



ÉTUDE COMPARATIVE DE DEUX TECHNOLOGIES DE
LUMINAIRE D'ÉCLAIRAGE PUBLIC POUR LA STATION DE
TRAITEMENT D'EAU DU PROJET ZIGA II

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE
SPÉCIALISTE : RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 08/07/2019 par

Sougrinoma Wilfried Serge Arnaud NIKIEMA (2013 0650)

Encadrant 2iE : M Francis SEMPORE

Maître de stage : Mme Claude FISCHER-HERZOG, Directrice d'ASCPE

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Sani Mahaman KADRI MOUSSA

Membres et correcteurs : M. Ahmed ZONGO
M. J. Francis SEMPORE
M. Sani Mahaman KADRI MOUSSA

Promotion M2 - 2017/2018

DÉDICACES

À ma famille et à mes professeurs,

Qui n'ont jamais cessé de nous soutenir durant ces
5 longues années.

CITATION

Les études doivent être pour les êtres humains, un moyen de devenir meilleur.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont tout particulièrement aux personnes physiques et morales qui nous ont accompagnés et surtout qui nous ont permis d'obtenir ce magnifique stage de fin d'études.

- ✚ ASCPE les Entretiens Européens et Eurafricains pour l'accueil, la disponibilité, l'esprit d'équipe et de famille dont j'ai pu bénéficier dans cette structure.
- ✚ Mme Claude FISCHER-HERZOG, Directrice des Entretiens Européens et Eurafricains pour l'assistance tout au long du stage et surtout pour toutes ses expériences partagées.
- ✚ Mr Francis SEMPORE, Enseignant à 2iE et encadreur, pour l'encadrement lors de notre stage.
- ✚ Dr Moussa SORO, Enseignant à 2iE pour tous les conseils concernant nos futures orientations professionnelles.
- ✚ M Olivier BOUSIGE, Chef de projet – pôle international – du groupe Eiffage, pour nous avoir fournis les données nécessaires à la réalisation de notre étude.
- ✚ M Jacques de MEREUIL, Directeur exécutif de la World Federation of Engineering Organizations, pour nous avoir reçus et partagé son projet.
- ✚ M Ousmane SALL, Directeur Projets Responsable Afrique Chez EDF International Network, pour nous avoir reçus et partagé son expérience sur les différentes sources d'énergie en Afrique.
- ✚ M Yvan FISCHER, intermittent chez ASCPE pour avoir partagé son expérience sur les différents types de lampes.

RÉSUMÉ

Dans le but de pourvoir à un système d'éclairage public à la station de traitement d'eau de Ziga II, une étude nous a été confiée par le groupe Eiffage qui travaille avec ASCPE dans le cadre des relations entre l'Afrique et l'Europe. Cette étude nous conduit à faire le choix d'un système d'éclairage public connecté au réseau avec la technologie LED au détriment de la technologie SHP qui est la technologie la plus répandue au Burkina Faso. L'étude s'est faite de façon méthodique et il en ressort que pour assurer des conditions d'éclairages satisfaisantes il nous faut un espacement de 32 mètres entre chaque mât ainsi qu'une section de câble de 25 mm² pour les lampes SHP et 10 mm² pour les lampes LED afin de canaliser le courant d'alimentation et les courants de défaut. Afin d'assurer un éclairage de qualité, l'étude photométrique quant à elle nous révèle que pour ce projet, les deux technologies respectent la norme même si le luminaire SHP présente un avantage certain. Le choix déterminant de la technologie LED fut l'étude technico économique qui vient nous souligner que son utilisation offre en plus d'une économie de 1 500 000 FCFA sur la facture d'électricité de la centrale chaque année, un coût d'installation beaucoup plus faible par rapport aux lampes SHP.

Mots Clés :

- 1 - Éclairage public**
- 2 - Luminaire LED**
- 3 - Luminaire SHP**
- 4 - ¹STE**
- 5 - ZIGA**

¹ Station de traitement d'eau

ABSTRACT

In order to provide a public lighting system for the Ziga II water treatment plant, a study has been commissioned by the Eiffage Group, which works with ASCPE in the framework of relations between Africa and Europe. This study leads us to choose a public lighting system connected to the network with LED technology at the expense of SHP technology which is the most widely used technology in Burkina Faso. The study was methodical and it appears that to ensure satisfactory lighting conditions we need a spacing of 32 meters between each mast and a cable section of 25 mm² for SHP lamps and 10 mm² for LED lamps to channel supply current and fault currents. To ensure quality lighting, the photometric study reveals that for this project, both technologies meet the standard even if the SHP luminary has a definite advantage. The decisive choice of LED technology was the technical and economic study which emphasises that its use offers in addition to a saving of 1,500,000 FCFA on the power bill of the plant each year, a cost much lower installation compared to SHP lamps.

Key words :

- 1 - ²LED luminary**
- 2 - Public lighting**
- 3 - ³SHP luminary**
- 4 - ⁴WTP**
- 5 - ZIGA**

² Diode électroluminescente

³ Sodium Haute Pression

⁴ Water Treatment Plant

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CEDEAO	Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest
LED	Diodes électroluminescentes
EDF	Électricité de France
ERDF	Électricité Réseau Distribution France
FNTF	Fédération Nationale des Travaux Publics
FCFA	Franc CFA
GW	Giga Watt
km	Kilomètre
m	Mètre
NF C	Normes d'électricité
ONEA	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
SHP	Sodium Haute Pression
STE	Station de Traitement d'Eau
UEMOA	Union Économique et Monétaire Ouest Africaine
UTE	Union technique de l'électricité
W	Watt
WAPP	West African Power Pool

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	iv
Abstract	v
Liste des abréviations.....	vi
Table des matières	1
Liste des tableaux	2
Liste des figures	3
Introduction	4
Chapitre I : Présentation de la structure d'accueil et du projet.....	5
I. Présentation de la structure d'accueil.....	6
II. Présentation de la zone d'étude.....	6
III. Contexte du sujet.....	7
IV. Objectif de l'étude.....	8
Chapitre II : Étude technique pour la mise en œuvre d'un système d'éclairage public de la station de traitement d'eau du projet ZIGA II.....	9
I. Généralités	10
II. Méthodologie de l'étude	12
1. Critère de choix des équipements	12
2. Étude photométrique	14
3. Etude énergétique.....	17
III. Résultats de l'étude.....	21
1. Etude photométrique	21
2. Étude énergétique.....	33
3. Recommandations.....	38
CONCLUSION.....	40
BIBLIOGRAPHIE	41
WEBOGRAPHIE	41
ANNEXES	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Méthodologie de calcul des sections de câble.....	19
Tableau 2 : Caractéristiques des différents luminaires.....	21
Tableau 3 : Paramètres spécifiques des groupes de situation d'éclairage.....	22
Tableau 4 : Correspondance des situations et classes d'éclairages [3].....	24
Tableau 5 : Paramètres spécifiques des groupes de situation d'éclairage.....	25
Tableau 6 : Performances photométriques à atteindre pour les classes ME	26
Tableau 7 : Facteur de maintenance pour le luminaire Malaga 276W SHP	27
Tableau 8 : Facteur de maintenance pour le luminaire Iridium Gen3 LED	28
Tableau 9 : Classification des revêtements standards définie par la CIE.....	28
Tableau 10: Résultats photométriques avec le luminaire Malaga 276W	31
Tableau 11 : Résultats photométriques avec le luminaire Iridium Gen3 LED	32
Tableau 12 : Économie d'énergie réalisée par an par la LED sur la SHP.....	33
Tableau 13 : Valeurs d'entrées pour le logiciel XLpro.....	36
Tableau 14 : Section de câble et protections	37
Tableau 15 : Devis quantitatif des protections et des câbles.....	37
Tableau 16 : Devis quantitatif et estimatif du Projet.....	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue satellitaire de la station de traitement d'eau de Ziga	7
Figure 2 : Luminaire Malaga SGS104 1xSON	13
Figure 3 : Luminaire Iridium gen3 LED Medium.....	14
Figure 4 : Mode d'emploi du logiciel DIALux evo	16
Figure 5 : Mode d'emploi du logiciel XLpro.....	20
Figure 6 : Revêtement de la chaussée de l'extension de la STÉ de Ziga.....	29
Figure 7 : Mode d'implantation utilisé dans notre projet	29
Figure 8 : Vue de haut de la chaussée de l'extension de la STÉ de Ziga	30
Figure 9 : Chaussée avec trottoir 1 et 2	31

INTRODUCTION

Le Burkina Faso fait face à l'un des défis qui concerne toute l'Afrique sub-saharienne qui est l'explosion démographique. Cette situation s'accompagne d'une urbanisation de plus en plus galopante. C'est ainsi que la plupart des villes au Burkina Faso connaissent des problèmes liés à cette urbanisation et parmi eux les problèmes d'approvisionnement en eau potable. En effet Ouagadougou la capitale du Burkina Faso n'est plus à même d'assurer l'approvisionnement en eau de ses habitants. Cela n'est pas dû à un manque de la ressource, mais plutôt à des capacités de traitement d'eau qui sont insuffisantes comparées à la demande. C'est dans cette optique que le gouvernement a décidé d'étendre l'une des principales stations de traitement d'eau de la ville qui est Ziga située à 50 km au Nord-Est de Ouagadougou.

Nous avons donc été sollicités en vue réaliser une étude technique concernant l'éclairage des voies d'accès de l'extension de la station de traitement de Ziga dit Ziga II. C'est dans ce sens que nous avons eu l'occasion pendant notre stage de rencontrer le chef de projet du groupe d'Eiffage, qui avait répondu à un appel d'offres de l'ONEA. Suite au rejet de la proposition d'Eiffage, nous avons proposé un éclairage qui selon nous correspondrait le mieux à l'attente de l'entreprise (ONEA).

Le document ci-présent est le résultat d'un travail que nous avons effectué au sein d'ASCPE Les Entretiens Européens et Eurafricains de la période allant du 7 septembre 2018 au 7 mars 2019. Le stage s'est déroulé au sein même des locaux d'ASCPE à Paris dans le 14^{me} arrondissement.

Chapitre I : Présentation de la structure d'accueil et du projet

Présentation de la structure d'accueil et du projet

I. Présentation de la structure d'accueil

ASCPE a pour vocation de rapprocher les acteurs de la société civile sur les enjeux de la construction européenne, notamment sur l'énergie, socle vital pour le développement de nos sociétés et sur les relations entre l'Europe et l'Afrique. Société d'études et de formation créée par Claude Fischer-Herzog en 2003, ASCPE met en débat les questions de société en rassemblant les différents acteurs économiques (entreprises européennes et africaines) et sociaux au sein de réunions et de conférences.

La méthode d'ASCPE est de travailler les sujets en amont du débat public avec ses partenaires (entreprises, associations, collectivités territoriales, universités ou institutions nationales et communautaires...). Des problématiques sont proposées sur les choix stratégiques et politiques de l'Europe, et en particulier son ambition de bâtir une Union de l'énergie, et sur ses relations extérieures, notamment avec la Russie et la Turquie, et avec l'Afrique de l'Ouest.

II. Présentation de la zone d'étude

L'éclairage public est un facteur essentiel à la circulation nocturne, car il assure aussi bien la sécurité que le confort des usagers. En effet, pour les conducteurs, il s'agira d'assurer la visibilité de la route et de ses abords, ainsi que d'éventuels obstacles. Pour les piétons, cyclistes et autres usagers des abords de la route, il s'agira principalement de limiter au maximum les zones d'ombre, de distinguer les trottoirs ainsi que les véhicules, et les différents obstacles. Comme on peut le constater sur la figure ci-dessous, notre projet se trouve à Ziga un village situé au nord-Est de la ville de Ouagadougou. On peut y apercevoir l'extension de la centrale en construction ainsi que les voies d'accès à celle-ci.



- Extension de station de traitement d'eau de ZIGA
- Voies d'accès à la station de traitement

Figure 1 : Vue satellitaire de la station de traitement d'eau de Ziga

III. Contexte du sujet

Notre sujet d'étude « Étude comparative de deux technologies de luminaire d'Éclairage public pour la station de traitement d'eau du projet ZIGA II » porte sur l'éclairage public et plus précisément l'éclairage des voies d'accès de la station de traitement d'eau (STE) de ZIGA II au Burkina Faso. En effet, suite à la volonté d'étendre la STE de Ziga en vue de répondre aux besoins en eau de la ville de Ouagadougou, un appel d'offres a été lancé. Plusieurs offres ont été faites dont celle d'Eiffage que nous avons pu rencontrer à Paris pendant notre stage en la personne de son Chef de projet – pôle international, ex-professeur à 2iE et membre d'ASCPE. La proposition d'Eiffage n'a pas été retenue ; le groupe proposait une installation autonome c'est-à-dire, une installation alimentée par panneaux solaires et batteries. C'est dans cette optique que le groupe

Eiffage nous propose de concevoir un système alternatif au leur et répondant au critère qualité prix.

IV. Objectif de l'étude

Pour de mener à bien notre étude, l'objectif principal consistera donc à proposer un système d'éclairage public connecté au réseau afin de comparer les coûts de cette installation avec celle proposée par Eiffage.

L'objectif spécifique est de proposer un système répondant aux normes en vigueur sur les caractéristiques photométriques ainsi qu'énergétiques. Pour se faire, nous commencerons par comparer deux technologies de lampes que sont les lampes SHP et LED qui seront connectés au réseau. La technologie la plus économique sera ensuite comparée au devis financier qu'a proposé Eiffage afin de tirer une conclusion.

Chapitre II : Étude comparative de deux technologies de luminaire d'Éclairage public pour la station de traitement d'eau du projet ZIGA II

Étude comparative de deux technologies de luminaire d'Éclairage public pour la station de traitement d'eau du projet ZIGA II

I. Généralités

1. Diagnostic de la situation réelle

Au Burkina Faso, les zones urbaines constituent les régions où la concentration d'habitants est la plus élevée. Ouagadougou la capitale a par exemple une densité de 903 hab./km² et cette concentration a poussé les pouvoirs publics à y mettre l'accent sur les infrastructures. C'est dans cette optique que la grande majorité des routes éclairées et d'éclairage public se trouvent en zone urbaine. Les zones rurales quant à elles concentrent plus de 70% de la population au Burkina Faso. Mais ces chiffres cachent de fortes disparités. En effet, le taux d'habitation en zone rurale est 74,80 habitants / km² et pour un pays en voie de développement, la priorité des autorités n'a pas été d'éclairer ces zones qui sont « sans retombées économiques ».

Cependant, l'éclairage public a une grande incidence sur la vie des populations. Son installation aux abords de certaines routes reste une solution face aux problèmes d'insécurité qui règne dans certaines zones du pays. Le secteur informel dont dépendent plusieurs millions de Burkinabè à besoins de l'éclairage public, car le constat est fait que dès la tombée de la nuit plusieurs activités s'estompent en même temps. Il joue un rôle dans l'éducation, car il devient une zone de repères pour les écoliers ne disposant pas d'électricité chez eux et qui souhaitent étudier, d'y trouver refuge.

2. Les acteurs de l'éclairage public

La SONABEL est la société nationale d'électricité du Burkina Faso. Elle assure la production, le transport, et la distribution d'électricité. Cet acteur est très important, car il est obligatoirement celui avec lequel on doit composer pour une alimentation avec le réseau du système d'éclairage public.

Les Entreprises de pose et d'installation de lignes électriques sont de plus en plus nombreuses au Burkina Faso et sont des acteurs de plus en plus influents. En effet, pour la pose de candélabres, une section maçonnerie est à prendre en compte et les entreprises locales peuvent très bien jouer ce rôle.

3. Les sources d'alimentation

L'alimentation des luminaires reste assez délicate vu le choix restreint des sources disponibles. Parmi ces derniers réside l'alimentation par panneaux photovoltaïques. Cette solution semble être à l'ordre du jour vu le contexte de réchauffement climatique et des accords que les pays du Sud ont signés à la convention de la COP 21. Mais dans un pays où la plupart des habitants n'ont pas accès à l'électricité, les luminaires équipés de panneaux photovoltaïques sont très souvent sujets au vol. En plus, la maintenance de ces panneaux reste assez titanesque puisque chacun d'entre eux nécessite un nettoyage régulier, voire même hebdomadaire, pendant certaines saisons où la poussière est légion au Burkina Faso. Cependant, ce mode d'alimentation peut être un atout dans des domaines privés comme des parkings privés ou des terrains de sport privés qui eux sont protégés du grand public contribuant surtout à alléger le coût de l'électricité et par ricochet à décharger le réseau électrique national qui peut être utilisé à d'autres fins.

Le réseau national interconnecté du Burkina Faso quant à lui est très peu maillé. Les centres de production principaux sont localisés dans les grandes villes. Le réseau transporte donc l'énergie de ces centres vers les zones de consommation que sont les villes de production et d'autres villes du pays. À cet effet, l'alimentation de l'éclairage public en zones urbaines peut très bien s'effectuer en utilisant comme source le réseau électrique. Cependant, plusieurs applications doivent être effectuées afin de limiter au maximum le gaspillage d'énergie.

II. Méthodologie de l'étude

1. Critère de choix des équipements

a. Qualité du luminaire

Les trois principaux paramètres qui doivent être pris en compte pour avoir un luminaire de bonne qualité sont l'étanchéité, la solidité et la protection électrique.

- L'étanchéité

L'étanchéité du luminaire se traduit par l'indice de protection IP. Pour garantir une étanchéité suffisante, il est préconisé de choisir des luminaires dont l'indice de protection est supérieur ou égal à 55. C'est-à-dire que le luminaire doit être au minimum protégé contre les poussières nuisibles et contre les jets d'eau (IP55).

- La solidité

La solidité du luminaire est établie lorsque ce dernier résiste au minimum à un choc transmis avec une énergie d'au moins un Joule. Ainsi, l'indice IK traduisant cet état de fait doit être d'au moins 6 : $IK \geq 06$.

- La sécurité électrique

La sécurité électrique du luminaire se traduit par la protection contre les chocs électriques. À cet effet, dans le souci d'assurer une bonne protection des équipements, l'installation de luminaire de classe 2 est recommandée.

b. Performance du luminaire

Un second critère à prendre en compte est la performance du luminaire traduite par son efficacité lumineuse.

