modérée $V \leq 60$ km/h	Voies urbaines à circulation automobile prépondérante et importante	Routes traversant une agglomération	C	Juxtaposition des deux principes d'éclairage
	Circulation importante avec forte proportion de piétons ou de véhicules lents	Voies urbaines à trafic mixte et à circulation automobile importante (≥ 300 véhi./d)	Grands boulevards Avenues Rues importantes	D	
	Vitesse et volume limités	Voies urbaines à trafic mixte et à circulation automobile faible (< 300 véhi./d)	Petites rues Places Ruelles	E	Urbain
	Vitesse et volume très limités	Voies de dessertes locales	Voies de lotissement Rues piétonnes	Non classées	

ANNEXE 6: VALEURS RECOMMANDEES DES NIVEAUX DE LUMINANCE

			Facteur d'uniformité de luminance		Limitation de l'éblouissement
Classe de voie	Nature des abords	Luminance moy.de la chaussée en service L_{moy}	Uniformité générale U_0	Uniformité longitudinale U_l	Indice de confort
A	Quels qu'ils soient	2 cd.m^{-2}	0,4	0,7	6
B	Clairs sombres	2 cd.m^{-2} $1 \text{ à } 2 \text{ cd.m}^{-2}$	0,4	0,7	5,6
C	Clairs sombres	2 cd.m^{-2} $1 \text{ à } 2 \text{ cd.m}^{-2}$	0,4	0,7	5,6
D	clairs	2 cd.m^{-2}	0,4	0,7	4
E	Clairs sombres	1 cd.m^{-2} $0,5 \text{ cdm}^{-2}$	0,4	0,7	4,5

ANNEXE 7 : GLOSSAIRE

Eblouissement qui provoque une sensation d'inconfort sans nécessairement troubler la vision des objets.

Il est caractérisé par l'indice de confort G exprimée par une échelle numérique de l'appréciation subjective expérimentale du degré d'inconfort. Les valeurs de G sont associées à chaque appréciation de la manière suivante:

G=1 Eblouissement intolérable

G=3 Eblouissement gênant

G=5 Eblouissement juste admissible

G=7 Limitation satisfaisante de l'éblouissement

G=9 Eblouissement imperceptible

Eblouissement perturbateur TI :

Eblouissement qui trouble la vision sans causer nécessairement une sensation d'inconfort.

Eclairement moyen (Emoy) :

Reçu par une surface. Moyenne des éclairements ponctuels reçus par la surface spécifiée

Facteur de maintenance:

Rapport entre l'éclairage moyen sur le plan utile après une certaine durée d'utilisation d'une installation d'éclairage et l'éclairage moyen obtenu dans les mêmes conditions pour une installation neuve.

Flux lumineux:

Grandeur dérivée du flux énergétique par l'évaluation du rayonnement d'après son action sur un récepteur dont la sensibilité spectrale est définie par les efficacités lumineuses relatives spectrales normalisées.

Unité: lumen,

Efficacités lumineuse

C'est le rapport du flux lumineux total émis par une source à la puissance électrique consommée, elle s'exprime lumen par watt. Pour une lampe à décharge associée, il faut distinguer l'efficacité lumineuse globale de la lampe avec ses accessoires de l'efficacité lumineuse de la lampe considérée isolément.

Eclairement

L'éclairement moyen est le rapport du flux lumineux sur la surface qui reçoit ce flux (densité de flux lumineux moyen). Unité le lux. En notant F_s ce flux lumineux et S la surface qui le reçoit, on a F_s/S qui est l'éclairement moyen et la limite de cette expression quand S tend vers 0, on a un point M . Donc en un point M de la surface, on a un éclairement ponctuel qui est lié à l'intensité qui l'atteint. Le rapport de l'éclairement du point le moins éclairé de la surface et de l'éclairement moyen se nomme facteur d'uniformité d'éclairement. Ce facteur est très important. Tout au long de ce projet, nous noterons E_{moy} comme éclairement moyen.

Luminance

Pour des surfaces éclairantes: c'est le rapport entre l'intensité lumineuse moyenne dans une certaine direction et l'aire de surface apparente dans cette direction. L'unité est le candela/m². Pour des surfaces éclairées parfaitement diffusantes $L = eE/\pi$ ($\pi = 3.14$) où e est le facteur de réflexion de la surface

Flux énergétique

Le rayonnement d'une source lumineuse se définit comme une émission d'énergie comportant plusieurs radiations élémentaires : Le rayon est donc à la fois source d'énergie et source de lumière (dans le domaine du spectre visible).

La quantité d'énergie rayonnée par seconde dans toutes les directions s'appelle le flux énergétique. Cette grandeur concerne l'ensemble du spectre d'émission et n'est pas limitée à l'intervalle correspondant au domaine visible.

Intensité lumineuse

C'est une grandeur destinée à caractériser l'émission de lumière dans une direction donnée.

Un faisceau lumineux issu d'une source ponctuelle A émet un flux lumineux Φ contenu dans un cône de sommet A ayant pour base la surface éclairée S . Ce cône est défini par un angle solide Ω de rayon moyen AA' (Ω est exprimé en stéradian). Par définition l'intensité lumineuse I de la source dans la direction AA' est le rapport: $I = \Phi / \Omega$.

L'unité de l'intensité lumineuse est la candela (cd)

Facteur d'uniformité d'éclairement

Ce le rapport de l'éclairement minimal d'une surface à son éclairement moyen :

$$J = E_{\min} / E_{\text{moy}}$$

Facteur d'uniformité de luminance

En éclairage public, on utilise pour les chaussées :

-le facteur d'uniformité générale de luminance U_0 , égal au rapport de la luminance minimale L_{min} (plus faible luminance ponctuel existante) à la luminance moyenne L_{moy} (luminance moyenne de la surface considérée) : $U_0 = L_{min}/L_{moy}$

- le facteur d'uniformité longitudinale U_l , sur des parallèles à l'axe de la chaussée, égal au plus petit rapport entre la valeur minimale et la valeur maximale de la luminance le long de chacune de ces droites
 $U_l = (L_{min}/L_{max})_{minimal}$

