

REPUBLIQUE DU SENEGAL

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DU GENIE ELECTRO-MECANIQUE

GEMO 154

PROJET DE FIN D'ETUDE

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

NNT

titre:

OPTIMISATION DES FOYERS LUMINEUX DANS LES RESEAUX
D'ECLAIRAGE PUBLIC

Présenté par: Messan AMOUSSOU-KOUEDETE

Directeur: Cheikh WADE

Juillet 1992

DEDICACE

A mon Père

A ma Mère

A mes frères et soeurs

A tous ceux qui me sont chers

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Mr Cheikh WADE Professeur à l'ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES pour avoir bien voulu encadrer ce projet et pour ses conseils et ses efforts dont il n'a fait aucun ménage afin que ce dernier réussisse.

Nous tenons également à remercier les personnes qui de près ou de loin ou de quelque manière que ce soit ont contribué au bon déroulement de ce projet.

Nous ne saurons terminer sans remercier les familles Tokpé, Hazoumé et Traoré sans lesquelles notre séjour au Sénégal n'aurait été si beau.

Liste des figures

- Figure 1 : Courbe du facteur d'utilisation.....
- Figure 2 : Schéma montrant le flux avant et le flux arrière....
- Figure 3 : Appareil placé en surplomb de la chaussée
- Figure 4 : Appareil placé en recul de la chaussée.....
- Figure 5 : Calcul de l'éclairement en un point.....
- Figure 6 : Calcul de l'éclairement en un point.....
- Figure 7 : Schéma montrant la division de la chaussée en bandes
rectangulaires.....
- Figure 8 : Nationale 1, niveau de la commune de Pout.....
- Figure 9 : Nationale 1, niveau église Marie-reine de Thiès....
- Figure 10: Nationale 1, niveau ancienne usine Bata de Rufisque.
- Figure 11: Calcul de l'éclairement avec la nouvelle approche...
(avancée nulle)
- Figure 12: Calcul de l'éclairement par la nouvelle approche....
(avancée = 1.5 mètres)
- Figure 13: Calcul de l'éclairement point par point.....
- Figure A1: Angles à considérer dans l'étude des luminaires des
revêtements de chaussées.....

Liste des tableaux

Tableau 4.2.1 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°1 avec la lampe MAFD 250.....	41
Tableau 4.2.2 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°2 avec la lampe MAFD 250.....	41
Tableau 4.2.3 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°3 avec la lampe MAFD 250.....	42
Tableau 4.2.4 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°1 avec la lampe MAFD 125.....	42
Tableau 4.2.5 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°2 avec la lampe MAFD 125.....	43
Tableau 4.2.6 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°3 avec la lampe MAFD 125.....	43
Tableau 4.2.7 : Somme des éclairagements dûs par tous les foyers pour MAFD 250 et MAFD 125.....	44
Tableau 4.2.8 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°1 avec la lampe MAFD 250..... (avec un double espacement)	45
Tableau 4.2.9 : Calcul des éclairagements dûs au foyer N°2 avec la lampe MAFD 250 (avec un double espacement)	45
Tableau 4.2.10: Calcul des éclairagements dûs au foyer N°3 avec la lampe MAFD 250 (double espacement)	46
Tableau 4.2.11: Somme des éclairagements dûs au trois foyers lumineux pour MAFD 250 (double espacement)	46

TABLE DES MATIERES

Matières	Pages
Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Table des matières.....	V
SOMMAIRE.....	VI
Chapitre 1 INTRODUCTION.....	1
Chapitre 2 METHODE DE CALCUL RELATIFS AU PROJET.....	3
3_1- Définitions.....	3
3_2- Contraintes d'installation.....	4
3_3- Calcul proprement dit.....	5
Chapitre 3 ANALYSE ET ETUDE DES DONNEES RECUILLIES....	16
Chapitre 4 CALCUL DE L'ECLAIREMENT.....	21
4_1- Nationale de Rufisque.....	21
4_2- Nationale de Thiès.....	37
Chapitre 5 EVALUATION DU COUT.....	48
Chapitre 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	54
ANNEXES.....	58
BIBLIOGRAPHIE.....	64

SOMMAIRE

La lumière nous permet de voir les objets. Sans lumière, l'homme est aveugle et quand il ferme les yeux, la lumière n'a plus de sens pour lui. Ainsi, l'éclairagisme qui est la science de l'éclairage doit prendre en compte des éléments physiques mesurables et des éléments psychologiques humains. Donc pour tenir compte de la grande variété des humains, et selon les régions, il faut se fixer des bases qui serviront de repère.

Ainsi dans notre Projet de fin d'étude qui consiste en l'optimisation des foyers lumineux dans les réseaux d'éclairage publics, nous essayerons de prendre en compte toutes ces données précitées et de respecter les règles de l'art .

Dès lors nous essayerons après une analyse des situations actuelles et un calcul des éclairagements dûs aux foyers lumineux dans certains sites de dégager des recommandations.

Chapitre 1: INTRODUCTION

Pour bien voir, il faut suffisamment de lumière et les sources de lumière doivent être convenablement choisies et bien réparties. Mais, dans nos villes et communes nous remarquons une disparité au niveau des foyers lumineux et des sites d'implantation .

Cette disparité est causée par divers facteurs dont le plus important est le facteur économique. Le coût de l'éclairage devenant de plus en plus élevé, les communautés urbaines et semi-urbaines manquant de moyens n'arrivent plus à maintenir un bon éclairage au niveau des routes et des places publiques. Dans d'autres cas, il y a un éclairage excessif ce qui fait que le coût qu'engendre l'électrification des routes devient très élevé dans le temps. Dès lors , afin de bien montrer ces deux aspects , nous avons pris un cas extrême d'éclairage excessif qui est la Nationale1 de Rufisque et un autre cas dont l'éclairage n'est pas très bon, la Nationale 1 de Thiès . L'éclairage faible engendre des accidents de circulation. Donc, d'un côté comme de l'autre, les dégâts occasionnés sont considérables. Il nous faut donc avoir un éclairage minimum et uniforme pour bien voir. Aussi, dans certaines communautés le niveau d'éclairage est très élevé. Ainsi dans le souci de pallier cette disparité, nous essayerons tout au long de notre projet de proposer ou d'élaborer des politiques en vue d'optimiser les foyers lumineux. Nous essayerons aussi en utilisant des méthodes de calcul se basant sur les normes* d'un bon éclairage et en tenant compte des conditions

locales voir si les niveaux d'éclairage au niveau des sites de Rufisque et de Thiès sont acceptables.

Dès lors, après une exposition des méthodes de calcul, une analyse et une étude des données recueillies sur les deux sites précités et une évaluation économique nous formulerons des recommandations qui contribueront en l'optimisation des foyers lumineux dans les réseaux d'éclairage public.

* Dans le cadre de cette étude, nous nous baserons sur les normes éditées par une firme leader dans l'éclairage: la firme MAZDA.

Chapitre 2: METHODE DE CALCULS RELATIFS AU PROJET

Dans cette partie où nous essayerons de voir de façon générale les méthodes de calcul de l'éclairement en différents points de la chaussée, il s'avère important afin d'éviter toute mauvaise compréhension de définir les termes et les contraintes minimales.

3.1 Définitions

Avant de présenter la méthode de calcul relatif au projet, il s'avère indispensable de définir certains termes afin d'éviter toute ambiguïté.

Flux lumineux

Quantité d'énergie lumineuse rayonnée par seconde. Son unité est le Lumen.

Intensité lumineuse

Densité d'énergie lumineuse rayonnée par seconde dans une direction. Son unité est le candela. Le flux lumineux est donc la somme des intensités lumineuses émises dans un espace donné.

Eclairement

L'éclairement moyen est le rapport du flux lumineux sur la surface qui reçoit ce flux (densité de flux lumineux moyen). Unité le lux. En notant F_s ce flux lumineux et S la surface qui le reçoit, on a F_s/S qui est l'éclairement moyen et la limite de cette expression quand S tend vers 0, on a un point M . Donc en un point M de la surface, on a un éclairement ponctuel qui est lié à l'intensité qui

l'atteint. Le rapport de l'éclairement du point le moins éclairé de la surface et de l'éclairement moyen se nomme facteur d'uniformité d'éclairement . Ce facteur est très important. Tout au long de ce projet, nous noterons E_m comme éclairement moyen.

Luminance

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

3.2 Contraintes d'installation

Eclairement moyen

Les recommandations de la société MAZDA préconisent de prendre pour les voies à trafic important et pour une chaussée sombre une valeur de 10 lux au moins. Mais dans le présent projet on peut toutefois descendre un peu au dessous de cette valeur.

Type de chaussée

D'une façon générale , au Sénégal et un peu partout en Afrique occidentale française on a un revêtement enrobé sombre.

Luminance moyenne minimale

Pour la luminance moyenne MAZDA préconise, 1 à 2 cd/m²

Hauteur des lampadaires

Elle est définie en fonction de la largeur de la chaussée à éclairer.

Type d'éclairage

Puisqu'il est ici question d'éclairer une chaussée , nous utiliserons un éclairage direct.

Type d'implantation

Le type d'implantation est fonction de la hauteur du candélabre et de la largeur de la chaussée. Il y a trois types d'implantation: l'implantation axiale, l'implantation unilatérale et l'implantation bilatérale.

3_3 Calcul proprement dit

Les méthodes de calcul utilisées au Sénégal et en général dans les pays francophones d'Afrique Occidentale sont celles de la France. C'est ainsi que tout au long de notre projet nous allons utiliser ces méthodes.

a) Détermination de la hauteur et de l'espacement maximum pour une uniformité acceptable

Méthode du facteur d'utilisation

Dans les catalogues, chaque luminaire est accompagné de sa courbe Facteur d'utilisation en fonction du rapport L/h où L représente la largeur de la chaussée et h la hauteur du foyer lumineux ou du candélabre. D'une façon générale, la courbe a l'allure montrée à la figure 1.

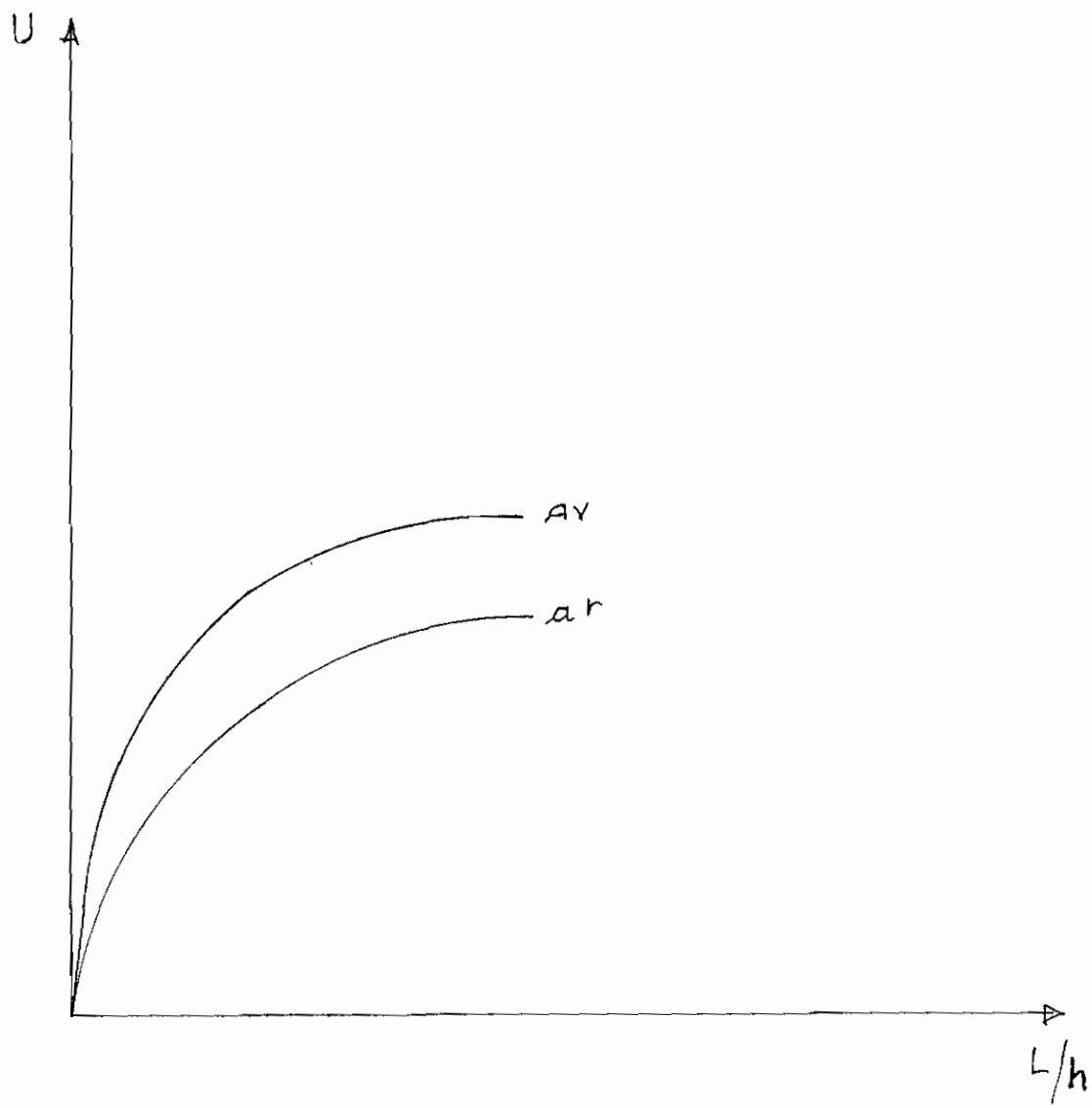


Fig 1: Courbe du facteur d'utilisation

La courbe indexée 'av' permet de lire le facteur d'utilisation concernant le flux avant et la courbe indexée 'ar' pour le flux arrière . Pour mieux cerner ce qui correspond au flux avant et au flux arrière, nous avons essayer de faire la figure 2.