- L'efficacité lumineuse

Cette entité traduit la quantité de lumière émise par Watt électrique consommé. Une bonne efficacité lumineuse permettra ainsi d'obtenir un éclairage donné avec une faible consommation de puissance électrique. De manière plus précise, le choix du luminaire se fait en fonction de son efficacité lumineuse globale prenant en compte l'efficacité lumineuse de la lampe et celle de

l'auxiliaire d'alimentation. Pour un bon luminaire, l'efficacité lumineuse doit être supérieure à 70 lumens par Watt.

c. Caractéristiques des équipements étudiés

La proposition financière d'Eiffage faisait état d'une lampe ⁵Fonroche et de Sunna-Design. Mais nous proposerons de comparer l'utilisation des lampes LED aux lampes SHP connectées au réseau, nous utiliserons à titre d'exemple, le Malaga SGS104 1xSON (SHP) et l'Iridium gen3 LED Medium qui selon nous correspondrait plus à la situation.

d. Présentation des luminaires étudiés

- Le luminaire Malaga SGS104 1xSON

Malaga SGS104 est un luminaire d'éclairage routier polyvalent. Il offre un style moderne et un éclairage de qualité pour une conduite sûre et confortable, ainsi que pour l'éclairage de la zone, tout en réduisant les coûts d'investissement et d'entretien. Un réflecteur spécial en une pièce contribue à améliorer les performances lumineuses.



Figure 2 : Luminaire Malaga SGS104 1xSON

Le système optique a été conçu pour offrir un bon contrôle du faisceau et un bon rendement lumineux. (Voir en Annexe 5 la fiche technique).

⁵ Constructeurs de luminaires d'extérieurs

- Le luminaire Iridium gen3 LED Medium

Le luminaire d'éclairage routier connecté Iridium 3 est intelligent et prêt à l'emploi. Le système Iridium 3 est le premier luminaire véritablement intelligent conçu pour une connectivité continue. Simplicité de la mise en service : il suffit d'installer le luminaire et de le contrôler à distance grâce au logiciel de gestion CityTouch. La gestion de l'éclairage à distance devient très simple. Le nouveau concept « prêt à l'emploi » a été conçu pour garantir une installation simple et sûre en seulement trois étapes : 1. Installer l'embout de fixation 2.



Figure 3 : Luminaire Iridium gen3 LED Medium

Raccorder de la tension d'alimentation 3. Incliner et fermer le luminaire. L'efficacité élevée du luminaire au niveau du système garantit d'importantes économies d'énergie par rapport aux installations conventionnelles existantes, ce qui permet un amortissement rapide. Avec son grand choix de flux lumineux, d'optiques et de températures de couleur, Iridium 3 s'adapte à la plupart des applications en éclairage public fonctionnel. Le design néo-classique du luminaire lui confère un style général cohérent pour l'environnement. (Voir en Annexe 6 la fiche technique).

2. Étude photométrique

Comme nous l'avons noté un peu plus haut, l'éclairage public fait ressortir plusieurs avantages pour les usagers de la route, toutefois, il ne se fait pas de manière aléatoire. Il doit remplir des conditions qui assureront une visibilité acceptable et un confort visuel des usagers. C'est à cet

effet qu'il est nécessaire de réaliser une étude photométrique pour assurer une visibilité convenable et un confort visuel aux usagers, définis par des normes. Il s'agira ainsi de vérifier que les paramètres photométriques induits par le projet concordent avec les paramètres normalisés.

a. Méthode d'étude photométrique

Les conditions photométriques à respecter en éclairage public sont conditionnées par la norme relative à l'éclairage public. Cette norme permet en fonction de différents facteurs liés au type de voie à éclairer, au dispositif d'éclairage et aux dispositions spatiales d'assurer des valeurs d'éclairement et de luminance minimales à maintenir.

Les normes utilisées sont les suivantes :

- RT 13201-1 Eclairage public - Rapport technique sélection des classes d'éclairage
- EN 13201-2 Éclairage public - Exigence des performances
- EN 13201-3 Éclairage public - Calcul des performances

b. Présentation du logiciel DIALux evo

Le logiciel utilisé pour la réalisation de l'étude photométrique est DIALux evo. Il s'agit d'un outil permettant de simuler l'éclairage intérieur et extérieur. Conformément aux normes européennes et américaines, il permet de calculer et de vérifier de façon professionnelle tous les paramètres d'installation d'éclairage.

Deux principales méthodes de travail sont possibles dans DIALux evo. La première qui est l'utilisation des assistants permet de construire son projet de manière rapide et pas à pas en suivant les directives proposées et en entrant progressivement les données du projet.

La deuxième méthode est une conception personnalisée du projet par l'utilisateur qui permet de concevoir le projet soi-même en utilisant les outils du logiciel pour y intégrer les valeurs d'entrée définies un peu plus haut.

Pour notre cas, qui est l'éclairage public, la conception du projet s'est faite depuis la définition de la route jusqu'au calcul des différents paramètres du projet, en fonction des paramètres définis plus haut et du choix du luminaire.

- Mode d'utilisation

Une fois le logiciel DIALux evo ouvert, nous pouvons apercevoir une interface qui nous donne le choix sur le type de projet qui nous concerne. Dans notre cas nous choisirons « Éclairage des rues ».

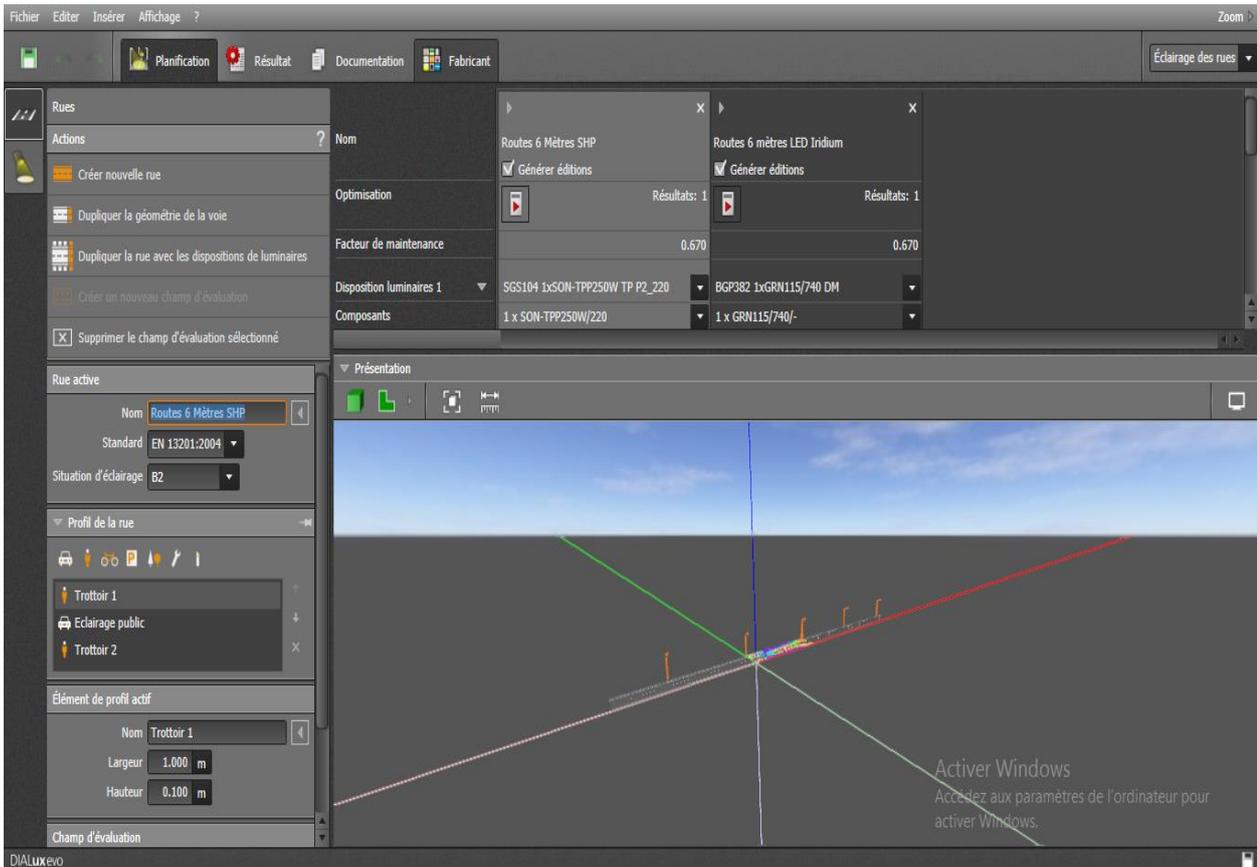


Figure 4 : Mode d'emploi du logiciel DIALux evo

Comme on peut le constater sur cette figure, l'interface principale du logiciel nécessite plusieurs valeurs d'entrées que nous déterminerons dans nos résultats afin d'effectuer nos simulations.

Nous nous intéresserons à l'onglet « planification » qui nous permettra de rentrer les différentes caractéristiques de notre Route et de notre luminaire. Soulignons ce pendant, qu'un bouton permet d'afficher notre projet en perspective.

Ayant cliqué sur l'option « route » en haut à droite de l'interface, nous pouvons alors renommer celle-ci, entrer la norme sur laquelle le dimensionnement sera basé, éditer le profil de rue, insérer le revêtement de la chaussée, la largeur de la chaussée le nombre de voies, la classe d'éclairage.

Passons maintenant à l'option « luminaire » qui se trouve juste en bas de l'option route et qui nous permet de choisir un luminaire via un catalogue préinstallé et d'éditer son mode d'implantation.

Après plusieurs simulations un compromis est trouvé de telle sorte à respecter les différents paramètres que sont L_{moy} , U_o , U_l , TI (%), SR soit trouvé. Nous reviendrons sur ces paramètres un peu plus bas.

Pour plus de détails sur l'utilisation du logiciel voire Annexe 9.

3. Étude énergétique

L'étude suivante concerne l'analyse de la consommation énergétique de la STE de Ziga II avec les deux types de luminaires.

a. Économie d'énergie

- Hypothèse

Les hypothèses prises en compte pour cette étude sont les suivantes :

- Puissance absorbée par le luminaire Malaga SGS104 : 276 W
- Puissance absorbée par le luminaire Iridium gen3 LED Medium : 82W
- Temps de fonctionnement annuel : 4015h/an (en fonction du temps d'éclairage par nuit)
- Nombre de luminaires sur l'ensemble du projet : 13 (résultant de l'étude photométrique)
- Coût du kWh d'éclairage public : 147.6 FCFA TTC (ce prix fait état d'une moyenne journalière en tenant compte des heures de pointe et des heures creuses) [14].

- Méthodologie

En fonction de la puissance absorbée par la totalité des luminaires (P) et du temps de fonctionnement annuel (t), nous déterminons la consommation énergétique annuelle de l'ensemble du projet (E.) suivant la formule :

$$E(kWh) = P(kW) \times t(h) \quad (1)$$

Le coût de cette énergie annuelle (C_E) consommée sera donc déterminé pour les deux luminaires par la formule suivante :

$$C_E(FCFA) = E(kWh) \times C(FCFA/kWh) \quad (2)$$

L'économie réalisée (E_c) est ensuite chiffrée à partir de la différence de consommation énergétique entre les deux luminaires A et B suivant l'expression :

$$E_c(FCFA) = C_{EA}(FCFA) - C_{EB}(FCFA) \quad (3)$$

b. Calcul de la section des conducteurs

Pour réaliser l'étude énergétique d'une installation d'éclairage public, plusieurs logiciels existent sur le marché dont la plupart sont en version payante. Nous procéderons pour la suite avec la méthode manuelle que nous comparerons avec les résultats obtenus par le logiciel XLpro.

- Hypothèses

Dans le cas de notre étude, les hypothèses que nous utiliserons pour notre calcul manuel sont les suivants :

- La norme NF C 17 200 relative à l'installation d'Éclairage public et aux règles,
- UTE C-17 205 relatif à l'installation d'Éclairage public, de la détermination de sections des conducteurs et du choix des dispositifs de protection.
- Type de réseau : éclairage BT
- Régime du neutre : TN
- Tension au primaire et secondaire : 20kV/400V (230V entre phase et neutre)
- Type de protection : fusible de type B
- Chute de tension admissible : 5%
- Type de câble : U1000RVFV
- Mode de pose : enterré

- Méthodologie

Pour mener une étude de calcul de section de câble, la norme NFC 17 205 nous propose une procédure qui est la suivante

Tableau 1 : Méthodologie de calcul des sections de câble

Règles de protections	Paramètres
Détermination du courant d'emploi I_B	I_b → I_B
Détermination du courant d'Allumage I_A	I_a → I_A
Choix des dispositifs de protection contre les surintensités	I_n → S_a
Vérification des chutes de tension	Δ_U → S_b
Protection contre les courts-circuits	$I_{K\ min}$ → S_c
Protection contre les contacts indirects en schéma TN	I_f → S_d

La section des conducteurs retenus pour notre projet sera égale ou supérieure à la plus grande des sections S_a S_b S_c S_d .

Δ_U : la chute de tension admissible

I_b : le courant absorbé en régime établi pour une lampe

I_B : le courant absorbé en régime établi par les lampes

I_a : le courant maximal d'allumage d'une lampe

I_A : le courant maximal d'allumage des lampes

$I_{K\ min}$: le courant de court-circuit minimal au point le plus éloigné de l'installation

I_f : le courant de défaut au point le plus éloigné de l'installation

Pour plus de précision à cette méthode manuelle, nous utiliserons le logiciel XLpro afin d'affirmer ou d'infirmer ces résultats.

c. Présentation du XLpro

Le logiciel XLpro est un logiciel de dimensionnement d'un réseau basse tension dérivé du constructeur LE GRAND.

- Mode d'emploi

L'interface d'accueil nous permet d'éditer notre installation sur le logiciel grâce aux composants situés à gauche et en haut de l'espace d'édition.

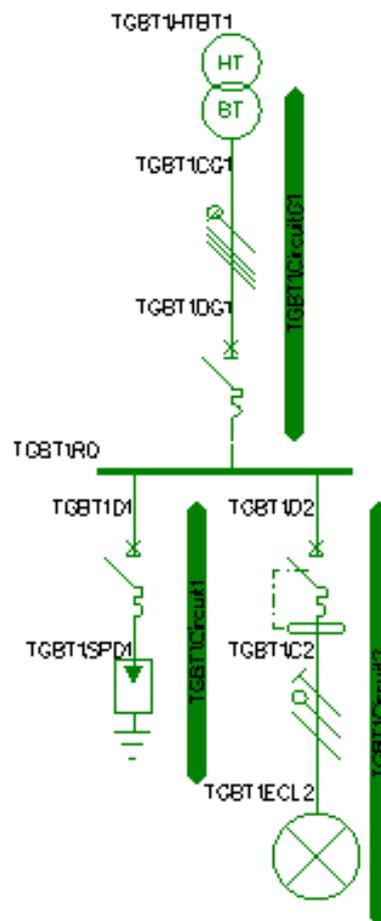


Figure 5 : Mode d'emploi du logiciel XLpro

Une fois l'édition terminée, nous pouvons renseigner les caractéristiques du luminaire, passer ensuite aux caractéristiques des câbles et enfin terminer par le dispositif de protection.

Les valeurs que nous avons rentrées peuvent ne pas être conformes avec la norme NFC 15100. XLpro nous le fera savoir grâce à la fenêtre située en bas de l'interface générale. Nous pouvons ensuite aller vérifier et corriger les caractéristiques qui ne concordent pas. Voir Annexe 15.

III. Résultats de l'étude

Tableau 2 : Caractéristiques des différents luminaires

CARACTÉRISTIQUES	Malaga SGS104 1xSON SHP	Iridium gen3 LED Medium
Étanchéité	IP66	IP66
Solidité	IK08	IK09
Protection électrique	Classe 2	Classe 2
Flux lumineux de la lampe (lm)	33 300	11449
Flux lumineux du luminaire (lm)	25597	9961
Puissance absorbée (w)	276	82
Efficacité lumineuse (lm/W)	92	121

D'après ce tableau, les deux luminaires étudiés sont plus ou moins comparables du point de vue physique. Sur le plan technique par contre, les flux lumineux diffèrent.

De manière individuelle nous avons déjà une préférence pour le luminaire LED à cause de son incroyable efficacité lumineuse. Toutefois, il convient d'étudier le rendement global de l'éclairage de la station de traitement, avec ces luminaires, afin d'en apprécier le niveau d'éclairage. Pour cela, nous allons déterminer la situation d'éclairage, la classe d'éclairage, et d'autres paramètres ci-dessous nécessaires à l'utilisation du logiciel DIALux evo.

1. Étude photométrique

a. Classification d'éclairage

Selon la norme européenne EN 13 201, les voies sont regroupées en différentes situations d'éclairage et classes d'éclairage. En fonction des types des vitesses exercée par les conducteurs et des types d'usagers empruntant les voies à éclairer, nous disposons d'une situation d'éclairage

adaptée. Les classes d'éclairage sont définies par un ensemble d'exigences photométriques basées sur les besoins visuels des usagers de la voie, en fonction des types de zones de la route et de l'environnement.

- Les situations d'éclairage

Les situations d'éclairage définissent différents groupes de voies en fonction des vitesses limites autorisées, ainsi que du type d'usager de la voie [2].

Nous pouvons distinguer ainsi, les catégories suivantes (voir Annexe 7) :

- Pour une vitesse $v > 60$ km/h et un trafic de véhicules motorisés nous avons les groupes de situations A1, A2 et A3
- Pour une vitesse v telle que, $30 < v \leq 60$ km/h et un trafic constitué de véhicules motorisés et de cyclistes nous avons les groupes B1 et B2.
- Enfin, pour des vitesses faibles, c'est-à-dire entre 5 et 30 km/h et un trafic constitué de piétons, de cyclistes et de véhicules motorisés, nous distinguons les groupes C1, D1 à D4, E1 et E2.

Tableau 3 : Paramètres spécifiques des groupes de situation d'éclairage

Paramètres		Options
Zones : géométrie de l'installation	Séparation des chaussées	Oui/ non
	Type de croisements	Échangeurs / Intersection
	Espacement entre échangeurs, distance entre ouvrages	$> 3\text{km} / \leq 3 \text{ km}$
	Densité d'intersections	< 3 intersections/km / ≥ 3 intersections/km
	Zone de conflit	Oui/ non
	Dispositifs ralentisseurs	Oui/ non
Références au trafic	Écoulement de trafic en nombre de véhicules par jour	< 4000
		4000 à 7000
		7000 à 15000
		15000 à 25000
		25000 à 40000
		> 400000
	Écoulement de trafic cycliste	Normal / élevé
Écoulement de trafic de piétons	Normal / élevé	

	Difficulté de la tâche de navigation	Normale / supérieure à la normale
	Véhicules en stationnement	Oui/ non
	Reconnaitances des visages	Non nécessaire/ nécessaire
	Risques d'agression	Normal / supérieur à la normale
Autres influences liées à l'environnement	Complexité du champ visuel	Normale / élevée
	Niveau lumineux ambiant	Rural/ urbain / Centreville
	Conditions atmosphériques principales	Sec / humide

Ce tableau qui a été tiré de la norme relate les différentes situations auxquelles un projet d'éclairage public peut être soumis. Nous allons donc nous baser sur ce tableau afin de définir les situations propres à notre projet (Tableau 5) qui servira à déterminer avec exactitude notre classe d'éclairage en Annexe 8.

- Les classes d'éclairage

Suivant les normes d'éclairage public, les voies sont également réparties en classes d'éclairages, suivant des performances photométriques limites pour chaque classe. Les principales classes sont :

Les classes ME : Ces classes d'éclairage concernent les véhicules motorisés circulant sur la route avec des vitesses moyennes ou élevées.

Les classes CE : Comme pour les classes ME, les classes CE sont destinées aux conducteurs de véhicules motorisés. Cependant, elles concernent les zones dites de conflit telles que les carrefours, les giratoires, les rues commerçantes ou encore les files d'attente. Ces classes sont également destinées à des applications pour piétons et cyclistes.

Les classes se : Ces dernières classes sont réservées aux pistes cyclables, aux passages piétons, aux bandes d'arrêt d'urgence, et d'autres zones de la route disposées séparément ou le long de la chaussée d'une route.

Notons qu'à chaque situation d'éclairage correspondent une ou plusieurs classes d'éclairage. La relation entre groupe de situations d'éclairage et classe d'éclairage est présentée dans le Tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Correspondance des situations et classes d'éclairages [3]

Groupes de situations d'éclairage	Vitesse (km/h)	Vitesse (km/h)	Nature des voies ou zones	Classes d'éclairage
A1	> 60 km/h	Trafics motorisés	Routes et Autoroutes	ME1 à ME5
A2		Trafics motorisés et véhicules lents	Routes et Autoroutes	ME2 à ME5
A3		Trafics motorisés, véhicules lents, cyclistes, piétons	Routes et Autoroutes	ME1 à ME5
B1	$30 \leq V \leq 60$ km/h	Trafics motorisés, véhicules lents, cyclistes, piétons	Voirie	ME2 à ME6
B2				ME2 à ME5
C1	< 30 km/h	Cyclistes, piétons	Voirie	S1 à S6
D1 et D2	$5 \leq V \leq 30$ km/h	Trafics motorisés, véhicules lents, piétons, cyclistes	Voirie	CE2 à CE5
D3 et D4				S1 à S6
E1	$0 \leq V \leq 5$ km/h	Piétons seuls		S1 à S6
				CE2
E2		Trafics motorisés, véhicules lents, piétons, cyclistes		S1 à S5
				CE2

- Choix de la classe d'éclairage de la Station de traitement

Les voies d'accès de la STÉ de Ziga II sont destinées aux véhicules motorisés, et autorisés aux piétons et cyclistes. La vitesse maximale admise est de 30 km/h. Ainsi, la situation d'éclairage pour notre projet est la situation de type B2 et la classe d'éclairage se situe entre ME2 et ME5.

Les autres paramètres définis dans le Tableau 5 nous permettent de définir la classe spécifique d'éclairage du projet qui est ME4a, conformément à l'Annexe 8 [3].

Tableau 5 : Paramètres spécifiques des groupes de situation d'éclairage

Paramètres		Options
Zones : géométrie de l'installation	Séparation des chaussées	Non
	Type de croisements	Intersection
	Densité d'intersections	≤ 3 intersections/km
	Zone de conflit	Oui
	Dispositifs ralentisseurs	Oui
Références au trafic	Écoulement de trafic en nombre de véhicules par jour	< 4000
	Écoulement de trafic cycliste	Normal
	Écoulement de trafic de piétons	Normal
	Difficulté de la tâche de navigation	Normale
Autres influences liées à l'environnement	Complexité du champ visuel	Normale
	Niveau lumineux ambiant	Rural
	Conditions atmosphériques principales	Sec

Dans le cas de notre projet, les paramètres entrant en jeu sont : la luminance moyenne, le facteur d'uniformité général, le facteur d'uniformité longitudinal, le taux d'éblouissement et le rapport de contiguïté ou des abords que nous allons découvrir un peu plus bas.

b. Définition des paramètres de vérification de la classe ME

- La luminance moyenne (L_{min})

La luminance moyenne (en CD/m^2) d'un luminaire représente sa brillance et quantifie les risques d'éblouissement. Elle est définie en fonction de l'angle de vision du luminaire par rapport à la verticale (angle d'élévation)[4].

- Le facteur d'uniformité générale de luminance (U_0)

Le facteur d'uniformité générale d'éclairement, c'est le rapport de l'éclairement minimal (ou de la luminance minimale) à l'éclairement moyen (ou à la luminance moyenne) dans une zone

considérée. Ce facteur est important pour déterminer un niveau de confort visuel. Il est nécessaire d'équilibrer les niveaux d'éclairage dans une zone pour obtenir une uniformité des luminances dans le champ visuel [5].

- Le facteur d'uniformité longitudinale de luminance (UI)

L'uniformité longitudinale de luminance UI fournit une mesure de l'alternance de zones claires et sombres sur la route. Elle donne une indication des conditions visuelles sur de longues sections ininterrompues de route; sur une route longue, une mauvaise uniformité longitudinale génère une fatigue visuelle importante[6].

- Le taux d'éblouissement (TI)

Le taux d'éblouissement, tiré de l'anglais « Threshold Increment » (TI), permet de s'assurer que la lumière produite par le dispositif d'éclairage n'est pas trop forte de sorte à aveugler les usagers de la voie. Il se détermine en fonction de la luminance de voile et la luminance moyenne.

- Le rapport de contiguïté ou d'éclairage des abords (SR)

Le rapport de contiguïté noté SR pour « Surrounded Ratio » traduit la mesure dans laquelle le luminaire éclaire les abords immédiats (les trottoirs par exemple). Il correspond au rapport entre l'éclairage sur le trottoir et l'éclairage de la voie.

- Performances à atteindre pour les classes ME

Les performances à atteindre pour les classes ME sont présentées dans le Tableau 6 suivant :

Tableau 6 : Performances photométriques à atteindre pour les classes ME

Classe	Luminance de la chaussée d'une route sèche			Éblouissement perturbateur	Éclairage des abords
	Lmoy en CD/m ² (minimal)	Uo (minimal)	UI (minimal)	TI (%) (maximal)	SR (minimal)
ME1	2	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	0,5

Notre projet étant de classe ME4a, nous nous devons de respecter les conditions mises en exergues sur le tableau des performances photométriques des classes ME.

c. Dispositif d'éclairage

Le dispositif d'éclairage, fait référence à l'ensemble des équipements constituant le lampadaire. Il est constitué de trois principaux éléments qui sont : la lampe, le luminaire et le candélabre.

D'autres éléments importants à noter sur ces équipements hormis les caractéristiques photométriques de l'ensemble luminaire-lampe sont la hauteur du mât qui est de 8 m est la longueur des crosses qui est de 1.5 m. Voir Annexe 19.

- Le facteur de maintenance

Le facteur de maintenance est un coefficient qui permet de prendre en compte l'entretien du luminaire. Il intervient dans la détermination de la luminance moyenne. En effet, plus le luminaire est bien entretenu, plus le flux lumineux diffusé reste convenable pour l'éclairage des voiries, malgré les intempéries et autres facteurs polluants (poussières, toile d'araignée...)

Ce facteur dépend du degré de pollution, du cycle d'entretien, du type de lampe et enfin du type de luminaire. Le Tableau 7 montre les marges admissibles du facteur de maintenance suivant les critères précités pour le luminaire à lampe SHP. Ainsi, la valeur de 0,67 utilisée dans l'étude photométrique pour le luminaire Malaga 276W est justifiée.

Tableau 7 : Facteur de maintenance pour le luminaire Malaga 276W SHP

Degré de Pollution	Nombre d'heures de fonctionnement avant entretien	Facteur de maintenance de l'Installation (M)			
		Type de Lampe	Luminaire		
			IP 55 Vasque Plastique	IP 65	
				Vasque Plastique	Vasque Verre
Faible Degré 1	8 000	SHP tubulaire	0,74 à 0,78	0,76 à 0,80	0,81 à 0,86
	12 000		0,61 à 0,70	0,63 à 0,72	0,68 à 0,78
Faible Degré 2-3	16 000		0,63 à 0,66	0,68 à 0,72	0,76 à 0,80
	20 000		0,50 à 0,57	0,55 à 0,63	0,63 à 0,72

Pour le luminaire Iridium Gen3 LED, nous considérons un facteur de maintenance de 0,95 suivant la Tableau 8. En effet, les détails spécifiques au luminaire à LED n'ayant pas été définis par le fabricant, la valeur générale en fonction du degré de protection et de la catégorie de pollution a été retenue.

Tableau 8 : Facteur de maintenance pour le luminaire Iridium Gen3 LED

Catégorie de pollution	Degré de protection du luminaire		
	IP23 à IP 44	IP53 à IP 55	IP65 à IP 66
I : lieu moyennement pollué, site essentiellement rural et résidentiel	0,75	0,85	0,95
II : lieu fortement pollué, soit site industriel ou urbain	0,5	0,7	0,85

d. Dispositions spatiales

- Présentation du projet d’extension de la station de traitement d’eau de Ziga.

Les voies d’accès de la station de traitement de Ziga II comprennent deux ramifications qui disposent des mêmes caractéristiques géométriques. Nous considérerons pour l’ensemble de notre étude qu’une seule et unique section qui caractérisera l’ensemble du projet.

Sur cette section en question, on observe une chaussée de 6 m de largeur, et constituée de deux voies de circulation. Ces chaussées sont bordées par des trottoirs de 1 m de large Figure 8.

Une autre caractéristique de la route qui intervient dans l’étude photométrique est son revêtement. En effet, le flux lumineux émis sur la chaussée est réfléchi par le revêtement vers l’œil de l’observateur, d’où la nécessité de prendre en compte deux principaux paramètres caractéristiques de la réflexion de la lumière sur un revêtement que sont le coefficient de clarté Q0 et le coefficient de sécularité S1.

En fonction de ces deux paramètres, la CIE (Commission internationale de l’Éclairage) a défini 4 revêtements standards de R1 à R4. Le revêtement standard R1 correspondant à un matériau de chaussée clair et diffusant et le revêtement R4 correspondant à un matériau sombre et très spéculaire.

Les valeurs correspondantes de Q0 et S1 suivant la classification des revêtements sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Classification des revêtements standards définie par la CIE

Revêtement	Q0	S1
R1	0,1	0,247
R2	0,07	0,582
R3	0,07	1,109
R4	0,08	1,549

Nous choisirons le revêtement R2 conformément à notre visite sur le terrain où nous avons pu constater comme le montre la Figure 13 que le revêtement était assez clair.



Figure 6 : Revêtement de la chaussée de l'extension de la STÉ de Ziga

- Implantation des candélabres

Le mode d'implantation des candélabres le long de la voie impacte beaucoup l'étude photométrique.

Il existe plusieurs types d'implantation, mais l'implantation choisie dans le cadre du projet est l'implantation unilatérale. Il existe également l'implantation bilatérale en quinconce, bilatéral vis-à-vis, et axiale qui elle nécessite un terre-plein central dont nous ne disposons pas dans notre ligne de projet. La Figure 14 montre l'implantation de nos luminaires.

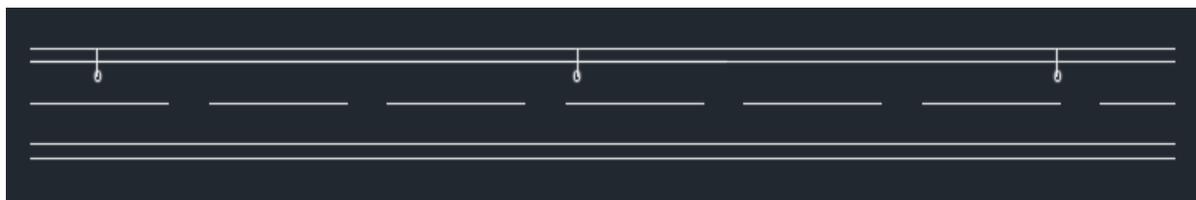


Figure 7 : Mode d'implantation utilisé dans notre projet

- Espacement entre les candélabres

L'espacement entre les candélabres dépend du type de source employé ainsi que du type d'implantation mis en œuvre. Ainsi, pour une lampe à sodium haute pression et une implantation unilatérale, l'espacement (e) entre les candélabres est tel que :

$e = 3.2 H$, soit dans notre cas avec un espacement de 6 m, $e = 19.2$ m

Pour des raisons économiques, et suivant nos simulations sur le logiciel Dialux evo qui est conforme à la norme EN 13 201 que verront un peu plus bas , nous pouvons atteindre un espacement de 32 mètres.

Grâce au fichier Autocad de la centrale, nous avons pu effectuer l'implantation des luminaires que l'on peut constater ci-dessus :

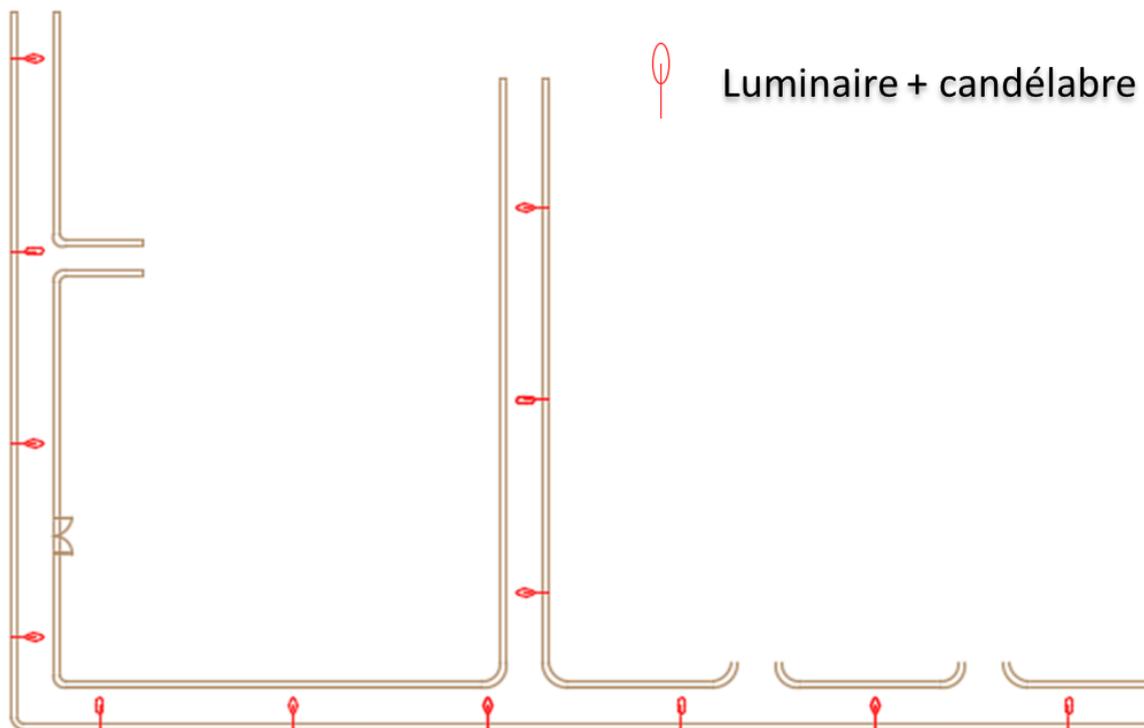


Figure 8 : Vue de haut de la chaussée de l'extension de la STÉ de Ziga

a. Luminaire Malaga SGS104 1xSON : résultats photométriques

Les résultats présentés ci-dessous sont ceux de la chaussée et du trottoir 1 et 2 que l'on peut apercevoir sur la Figure 15. Grâce au fabricant du luminaire, nous avons pu réaliser l'étude sur Dialux. Pour plus de détails sur ces résultats, voir Annexe 10 et Annexe 11.