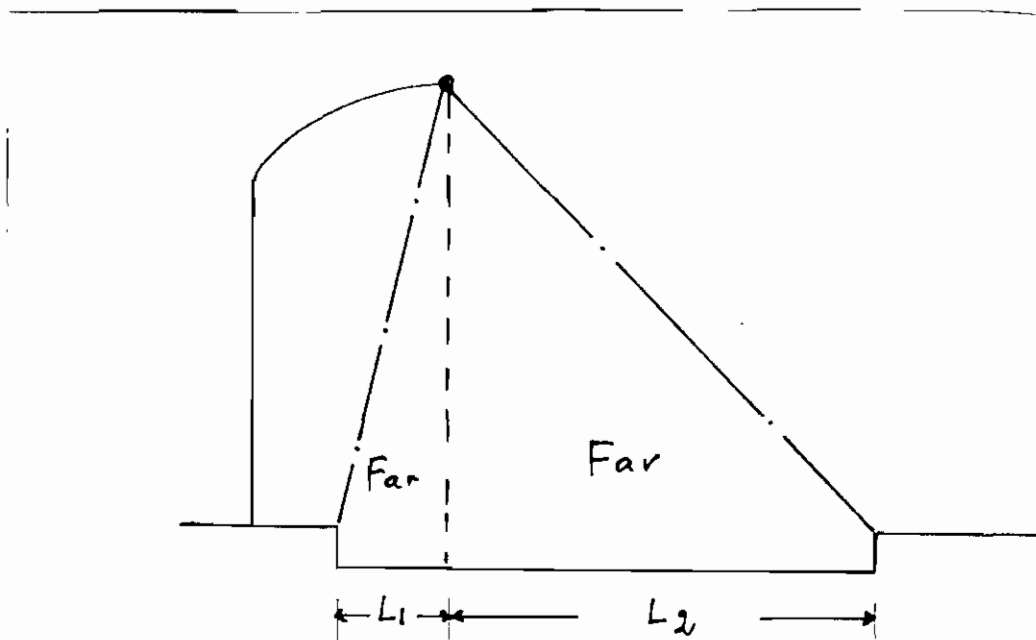


Fig 2: Schéma montrant le flux avant (F_{av}) et le flux arrière (F_{ar}).

Dans le calcul de l'espacement maximum on prend comme donnée de base les dimensions de la chaussée et on fait le choix du luminaire. Dans le catalogue sont données la hauteur maximale et la hauteur minimale à laquelle on peut placer ce luminaire. Aussi, on choisit la lampe à utiliser. Et enfin connaissant les contraintes de l'installation que sont l'éclairage moyen, la luminance moyenne nous pouvons commencer les calculs.

Premier cas: Appareil placé en surplomb de la chaussée.

Pour ce genre de configuration, on a une avancée supérieure à zéro. On calcule le flux utile F_{xu} sur la chaussée. Ce flux utile est égale au flux nominal de la lampe (F_{nl}) multiplié par le facteur d'utilisation. (voir fig 3).

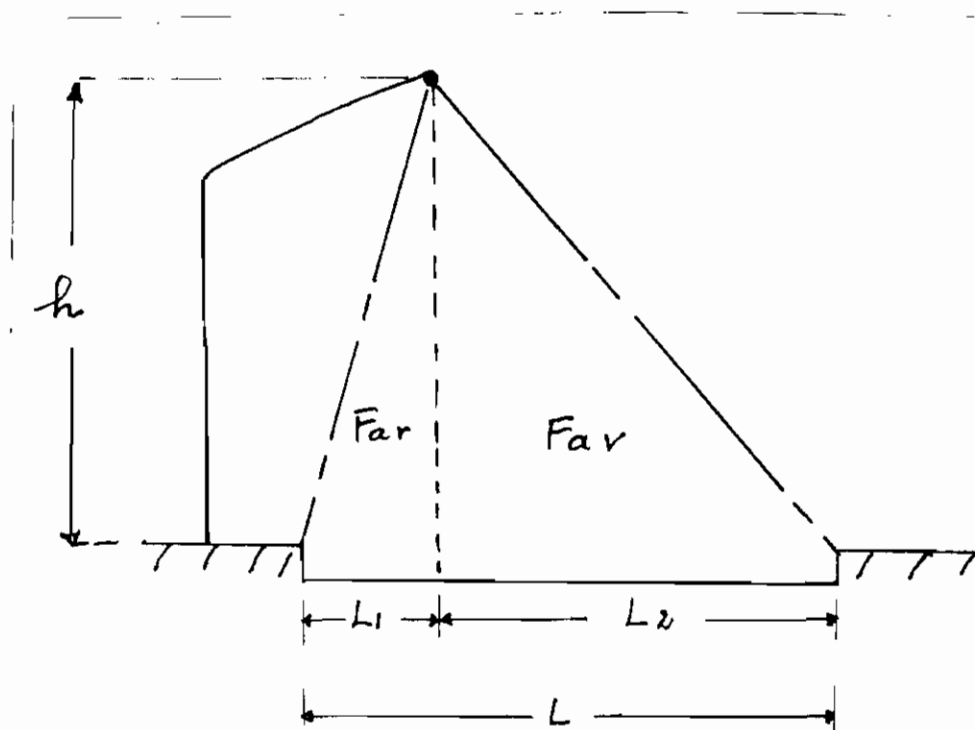


Fig 3: Appareil placé en surplomb de la chaussée.

$$F_{xu} = F_{av} + F_{ar}$$

Fav étant le flux avant et Far le flux arrière

$$F_{av} = F_{nl} * U_{av}$$

$$F_{ar} = F_{nl} * U_{ar}$$

Uav et Uar étant les facteurs d'utilisation lus respectivement sur les courbes indexées 'av' et 'ar'. On a donc la formule:

$$E_{my} = F_{nl} * (U_{av} + U_{ar}) / e * L$$

e étant l'espacement entre deux luminaires ou candélabres.

Ainsi, on tire la valeur de e qui est l'espacement :

$$e = F_{nl} * (U_{av} + U_{ar}) / L * E_{my}$$

On varie L et e dans cette formule jusqu'à avoir un espacement optimum pour une uniformité acceptable.

Deuxième cas: Appareil placé en recul de la chaussée.

Pour cette configuration on a une avancée inférieure à zéro .

(voir fig 4)

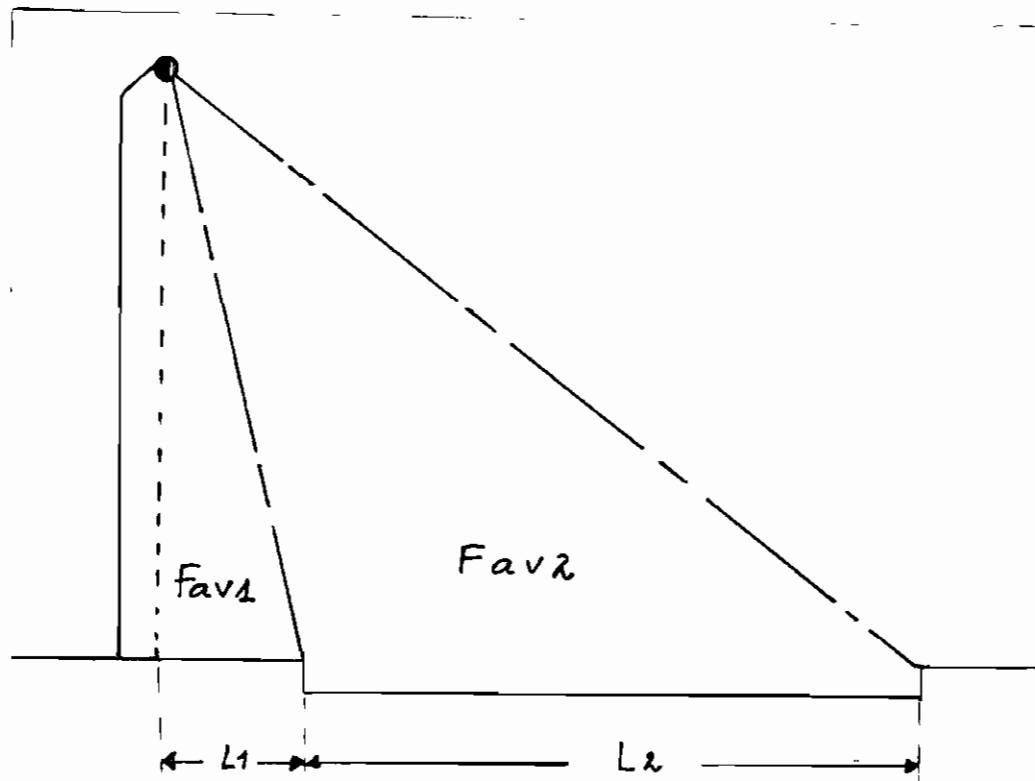


Fig 4: Appareil placé en recul de la chaussée.

On a alors :

$$F_{xu} = F_{n1} * (U_{av2} - U_{av1})$$

d'où

$$e = F_{n1} * (U_{av2} - U_{av1}) / L * E_{my}$$

Pour déterminer le nombre de candélabres ,il suffit donc de diviser la distance de la route à éclairer (longueur de la chaussée) par l'espacement calculé.Ce nombre est toujours arrondi au chiffre supérieur.

b) Calcul de la luminance moyenne

Connaissant les données de base qui sont l'éclairement moyen , le type de chaussée à éclairer et le type de luminaire ou des appareils (défilés ou semi_défilés) on peut déterminer la luminance moyenne à partir de la relation:

$$R = E_{my} / L_{my}$$

R étant une constante relevant du type de revêtement de la chaussée et L_{my} la luminance moyenne. Donc, on a:

$$L_{my} = E_{my} / R$$

En général, dans nos pays on a un revêtement enrobé sombre.

En fait, le calcul de la luminance moyenne sert de vérification.

Elle est comprise entre 1 et 2 cd/m² .

c) Calcul de l'éclairement en un point

Dans cette partie, il s'agit de voir si l'éclairement minimum est respecté en certains points de la chaussée (voir fig5).

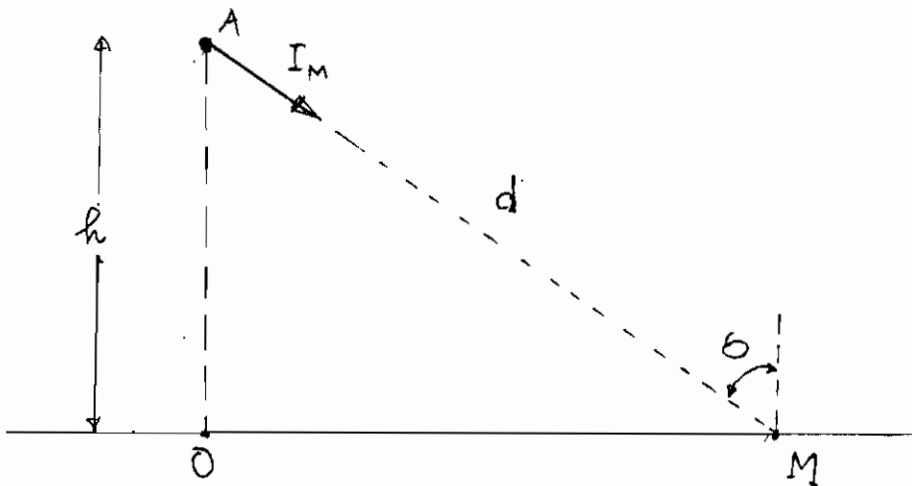


Fig 5 : Calcul de l'éclairement en un point

L'appareil étant placé au point A ,il émet une intensité lumineuse I_m vers le point M.

Dès lors, on a au point M:

-Eclairement sur le plan horizontal E_{hm}

$$E_{hm} = I_m \cos^3 \theta / d^2$$

or $\cos \theta = h/d$ entraîne que $d = h / \cos \theta$ d'où

$$E_{hm} = I_m \cos^3 \theta / h^2$$

-Eclairement sur le plan vertical

$$E_{vm} = I_m \sin^2 \theta / d^2$$

ou $E_{vm} = I_m \sin \theta \cos^2 \theta / h^2$

Avec θ angle entre la direction de l'intensité lumineuse I_m et la perpendiculaire au plan de la chaussée, d la distance parcourue par l'intensité lumineuse I_m , et h la hauteur du foyer lumineux.

Dans le cadre de ce projet,étant donné que nous allons faire le calcul point par point, nous utiliserons la formule suivante

$$E_h = I_m \cos^3 \theta \cos^3 \beta / h^2 \quad (\text{voir fig 6})$$

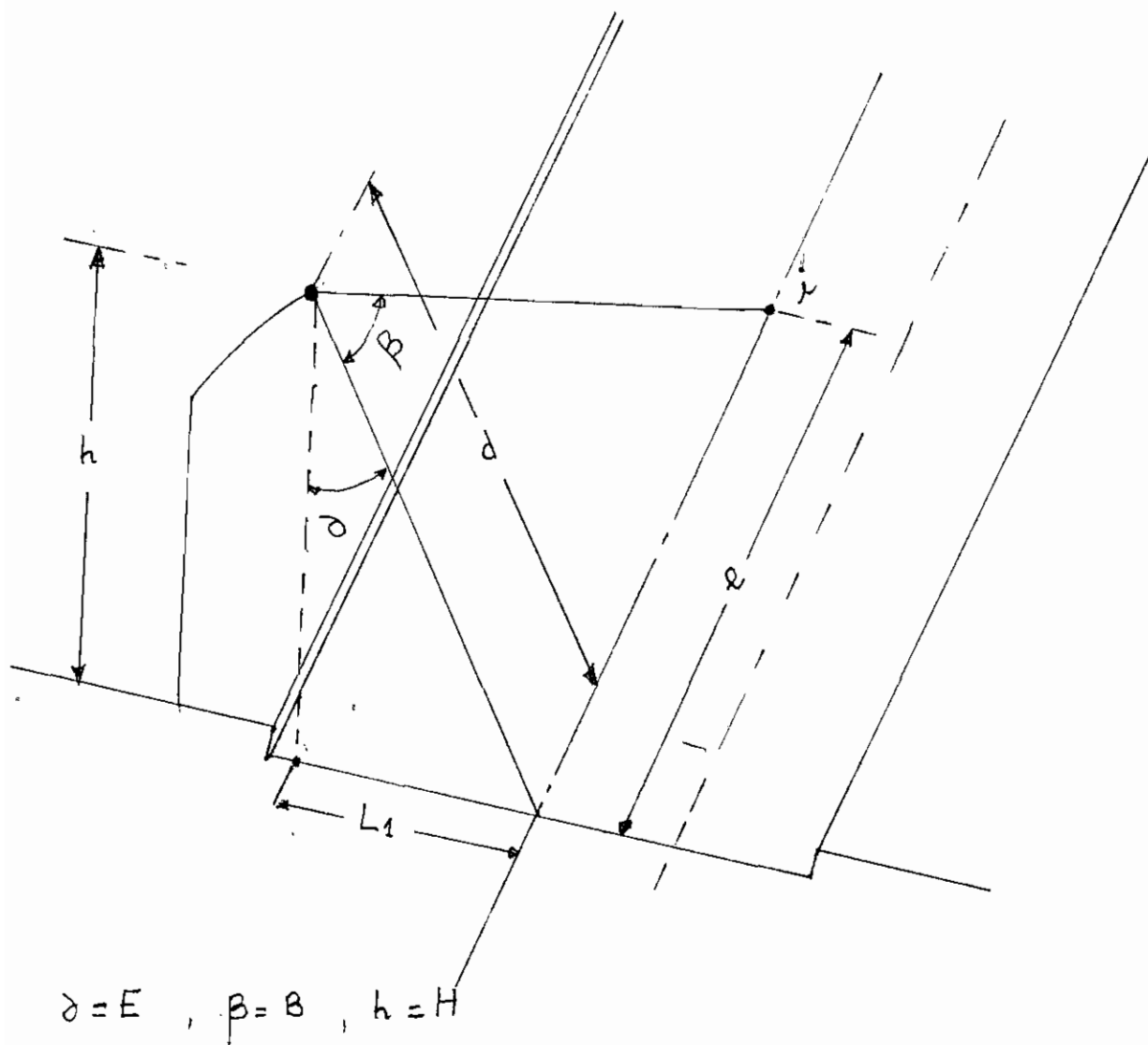


Fig 6: Calcul de l'éclairement en un point.

Dans ce cas précis ,Im est lu en tenant compte de l' angle et de la courbe de répartition des intensités. Cette courbe de répartition des intensités est normalement construite pour chaque luminaire.

Si on veut calculer en un point quelconque i de la chaussée l'éclairement on prendra en compte la contribution de toutes les sources qui sont directement à côté.

Dans le cadre de notre projet, compte tenu du fait que dans le guide édité par MAZDA il n'y a pas de courbe photométrique pour beaucoup de lampes nous avons essayé de développer une approche de calcul qui nous permet de mieux cerner le problème.

La plupart des luminaires possédant des courbes du facteur d'utilisation et compte tenu du fait que nous connaissons déjà les dimensions des chaussées, l'espacement entre deux candélabres nous essayerons donc de déterminer l'éclairement moyen. Comme l'étude devrait se faire sur différents points ce qui est impossible nous avons divisé la largeur de la chaussée en cinq unités de distance. Nous avons alors entre deux foyers des bandes rectangulaires. Ainsi nous avons calculé sur chaque bande rectangulaire l'éclairement moyen. Dès lors le rapport L/h qui nous permettait de rentrer dans la courbe du facteur d'utilisation devient L_1/h , L_1 étant l'unité de distance et à chaque fois qu'on traversait la largeur on multipliait L_1 par 2, 3, 4, 5 selon notre position.

(voir fig7)

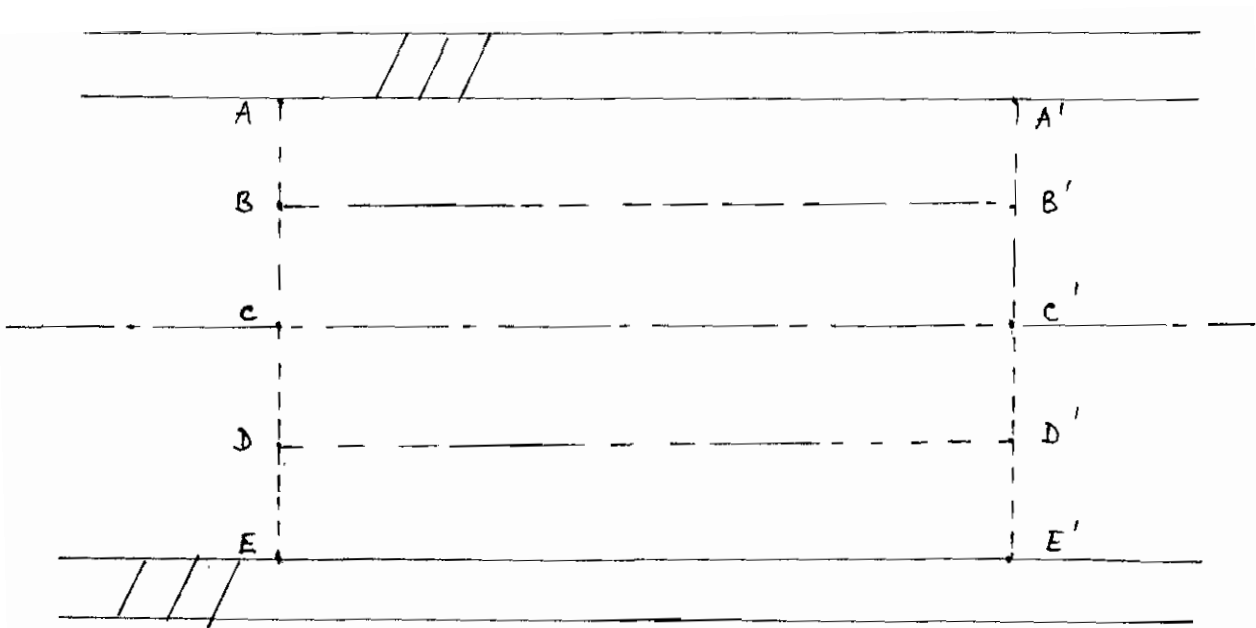


Fig 7: Schéma montrant la division de la chaussée en bandes rectangulaires

Chapitre 3: ANALYSE ET ETUDE DES DONNEES RECUILLIES

Dans le recueil des données, nous avons pris trois sites: la nationale de Thiès au niveau de l'église Marie-Reine , la nationale de Rufisque au niveau de l'ancienne usine BATA et la nationale de Pout au niveau de la commune (voir les figures 8,9,10).

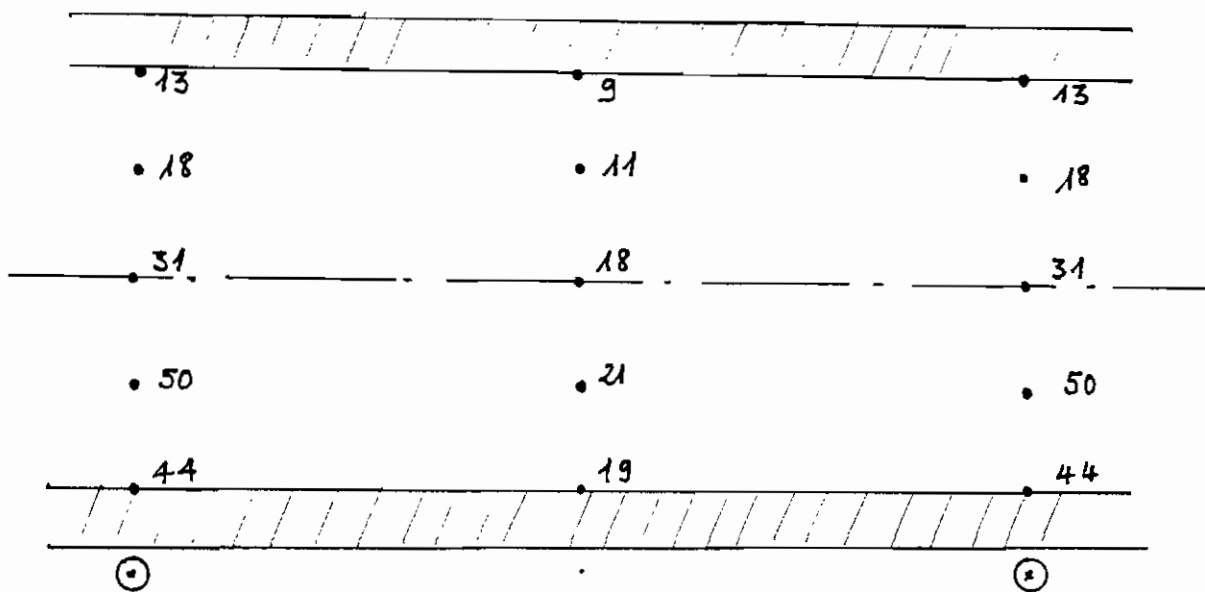


Fig 8: Nationale 1, niveau de la commune de Pout
Eclairements en lux aux points représentés

DIMENSIONS

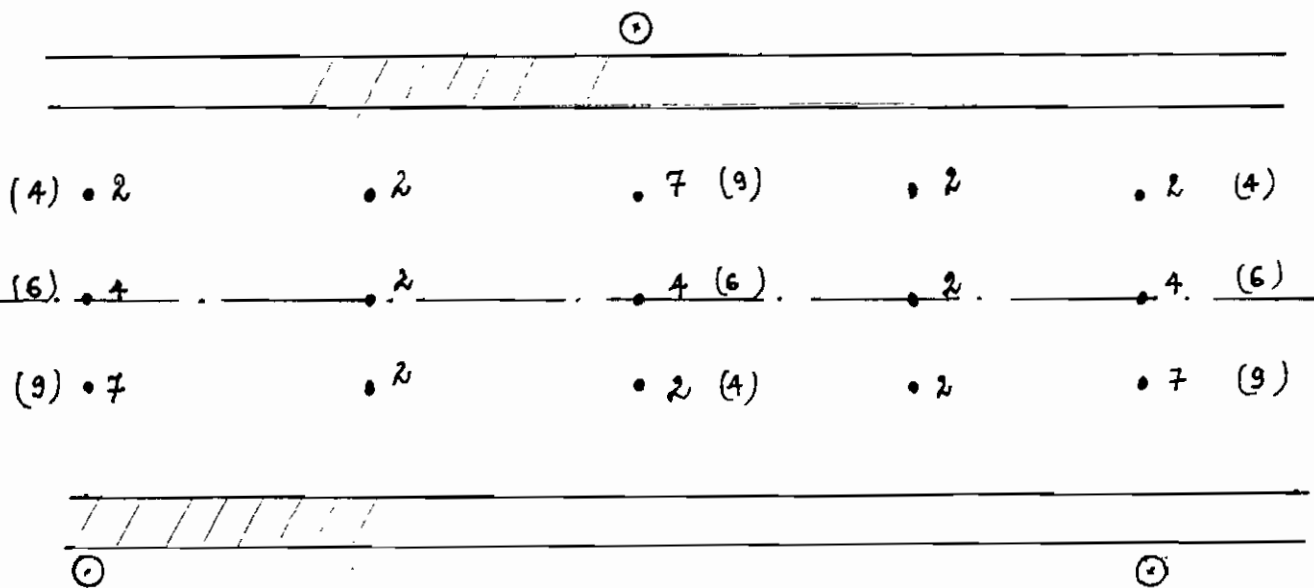
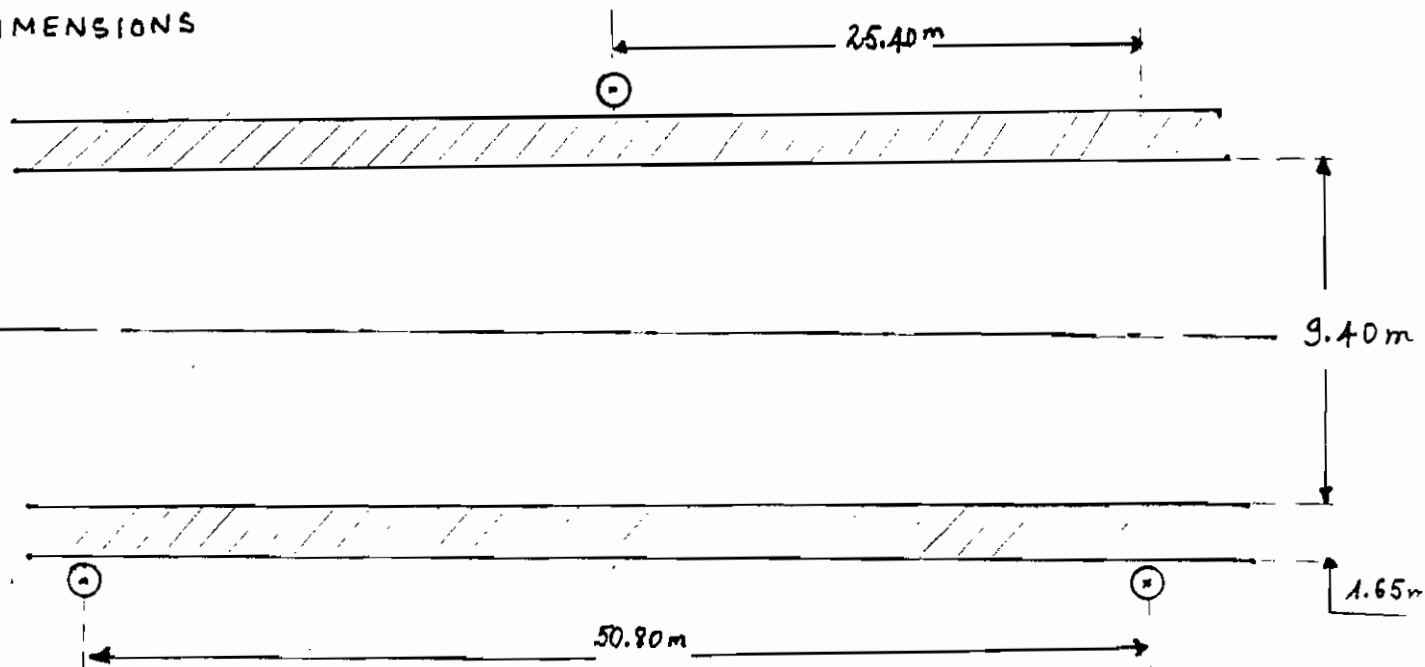


Fig 9: Nationale 1, niveau église Marie-reine de Thiès

Eclairements en lux aux points représentés

() Eclairements pris aux endroits où il n'y a pas de grands arbres.