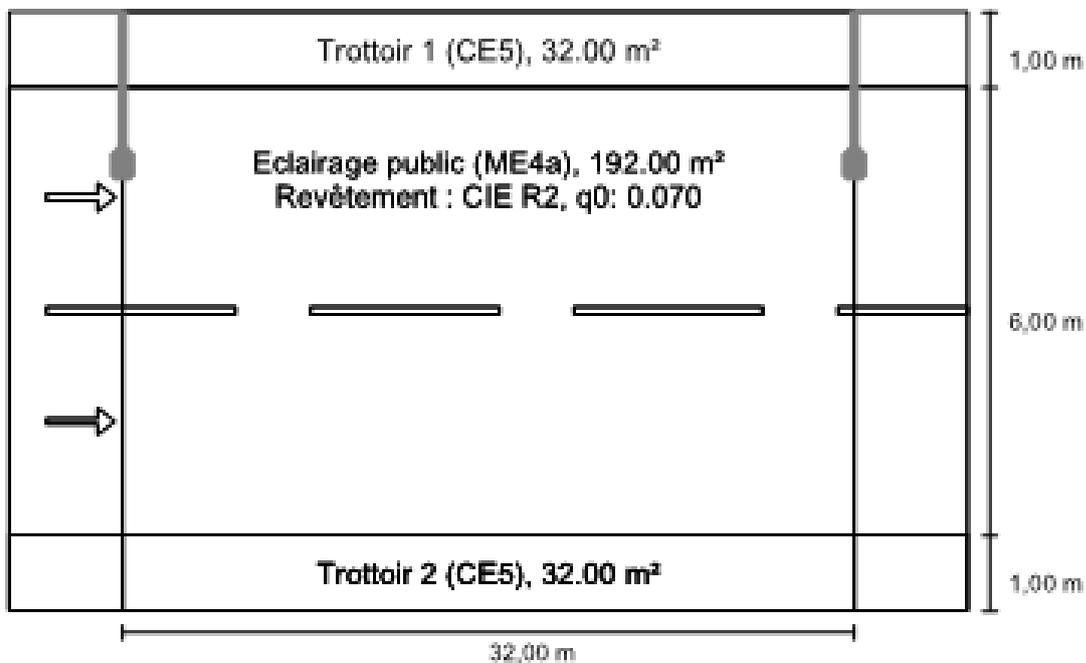


Figure 9 : Chaussée avec trottoir 1 et 2

Les résultats photométriques avec le luminaire Malaga SGS104 1xSON présentés ci-dessous respectent les valeurs de références spécifiées par la norme pour la classe d'éclairage ME4a. En d'autres termes, le luminaire est adapté pour l'éclairage de la STÉ de ZIGA II.

Tableau 10: Résultats photométriques avec le luminaire Malaga 276W

Paramètres de vérification	Lmoy (cd/m ²)	Uo	U1	TI (%)	SR
Valeur de référence	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,60	≤ 15	≥ 0,50
Chaussée	15,93	0,57	0,63	0	0,78

Outre les données photométriques de références respectées, un autre point important à analyser est le rendu de fausse couleur ou Indice de rendus de Couleur (IRC) (voir en Annexe 12). Ce paramètre traduit la capacité d'une source lumineuse à restituer les différentes couleurs visibles à l'œil nu telle qu'elles apparaissent à la lumière du jour (lumière naturelle) sans en modifier les teintes. Autrement dit, plus l'IRC de la source lumineuse est élevé, plus la source lumineuse éclaire juste.

b. Luminaire Iridium gen3 LED Medium : Résultats photométriques

Tout comme le luminaire Malaga SGS104 1xSON, le luminaire Iridium Gen3 LED Medium est disposé tout au long des voies avec un espacement de 32 mètres. Sur cette base les résultats présentés ci-dessous respectent la norme comme le montre le Tableau 11.

Tableau 11 : Résultats photométriques avec le luminaire Iridium Gen3 LED

Paramètres de vérification	Lmoy (cd/m ²)	Uo	UI	TI (%)	SR
Valeur de référence	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,60	≤ 15	≥ 0,50
Résultats	8,80	0,55	0,61	0	0,56

Notons que toutes les valeurs d'entrée pour la mise en place de ce calcul sont identiques à celle du luminaire Malaga SGS104 1xSON excepté l'inclinaison du bras qui est de 15° au lieu de 30° pour le Malaga. En ce qui concerne l'IRC, celle-ci reste acceptable, voire l'Annexe 13.

c. Synthèse

Compte tenu des résultats photométriques présentés ci-dessus, les deux luminaires sont conformes aux exigences de la EN 13201 et de la norme française pour l'éclairage public. Toutefois, La remarque que l'on peut faire sur résultat de ses deux luminaires est que même s'ils respectent la norme, le luminaire SHP offre de meilleurs rendus d'éclairage.

Après de multiples simulations en cherchant à atteindre le niveau exigé par la norme, en fonction d'une hauteur de 8 m, et un espacement de 32 m, le luminaire LED étudié attire plus notre attention en fonction des critères de choix décrits plus hauts. Cela suggère qu'une analyse photométrique en fonction d'un nouveau dimensionnement du projet pourrait donner de meilleurs résultats avec le luminaire à LED.

Cependant, l'aspect visuel de l'éclairage pour le confort visuel des usagers n'est pas un élément suffisant à la comparaison des deux types de luminaires étudiés. Quelles sont les perspectives en matière d'économie d'énergie que nous pouvons espérer pour le projet de la STÉ de Ziga II ? Et surtout quels sont les coûts d'investissement à mobiliser ? Pour apporter une réponse à ces interrogations, une étude énergétique, et une étude technico-économique sont nécessaires.

2. Étude énergétique

a. Économie d'énergie

En considérant les hypothèses précédentes, nous aboutissons aux résultats présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Économie d'énergie réalisée par an par la LED sur la SHP

Désignations	Malaga SGS104 1xSON (SHP)	Iridium gen3 LED Medium
Puissance absorbée par un luminaire (W)	276	82
Nombre d'heures de fonctionnement par années (h)	4015	
Énergie annuelle consommée par luminaire (kWh/an)	1108	329
Nombre de luminaires	13	13
Énergie annuelle totale consommée (MWh/an)	14	4
Économie annuelle totale réalisée (MWh/an)	10	
Économie annuelle totale réalisée (%)	70	
Prix du kWh (FCFA)	147,6	
Économie annuelle totale réalisée (FCFA/an)	1 494 573	

D'après ces résultats, l'utilisation du luminaire à LED nous permettrait d'économiser 70% de l'énergie annuelle consommée avec le luminaire à lampe SHP. Une économie qui s'élève en valeur monétaire brute à 1 500 000 F CFA par an.

b. Calcul manuel de la section des câbles

- Détermination de la section S_a

Commençons par déterminer le courant absorbé par un luminaire :

$$I_b = \frac{P}{U \cos(\alpha)} \quad (4)$$

$$I_{bSHP} = \frac{276}{230 \times 0.8}$$

$$I_{bSHP} = 1.5 \text{ A}$$

$$I_{bLED} = \frac{82}{230 \times 0.8}$$

$$I_{bLED} = 0.45 A$$

Déterminons le courant d'emploi I_B :

$$I_B = d. \sum I_b \quad (5)$$

d : facteur tenant compte des prévisions d'extension, pris en général égal à 1,2

I_b : le courant absorbé en régime établi par chaque lampe

I_B : Courant d'emploi dans la canalisation

$$I_{BSHP} = 1.2 \times 13 \times 1.5$$

$$I_{BSHP} = 23.4 A$$

$$I_{BLEDD} = 1.2 \times 13 \times 0.45$$

$$I_{BLEDD} = 7 A$$

Déterminons le courant d'allumage I_A :

La norme NFC 17 205 nous propose directement un ensemble de courant d'allumage en fonction du type de lampe et de la puissance de celle-ci. Nous avons ainsi pu déterminer le courant d'allumage de la lampe SHP. Voir Annexe 14.

Courant d'allumage de la LED est égal à son courant d'emploi, car ne disposant pas de ballaste.

$$I_{ASHP} = 1.2 \times 13 \times 2.1$$

$$I_{ASHP} = 33 A$$

$$I_{ALED} = 1.2 \times 13 \times 0.45$$

$$I_{ALED} = 7A$$

Choix du dispositif contre les surintensités et choix du conducteur S_A :

Nous avons pour les deux solutions un courant d'allumage inférieur à 40 A.

$$S_A = 6 \text{ mm}^2$$

- Détermination de la section S_b

Chute de tension de 5% soit 11.5 V pour une tension de 230 V.

$$S_b = \rho(1 + 4 + \dots + (n - 3) + 2n)l \frac{d \cdot I_b}{\Delta U} + \rho \frac{n(L - l)}{3} \cdot \frac{d \cdot I_b}{\Delta U} \quad (6)$$

ρ : la résistivité des conducteurs

N : le nombre total de foyers lumineux

l : la distance entre deux foyers en m

I_b : le courant absorbé par un foyer lumineux

ΔU : la chute de tension admissible en volt

S_b : la section des conducteurs

d : le coefficient d'extension

L : longueur entre le local électrique et le premier foyer lumineux

$$S_{bSHP} = 0.023 \times (1 + 4 + 7 + 10(2 \times 13)) \times 32 \times \frac{1.2 \times 1.8}{11.5} + 0.023 \times \frac{460 - 32}{3} \times \frac{1.2 \times 1.8 \times 13}{11.5}$$

$$S_{bSHP} = 15 \text{ mm}^2$$

$$S_{bLED} = 0.023 \times (1 + 4 + 7 + 10(2 \times 13)) \times 32 \times \frac{1.2 \times 0.5}{11.5} + 0.023 \times \frac{460 - 32}{3} \times \frac{1.2 \times 0.5 \times 13}{11.5}$$

$$S_{bLED} = 4 \text{ mm}^2$$

- Détermination de la section S_c

Cette détermination se fait en tenant compte des courants de court-circuit :

Suivant les résultats lus sur l'Annexe 14, les deux technologies disposent d'un dispositif de protection de 40 A, nous avons choisi la section en fonction des distances protégée.

$$S_{bSHP} = S_{bLED} = 25 \text{ mm}^2$$

- Détermination de la section S_d

Cette détermination se fait en tenant compte des courants de défauts.

Suivant les résultats lus sur l'Annexe 14 également, les deux technologies disposent d'un dispositif de protection de 40 A, nous avons choisi la section en fonction des distances protégée.

$$S_{bSHP} = S_{bLED} = 25 \text{ mm}^2$$

Selon la méthode manuelle, la plus grande section est 25 mm^2 et c'est celle-là que nous retiendrons pour les trois phases de notre projet.

c. Calcul de la section des câbles par XLpro

Pour réaliser l'étude grâce au logiciel XLpro nous avons utilisé les principales valeurs d'entrée qui sont listées ci-dessous. Le schéma unifilaire de la technologie SHP et LED sont à voire respectivement en Annexe 17 et 18.

Tableau 13 : Valeurs d'entrées pour le logiciel XLpro

Désignation	Symbole et unité	Malaga SGS104 1xSON SHP	Iridium gen3 LED Medium
Puissance absorbée d'un luminaire	Pa (W)	276	82
Facteur de puissance	Cos (Phi)	0,85	0,8
Tension	U (V)	230	230
Courant d'emploi d'un luminaire	Ib (A)	1,5	0,45

Notons que l'alimentation sera effectuée sur un poste de transformation situé dans un local électrique existant dans la partie Est du domaine. Un départ sera créé sur ce poste en vue d'alimenter les luminaires.

Tableau 14 : Section de câble et protections

	Malaga SGS104 1xSON SHP	Iridium Gen3 LED Medium
Départs	1	1
Nombre de lampes	13	13
IB(A)	23,4	5,5
IA(A)	32,76	4,37
S (mm ²); Phase 1 cu	25	10
S (mm ²); Neutre cu	25	10
S (mm ²); PE cu	25	10

Nos simulations sur le logiciel nous ont permis de constater qu'une section de 25 mm² serait optimum pour les luminaires SHP. Quant aux luminaires LED une section de 10 mm² était largement suffisante. Cette différence de section entre la méthode manuelle et la méthode logicielle pour la lampe LED s'explique par le fait que le choix de la section S_A selon la norme NFC 17 205 se fait à partir du courant d'allumage dont la valeur initiale dans la norme est de 40 A. Ayant 7 A pour les lampes LED nous avons été contraints de choisir un courant de 40 A afin d'effectuer le choix de la section S_A et par ricochet choisir un dispositif de protection avec un pouvoir de coupure de 40 A.

Ce dispositif de protection a été à son tour un critère pour le choix de la section S_C et S_D .

En plus nous avons émis comme hypothèse de départ une alimentation triphasée pour notre étude. L'analyse logicielle révèle qu'une alimentation monophasée serait suffisante. Nous pouvons donc affirmer que la section trouvée par la méthode manuelle a été surévaluée ce qui nous amène à prendre en compte les résultats de la méthode logicielle présentée ci-dessus. Le Tableau 15 quant à lui résume un devis quantitatif de l'ensemble des câbleries pour les deux technologies.

Tableau 15 : Devis quantitatif des protections et des câbles

Devis quantitatif de l'appareillage			
Désignations	Unité	Malaga SGS104 1xSON	Iridium gen3 LED Medium
Câble U1000RVFV 25 mm ²	m	3350	0
Câble U1000RVFV 10 mm ²	m	0	2010
Fusible 3P+N type B	u	13	13

Nous pouvons maintenant passer au coût de l'investissement du projet. Le Tableau 16 ci-dessous nous relate le devis quantitatif relatif à l'investissement :

Tableau 16 : Devis quantitatif et estimatif du Projet

Devis quantitatif et estimatif								
	Malaga SGS104 1xSON SHP				Iridium gen3 LED Medium			
	Unité	Prix unitaire	Quantité	Prix	Unité	Prix unitaire	Quantité	Prix
	m	2 550	3350	8542500	m	0	0	0
Désignations	m	0	0	0	m	1 400	2010	2814000
Câble U1000RVFV 25 mm ²	U	15 000	1	15000	U	15 000	1	15000
Porte transparente 1 rangée	U	15 000	1	15000	U	15 000	1	15000
Serrure coffret modulaire	U	10 000	1	10000	U	10 000	1	10000
Disj DX ³ 6000/10kA 3P C 63A	U	51 000	1	51000	U	51 000	1	51000
Disj DX ³ 6000/10kA 4P C 40A	U	30 000	1	30000	U	30 000	1	30000
Disj diff DX ³ 4500/6kA 1P+N C 20A 30mA Type AC 1	U	30 000	1	30000	U	30 000	1	30000
Interrupteur crépusculaire	U	100 000	1	100000	U	100 000	1	100000
Luminaire Malaga 276 W	U	85 000	13	1105000				
Luminaire Iridium 82 W					U	300 000	13	3900000
Dominos de répartitions	U	5 000	13	65000	U	5 000	13	65000
Mât des luminaires	U	200 000	13	2600000	U	200 000	13	2600000
Autres	U	4 000 000	1	4000000	U	4 000 000	1	4000000
Total (FCFA)			16 563 500				13 630 000	

Comme on peut le constater sur ce tableau, la technologie LED présente un avantage certain en termes de coût par rapport à la technologie SHP. Le circuit d'allumage est à voire en Annexe 16 et la fiche technique du mât en Annexe 19.

3. Recommandations

Face aux coûts très attrayants des deux technologies, nous recommandons vivement au Groupe Eiffage d'envisager à l'avenir pour une situation similaire, la solution connectée réseau avec des lampes LED.

Il est certain qu'à long terme la solution autonome semble être plus rentable, mais c'est sans oublier les coûts de maintenance, de recyclage et de renouvellement qui ont tendance à décourager les clients. Afin de combler cette rentabilité à long terme, n'oublions pas de rappeler que l'étude un peu plus haute nous a démontré que l'on pouvait faire une économie 1 500 000 FCFA par an sur la facture d'électricité ce qui n'est pas négligeable si l'on devait utiliser des lampes SHP traditionnelles.

Avec un coût de 18 400 000 FCFA pour la solution autonome d'Eiffage contre 13 630 000 FCFA (il faut noter que ce coût a été majoré de 4 000 000 de FCFA pour d'éventuels imprévus) pour la solution interconnectée avec lampe LED plus 1 500 000 FCFA d'économie chaque année, la lampe LED connectée au réseau constituerait un atout indéniable auprès du groupe Eiffage.

CONCLUSION

En somme, la présence même d'un poste de transformation sur la STE de Ziga II nous a amenés à utiliser cet atout afin de proposer une solution alternative à celle d'Eiffage c'est-à-dire un système d'éclairage public connecté au réseau.

L'étude photométrique réalisée par le logiciel DIALux evo, révèle qu'un espacement de 32 mètres entre luminaires apporte toutes les commodités relatives à une excellente conduite au sein de ce domaine. Au préalable, nous sommes servis de la norme afin de définir les valeurs d'entrée au logiciel avant d'arriver à ce résultat. Les résultats en question révèlent que le luminaire SHP offre des conditions d'éclairage beaucoup plus importantes que le luminaire LED, mais les deux technologies respectent les niveaux d'éclairage recommandés par la norme EN 13 200.

Concernant l'Étude énergétique, elle nous amène à utiliser la norme NFC 17 205 afin de déduire la section des conducteurs qui est de 25 mm² pour les luminaires SHP et de 10 mm² pour les luminaires LED.

Tous ces paramètres permettent d'affirmer que le système connecté réseau par les luminaires LED est de loin la solution la mieux appropriée selon notre étude et que nous proposerons à Eiffage, car l'installation du système coûte 5 000 000 de FCFA moins cher que le système autonome sans compter une économie annuelle de 1 500 000 FCFA sur la facture d'électricité par rapport au luminaire SHP.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] a Anonyme, « Évolution du prix de l'électricité », 2013.
- [2] Groupe ES, « Éclairage Public 2iE – Master 2 Génie Électrique ». 2014-2013.
- [3] *Réseau Marocain de la Maîtrise de l'Énergie*. .
- [4] Anonyme, « La luminance moyenne d'un luminaire ».
- [5] Blog Laurie Conseil, « QU'EST CE QUE LE FACTEUR D'UNIFORMITÉ GÉNÉRAL D'ÉCLAIREMENT? », juin 2011.
- [6] Collectif, *Code de bonne pratique Éclairage public*, EPILOGUE / COLOFON. .
- [7] D. Arnal, « Circuit d'allumage des luminaires », 24-janv-2017.