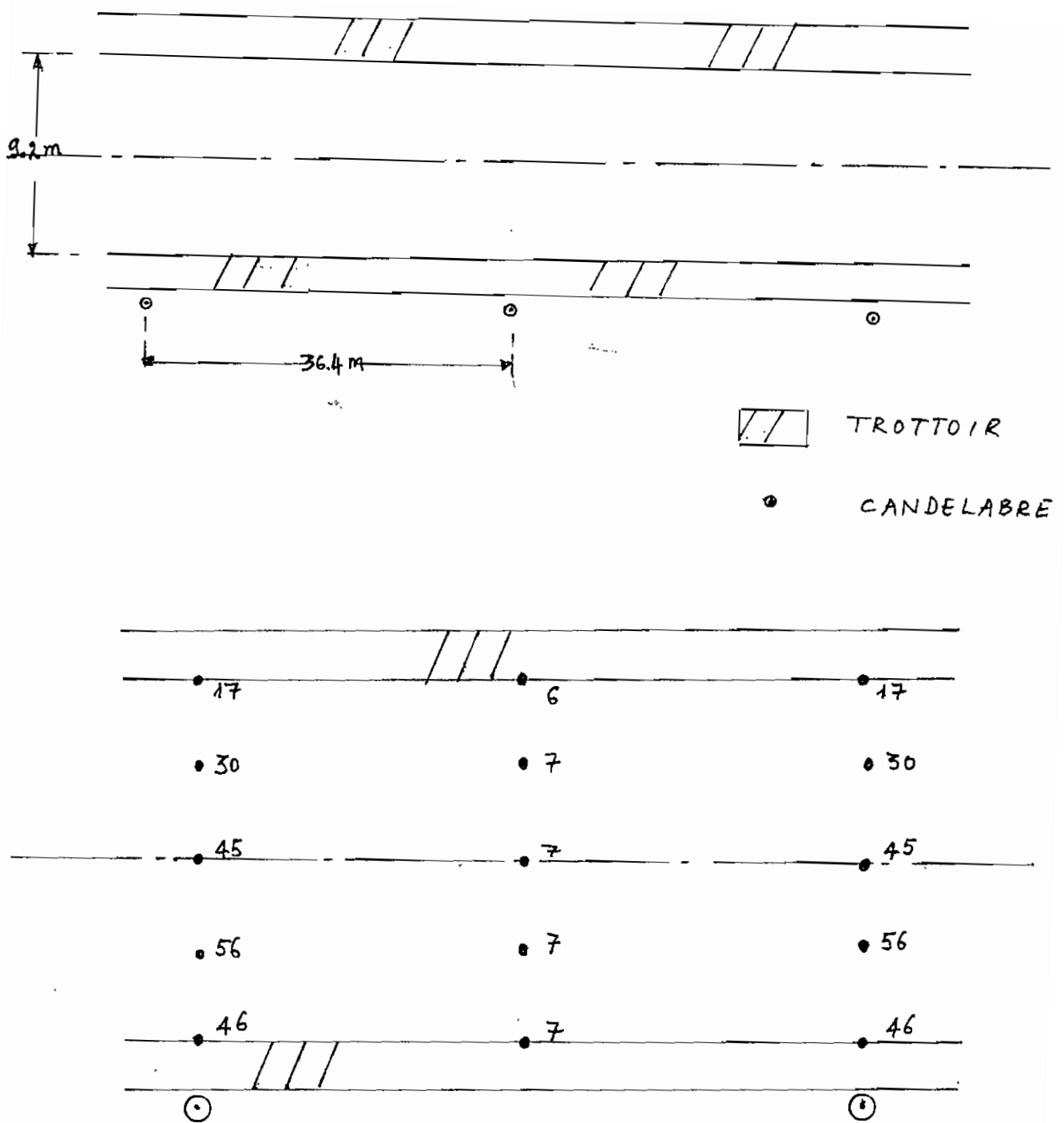


Fig 10: Nationale 1, niveau ancienne usine Bata de Rufisque.
Eclairagements en lux aux points représentés.

D'une façon générale, on remarque que l'éclairage n'est pas le même dans tous les sites. C'est ainsi que d'un site à un autre et compte tenu de la durée de l'installation, du type d'implantation et des appareillages utilisés les éclairages moyens varient beaucoup. Au niveau de la nouvelle installation de Pout, la moyenne des éclairages est de 26 lux, celle de Rufisque est de 28.13 lux et celle de Thiès varie entre 4.6 et 3.4 lux. Cette moyenne varie pour la raison qu'à des endroits nous avons une avancée nulle et qu'à d'autres nous avons une avancée légèrement supérieure à zéro. L'influence des édifices en bordure de la chaussée n'est pas négligeable. Aussi, il faut noter que ces éclairages ont été obtenus sur des chaussées tout au long desquelles sont plantés des arbres.

Ces arbres influencent bien les mesures. C'est donc aux endroits où de part et d'autre de la chaussée on a de grands arbres que l'éclairage est un peu faible quand bien même les luminaires ne soient pas placés au dessus des arbres.

Dans la prise des mesures, nous avons choisi des endroits afin que l'influence d'autres sources lumineuses soit minime voire négligeable. Les mesures ont été prises à une hauteur d'environ 1.5 mètres du sol compte tenu des moyens dont nous disposons. L'implantation de Thiès est en quinconce et celles de Rufisque et Pout sont unilatérales.

L'installation faite à Rufisque est plus vieille que celle de Pout mais son éclairage moyen est plus grand; ceci nous montre qu'au niveau de Rufisque il a été utilisé des lampes de grande puissance.

La Nationale 1 de Rufisque est donc trop éclairée. D'ailleurs, la communauté urbaine de Rufisque se plaint de la facture d'électricité qui a plus que doubler avec ces nouvelles installations.

Aussi, les propriétaires des maisons se trouvant de l'autre côté de cette chaussée se plaignent de la façon trop intensive dont leurs maisons sont éclairées. Une mesure de l'éclairement au niveau des maisons nous a donné 2 lux. La nationale 1 de Rufisque et celle de Pout ont pratiquement les mêmes dimensions et nous voyons bien que l'éclairement moyen de Rufisque est supérieur à celui de Pout. Au niveau même de Pout on peut prétendre que ce niveau d'éclairement est assez élevé. La comparaison des niveaux d'éclairement de ces nationales avec celle de Thiès et en ayant en tête que la chaussée de Thiès est légèrement la plus large nous permet de confirmer le fait que les niveaux d'éclairement sont élevés dans les deux cas précités car le niveau minimum recommandé est de 2 lux.

Au niveau de la Nationale de Thiès ,il se pose surtout le problème de maintenance. Par endroit, on remarque que des lampes sont grillées ou vieilles. Cet état occasionne des zones d'ombre denses sur la chaussée .

Chapitre 4: CALCUL DE L'ECLAIREMENT

4_1 Route de Rufisque

Au niveau de la route de Rufisque, on n'a pas réussi à avoir la documentation concernant son éclairage . Nous avons essayé donc à partir du catalogue édité par la firme MAZDA choisit un luminaire. Les lampes utilisées étant des lampes à décharge sodium haute pression à l' aide toujours du guide, nous avons choisi une lampe de 400 watts et une lampe de 250 watts. Nous avons dans la quête des informations su que sur cette route les lampes utilisées étaient de 400 watts.

Les lampes choisies sont: MAC/2 250 et MAC/2 400.

Nous n'avons pas pris des lampes de moindre puissance compte tenu des renseignements que le guide Mazda nous fournissait sur ces dernières.

Les lampes choisies sont des lampes sodium à haute pression de xénon pour une efficacité maximale. La lampe de 250 watts de puissance a un flux en lumen de 31500 et celle de 400 un flux de 55000 lumens. Elles fonctionnent avec ballasts et amorçeurs classiques. Dans les nouvelles installations ces lampes sont les plus pratiques et les plus performantes des solutions. Pour préserver ses caractéristiques de flux lumineux, il faut veiller à ce que la tension du réseau soit adaptée à la tension d'entrée du ballast.

L'efficacité lumineuse des lampes à vapeur de sodium haute pression est quasiment le double de celle des lampes à vapeur de mercure traditionnelles. Il est donc possible avec cette solution de réduire de façon substantielle les besoins en énergie sans nuire à la qualité des installations. La quantité de lumière est équivalente voire supérieure, et en plus il y a une optimisation de la puissance installée.

Avec les ballons fluorescents traditionnels, on a un gain très considérable en énergie.

Caractéristiques techniques des lampes

	Lampe MAC/2 250	Lampe MAC/2 400
Luminance moyenne (cd/cm ²)	19	24
Courant lampe en régime (A)	3	4.5
Courant maxi à l'allumage (A)	4.5	6.7
Tension d'arc (V)	100	105
Consommation avec appareillage (W)	278	440
Capacité pour $\cos\phi \geq 0.85$ (μF)	24	50
Intensité en régime circuit compensé (A)	1.4	2.2
Intensité à l'allumage circuit compensé (A)	2.3	3.6

Pour les appareillages, nous avons pris des platines d'alimentation PS qui sont utilisées dans l'éclairage public et installés dans les mâts ou candélabres. La présence d'eau est négligeable. Les platines sont protégés contre les corps solides supérieurs à 12 mm (exemple: doigt de la main).L'une des caractéristiques principales est la protection par la mise à la terre. Après le choix des appareillages nous avons procéder au choix du luminaire. C'est ainsi que nous avons opté pour le solair 400. Ce type de luminaire est protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible) et les projections d'eau de toutes les directions. La protection par la mise à la terre est prévue. Il résiste au choc d'un marteau de 0.5 kilo-gramme poids tombant d'une hauteur de 0.4 mètre.L'énergie de choc est de 2 joules. L'implantation conseillée est de 10 à 15 mètres et l'inter-distance entre les luminaires ou les candélabres est de 3.5 à 4 fois la hauteur. L'accès à la lampe et à l'optique se fait après ouverture éventuelle de la vasque ,qui reste suspendue. Pour l'appareillage, il faut ouvrir le capot par action sur les deux volants arrières,position de la maintenance.

Calcul de l'éclairement en utilisant la nouvelle approche

Dans ce cas ,nous avons considérer que l'appareil n'est ni en surplomb ni en recul de la chaussée donc, on a une avancée nulle. Dans toute cette partie,on a donc Uar nul .(voir fig 11).

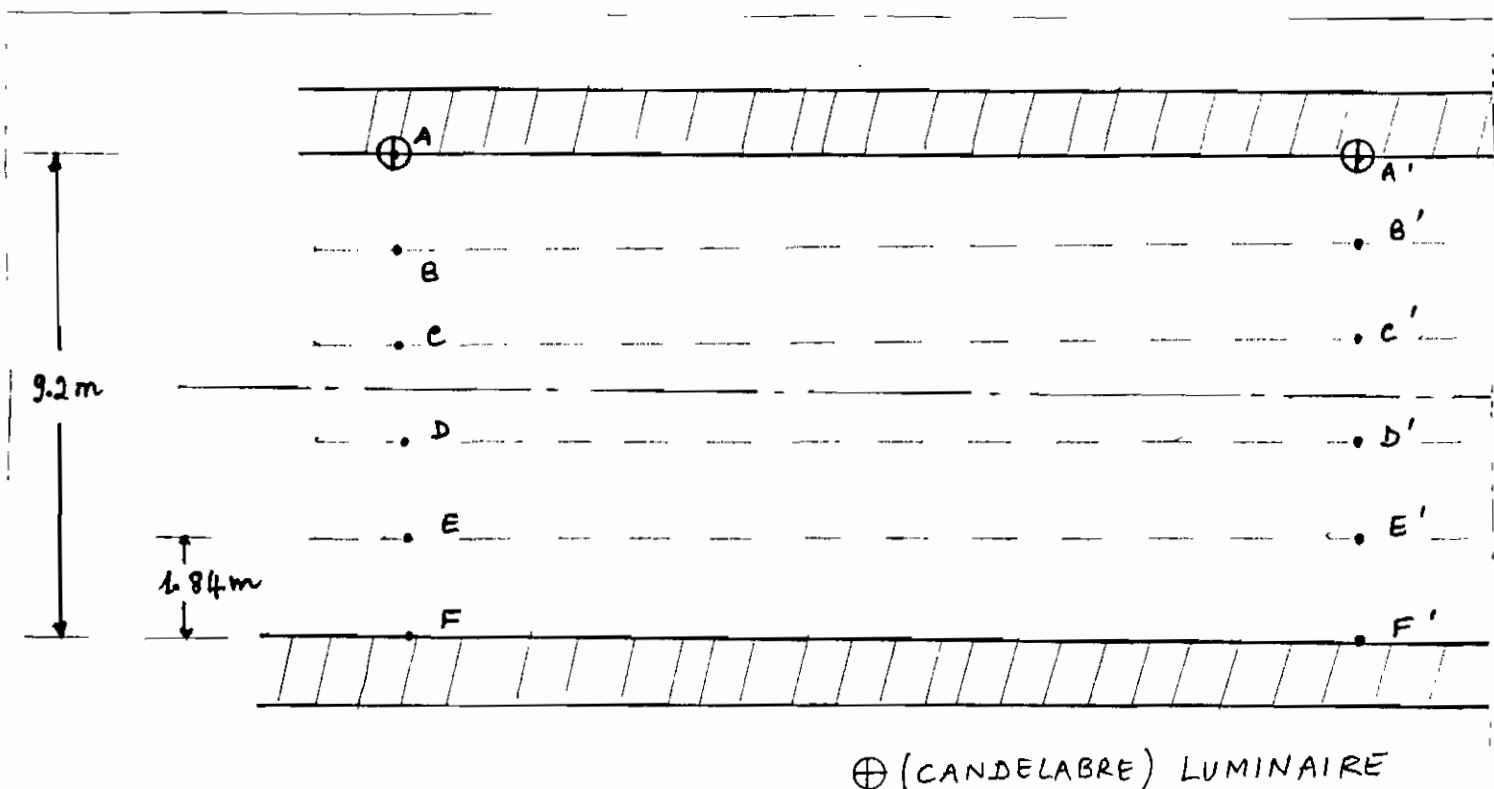


Fig 11: Calcul de l'éclairage avec la nouvelle approche.
(avancée nulle)

Luminaire Gamme Solair 400

Solair 400L+ MAC/2 400

Pour ce calcul, $h = 12$ mètres , $e = 36.4$ mètres

Le flux nominal de la lampe est 55000 lumens

Eclairage moyen sur la surface ABB'A'

La largeur est divisée en cinq parties $L=9.2/5=1.84$

donc $L/h=1.84/12=0.153$

D'après la courbe du facteur d'utilisation, on a $U_{av} = 0.05$ donc

$$E_{my} = (F_{nl} * U_{av})/L * e$$

$$E_{my} = (55000 * 0.05) / 1.84 * 36.40$$

$$E_{my} = 41.06 \text{ lux}$$

Eclairage moyen sur la surface ACC'A'

$L=2*1.84=3.68$ mètres donc $L/h = 3.68 / 12 = 0.306$

$U_{av} = 0.2$

$$E_{my} = (55000 * 0.2) / 3.68 * 36.4 = 82.12 \text{ lux}$$

Eclairage moyen sur la surface ADD'A'

$L=3*1.84=5.52$ mètres donc $L/h = 5.52 / 12 = 0.46$

donc $U_{av} = 0.4$

$$E_{my} = (55000 * 0.4) / 5.52 * 36.4 = 76.64 \text{ lux}$$

Eclairage moyen sur la surface AEE'A'

$L=4*1.84=7.36$ mètres donc $L/h = 7.36 / 12 = 0.613$

on a alors $U_{av} = 0.32$

$$E_{my} = (55000 * 0.32) / 7.36 * 36.4 = 65.69 \text{ lux}$$

Eclairage moyen sur la surface AFF'A'

$L=9.2$ mètres on a alors $L/h = 9.2 / 12 = 0.77$

$U_{av} = 0.41$

$$E_{my} = (55000 * 0.41) / 9.2 * 36.4 = 67.34 \text{ lux}$$

Calculons maintenant l'éclairage sur ces mêmes surfaces mais avec

une lampe de puissance 250 watts (MAC/2 250).