WEBOGRAPHIE

- (1) **Fischer-Herzog**, Claude et **Véglia**, Catherine (2018, Octobre). « *La Lettre des Entretien Européens* ». *Google drive*, sur le site d'ASCPE. Consulté le 6 Février. 2019.
https://drive.google.com/file/d/1v5GyNxpWRcxe2yPCp_B5dMfBJ8pJCBeM/view?usp=sharing
- (2) **Fischer-Herzog**, Claude (2019, Janvier). « *Les Cahiers des Entretien Européens* ». *Google drive*, sur le site d'ASCPE. Consulté le 6 Février. 2019.
<https://drive.google.com/file/d/1xPJp9YN0-IZW5ZhbuVaSXSa-eBc4DwU0/view>
- (3) **Fischer-Herzog**, Claude et **Véglia**, Catherine (2019, Février). « *Recommandations pour une gestion durable et responsable des combustibles usés et des déchets nucléaires en Europe* ». *Google drive*, sur le site d'ASCPE. Consulté le 6 Février. 2019.
https://drive.google.com/file/d/19F5XA_sxZIH8eCF5LS4-s7VZSc2RAAd7f/view

ANNEXES

Annexe 1 : Entretien avec M Olivier BOUSIGE	43
Annexe 2 : Entretien avec M Jacques de MEREUIL	44
Annexe 3 : Entretien avec M Ousmane SALL.....	45
Annexe 4 : Entretien avec M BOMBIRI Esäi.....	46
Annexe 5 : Fiche technique du Malaga SGS104 250W	47
Annexe 6 : Fiche technique de l'Iridium BGP382 Gen 3 LED	48
Annexe 7 : Exigence en Luminance (cd/m ²).....	49
Annexe 8 : Choix de la classe d'éclairage pour la situation B2	50
Annexe 9 : Mode d'utilisation du logiciel DIALux evo	51
Annexe 10 : Résultats photométriques de la lampe SHP	54
Annexe 11 : Résultats photométriques de la lampe LED	55
Annexe 12 : Indice de rendu des couleurs SHP	56
Annexe 13 : Indice de rendu des couleurs LED.....	57
Annexe 14 : Méthodologie de détermination des sections suivant la NF C 17 205 .	58
Annexe 15 : Mode d'utilisation du logiciel XLpro	61
Annexe 16 : Circuit d'allumage des luminaires [7]	63
Annexe 17 : Schéma unifilaire de l'installation avec lampes SHP	64
Annexe 18 : Schéma unifilaire de l'installation avec lampes LED	65
Annexe 19 : Fiche technique du mât et de la crosse	66

Annexe 1 : Entretien avec M Olivier BOUSIGE

Le lundi 18 février 2019, nous avons eu un entretien avec M Olivier BOUSIGE, Chef Projet Pôle international du groupe Eiffage dans les locaux de la ⁶FNTP. Les grandes lignes de cet entretien sont les suivantes :

Face à la question à savoir quel type d'alimentation pour l'éclairage public conviendrait au mieux aux zones rurales, M BOUSIGE reste assez dubitatif, pour lui la notion de bien public n'est pas encore enracinée dans les pays africains tout en nous rassurant que ce n'était pas mieux en France. Sur cette lancée, il préconise une alimentation autonome dans les zones rurales et une alimentation connectée au réseau en zone urbaine en général.

Aussi il met en garde l'opinion publique face à une fausse idée de « gratuité des panneaux solaires ». En effet, il faut toujours prendre en compte la durée de vie des panneaux et des batteries sans compter que très peu de pays sont actuellement capables de recycler ces composants.

En ce qui concerne le financement des projets d'électrification, M BOUSIGE pense que les bailleurs de fonds doivent se focaliser sur les sources de production et sur l'écoulement des puissances produites tout en allégeant leurs procédures qui constituent une entrave à l'accès au financement.

Nous avons demandé à savoir si l'arrivée de la Chine ne constituerait pas une aubaine pour l'électrification du Burkina. M BOUSIGE trouve que la Chine certes garantit l'accès au financement, mais qu'elle pose des conditions susceptibles de mettre en « ruine » certains pays si ces derniers ne faisaient pas attention à la nature des contrats qu'ils signent.

⁶ Fédération Nationale des Travaux Publics

Annexe 2 : Entretien avec M Jacques de MEREUIL

Le jeudi 28 février 2019 s'est tenu notre rencontre avec M Jacques de MEREUIL, Directeur exécutive de la world Federation of Engeering Organizations, dans les locaux du siège de l'⁷UNESCO à Paris.

L'entretien avec M Jacques de MEREUIL fut bref ; ce dernier ayant été ingénieur certes, mais dans le domaine du nucléaire n'a pas pu nous apporter des éclaircissements sur l'éclairage public.

Cependant, M. DE MEREUIL nous a fait part de son intention de vouloir créer la journée mondiale de l'ingénieur, un projet porté par l'UNESCO dont il est chargé. Cette initiative a pour but d'apporter une touche francophone sur le monde de l'ingénierie jusqu'à présent dominé par les pays du ⁸Commonwealth. Une association d'Ingénieurs africains existe déjà, mais pas au Burkina Faso. C'est sur cette optique que M DE MEREUIL souhaiterait, si nous sommes d'accord, lancer cette initiative après notre soutenance.

Une proposition que nous avons prise en compte et dont nous lui tiendrons suite.

⁷ Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

⁸ Le Commonwealth est une organisation intergouvernementale composée de 53 États membres qui sont presque tous d'anciens territoires de l'Empire britannique.

Annexe 3 : Entretien avec M Ousmane SALL

Le mercredi 13 mars, nous avons eu une rencontre avec M OUSMANE SALL, Directeur Projets Responsable Afrique Chez EDF International Network, au siège sociale d'Enedis une filiale d'EDF dans les ⁹quartiers de la Défense.

M SALL nous a brièvement présenté Enedis anciennement ERDF, en précisant que c'est une filiale du Groupe EDF. Ils sont chargés des études et de la pose des branchements d'électricité sur le territoire français et à l'étranger sous forme de sous-traitance.

Comme M BOUSIGE, M SALL s'est beaucoup attarder sur le recyclage des panneaux solaires en ce qui concerne l'éclairage public. Le coût de l'entretien reste assez élevé nous confie-t-il surtout dans des régions où le taux de pollution reste élevé. Cela implique un facteur de maintenance très élevé ce qui conduit la plupart des opérateurs à investir dans une nacelle, un véhicule qui au départ ne se retrouve très souvent pas dans les devis.

Aussi il nous conseille que pour toute étude incluant des panneaux solaires, d'intégrer le coût de maintenance et aussi le coût du recyclage qui lui pourrait s'élever à 1/5 du coût des batteries sur une période de 5 ans.

⁹ La Défense est un quartier d'affaires situé dans la Métropole du Grand Paris en Île-de-France, le premier en Europe par l'étendue de son parc de bureaux.

Annexe 4 : Entretien avec M BOMBIRI Esai

Le mercredi 15 mai 2019, nous nous sommes rendus sur le site de la station de traitement d'eau de Ziga dans la commune rurale de Ziga au Burkina Faso. Sur place, nous avons pu rencontrer M BOMBIRI Esai chef de la station.

M BOMBIRI nous a organisé une visite de l'extension où nous avons pu constater l'éclairage public qui a été mis en place par le groupe SUEZ qui a finalement remporté le marché au détriment d'Eiffage.

Le constat sur place fut surprenant, car nous avons constaté un système alimenté par le réseau équipé de lampes SHP.



Annexe 5 : Fiche technique du Malaga SGS104 250W

Eclairage Public

10/04/2019

DIALux

Philips SGS104 1xSON-TPP250W TP P2_220 1xSON-TPP250W/220 / Philips - SGS104 1xSON-TPP250W TP P2_220 (1xSON-TPP250W/220)

Philips SGS104 1xSON-TPP250W TP P2_220 1xSON-TPP250W/220

Malaga SGS103/104 – contemporary style Malaga SGS103/104 is a versatile road-lighting luminaire. It offers modern styling and quality lighting for safe and comfortable driving, and for area illumination, with low investment and maintenance costs. A special one-piece reflector helps to achieve improved light performance.

The optical system has been designed to deliver good beam control and light output. Malaga SGS103/104 provides optimal illuminance and good uniformity when the mounting height approximately equals the road width and the mast spacing is approximately 3.5 times the road width. It is suitable for post-top and side-entry mounting.



Rendement: 76.87%
Flux lumineux de lampe: 33300 lm
Flux lumineux de(s) lampe(s): 25597 lm
Puissance: 276.0 W
Rendement lumineux: 92.7 lm/W

Annexe 6 : Fiche technique de l'Iridium BGP382 Gen 3 LED

Eclairage Public

10/04/2019

DIALux

Philips BGP382 1xGRN115/740 DM 1xGRN115/740/- / Philips - BGP382 1xGRN115/740 DM (1xGRN115/740/-)

Philips BGP382 1xGRN115/740 DM 1xGRN115/740/-



Iridium 3 – Le luminaire d'éclairage routier connecté, intelligent et prêt à l'emploi Le système Iridium 3 est le premier luminaire véritablement intelligent conçu pour une connectivité continue. Simplicité de la mise en service : il vous suffit d'installer le luminaire et de le contrôler à distance grâce au logiciel de gestion CityTouch. La gestion de l'éclairage à distance devient très simple ! Le nouveau concept « prêt à l'emploi » a été conçu pour garantir une installation simple et sûre en seulement trois étapes : 1. Installez l'embout de fixation 2. Raccordez la tension d'alimentation 3. Inclinez et fermez le luminaire. L'efficacité élevée du luminaire au niveau du système garantit d'importantes économies d'énergie par rapport aux installations conventionnelles existantes, ce qui permet un amortissement rapide. Avec son grand choix de flux lumineux, d'optiques et de températures de couleur, Iridium 3 s'adapte à la plupart des applications en éclairage public fonctionnel. Le design néo-classique du luminaire lui confère un style général cohérent pour votre environnement.

Rendement: 87.00%
Flux lumineux de lampe: 11449 lm
Flux lumineux de(s) lampe(s): 9961 lm
Puissance: 82.0 W
Rendement lumineux: 121.5 lm/W

Annexe 7 : Exigence en Luminance (cd/m²)

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

* : V/J = nombre de véhicules jour

** : voir tableau 6

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

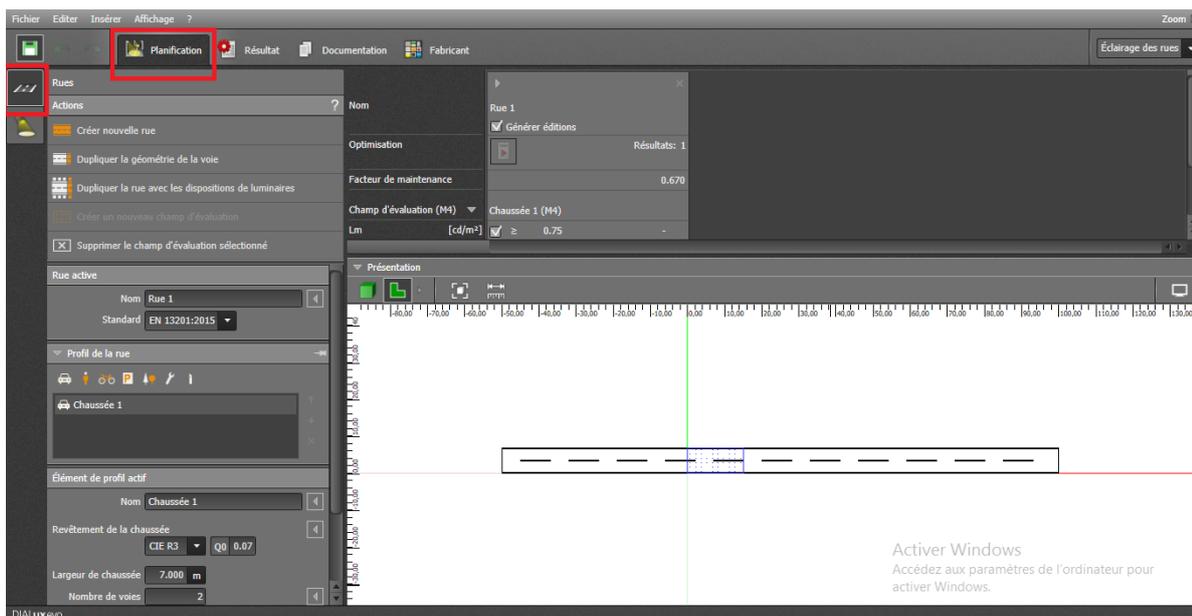
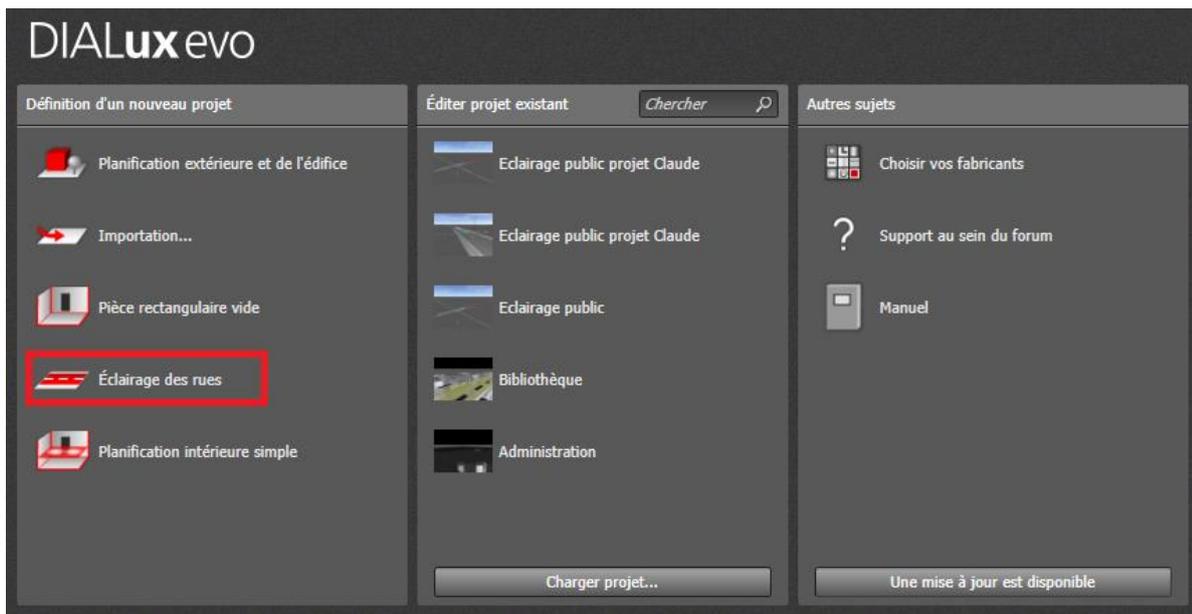
Annexe 8 : Choix de la classe d'éclairage pour la situation B2

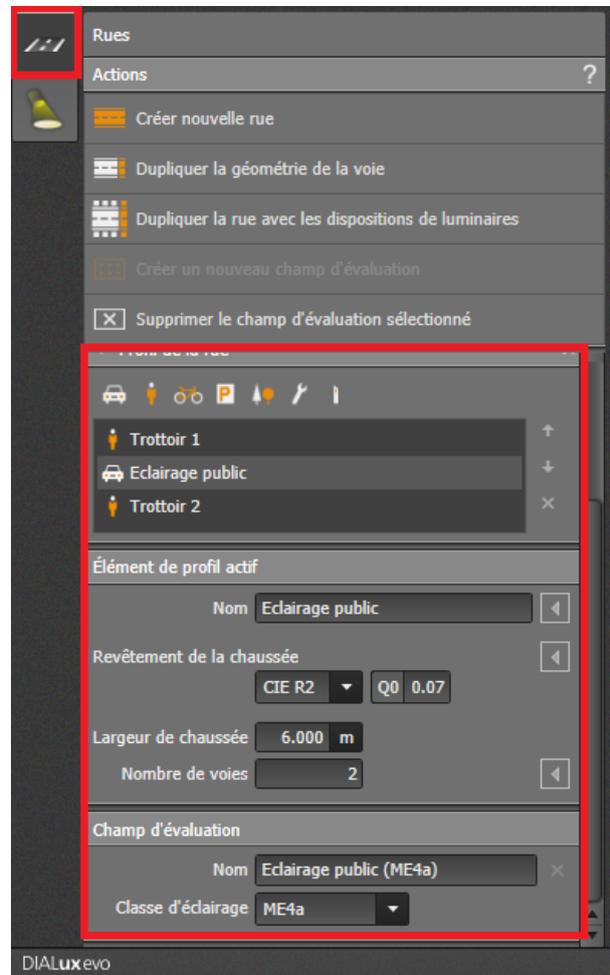
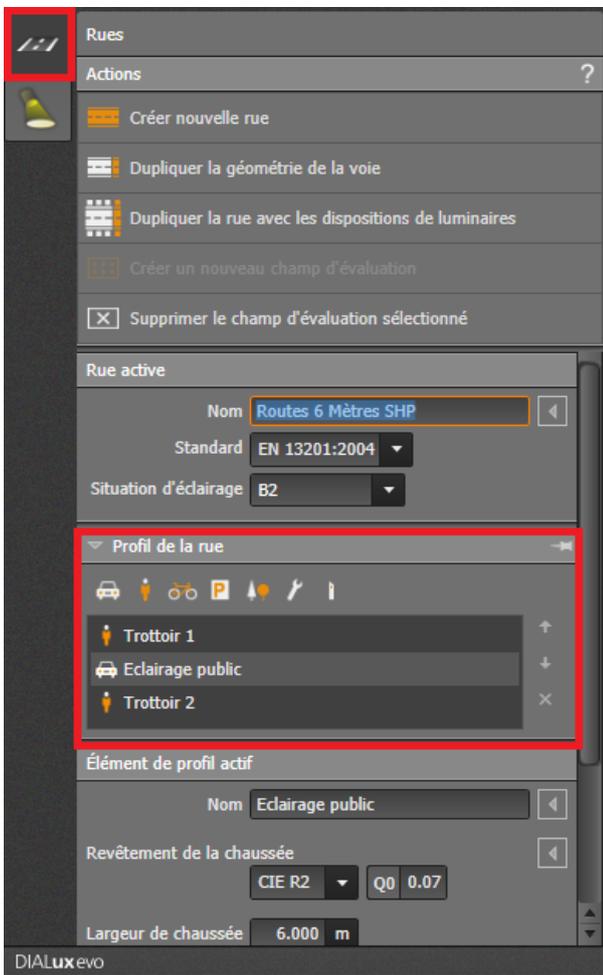
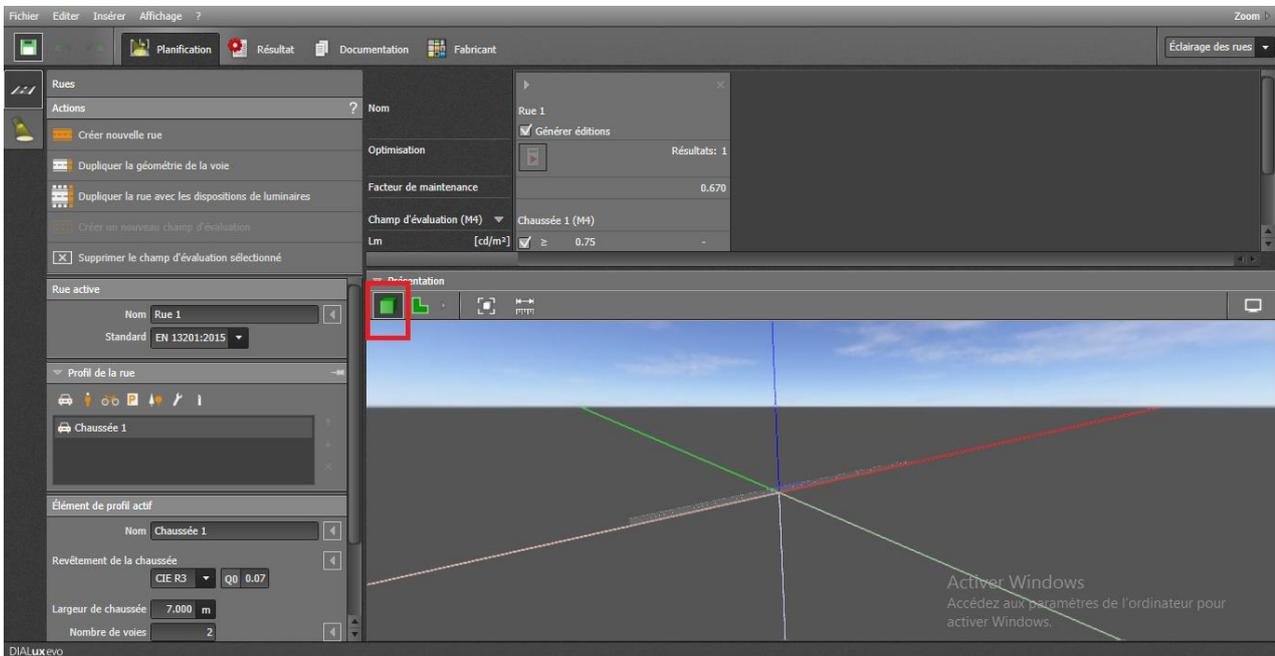
Main weather type	Separation of carriageways	Intersection density Intersections/km	Traffic flow vehicles											
			< 7 000			≥ 7 000 and < 15 000			≥ 15 000 and < 25 000			≥ 25 000		
			←	0	→	←	0	→	←	0	→	←	0	→
Dry	Yes	< 3	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME3b
		≥ 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2
	No	< 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2
		≥ 3	ME4a	ME3b	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2	ME3b	ME2	ME1
Wet		Choice as above, but select MEW classes												