$h = 12$

mètres $e = 36.4$ mètres flux 31500 lumens

Les

résultats sont résumés dans le tableau ci-après:

Tableau 4.1: Eclairéments moyens (avancée=0)

h = 12 m, e= 36.4m, Fnl= 31500 lm

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'	AFF'A'
L (mètre)	1.84	3.68	5.52	7.36	9.20
L/h	0.153	0.31	0.46	0.61	0.77
Uav	0.033	0.1	0.21	0.29	0.39
Emy (lux)	15.52	23.52	32.92	34.10	36.9

Nous allons essayer à partir d'autres calculs d'évaluer l'éclairément moyen sur différentes surfaces .

Dès lors, nous allons utiliser la formule:

$$E_{my} = (F_{nl} * U) / L * e$$

avec $U = U_{av} + U_{ar}$

Nous aurons donc à varier e qui représente l'espacement ou à jouer sur le flux nominal de la lampe. Nous allons aussi varier h la hauteur du candélabre.

C'est ainsi qu'en gardant la puissance de la lampe à 400 watts et en doublant l'espacement c'est à dire qu' on considère qu'il y a une lampe sur deux sur les candélabres comme ça se fait des fois dans les installations semi urbaines.

On a MAC/2 400 h=12 m Fnl = 55000 lumens e = 72.8 mètres

Tableau 4.2: Eclairagements moyens (avancée nulle)

$h = 12 \text{ m}, e = 72.8 \text{ m}, Fnl = 55000 \text{ lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'	AFF'A'
L (mètre)	1.84	3.68	5.52	7.36	9.20
L/h	0.153	0.306	0.46	0.61	0.77
Uav	0.05	0.20	0.28	0.32	0.41
Emy (lux)	20.53	41.06	38.33	32.85	33.67

On constate que le niveau d'éclairagement est toujours élevé par rapport à la moyenne requise mais toutefois la consommation d'énergie aurait été réduite de moitié. Le problème qui se pose est de connaître la répartition de l'éclairagement sur toute la chaussée. Pour ce cas prenons $h = 10$ mètres avec toujours MAC/2 400 on a le tableau de résultat suivant:

Tableau 4.3: Eclairagements moyens (avancée nulle)

$h = 10 \text{ m}, e = 36.4 \text{ m}, Fnl = 55000 \text{ lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'	AFF'A'
L (mètre)	1.84	3.68	5.52	7.36	9.20
L/h	0.184	0.37	0.55	0.74	0.92
Uav	0.10	0.21	0.30	0.37	0.41
Emy (lux)	82.11	86.23	82.12	75.96	67.34

On voit bien qu'on a des éclairagements excellents et ceci est

évident dans la mesure ou la hauteur est maintenant de 10 mètres alors que dans le premier cas c'était de 12 mètres.

Maintenons toujours la hauteur du candélabre à 10 mètres et optons pour un espacement de 72.8 mètres avec la lampe MAC/2 400. Nous avons le résultat dans le tableau suivant:

Tableau 4.4: Eclairéments moyens (avancée nulle)

$h = 10\text{m}$, $e = 72.8\text{ m}$, $Fnl = 55000\text{lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'	AFF'A'
L (mètre)	1.84	3.68	5.52	7.36	9.20
L/h	0.184	0.37	0.55	0.74	0.92
Uav	0.10	0.21	0.30	0.37	0.41
Emy (lux)	41.06	43.12	41.06	37.98	33.67

Nous avons maintenant $h = 10$ mètres, $e = 36.4$ mètres avec la lampe MAC/2 250 dont le flux nominal est de 31500 lumens.

Tableau 4.5: Eclairéments moyens (avancée nulle)

$h = 10\text{ m}$, $e = 36.4\text{ m}$, $Fnl = 31500\text{ lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'	AFF'A'
L (mètre)	1.84	3.68	5.52	7.36	9.20
L/h	0.184	0.37	0.55	0.74	0.92
Uav	0.04	0.10	0.21	0.36	0.41
Emy (lux)	18.82	23.52	32.92	42.33	38.57

Ici également le niveau d'éclairément est bien supérieur au niveau minimum conseillé.

$h = 10$ mètres, $e = 72.8$ mètres MAC/2 250

Tableau 4.6: Eclairéments moyens (avancée nulle)

$h = 10$ m, $e = 72.8$ m, $Fnl = 31500$ lm

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'	AFF'A'
L (mètre)	1.84	3.68	5.52	7.36	9.20
L/h	0.184	0.37	0.55	0.74	0.92
Uav	0.04	0.10	0.21	0.36	0.41
Emy (lux)	9.41	11.76	16.46	21.16	19.28

Tout au long de ces calculs nous avons considéré une avancée nulle. Ceci n'est pas réellement vrai mais aussi, on n'est pas en mesure de déterminer l'avancée . Ainsi, avant de mieux vérifier et pour fin de comparaison nous avons supposé une avancée de 1.5 mètres et nous avons divisé la largeur de la chaussée par 4 (voir fig 12).

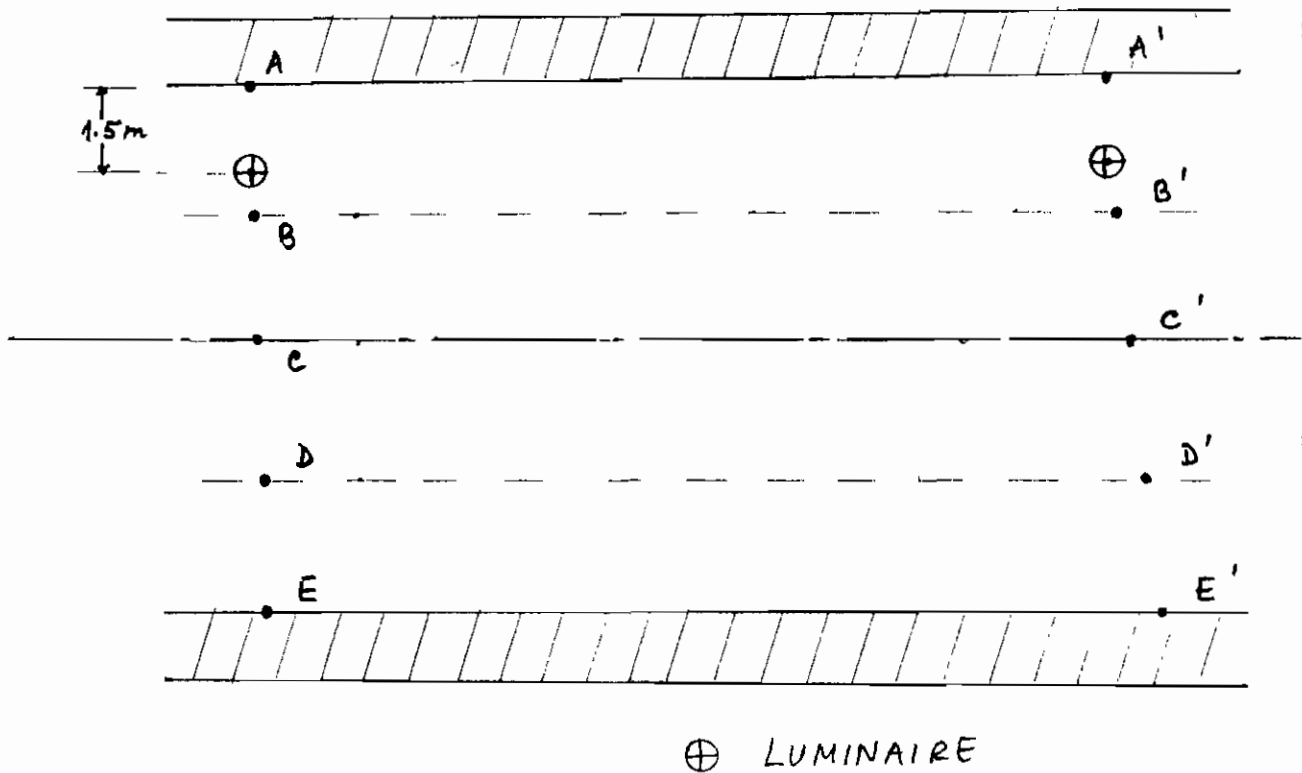


Fig 12: Calcul de l'éclairage par la nouvelle approche
(avancée = 1.5 mètres)

Eclairage moyen sur la chaussée en ABB'A'

Solair 4001 + MAC/2 400 e = 36.40 m Fnl = 55000 lumens

$L1/h = 1.5 / 12 = 0.125$ $L2 / h = 0.8 / 12 = 0.067$ $L = 2.3$

$E_{my} = (Fnl * U) / L * e$ avec $U = U_{av} + u_{ar}$

L1 est mis pour le flux arrière donc pour U_{ar} et L2 pour le flux avant donc pour U_{av} .

Pour ce cas , nous avons donc $U_{ar} = 0.06$ et $U_{av} = 0.002$ d'où

$U = 0.062$; $E_{my} = (55000 * 0.062) / (2.3 * 36.4) = 40.73$ lux

Eclairage moyen sur la chaussée en ACC'A'

$$e = 36.40 \text{ m} \quad Fnl = 55000 \text{ lumens} \quad L = 4.6 \text{ m}$$

$$L1/h = 0.125 \text{ et } Uar = 0.06$$

$$L2/h = 0.26 \text{ donc } Uav = 0.15$$

$$Emy = (55000 * 0.21) / (4.6 * 36.4) = 68.98 \text{ lux}$$

Eclairage moyen sur la chaussée en ADD'A'

$$e = 36.40 \text{ m} \quad Fnl = 55000 \text{ lumens} \quad L = 6.9 \text{ m}$$

$$L1/h = 0.125 \text{ et } Uar = 0.06$$

$$L2/h = 5.4 / 12 = 0.45 \text{ donc } Uav = 0.24 \text{ et } U = 0.30$$

$$Emy = (55000 * 0.3) / (6.9 * 36.4) = 65.70 \text{ lux}$$

Eclairage moyen sur la chaussée en AEE'A'

$$e = 36.40 \text{ m} \quad Fnl = 55000 \text{ lumens} \quad L = 9.2 \text{ m}$$

$$L1/h = 0.125 \text{ et } Uar = 0.06$$

$$L2/h = 0.64 \text{ donc } Uav = 0.35 \text{ et } U = 0.41$$

$$Emy = (55000 * 0.41) / (9.2 * 36.4) = 67.34 \text{ lux}$$

Nous allons faire d'autres calculs en variant la lampe c'est à dire le flux, l'espacement et la hauteur du candélabre.

$$h = 12 \text{ m}, \quad e = 72.8 \text{ m} \quad MAC/2 \ 400 \ (55000 \text{ lumens})$$

Tableau 4.7: Eclairéments moyens (avancée = 1.5m)

$h = 12 \text{ m}$, $e = 72.8\text{m}$, $Fnl = 55000\text{lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.30	4.60	6.9	9.2
L1/h	0.125	0.125	0.125	0.125
L2/h	0.067	0.26	0.45	0.64
Uav	0.002	0.15	0.24	0.35
Uar	0.06	0.06	0.06	0.06
U = Uav+Uar	0.062	0.21	0.30	0.41
Emy (lux)	20.37	34.49	32.85	33.67

Tableau 4.8: Eclairéments moyens (avancée = 1.5m)

$h = 10\text{m}$, $e = 36.4\text{m}$, $Fnl = 55000\text{lm}$ (MAC/2 400)

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.30	4.60	6.90	9.20
L1/h	0.15	0.15	0.15	0.15
L2/h	0.08	0.31	0.54	0.77
Uav	0.025	0.15	0.30	0.37
Uar	0.075	0.075	0.075	0.075
U = Uav+Uar	0.30	0.225	0.375	0.445
Emy (lux)	65.7	73.9	82.12	73.09

Tableau 4.9: Eclairéments moyens (avancée = 1.5 m)

$h = 10 \text{ m}$, $e = 72.8 \text{ m}$, $F_{nl} = 55000 \text{ lumens (MAC/2 400)}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.3	4.6	6.9	9.2
L1/h	0.15	0.15	0.15	0.15
L2/h	0.08	0.31	0.54	0.77
Uav	0.025	0.15	0.30	0.37
Uar	0.075	0.075	0.075	0.075
U = Uav+Uar	0.10	0.225	0.375	0.445
Emy (lux)	32.85	36.95	41.06	36.54

Tableau 4.10: Eclairéments moyens (avancée = 1.5m)

$h = 10 \text{ m}$, $e = 36.4 \text{ m}$, (MAC/2 250), $F_{nl} = 31500 \text{ lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.3	4.6	6.9	9.2
L1/h	0.15	0.15	0.15	0.15
L2/h	0.08	0.31	0.54	0.77
Uav	0.00	0.12	0.29	0.39
Uar	0.033	0.033	0.033	0.033
U = Uav+Uar	0.033	0.153	0.323	0.423
Emy (lux)	12.42	28.78	40.51	39.79

Tableau 4.11: Eclairéments moyens (avancée =1.5 m)

$h = 10 \text{ m}$, $e = 72.8\text{m}$, $\text{MAC}/2 \text{ 250}$ (31500 lumens)

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.3	4.6	6.9	9.2
L1/h	0.15	0.15	0.15	0.15
L2/h	0.08	0.31	0.54	0.77
Uav	0.00	0.12	0.29	0.39
Uar	0.033	0.033	0.033	0.033
U = Uav+Uar	0.033	0.153	0.323	0.423
Emy (lux)	6.21	14.39	20.26	19.89

Tableau 4.12: Eclairéments moyens (avancée = 1.5 m)

$h = 12 \text{ m}$, $e = 36.4 \text{ m}$ $\text{MAC}/2 \text{ 250}$ $\text{Fn1} = 31500\text{lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.3	4.6	6.9	9.2
L1/h	0.125	0.125	0.125	0.125
L2/h	0.067	0.26	0.45	0.64
Uav	0.00	0.09	0.26	0.31
Uar	0.01	0.01	0.01	0.01
U = Uav+Uar	0.01	0.10	0.27	0.32
Emy (lux)	3.76	18.82	33.86	30.10

Tableau 4.13: Eclairagements moyens (avancée = 1.5 m)

$h = 12 \text{ m}$, $e = 72.8 \text{ m}$, $MAC/2 \ 250$ $Fnl = 31500 \text{ lm}$

Surfaces	ABB'A'	ACC'A'	ADD'A'	AEE'A'
L (mètre)	2.3	4.6	6.9	9.2
L1/h	0.125	0.125	0.125	0.125
L2/h	0.067	0.26	0.45	0.64
Uav	0.00	0.09	0.26	0.31
Uar	0.01	0.01	0.01	0.01
U = Uav+Uar	0.01	0.10	0.27	0.32
Emy (lux)	1.88	9.41	16.93	15.05

Avec des lampes de 400 watts donc un flux nominal de 55000lumens et une hauteur de 12 mètres, quelque soit l'espacement on a des niveaux d'éclairément supérieurs au minimum conseillé par la firme MAZDA. C'est ainsi qu'on a la valeur minimale de l'éclairément égale à 20.37 lux . Cet éclairément est assez élevé et pour nos pays cela ressemblerait un à gaspillage d'énergie et à une non-optimisation de l'éclairage public.