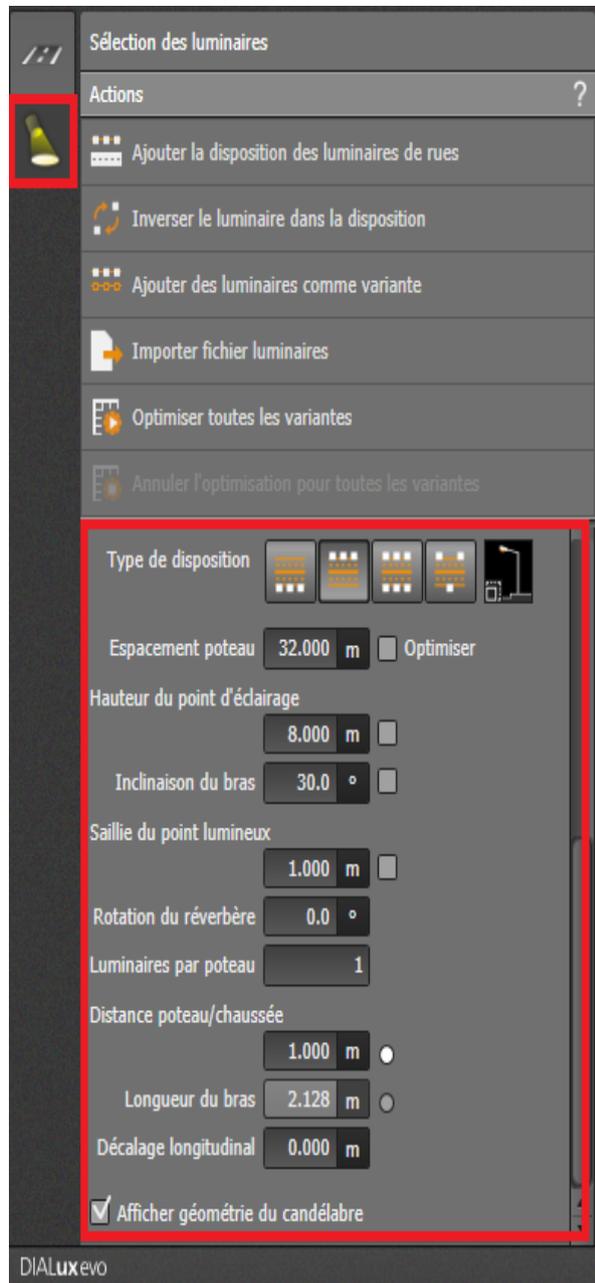
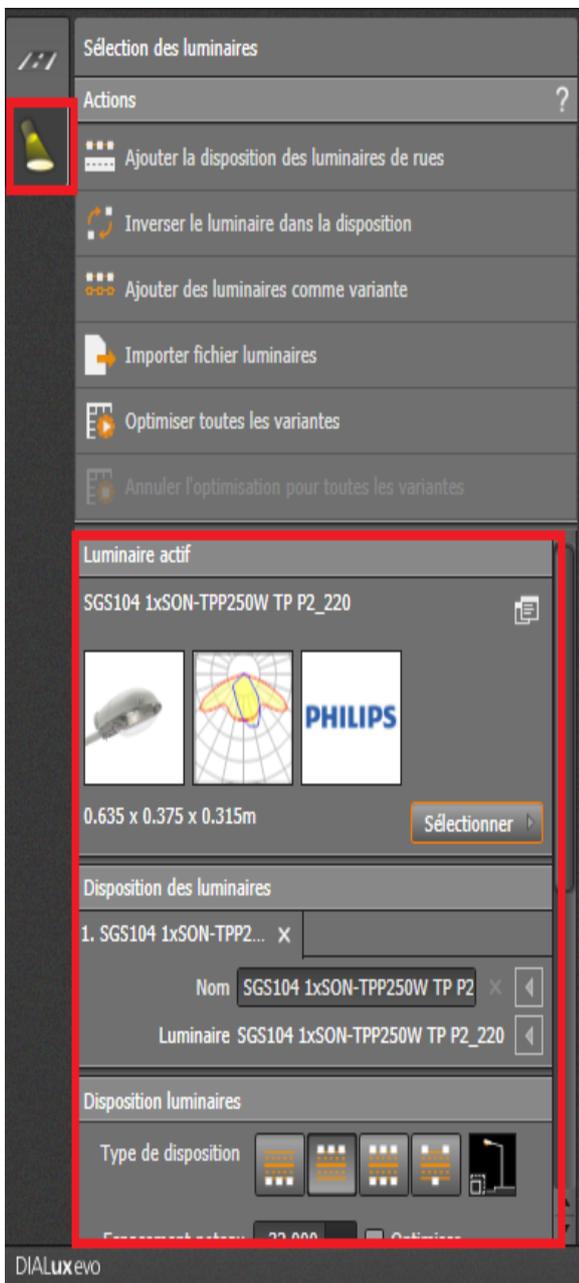
Conflict area	Complexity of visual field	Parked vehicles	Difficulty of navigational task	Ambient luminance		
				Low	Medium	High
No	Normal	Not present	Normal	←	←	0
			Higher than normal	0	0	→
		Present	Normal	←	0	→
			Higher than normal	0	→	→
	High	Not present	Normal	←	0	0
			Higher than normal	0	→	→
		Present	Normal	0	0	→
			Higher than normal	→	→	→
Yes				→ ^a		

^a For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in Table 3.

Annexe 9 : Mode d'utilisation du logiciel DIALux evo







Em	[lx]	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	7.50	19.29	<input checked="" type="checkbox"/>	\geq	7.50	13.30	
Uo		<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.40	0.24	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.40	0.70	<input checked="" type="checkbox"/>	
Champ d'évaluation (ME4a)		Eclairage public (ME4a)				Eclairage public (ME4a)			
Lm	[cd/m ²]	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.75	1.92	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.75	8.80	<input checked="" type="checkbox"/>	
Uo		<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.40	0.57	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.40	0.55	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ul		<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.60	0.63	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.60	0.61	<input checked="" type="checkbox"/>	
TI		<input checked="" type="checkbox"/> \leq	15	14	<input checked="" type="checkbox"/> \leq	15	-	<input checked="" type="checkbox"/>	
SR		<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.50	0.78	<input checked="" type="checkbox"/> \geq	0.50	0.56	<input checked="" type="checkbox"/>	

Annexe 10 : Résultats photométriques de la lampe SHP

Eclairage Public

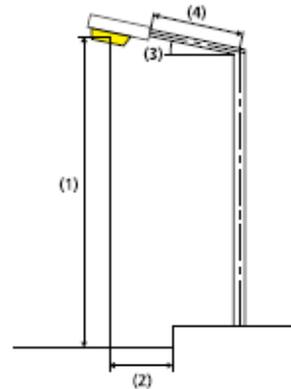
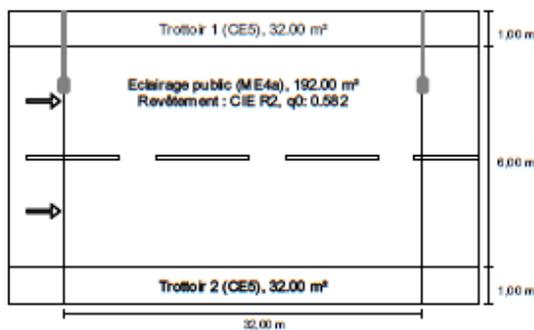
10/04/2019

DIALux

Routes 6 Mètres SHP: Autre possibilité 4 / Résultats de planification

Routes 6 Mètres SHP à EN 13201:2004

Philips SGS104 1xSON-TPP250W TP P2_220



Résultats pour champ d'évaluation
Facteur de maintenance: 0.67

Trottoir 1 (CE5)

Em [lx]	Uo
≥ 7.50	≥ 0.40
✓ 19.29	✗ 0.24

Eclairage public (ME4a)

Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI [%]	SR
≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓ 15.93	✓ 0.57	✓ 0.63	-	✓ 0.78

Trottoir 2 (CE5)

Em [lx]	Uo
≥ 7.50	≥ 0.40
✓ 31.27	✓ 0.64

Lampe:	1xSON-TPP250W/220
Flux lumineux (luminaire):	25596.79 lm
Flux lumineux (lampe):	33300.00 lm
Puissance par luminaire:	276.0 W
W/lm:	856.0
Disposition:	un côté haut
Espacement poteau:	32.000 m
Inclinaison de bras (3):	30.0°
Longueur de bras (4):	2.128 m
Hauteur du point d'éclairage (1):	8.000 m
Saillie point lumineux (2):	1.000 m

ULR: 0.04

ULOR: 0.01

Valeurs maximales de l'intensité lumineuse

à 70° : 352 cd/klm

à 80° : 232 cd/klm

à 90° : 105 cd/klm

Catégorie, intensité lumineuse: /

Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué.

La disposition répond à la classe d'indice d'éblouissement D.5

Annexe 11 : Résultats photométriques de la lampe LED

Eclairage Public

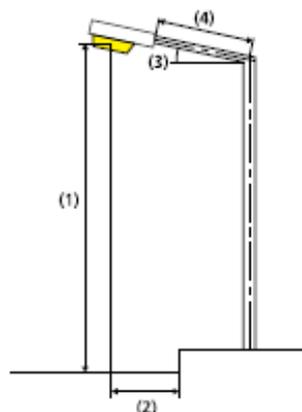
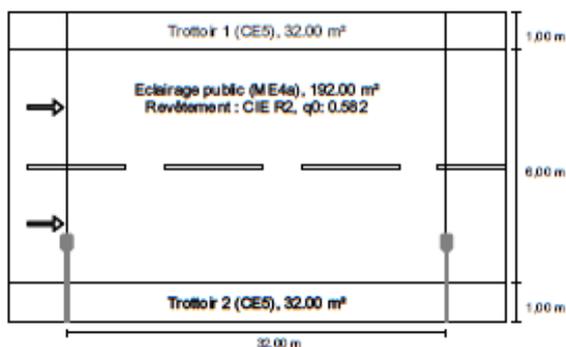
10042019

DIALux

Routes 6 mètres LED Iridium: Autre possibilité 6 / Résultats de planification

Routes 6 mètres LED Iridium à EN 13201:2004

Philips BGP382 1xGRN115/740 DM



Résultats pour champ d'évaluation
Facteur de maintenance: 0.67

Trottoir 1 (CE5)

Em [lx]	Uo
≥ 7.50	≥ 0.40
✓ 13.30	✓ 0.70

Eclairage public (ME4a)

Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI [%]	SR
≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓ 8.80	✓ 0.55	✓ 0.61	-	✓ 0.56

Trottoir 2 (CE5)

Em [lx]	Uo
≥ 7.50	≥ 0.40
✓ 8.45	✗ 0.24

Lampe:	1xGRN115/740-
Flux lumineux (luminaire):	9961.19 lm
Flux lumineux (lampe):	11449.00 lm
Puissance par luminaire:	82.0 W
W/km:	2542.0
Disposition:	un côté bas
Espacement poteau:	32.000 m
Inclinaison de bras (3):	10.0°
Longueur de bras (4):	2.003 m
Hauteur du point d'éclairage (1):	8.000 m
Saillie point lumineux (2):	1.000 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Valeurs maximales de l'intensité lumineuse	
à 70° :	615 cd/kim
à 80° :	121 cd/kim
à 90° :	7.93 cd/kim

Catégorie, intensité lumineuse: G.2

Dans chacune des directions qui, pour les luminaires installés et utilisables, forment avec la verticale inférieure l'angle indiqué.
La disposition répond à la classe d'indice d'éblouissement D.3

Annexe 12 : Indice de rendu des couleurs SHP

Eclairage Public

10/04/2019

DIALux

Routes 6 Mètres SHP: Autre possibilité 4 / Eclairage public (ME4a) / Courbes isophotes

Eclairage public (ME4a)

Facteur de maintenance: 0.67

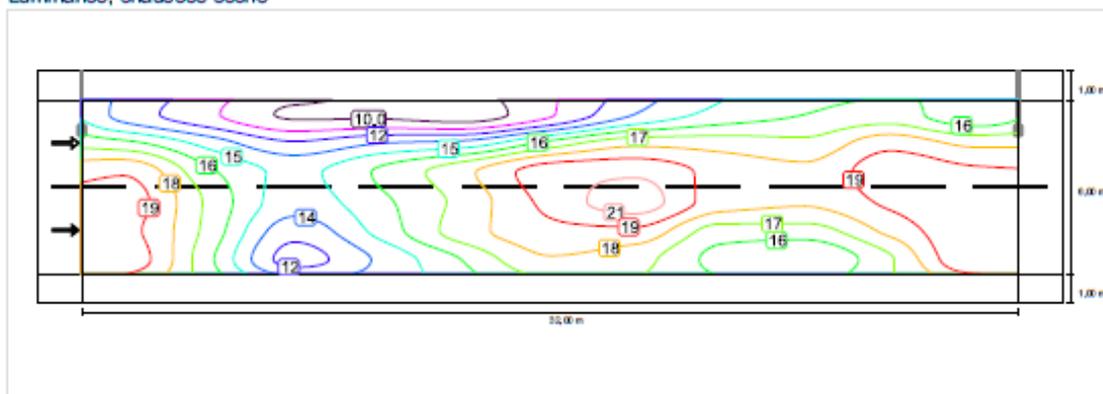
Trame: 11 x 6 Points

Classe d'éclairage choisie: ME4a

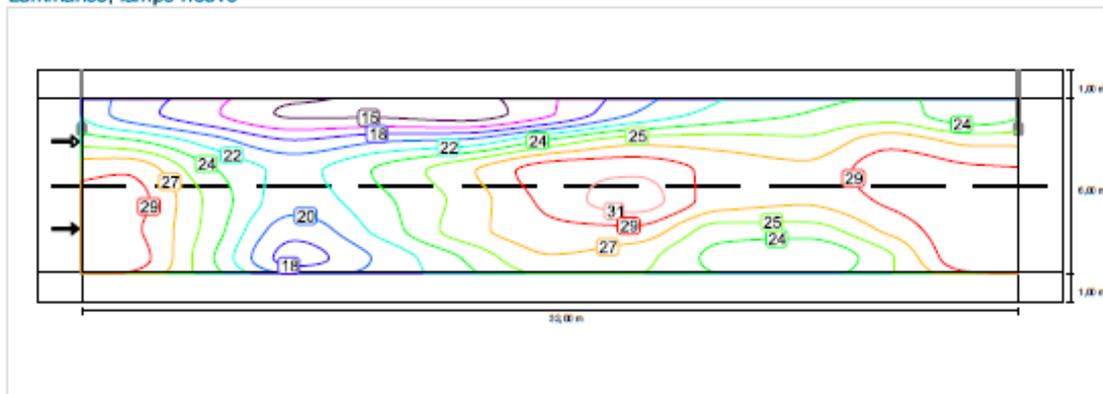
Lm [cd/m²]	Uo	Uf	Ti [%]	SR
≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓ 15.93	✓ 0.57	✓ 0.63	-	✓ 0.78

Observateur 1

Luminance, chaussée sèche



Luminance, lampe neuve



Annexe 13 : Indice de rendu des couleurs LED

Eclairage Public

10/04/2019

DIALux

Routes 6 mètres LED InRoads: Autre possibilité 6 / Eclairage public (ME4a) / Courbes isophotes

Eclairage public (ME4a)

Facteur de maintenance: 0.57

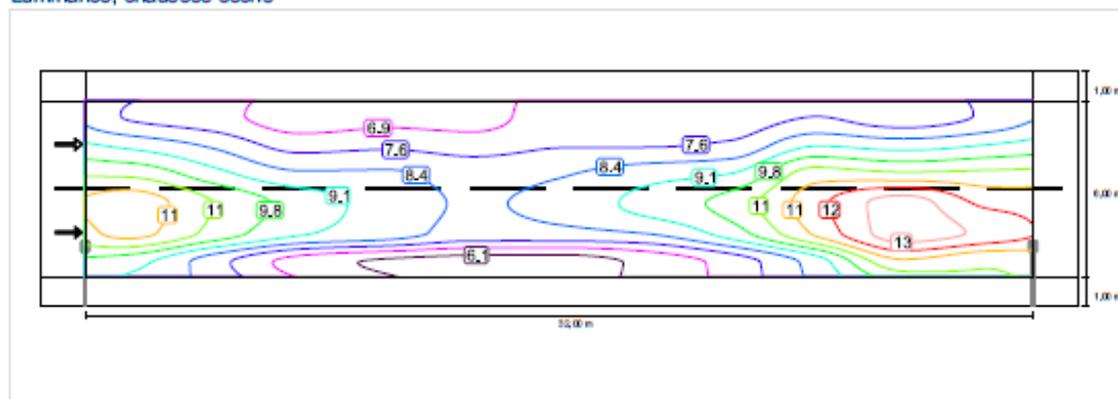
Taxe: 11 x 6 Points

Classe d'éclairage choisie: ME4a

Lm [cd/m²]	Uo	UI	Ti [%]	SR
≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓ 8.80	✓ 0.55	✓ 0.61	-	✓ 0.56

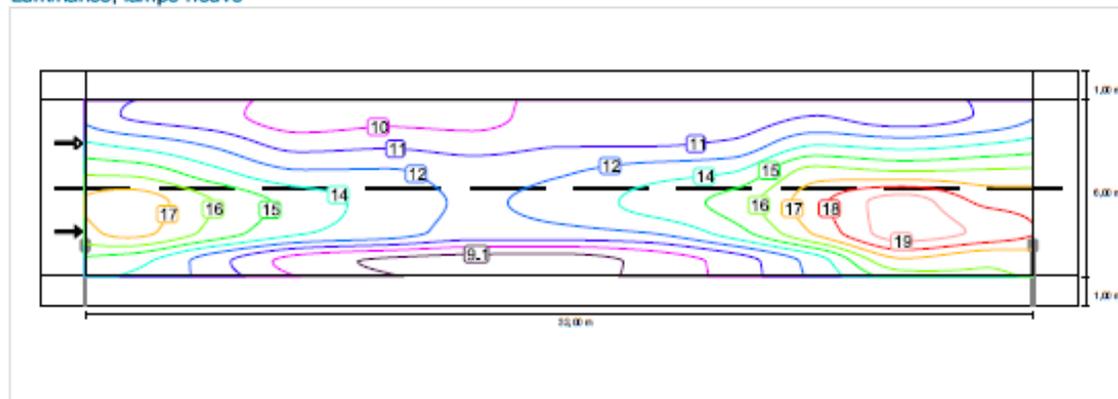
Observateur 1

Luminance, chaussée sèche



Echelle: 1: 200

Luminance, lampe neuve



Echelle: 1: 200

Annexe 14 : Méthodologie de détermination des sections suivant la NF C 17 205

Articles du guide	Règles de protection	Paramètres et caractéristiques
A.2	Détermination du courant d'emploi I_B	
A.3	Détermination du courant d'allumage I_A	
A.4	Choix des dispositifs de protection contre les surintensités	
A.5	Vérification des chutes de tension	
A.6	Protection contre les courts-circuits	
A.7	Protection contre les contacts indirects en schéma TN	

La section des conducteurs S doit être égale ou supérieure à la plus grande des sections S_a , S_b , S_c et S_d .

ΔU est la chute de tension admissible

I_b est le courant absorbé en régime établi par une lampe

I_B est le courant absorbé en régime établi par les lampes

I_a est le courant maximal d'allumage d'une lampe

I_A est le courant maximal d'allumage des lampes

$I_{k \min}$ est le courant de court-circuit minimal au point le plus éloigné de l'installation

I_f est le courant de défaut au point le plus éloigné de l'installation

Tableau A – Courants absorbés par les lampes dans le circuit d'alimentation

Nature des lampes	Puissance (W)	Courant absorbé en régime établi I_b (A)	Courant maximal absorbé lors de l'allumage I_a (A)
Ballons fluorescents à vapeur de mercure	80	0,43	0,74
	125	0,67	1,13
	250	1,26	2,20
	400	2,12	3,45
Lampes au sodium Haute pression (SHP)	70	0,43	0,88
	100	0,62	0,98
	150	0,82	1,28
	250	1,34	2,10
	400	2,12	3,34
Lampes au sodium Basse pression (SBP)	26	0,16	0,20
	36	0,22	0,26
	66	0,38	0,47
	91	0,47	0,59
	131	0,66	0,83

Note : Les valeurs du courant absorbé en régime établi I_b ne tiennent plus compte du coefficient de prévu pour les extensions.

Tableau B – Courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités en fonction du courant d'allumage des lampes I_a

Valeur maximale de la somme des courants d'allumage (I_A) (A)	Valeur maximale du courant assigné du dispositif de protection I_n (A)		Section minimale des conducteurs S_A (mm ²)	
	Fusibles gG	Disjoncteurs de type B	Cuivre	Aluminium
40	40	50	6	10
60	63	63	10	16
75	80	80	16	25
95	100	100	25	35
115	125	125	35	50

Dans les installations d'éclairage public, le conducteur neutre a la même section que les conducteurs de phase.

Tableau C1 – Longueurs maximales (en mètres) des canalisations 230/400 V protégées contre les courts-circuits (section cuivre)

F : Fusibles gG
B : Disjoncteurs type B

Section conducteurs (mm ²)		Courant assigné du dispositif de protection (en A) [conducteurs PR]										
		10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
6	F	554	328	246	197	134	113					
	B	480	300	240	192	150	120	96				
10	F	1020	546	409	328	223	189	129	112			
	B	800	500	400	320	250	200	160	127			
16	F	1630	873	655	524	357	302	207	179	119		
	B	1280	800	640	512	400	320	256	203	160		
25	F	2460	1365	1024	819	558	472	323	279	186	143	
	B	2000	1250	1000	800	625	500	400	317	250	200	
35	F	3490	1911	1433	1146	782	661	453	391	261	200	146
	B	2800	1750	1400	1120	875	700	560	444	350	280	224

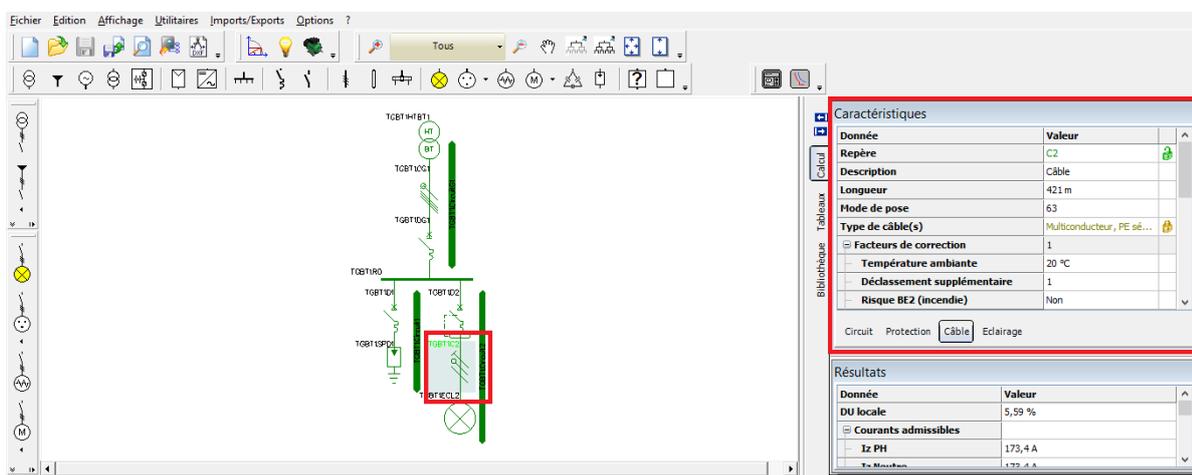
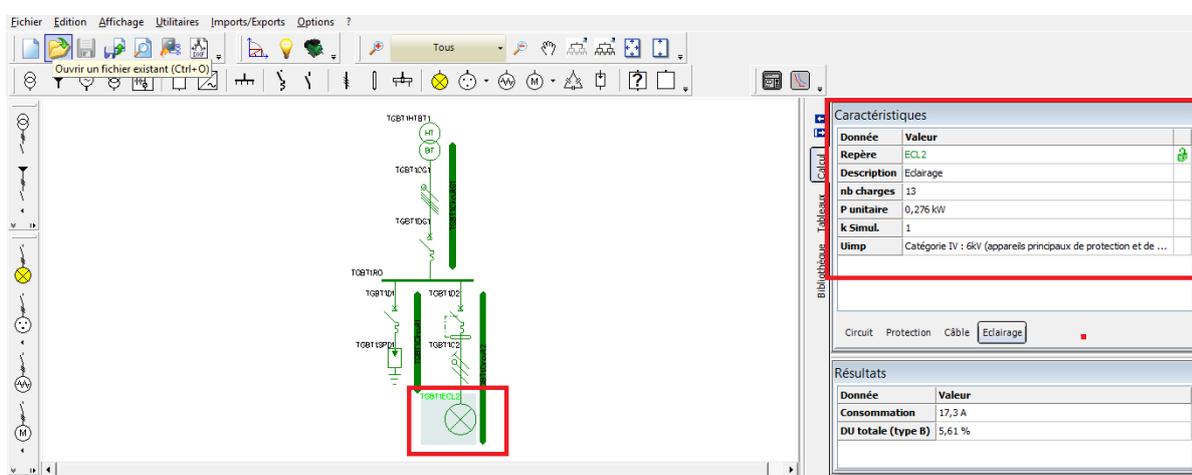
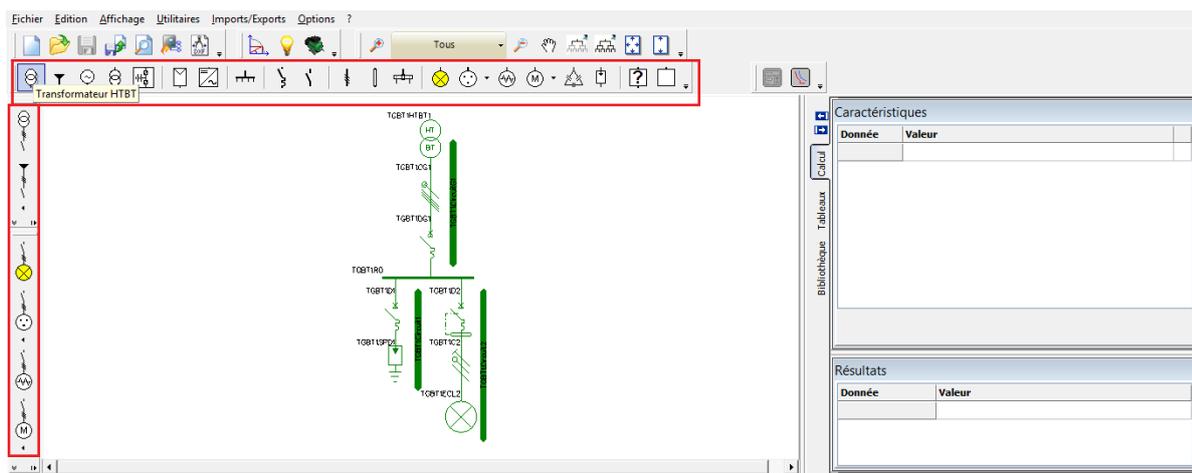
Note : Pour les circuits triphasés sans neutre 400 V, les longueurs de ce tableau sont multipliées par 1,73.

Tableau D – Longueurs maximales (en mètres) de canalisations protégées contre les indirects en schéma TN

F Protection contre les contacts indirects par fusibles gG.
B Protection contre les contacts indirects par disjoncteurs type B.

Section des Conducteurs (mm ²)			Courant assigné du dispositif de protection (A)										
Actifs	PE ou PEN		10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
Cuivre	25	F	459	341	256	205	140	118	81	70	47	36	26
		B	774	484	387	310	242	193	155	123	97	77	62
10	25	F	677	504	378	302	206	175	119	103	69	52	38
		B	1143	714	571	457	357	286	228	181	143	114	91
16	25	F	924	688	517	413	281	238	163	141	94	72	52
		B	1561	975	780	624	487	390	312	248	195	156	125
25	25	F	1184	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67
		B	2000	1250	1000	800	625	500	400	317	250	200	160
35	25	F	1547	1151	864	691	471	399	273	236	157	120	88
		B	2333	1458	1166	933	729	583	467	370	292	233	187

Annexe 15 : Mode d'utilisation du logiciel XLpro



Echier Edition Affichage Utilitaires Imports/Exports Options ?

Donnée	Valeur
Repère	D2
Description	Protection
Choix du matériel	Automatique
Protection surintensités	Disjoncteur (ou disj. diff.) modul...
Protection DDR souhaitée	30 mA
Résultat recherche	63 choix possibles, 1 retenu(s)
Désignation	DX3 C P+N 20A 30mA Type AC
I th	20 A
I mg	200 A

Circuit Protection Câble Eclairage

Donnée	Valeur
Courts-circuits	
Ik1 max	1,776 kA
Sélectivité	Partielle
Limite	0,215 kA

Liste des messages

- de toute l'installation
- de l'élément sélectionné
- Masquer les messages justifiés
- Masquer les informations

1 erreur(s)
1 avertissement(s)
Total : 2 message(s)

Type	Composant	Résumé
	TGBT1.D2	Disjoncteur courbe B utilisé.
	TGBT1.ECL2	Chute de tension trop grande.

Caractéristiques

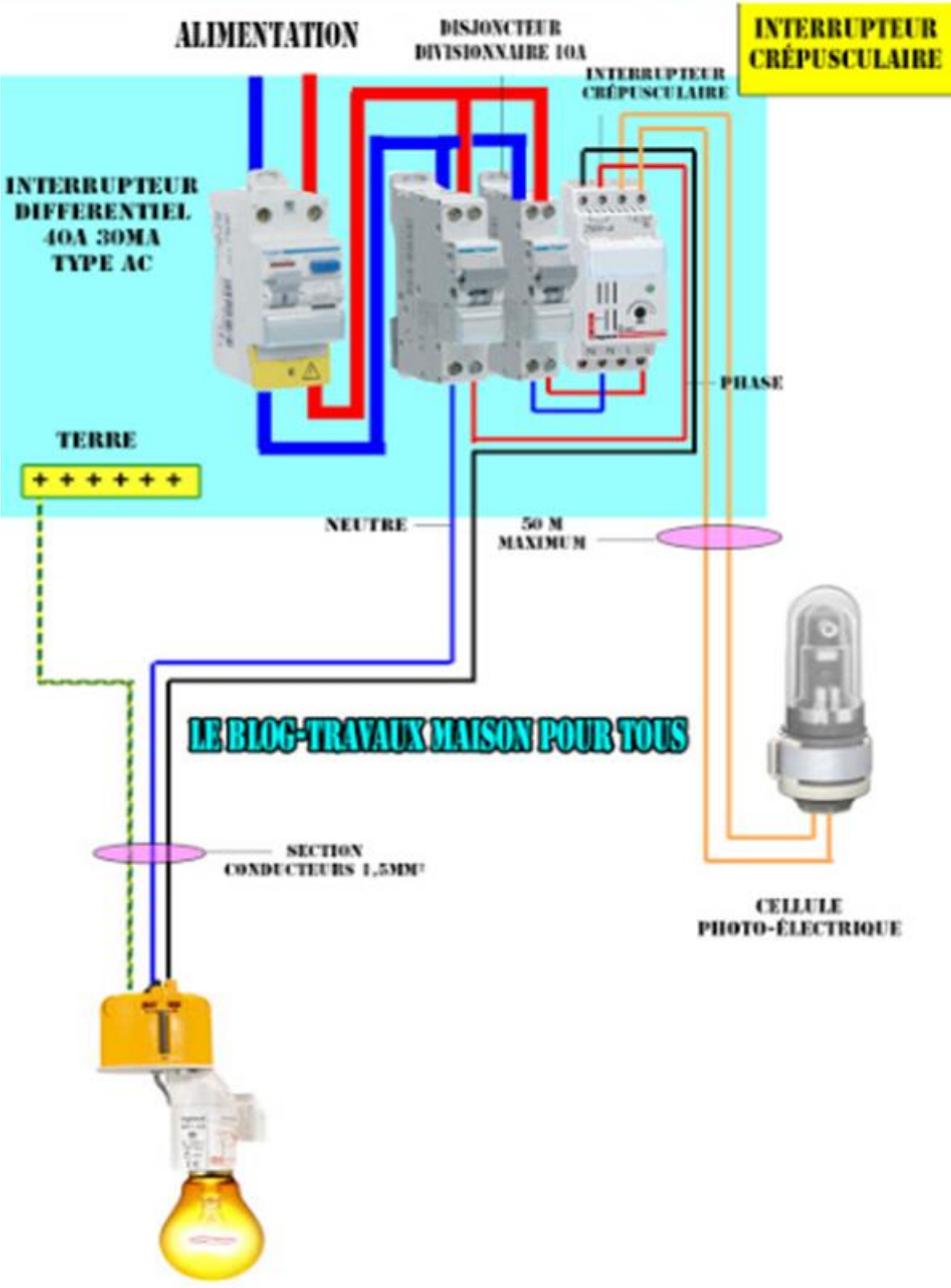
Donnée	Valeur
Isolant	PR-EPR
Conducteur PE Nu	Non
Sections	2x10 + 1G25
Nb conducteurs /phase	1
Section phase	10 mm ²
Nb conducteurs neutres	1
Section neutre	10 mm ²
Nb conducteurs PE	1
Section PE	25 mm ²