Avec des lampes de 250 watts et toujours la même hauteur , l'éclairément a considérablement diminué. C'est ainsi que nous avons un minimum de 1.88 lux pour un espacement de 72.8 mètres et

un minimum de 3.76 lux pour un espacement de 36.4 mètres. Ceci nous montre que cette hauteur est trop grande.

Par contre avec une hauteur moindre (nous avons pris une hauteur de 10 mètres cette fois-ci) on a un éclairage minimum de 6.21 lux avec un espacement de 72.8 mètres et une valeur minimale de 12.42 lux avec un espacement de 36.4 mètres. Dans ce cas précis, on voit bien que la valeur minimale conseillée par la firme MAZDA est un peu plus petite que cette dernière. Toutes ces valeurs nous montrent que la lampe de 400 watts dont il est fait usage dans le cadre précis de l'éclairage de cette chaussée a une trop grande puissance par rapport à celle qui devrait être choisie.

Dans le cas présent ,étant donné que les installations sont déjà réalisées il n'y a que trois solutions possibles:

- 1) Vérifier si les luminaires sont adaptés à des lampes de puissance plus faible et par conséquent changer les lampes de 400 watts par des lampes de puissance plus faible.

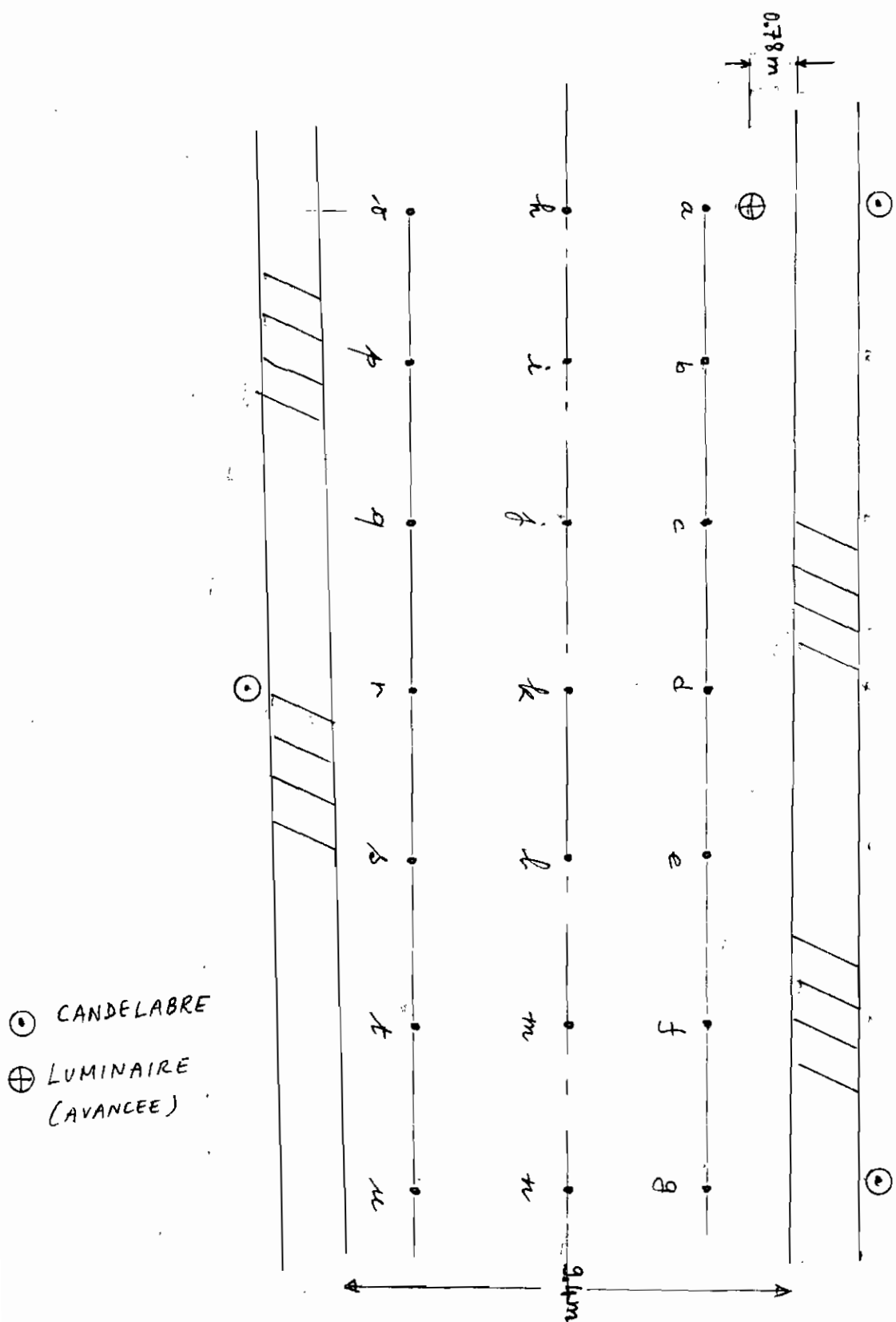
- 2) On peut procéder à la suppression d'un foyer sur deux comme cela, l'espacement deviendra 72.8 mètres. Cette solution est possible dans le cas présent parce qu' en bordure de la chaussée il n'y a pas d'arbres et qu'il y a un vaste terrain sablonneux. Cela fait même que le milieu est un peu clair. Mais par contre il est possible d'avoir à certains endroits des ombres (zone d' ombre)..

- 3) Avec une lampe de petite puissance, il faut ramener la hauteur du candélabre à une plus petite valeur. Mais cette solution ne

pourra pas être appliquée facilement dans ce cas. L'examen des résultats des calculs nous confirment qu'avec un grand espacement, les niveaux de l'éclairage restent élevés. Ceci nous amène donc à conclure que cette installation est surdimensionnée. Ce qui serait meilleur, c'est de prendre des lampes de puissance plus faible. Ainsi avec une lampe de 250 watts sodium haute pression nous gagneront en puissance consommée, une réduction d'au moins 1.6. En augmentant l'espacement entre deux candélabres le coût de l'installation se verrait réduit aussi.

4_2 La Nationale1 de Thiès

Au niveau de la nationale de Thiès, on a utilisé la méthode des 21 points. Ceci nous a permis de calculer en différents points de la chaussée les éclairages respectifs. (voir fig 13).



⊙ CANDELABRE
 ⊕ LUMINAIRE
 (AVANCEE)

Fig 13: Calcul de l'éclairage point par point.
 (Le calcul est fait aux points marqués)

Cette méthode a été utilisée dans ce cas précis parce que les lampes que nous utilisons sont des lampes à vapeur de mercure haute pression dont nous disposons des courbes photométriques.

Dans le catalogue édité par la firme MAZDA, on pris les lampes MAFD 125, et MAFD 250. Ce sont des lampes à vapeur de mercure à haute pression dotées d'un revêtement fluorescent au vanadate d'yttrium qui convertit le rayonnement ultraviolet en lumière visible. Ces lampes sont surtout utilisées dans les milieux empoussiérés ce qui a été un facteur principal dans leur choix. Elles sont similaires aux lampes MAF. Elles ont un réflecteur interne au dioxyde de titane. L'alimentation de ces lampes se fait par l'intermédiaire d'un ballast afin d'adapter la tension et la fréquence du réseau à celles des lampes.

La durée de mise en régime est en moyenne de 5 minutes pour obtenir 80% du flux nominal. Au démarrage, il faut tenir compte du courant lampe et réseau de 1.6 à 1.8 fois le courant de régime.

Caractéristiques des lampes

	MAFD 125	MAFD 250
Luminance moyenne en cd/m ²	9	10
Courant lampe en régime (A)	1.2	2.2
Courant lampe maxi		

à l'allumage (A)	1.9	3.6
Tension d'arc (V)	125	135
Consommation avec appareillages (W)	141	267
Capacité pour $\cos\phi > 0.85$ (μF)	10	18
Intensité en régime circuit compensé (A)	0.7	1.4
Intensité à l'allumage circuit compensé (A)	1.1	2.2

Il faut noter que ces caractéristiques correspondent à des valeurs nominales après 100 heures de vieillissement des lampes. Elles peuvent toutefois varier en fonction de la tension d'alimentation et des tolérances d'impédance de ballasts ou d'autres composants destinés à la stabilisation des lampes.

Les calculs effectués en variant la hauteur et l'espacement nous donnent les résultats qui sont résumés dans les tableaux qui vont suivre. Dans ces tableaux, nous avons l'expression Fact qui est:

$$\text{Fact} = (\cos^3 B * \cos^3 E) / H^2$$

(Voir figure 6 pour une meilleure compréhension des termes des tableaux).

Le tableau 4.2.7 nous montre la somme des éclairagements en chaque point qui sont dûs aux foyers lumineux 1, 2 et 3.

Le tableau 4.2.11 nous montre la somme des éclairagements dûs aux foyers 1, 2 et 3 pour la lampe MAFD 250 en doublant l'espacement. C'est à dire que nous avons un foyer sur deux dans ce cas précis.

Tableau 4.2.1: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°1 AVEC LAMPE MAFD 250

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma (°)	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd250	E(lux)
a	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	3200	31.710
b	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	3190	14.099
c	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1335	1.750
d	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	1000	0.491
e	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.870	3.377	1.283	73.504	0.284	0.023	0.0002	0	0.000
f	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	42.340	4.221	1.338	76.672	0.231	0.012	0.0001	0	0.000
g	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.810	5.066	1.376	78.833	0.194	0.007	0.0001	0	0.000
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	3200	25.851
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	3250	12.706
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	2000	2.479
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	980	0.467
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.870	3.154	1.264	72.411	0.302	0.028	0.0002	0	0.000
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	42.340	3.943	1.322	75.770	0.246	0.015	0.0001	0	0.000
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.810	4.732	1.363	78.068	0.207	0.009	0.0001	0	0.000
o	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	3200	17.495
p	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	3333	10.124
q	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	2333	2.558
r	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	1250	0.558
s	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.870	2.770	1.224	70.147	0.340	0.039	0.0002	0	0.000
t	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	42.340	3.462	1.290	73.889	0.277	0.021	0.0001	0	0.000
u	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.810	4.155	1.335	76.467	0.234	0.013	0.0001	0	0.000

Tableau 4.2.2: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°2 AVEC LAMPE MAFD 250

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd250	E(lux)
a	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.810	5.066	1.376	78.833	0.194	0.007	0.0001	0	0.000
b	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	42.340	4.221	1.338	76.672	0.231	0.012	0.0001	0	0.000
c	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.870	3.377	1.283	73.504	0.284	0.023	0.0002	0	0.000
d	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	1000	0.491
e	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1335	1.750
f	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	3190	14.099
g	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	3200	31.710
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.810	4.732	1.363	78.068	0.207	0.009	0.0001	0	0.000
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	42.340	3.943	1.322	75.770	0.246	0.015	0.0001	0	0.000
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.870	3.154	1.264	72.411	0.302	0.028	0.0002	0	0.000
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	980	0.467
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	2000	2.479
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	3250	12.706
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	3200	25.851
o	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.810	4.155	1.335	76.467	0.234	0.013	0.0001	0	0.000
p	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	42.340	3.462	1.290	73.889	0.277	0.021	0.0001	0	0.000
q	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.870	2.770	1.224	70.147	0.340	0.039	0.0002	0	0.000
r	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	1250	0.558
s	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	2333	2.558
t	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	3333	10.124
u	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	3200	17.495

b

Tableau 4.2.3: CALCUL DES ECLAIREMENTS DU 5^e AU FOYER N°3 AVEC LAMPE MAFD 250

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd250	E(lux)
a	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	2333	1.0413
b	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	3333	3.6544
c	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	3200	9.7201
d	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	3200	17.4952
e	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	3200	9.7201
f	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	3333	3.6544
g	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	2333	1.0413
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	900	0.4292
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	2000	2.4790
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	3290	12.8627
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	3200	25.8508
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	3290	12.8627
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	2000	2.4790
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	900	0.4292
o	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	600	0.2946
p	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1650	2.1625
q	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	3250	14.3638
r	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	3200	31.7102
s	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	3250	14.3638
t	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1650	2.1625
u	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	600	0.2946

Tableau 4.2.4: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°1 AVEC LAMPE MAFD 125

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd125	E(lux)
a	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	1333	13.209
b	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	1400	6.187
c	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1250	1.638
d	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	1090	0.535
e	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.870	3.377	1.283	73.504	0.284	0.023	0.0002	0	0.000
f	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	42.340	4.221	1.338	76.672	0.231	0.012	0.0001	0	0.000
g	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.810	5.066	1.376	78.833	0.194	0.007	0.0001	0	0.000
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	1333	10.768
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	1410	5.513
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1270	1.574
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	1100	0.525
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.870	3.154	1.264	72.411	0.302	0.028	0.0002	0	0.000
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	42.340	3.943	1.322	75.770	0.246	0.015	0.0001	0	0.000
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.810	4.732	1.363	78.068	0.207	0.009	0.0001	0	0.000
o	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	1333	7.288
p	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	1480	4.496
q	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	1250	1.371
r	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	1180	0.527
s	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.870	2.770	1.224	70.147	0.340	0.039	0.0002	0	0.000
t	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	42.340	3.462	1.290	73.889	0.277	0.021	0.0001	0	0.000
u	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.810	4.155	1.335	76.467	0.234	0.013	0.0001	0	0.000

Tableau 4.2.5: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°2 AVEC LAMPE MAFD 125