Circuit Protection **Câble** Eclairage

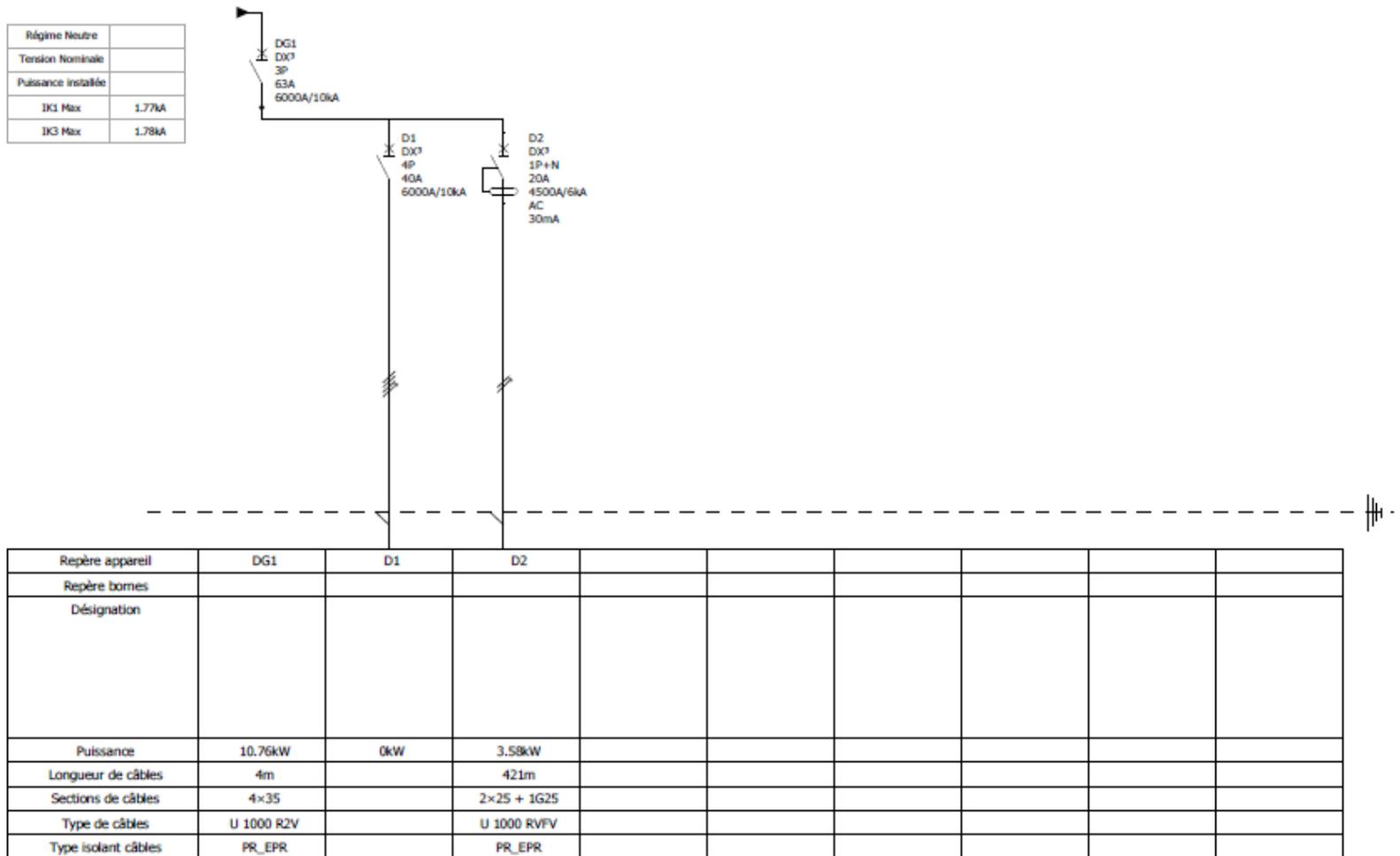
Résultats

Donnée	Valeur
DU locale	13,64 %
Courants admissibles	
Iz PH	104,9 A
Iz Neutre	104,0 A

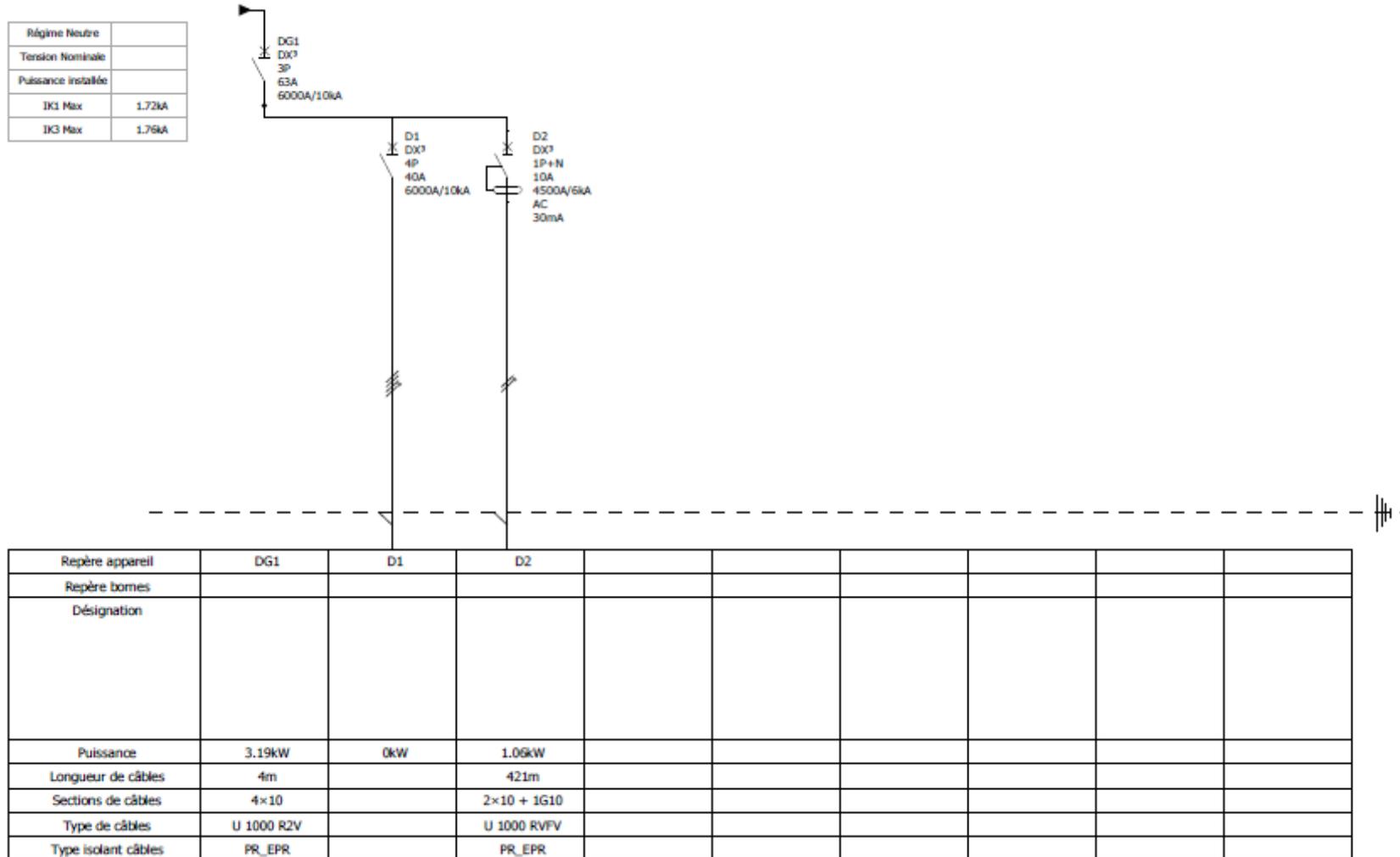
Annexe 16 : Circuit d'allumage des luminaires [7]



Annexe 17 : Schéma unifilaire de l'installation avec lampes SHP



Annexe 18 : Schéma unifilaire de l'installation avec lampes LED



Annexe 19 : Fiche technique du mât et de la crose

BETA • KAPPA • GAMMA

Capacités

HS m	S m	Cat II	22 m/s		24 m/s		26 m/s		28 m/s		34 m/s		M m.daN	T daN	Lm x Hm	
			Cat I	Cat II												
Simple crose Single bracket	6	1	20	0,22	0,16	0,17	0,12	0,13	0,09	0,10	0,06	-	-	338	94	0,4x0,5
		1,5	20	0,11	0,08	0,08	-	0,05	-	-	-	-	-	285	83	0,4x0,5
	7	1	20	0,31	0,23	0,24	0,17	0,18	0,13	0,14	0,09	0,05	-	507	118	0,4x0,6
		1,5	20	0,19	0,14	0,14	0,09	0,10	0,06	0,07	-	-	-	464	113	0,4x0,6
	8	1	20	0,35	0,28	0,28	0,22	0,23	0,26	0,27	0,21	0,15	0,11	815	152	0,5x0,8
		1,5	20	0,35	0,28	0,28	0,22	0,23	0,17	0,18	0,13	0,08	0,06	740	144	0,5x0,7
	9	1	20	0,31	0,24	0,24	0,17	0,17	0,12	0,13	0,08	-	-	901	159	0,5x0,8
		1,5	20	0,22	0,15	0,15	0,10	0,10	0,06	0,07	-	-	-	882	158	0,5x0,8
	10	1	20	0,35	0,26	0,25	0,20	0,20	0,16	0,12	0,08	0,06	0,11	1188	181	0,5x0,9
		1,5	20	0,35	0,32	0,32	0,24	0,24	0,17	0,18	0,12	0,07	-	1186	183	0,5x0,9
	11	1	20	0,31	0,23	0,23	0,16	0,16	0,10	0,11	0,06	-	-	1153	181	0,5x0,9
		1,5	20	0,35	0,34	0,34	0,27	0,27	0,19	0,20	0,13	0,07	-	1291	186	0,5x1,0
12	1	20	0,26	0,19	0,19	0,13	0,13	0,08	0,09	-	-	-	1234	183	0,5x0,9	
	1,5	20	0,17	0,12	0,11	0,07	0,07	-	-	-	-	-	1156	173	0,5x0,9	
Double crose Double bracket	6	1	20	0,11	0,08	0,08	-	0,05	-	-	-	-	-	481	118	0,4x0,6
		1,5	20	0,20	0,15	0,15	0,11	0,08	0,08	0,05	-	-	-	716	150	0,4x0,7
	7	1	20	0,19	0,14	0,14	0,09	0,10	0,06	0,07	-	-	-	767	159	0,4x0,8
		1,5	20	0,32	0,25	0,25	0,20	0,15	0,16	0,11	0,07	-	-	1079	187	0,5x0,9
	8	1	20	0,29	0,23	0,23	0,17	0,17	0,13	0,13	0,09	0,05	-	1129	195	0,5x0,9
		1,5	20	0,27	0,20	0,20	0,15	0,10	0,11	0,07	-	-	-	1163	200	0,5x0,9
	9	1	20	0,18	0,12	0,13	0,08	0,08	-	0,05	-	-	-	1103	194	0,5x0,9
		1,5	20	0,30	0,24	0,24	0,17	0,18	0,13	0,14	0,09	0,05	-	1264	199	0,5x0,9
	10	1	20	0,27	0,21	0,21	0,15	0,16	0,11	0,12	0,08	-	-	1360	211	0,5x1,0
		1,5	20	0,31	0,23	0,23	0,17	0,17	0,12	0,13	0,08	-	-	1491	226	0,5x1,0
	11	1	20	0,22	0,15	0,15	0,10	0,10	0,06	0,07	-	-	-	1419	219	0,5x1,0
		1,5	20	0,28	0,22	0,22	0,17	0,17	0,13	0,14	0,10	0,06	-	1545	219	0,5x1,0
12	1	20	0,25	0,20	0,19	0,15	0,15	0,11	0,11	0,07	-	-	1597	225	0,5x1,1	
	1,5	20	0,32	0,23	0,23	0,15	0,15	0,09	0,10	-	-	-	1599	226	0,5x1,1	
11	1	20	0,30	0,20	0,20	0,11	0,12	0,05	0,06	-	-	-	1599	223	0,5x1,1	
	1,5	20	0,20	0,14	0,14	0,09	0,10	0,06	0,06	-	-	-	1488	207	0,5x1,0	
12	1	20	0,19	0,13	0,13	0,09	0,09	0,05	0,06	-	-	-	1600	219	0,5x1,1	
	1,5	20	0,17	0,11	0,11	-	-	-	-	-	-	-	1600	215	0,5x1,1	
12	1	20	0,22	0,15	0,14	0,09	0,09	-	-	-	-	-	1600	209	0,5x1,1	
	1,5	20	0,18	0,11	0,10	-	-	-	-	-	-	-	1600	203	0,5x1,1	

*Uniquement avec modèle BETA - *Only with BETA type.

Candélabre à crose tubulaire en acier, diamètre 60 mm, remontée 2 m.
Fût rond-conique en acier : OMEGA 60 pour H = 6 et 7 m. OMEGA 62 pour H = 8 à 12 m.

Column with tubular steel bracket, 60 mm dia and 2 m high.
Round-conical steel shaft : OMEGA 60 for H = 6 and 7 m. OMEGA 62 for H = 8 to 12 m.

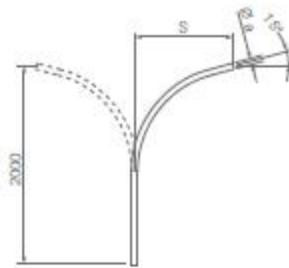
Dimensions

HS m	S m	Øa mm	Øb mm	Lp mm	Pp mm	Hp mm	Øc mm	E mm	TS mm
6	1	60	116	450	71	500	55x70	200	J 16/14x300
	1,5	60	116	450	71	500	55x70	200	J 16/14x300
7	1	60	130	450	73	500	60x90	200	J 16/14x300
	1,5	60	130	450	73	500	60x90	200	J 16/14x300
8	1	60	152	500	98	500	75x90	300	J 20/18x400
	1,5	60	152	500	98	500	75x90	300	J 20/18x400
9	1	60	160	500	99	500	75x90	300	J 20/18x400
	1,5	60	160	500	99	500	95x95	300	J 20/18x400
10	1	60	174	500	101	500	95x95	300	J 20/18x400
	1,5	60	174	500	101	500	95x110	300	J 20/18x400
11	1	60	184.5	600	128	500	110x110	300	J 20/18x400
	1,5	60	184.5	600	128	500	110x110	300	J 20/18x400
12	1	60	200	600	132	500	115x135	300	J 20/18x400
	1,5	60	200	600	132	500	115x135	300	J 20/18x400

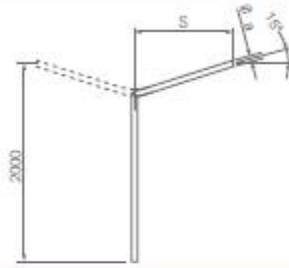
*Uniquement avec modèle BETA - *Only with BETA type.



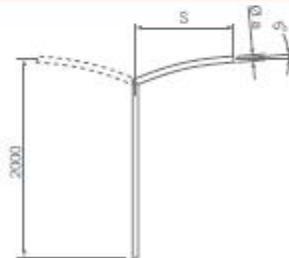
BETA
Crosse cintrée (15°)
Curved shape (15°)



KAPPA
Crosse cassée (15°)
Broken shape (15°)



GAMMA
Crosse cintrée cassée (5°)
Curved and broken (5°)



BETA
KAPPA
GAMMA

Hauteur de 6 à 12 mètres
6 to 12 meters height



PETITJEAN | 47

CANDELABRES • ROND-CONIQUE | COLUMNS • ROUND-CONICAL

Accessoires pour mâts et candélabres acier | Steel poles and columns accessories _____

Crossettes | Mounting brackets

Appelée couramment "crossettes KC", la gamme se compose de 4 types. Les crossettes se fixent en top de fût de diamètre 60 à 62 mm comme une crosse standard. L'inclinaison est de 5° ou 15°.

Commonly known as "KC brackets", our product line comprises 4 types. Mounting brackets are mounted on 60-62 mm top diameter pole in the same way as a standard bracket. Tilting angle: 5° or 15°.

Simple crossette | Single bracket

Type SC | SC type
Saillie | Outreach 150 mm - 500 mm



Double crossette | Double bracket

Type SC | SC type
Saillie | Outreach 150 mm - 500 mm



Triple crossette | Triple bracket

Type SC | SC type
Saillie | Outreach 150 mm - 500 mm



Quadruple crossette | Quadruple bracket

Type SC | SC type
Saillie | Outreach 150 mm - 500 mm



Simple crosse DA | Single bracket DA

Type SC et DC | SC and DC type
Saillie | Outreach 1000 mm - 1500 mm



Double crosse DA | Double bracket DA

Type SC et DC | SC and DC type
Saillie | Outreach 1000 mm - 1500 mm



La crossette piéton | The pedestrian bracket

Se fixe en applique sur le fût ou en façade
Applied on a pole or a frontage

Type SC | SC type
Inclinaison 5°, 10°, 15° | Tilting angles of 5°, 10°, 15°
Saillie 500 mm | Outreach 500mm