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd125	E(lux)
a	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.810	5.066	1.376	78.833	0.194	0.007	0.0001	0	0.000
b	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	42.340	4.221	1.338	76.672	0.231	0.012	0.0001	0	0.000
c	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.870	3.377	1.283	73.504	0.284	0.023	0.0002	0	0.000
d	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	1090	0.535
e	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1250	1.638
f	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	1400	6.187
g	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	1333	13.209
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.810	4.732	1.363	78.068	0.207	0.009	0.0001	0	0.000
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	42.340	3.943	1.322	75.770	0.246	0.015	0.0001	0	0.000
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.870	3.154	1.264	72.411	0.302	0.028	0.0002	0	0.000
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	1100	0.525
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1270	1.574
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	1410	5.513
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	1333	10.768
o	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.810	4.155	1.335	76.467	0.234	0.013	0.0001	0	0.000
p	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	42.340	3.462	1.290	73.889	0.277	0.021	0.0001	0	0.000
q	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.870	2.770	1.224	70.147	0.340	0.039	0.0002	0	0.000
r	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	1180	0.527
s	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	1250	1.371
t	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	1480	4.496
u	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	1333	7.288

Tableau 4.2.6: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°3 AVEC LAMPE MAFD 125

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd125	E(lux)
a	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	1180	0.5267
b	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	1250	1.3706
c	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	1480	4.4955
d	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	1333	7.2879
e	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	8.470	0.693	0.606	34.706	0.822	0.556	0.0030	1480	4.4955
f	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	1250	1.3706
g	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	25.400	2.077	1.122	64.290	0.434	0.082	0.0004	1180	0.5267
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	1140	0.5436
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1250	1.5494
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	1450	5.6690
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	1333	10.7685
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	8.470	0.789	0.668	38.268	0.785	0.484	0.0039	1450	5.6690
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1250	1.5494
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	25.400	2.366	1.171	67.085	0.389	0.059	0.0005	1140	0.5436
o	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	1100	0.5401
p	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1200	1.5727
q	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	1500	6.6294
r	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	1333	13.2093
s	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	8.470	0.844	0.701	40.179	0.764	0.446	0.0044	1500	6.6294
t	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1200	1.5727
u	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	25.400	2.532	1.195	68.451	0.367	0.050	0.0005	1100	0.5401

Tableau 4.2.7:

SOMME DES ECLAIREMENTS

Points	som mafd250	som mafd125
a	32.752	13.736
b	17.753	7.558
c	11.470	6.134
d	18.477	8.358
e	11.470	6.134
f	17.753	7.558
g	32.752	13.736
h	26.280	11.312
i	15.185	7.062
j	15.342	7.243
k	26.785	11.818
l	15.342	7.243
m	15.185	7.062
n	26.280	11.312
o	17.790	7.828
p	12.287	6.068
q	16.922	8.000
r	32.826	14.263
s	16.922	8.000
t	12.287	6.068
u	2.085	7.828

Tableau 4.2.8: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°1 AVEC LAMPE MAFD 250

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma (°)	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd250	E(lux)
a	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	3200	31.710
b	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1600	2.097
c	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.880	3.378	1.283	73.508	0.284	0.023	0.0002	0	0.000
d	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.800	5.065	1.376	78.831	0.194	0.007	0.0001	0	0.000
e	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	67.740	6.753	1.424	81.577	0.146	0.003	0.0000	0	0.000
f	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	84.680	8.442	1.453	83.245	0.118	0.002	0.0000	0	0.000
g	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	101.620	10.131	1.472	84.363	0.098	0.001	0.0000	0	0.000
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	3200	25.851
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1800	2.231
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.880	3.155	1.264	72.416	0.302	0.028	0.0002	0	0.000
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.800	4.731	1.362	78.065	0.207	0.009	0.0001	0	0.000
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	67.740	6.309	1.414	80.993	0.157	0.004	0.0000	0	0.000
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	84.680	7.887	1.445	82.774	0.126	0.002	0.0000	0	0.000
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	101.620	9.464	1.466	83.968	0.105	0.001	0.0000	0	0.000
o	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	3200	17.495
p	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	2250	2.467
q	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.880	2.770	1.224	70.152	0.340	0.039	0.0002	0	0.000
r	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.800	4.154	1.335	76.464	0.234	0.013	0.0001	0	0.000
s	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	67.740	5.539	1.392	79.766	0.178	0.006	0.0000	0	0.000
t	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	84.680	6.924	1.427	81.782	0.143	0.003	0.0000	0	0.000
u	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	101.620	8.309	1.451	83.138	0.119	0.002	0.0000	0	0.000

Tableau 4.2.9: CALCUL DES ECLAIREMENTS DUS AU FOYER N°2 AVEC LAMPE MAFD 250

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd250	E(lux)
a	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	101.620	10.131	1.472	84.363	0.098	0.001	0.0000	0	0.000
b	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	84.680	8.442	1.453	83.245	0.118	0.002	0.0000	0	0.000
c	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	67.740	6.753	1.424	81.577	0.146	0.003	0.0000	0	0.000
d	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.800	5.065	1.376	78.831	0.194	0.007	0.0001	0	0.000
e	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.880	3.378	1.283	73.508	0.284	0.023	0.0002	0	0.000
f	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1750	2.294
g	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	3200	31.710
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	101.620	9.464	1.466	83.968	0.105	0.001	0.0000	0	0.000
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	84.680	7.887	1.445	82.774	0.126	0.002	0.0000	0	0.000
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	67.740	6.309	1.414	80.993	0.157	0.004	0.0000	0	0.000
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.800	4.731	1.362	78.065	0.207	0.009	0.0001	0	0.000
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.880	3.155	1.264	72.416	0.302	0.028	0.0002	0	0.000
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1900	2.355
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	3200	25.851
o	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	101.620	8.309	1.451	83.138	0.119	0.002	0.0000	0	0.000
p	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	84.680	6.924	1.427	81.782	0.143	0.003	0.0000	0	0.000
q	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	67.740	5.539	1.392	79.766	0.178	0.006	0.0000	0	0.000
r	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.800	4.154	1.335	76.464	0.234	0.013	0.0001	0	0.000
s	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.880	2.764	1.224	70.109	0.340	0.039	0.0002	0	0.000
t	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	2340	2.566
u	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	3200	17.495

Tableau 4.2.10: CALCUL DES ECLAIREMENTS DU AU FOYER N°3 AVEC LAMPE MAFD 250

Points	H(m)	L1(m)	L1/H	Gamma	cosE	cos3E	H/cosE	e(m)	ecosE/H	B(rd)	B(°)	CosB	cos3B	Fact	I(cd) mafd250	E(lux)
a	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.800	4.154	1.335	76.464	0.234	0.013	0.0001	0	0.0000
b	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.880	2.770	1.224	70.152	0.340	0.039	0.0002	0	0.0000
c	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	2340	2.5657
d	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0055	3200	17.4952
e	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	16.940	1.385	0.946	54.173	0.585	0.201	0.0011	2340	2.5657
f	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	33.880	2.770	1.224	70.152	0.340	0.039	0.0002	0	0.0000
g	10	7.04	0.704	35.146	0.818	0.547	12.230	50.800	4.154	1.335	76.464	0.234	0.013	0.0001	0	0.0000
h	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.800	4.731	1.362	78.065	0.207	0.009	0.0001	0	0.0000
i	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.880	3.155	1.264	72.416	0.302	0.028	0.0002	0	0.0000
j	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1900	2.3551
k	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0081	3200	25.8508
l	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	16.940	1.578	1.006	57.632	0.535	0.153	0.0012	1900	2.3551
m	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	33.880	3.155	1.264	72.416	0.302	0.028	0.0002	0	0.0000
n	10	3.91	0.391	21.356	0.931	0.808	10.737	50.800	4.731	1.362	78.065	0.207	0.009	0.0001	0	0.0000
o	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.800	5.065	1.376	78.831	0.194	0.007	0.0001	0	0.0000
p	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.880	3.378	1.283	73.508	0.284	0.023	0.0002	0	0.0000
q	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1750	2.2936
r	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.0099	3200	31.7102
s	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	16.940	1.689	1.036	59.370	0.509	0.132	0.0013	1750	2.2936
t	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	33.880	3.378	1.283	73.508	0.284	0.023	0.0002	0	0.0000
u	10	0.78	0.078	4.460	0.997	0.991	10.030	50.800	5.065	1.376	78.831	0.194	0.007	0.0001	0	0.0000

Tableau 4.2.11: SOMME DES ECLAIREMENTS

Points	som mafd250
a	31.710
b	2.097
c	2.566
d	17.495
e	2.566
f	2.294
g	31.710
h	25.851
i	2.231
j	2.355
k	25.851
l	2.355
m	2.355
n	25.851
o	17.495
p	2.467
q	2.294
r	31.710
s	2.294
t	2.566
u	17.495

En gardant les espacements pris entre les candélabres sur la chaussée et en faisant à la fois les calculs avec des lampes de 125 et 250 watts, nous remarquons que les lampes donnent un bon éclairage en ces différents points. En se basant sur les données théoriques et les contraintes qui sont imposées théoriquement on voit bien que les lampes de 250 watts sont les plus adaptées. Mais une vision des lieux ou une observation nous montre qu'avec des lampes de 125 watts les éclairages qu'on a sont acceptables. Aussi, en prenant les lampes de 250 watts et en augmentant l'espacement entre les candélabres (deux fois l'espacement mesuré) nous voyons qu'à certains endroits (deux endroits sur trois) les éclairages sont trop petits. Certes avec l'expérimentation, nous voyons qu'un conducteur peut bien discerner les obstacles mais il faut tenir compte de la durée de vie des lampes qui avec le temps leur flux nominal diminue.

Chapitre 5: EVALUATION ECONOMIQUE

Dans ce projet qui ne traite pas spécifiquement d'un cas particulier c'est à dire : électrification de telle chaussée par exemple, nous allons essayer d'évaluer le coût d'un candélabre avec le luminaire, la lampe et les appareillages. Dès lors nous ne prendrons pas en compte le coût de la main d'oeuvre qui aura réalisée cette implantation. Nous avons donc choisi les appareillages que nous avons utilisés dans nos calculs .

Pour le coût des appareillages, nous avons pris au niveau de la C.G.E Compagnie Générale d'Electricité des prix préférentiels qui sont faits aux grands clients dont par exemple la SENELEC. C'est ainsi que nous avons eu des prix de vente hors taxe sur la valeur ajoutée. Pour les candélabres, nous avons réussi à avoir des prix approximatifs. Nous allons pour chacune des deux lampes évaluer les coûts. Nous allons aussi comptabiliser le coût de la consommation énergétique pour chaque lampe. Nous supposerons que la lampe fonctionne 11 heures par jour et donc par année, on a 4026 heures par année. Le prix unitaire est celui du Kilowatt-heure. Comme base de temps, nous avons travaillé avec une année car les lampes et les autres appareillages ont une durée de vie d'au moins une année.

Lampe Sodium Haute Pression d'une puissance de 400 watts

Nous avons pris un luminaire sans appareillage Solair 400 LFE 40

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire solair 400LFE40	1.0	118326.0	118326.0
Appareillage BS 400	1.0	20713.2	20713.2
Puiss. cons.* lampe	1610.4	62	99845
Amorceur	1.0	3874.5	3874.5
Puiss.cons.* appareillage	124.81	62	7740
Total			250498.7

Dans un second cas prenons un luminaire avec appareillage

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire solair400LFS400	1.0	167034	167034
Puiss. cons.	1771.44	62	109830
Total			276864

* Puiss. est mis pour puissance et cons. pour consommée

Pour la lampe Sodium Haute Pression de puissance 250 watts

Avec un luminaire sans appareillage, nous avons:

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire Solair400LFE40	1.0	118326	118326
Appareillage BS 250	1.0	14839.95	14839.95
Puiss.cons. lampe	1006.5	62	62403
Amorceur	1.0	3874.5	3874.5
Puiss.cons. appareillage	104.68	62	6490
Total			205933.45

Prenons maintenant un luminaire avec appareillage

	Unité	Prix unitaire	Total
luminaire solair400LFS250	1.0	138498	138498
Puiss.cons.	1119.23	62	69393
Total			207891

Lampe vapeur de mercure à haute pression de 250 watts

Avec un luminaire sans appareillage, on a :

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire solair 251FE40	1.0	78763.05	78763.05
Appareillage BM 250	1.0	9686.25	9686.25
Puiss.cons. lampe	1006.5	62	62403
Puiss.cons. appareillage	72.47	62	4493
Total			155345.3

Avec un luminaire avec appareillage, on a :

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire solair 251 FM250	1.0	105269.55	105269.55
Puiss.cons. lampe	1074.9	62	66647
Total			171916.55

Lampe vapeur de mercure de 125 watts

Prenons un luminaire sans appareillage

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire solair125 FE27	1.0	54021.6	54021.6
Appareillage BM 125	1.0	6838.8	6868.8
Puiss.cons.lampe	503.25	62	31201.5
Puiss.cons. appareillage	64.42	62	3994
Total			96085.9

Avec un luminaire avec appareillage, on a :

	Unités	Prix unitaire	Total
Luminaire solair125FM 125	1.0	64427.4	64427.4
Puiss.cons. lampe	567.67	62	35196
Total			99623.4

Après ces évaluations des coûts, il ressort qu'il serait profitable d'utiliser des luminaires sans appareillages et d'avoir et d'avoir ces derniers à part. Il faut donc associer au ballast un amorçeur électronique approprié. Ce procédé permet d'obtenir une grande finition, ainsi qu'une fiabilité des caractéristiques électriques des ballasts.

Dans le cas d'une grande installation le choix des appareillages à part permet de les grouper en un seul endroit ou dans une seule armoire . Ceci permet d'optimiser le temps de maintenance ou de réparation en cas de panne.

Chapitre 6: CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'éclairage des rues et des routes pose un problème différent de celui de l'éclairage intérieur et ceci pour des raisons suivantes:

a) il n'existe pas de parois réfléchissantes sur lesquelles on puisse compter pour renvoyer la lumière vers la chaussée car, si de telles façades existent en certains endroits, il est d'autres endroits, en particulier dans le cas des routes, où elles sont absentes: l'éclairage public doit cependant répondre au cas le plus défavorable:

b) l'éclairage est toujours totalement direct;

c) les foyers sont nécessairement disposés suivant des lignes parallèles à l'axe de la chaussée

d) les flux lumineux dont on dispose par mètre carré de surface, sont très faibles, comparés aux flux utilisés dans les installations d'éclairage intérieur. Ces raisons font que les solutions différeront très notablement de celles que l'on utilise dans les installations intérieures.

Le flux dont nous disposons au niveau de l'éclairage public étant faible, en conséquent l'éclairement réalisé sera aussi faible.

Aussi, du fait que l'éclairage est totalement direct et que les foyers sont relativement très espacés a pour conséquence que la lumière rencontrera les objets ou obstacles sous des incidences obliques et souvent assez voisine de l'horizontale.

Il en résultera donc pour la chaussée un éclairement rapidement décroissant lorsque l'on s'éloigne des foyers .

Mais le but d'un bon éclairage public n'est pas de réaliser sur la chaussée des éclairagements aussi élevés que possible mais de créer des contrastes suffisants entre le fond et les obstacles qui permettent la visibilité de ceux-ci en toutes circonstances.

Ainsi pour traiter ce problème ,il faut envisager le cas défavorable, en supposant que seule la chaussée sera susceptible de créer le fond lumineux permettant de voir les obstacles. Le problème est donc de créer sur la chaussée un fond lumineux aussi régulier que possible. Pour cela il est donc indispensable d'avoir des renseignements sur la façon dont les chaussées réfléchissent la lumière. C'est ainsi qu' à partir de la loi de Lambert on est arrivé à dire que si, sur une surface parfaitement diffusante on réalise un éclairage uniforme, on aura aussi une luminance uniforme. Malheureusement les expériences en se basant sur les caractéristiques des revêtements nous montrent qu'il y a des écarts entre les luminances. Cet état des choses nous oblige à adopter des solutions moyennes car:

_les revêtements routiers sont de natures très diverses

_la nature du revêtement peut changer au cours d'une réfection, sans qu'il soit possible de modifier en conséquence l'installation d'éclairage

_les caractéristiques réfléchissantes d'un revêtement varient avec son degré d' usure

_ces caractéristiques peuvent différer dans une mesure très importante entre l'état sec et l'état humide.

Dès lors ,l'une des conditions à remplir sera l'utilisation la plus

complète du flux. Ceci veut dire que l'on devra s'efforcer d'utiliser des appareils possédant de bons rendements et disposés de sorte que le maximum de flux émis par les lampes soit réfléchi en direction de la chaussée.

Dans le cadre précis de notre projet nous recommandons la disposition bilatérale quand bien même elle est plus onéreuse du fait qu'elle nécessite le passage de deux lignes d'alimentation dans les milieux urbains. La disposition unilatérale peut être utilisée dans les cas comme celui de Rufisque où il n'y a pas d'arbres tout au long de la chaussée. Aussi, comme nous n'avons que des chaussées de largeur moyenne, pour éviter des superpositions de maxima d'éclairement la disposition en quinconce est préférable si on se place du point de vue strict de la vision et de l'uniformité de répartition de la lumière.

La hauteur et l'espacement des foyers sont fonction des types d'appareils, de leur répartition et de la largeur des voies à éclairer.

Nous recommandons dans le cadre de ce projet et compte tenu du fait que nous n'avons que des voies ordinaires des hauteurs de 7.50 mètres à 10.0 mètres et de ne pas descendre au dessous d'une hauteur de 5 mètres. Il faut veiller aussi à ce que le rapport espacement/hauteur ne dépasse pas la valeur 4.5.

Nous avons remarqué que d'une façon générale on utilise des lampes de puissance assez élevée (250 à 400 watts) ce qui ne fait qu'augmenter la facture d'électricité des communes. Nous suggérons d'utiliser de préférence des lampes de puissance moindre avec un

appareillage bien adapté. Aussi, le niveau minimum d'éclairage conseillé dans le guide de la firme MAZDA est un peu élevé quand on tient compte des réalités africaines dans lesquelles nous vivons.

ANNEXE 1

La loi de Lambert:

Cette loi stipule que pour une surface, le rapport B/E est constant:

$$B/E = e/\pi$$

B étant la luminance en cd/m^2 et E l'éclairement en lux. e est le facteur de réflexion de la surface et $\pi = 3.14$.

Ceci revient à dire que si sur une surface diffusante on a un éclairement uniforme, on aura également une luminance uniforme de la surface et cette luminance sera indépendante des directions d'incidence et d'observation.

Caractéristiques des revêtements:

Tous les revêtements utilisés pour les voies publiques sont caractérisés par les propriétés suivantes: lorsqu'un rayon lumineux rencontre un point fixe P de la chaussée, sur lequel nous supposerons que parvient un éclairement constant, et qu'un observateur également fixe O regarde ce point (fig A1).

a) la luminance en direction PO de l'observateur est maximum lorsque ce dernier est placé dans le plan vertical ONPS passant par la normale à la surface en P et la source S ($\gamma=0$)

b) la luminance croît pour l'observateur fixe lorsque l'angle d'incidence augmente, c'est à dire lorsque les rayons se

rapprochent de l'horizontale;

c) la luminance croît lorsque, l'angle d'incidence restant constant, la direction d'observation se rapproche de l'horizontale, c'est à dire lorsque l'angle de la direction d'observation avec la normale augmente.

La luminance B est donc fonction des angles θ , ϕ , γ :

avec θ = angle d'incidence

ϕ = angle d'observation

γ = angle des plans verticaux d'incidence et d'observation.

Elle est de plus toutes choses égales, proportionnelle à l'éclairement.

Ces résultats montrent que si l'on suppose réalisé sur une chaussée, un éclairage uniforme, l'aspect de cette chaussée ne sera jamais uniforme et la luminance sera loin d'être constante pour les divers points regardés par un observateur supposé fixe et placé sur cette chaussée. En effet pour chacun des points regardés, les angles θ , ϕ , γ varient simultanément. (voir fig A1).

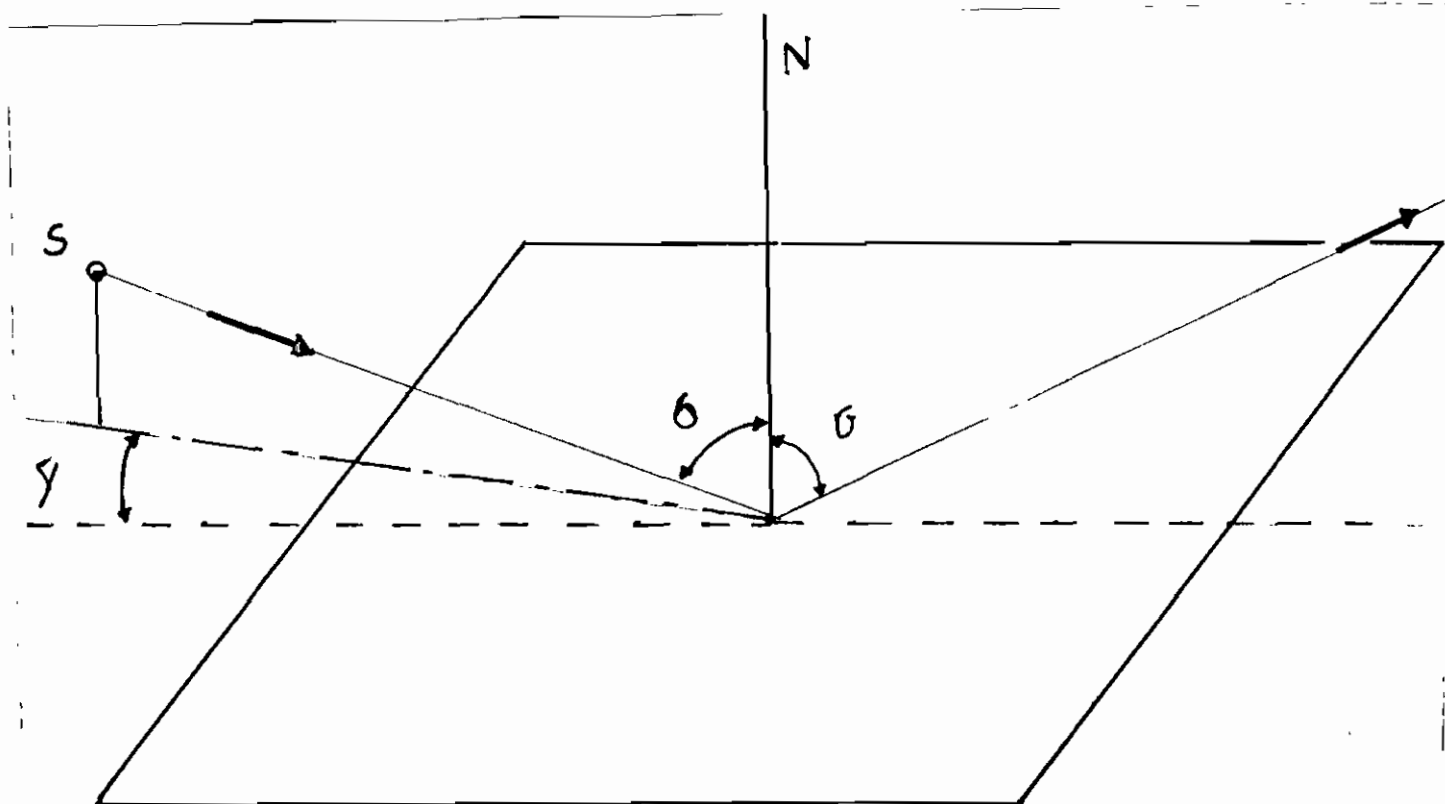


Fig A1: Angles à considérer dans l'étude des luminaires des revêtements de chaussées.

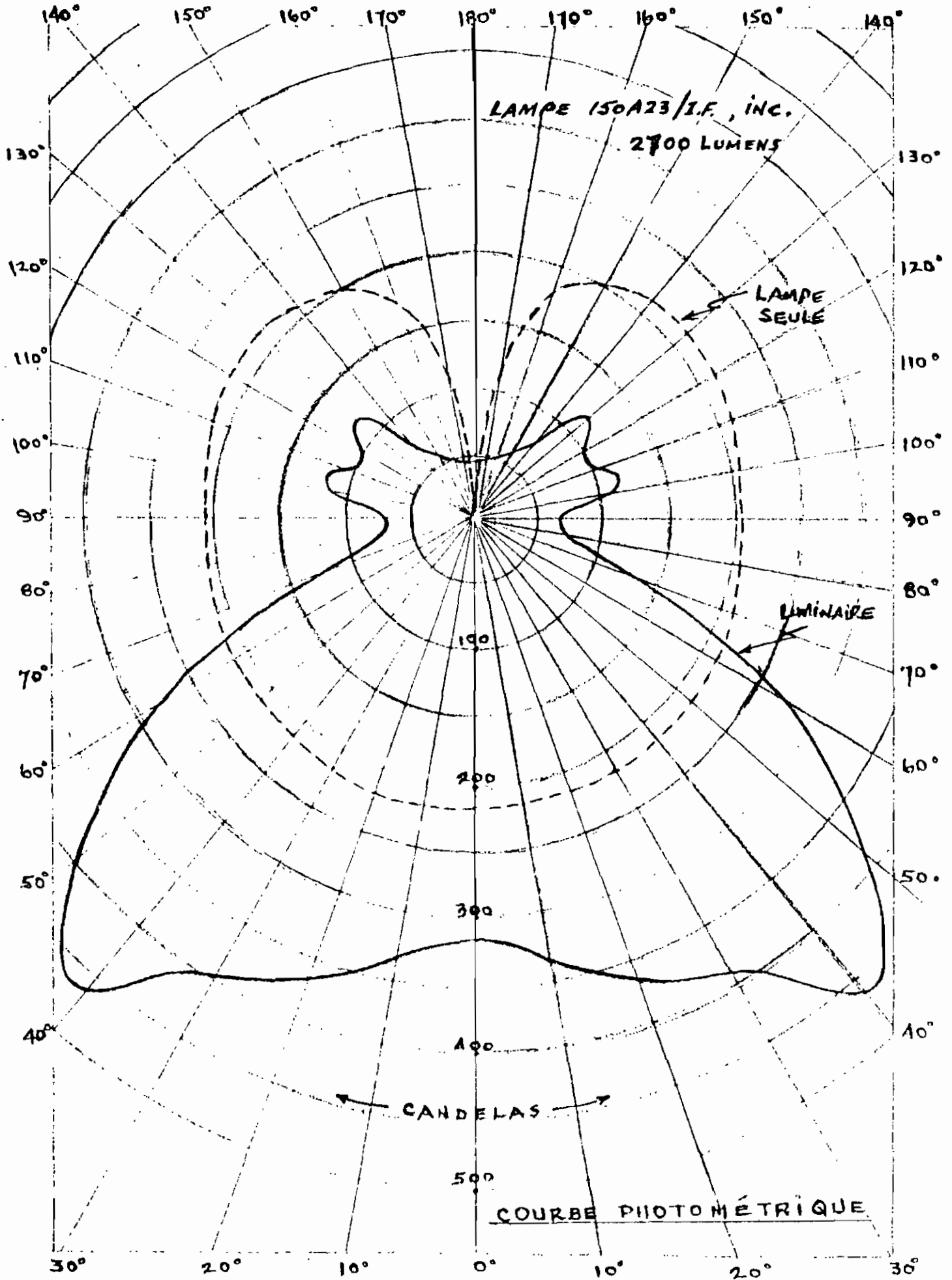
ANNEXE 2

Courbe de l'intensité d'un luminaire (plafonnier).

Cette courbe nous montre l'importance du choix d'un luminaire dans la focalisation de l'intensité lumineuse. (Voir page suivante).

Elle est la représentation graphique de la répartition de l'intensité lumineuse, en candela, dans différentes directions.

COURBE DE L'INTENSITÉ D'UN LUMINAIRE (PLAFONNIER). 13



ANNEXE 3

Relevé des niveaux d'éclairement

Pour faire ce relevé, on utilise un appareil : le lux-mètre.

La méthodologie à utiliser pour bien prendre ces mesures est la suivante:

-Faire la description des lieux et donner les facteurs qui peuvent affecter les résultats comme les réflectances des parois, le type des lampes, son usure, le voltage ,et le lux-mètre utilisé.

-Utiliser un lux-mètre avec correction du cosinus et de la couleur.

-La température devrait se situer entre 15° et 50° si possible.

-Exposer la cellule du lux-mètre à la lumière 5 à 15 minutes pour se stabiliser avant de prendre les lectures.

-Eviter de créer de l'ombre sur la lecture car celle-ci est très sensible à la lumière.

-S'assurer que les lampes ont fonctionné un certain nombre d'heures avant de prendre les mesures (100 heures pour les lampes à décharge).

BIBLIOGRAPHIE

1. GUIDE MAZDA 1992
2. I E S Lighting Handbook
Fifth Edition 1972
The standard lighting guide
3. ECLAIRAGISME
La science de l'éclairage
Camille Labrecque, ing. FIES
Expert conseil en éclairage (EPM)
4. PHILIPS Lighting handbook
5. L'ECLAIRAGE
Maurice Déribéré
Presses Universitaires de France
6. ETUDES ET REALISATION DES RESEAUX
D'ECLAIRAGE PUBLIC (SENELEC)