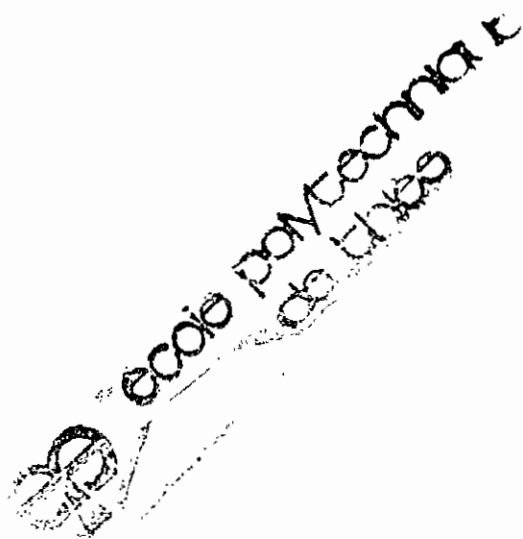


Ecole polytechnique de Thies

Gm. 0421

Conception de l'éclairage  
d'un km de l'autoroute.



par Bourama FOFANA

Mai 1981

Directeur du projet : Mr Harvey Gagné

- Je dédie ce projet à mes parents et  
amis

# PRELIMINAIRE

# Table de matières

<u>Matières</u>	<u>Pages.</u>
<u>Préliminaire</u>	
Titre	ii
Remerciements	iii
Sommaire	iv
<u>Texte</u>	
I - <u>Introduction</u>	1
II - <u>Calculs relatifs au projet.</u>	
A. <u>Calcul de l'éclairage</u>	
1° Définitions	3
2° Contraintes d'installation	3
3° Choix du type de source	5
4° Choix des luminaires	5
5° Détermination du nombre de luminaires	6
6° Analyse de coût	18
B. <u>Calcul des supports.</u>	
1° Calcul de la pression dynamique	47
2° Choix du candélabre	49
3° Calcul du moment de flexion M	50
C. <u>Calcul des fondations.</u>	50

## D. Installation électrique.

1°- Calcul de la charge maximale totale	58
2°- Types de distribution	58
3°- Calcul des courants nominaux	59
4°- Choix des cables	
5°- Choix des éléments de puissance de mesure et de protection	80
a) Deux transformateurs sont montés	80
b) Un seul transformateur est installé	88

## III. Etude économique

1°- Eclairage proprement dit	94
2°- Accessoires	94
TOTAL	96

## IV. Conclusion

### Annexes.

Appendice 0	100
Appendice A	106
Appendice B	117

ii

Conception de l'éclairage  
d'un km de l'autoroute de  
Dakar.

## Remerciements.

Nous tenons à exprimer ici, notre profonde gratitude aux personnalités ci-après :

— M<sup>r</sup> Harvey Gagné, notre directeur de projet. Il a ménagé aucun effort pour la réussite de notre étude. Nous le remercions sincèrement pour sa disponibilité et les services rendus.

— M<sup>r</sup> Mercier de la Compagnie Générale d'Electricité (C.G.E). Nous lui adressons nos remerciements les plus sincères pour les nombreux services qu'il nous a rendus.

## Sommaire.

Bien que l'objectif principal visé soit le même partout dans le monde, à savoir la création du confort dans la vision, les méthodes utilisées peuvent être différentes d'un pays à un autre. C'est ainsi que l'on peut citer, les normes américaines, les normes européennes et possiblement d'autres normes encore. Quant à ce qui nous concerne, nous avons utilisé les normes européennes étant bien entendu, que les Européens demeurent encore nos plus grands fournisseurs.

Nous avons d'abord déterminé la source de lumière qui convient le mieux, et celle qui a été retenue, après une étude comparative de coût est le sodium haute pression. La luminaire à utiliser est le SOLAIR 600P. C'est après quoi que nous sommes passés au choix et à la fixation des supports. Le type de support étant choisi (Eurasie) nous avons fait un calcul de fondation pour le massif en vérifiant la stabilité de l'ensemble par la formule d'Andree - Norsca. Et pour rendre l'étude opératoire, nous nous sommes penchés sur l'installation électrique. C'est ce qui nous a amenés à choisir le transformateur TW 23/25 25 KVA, le disjoncteur DT 100N, les câbles S 35 A:  $3 \times 1,5$ ,  $3 \times 10$ ,  $3 \times 25 \text{ mm}^2$ , le compteur A6C1 20/60 A - 220/380 V, le disjoncteur différentiel Ref. 131.628 N<sup>os</sup> 528 356 30/60 A, l'armoire métallique "POLYSTAR 3000" 600 x 400 x 220 mm.



TEXTE

## I. INTRODUCTION.

L'autoroute de Dakar constitue l'issue fondamentale de la ville par terre. Ainsi, ne joue-t-elle pas un rôle d'importance capitale dans la réglementation de la circulation. En chaque heure de la journée, il passe environ 1040 véhicules dans un sens comme l'autre. Ce chiffre qui nous a été donné par la Direction de l'entretien routier constitue un indice réel de la valeur du rôle capital de l'autoroute de Dakar dans le développement économique et social de tout le pays. L' autoroute facilite l'accès du centre-ville. En effet, nous perdons beaucoup moins de temps en empruntant l' autoroute que sur toute autre voie à double sens caractérisée essentiellement par ses innombrables blocages inévitables. Malheureusement tout ne va pas à merveille sur l' autoroute de Dakar; le jour tout est sans problème, la nuit, c'est le calvaire. Le pénombre envahit, les risques d'accidents par défaut d'une bonne visibilité sont grands. Le mystère d'un sabotage nocturne pouvant être perpétré par des malfaiteurs de tout genre, plane. Il y a aussi et c'est important, le manque d'attraction de l' autoroute, la nuit, son beau

terre plein-central s'effaçant dans l'obscurité.

Devant cette situation de fait, dans le souci de diminuer les dégâts, il nous a été proposé de concevoir l'éclairage d'un tronçon d'un kilomètre (1 km) de l'autoroute de Dakar.

Ce travail comprendra :

- un calcul détaillé de l'éclairage
- un calcul des supports et des fondations
- une étude économique du projet
- un plan d'implantation du système.

## II. CALCULS RELATIFS AU PROJET.

### A. Calcul de l'éclairage.

Pour plus de renseignements sur ce sujet se référer à l'appendice A.

#### 1°- Définitions

- \* Eclairage d'un km de l'autoroute de Dakar.
- \* Conformément à la classification des voies établie par la société MAZDA, les autoroutes sont de la classe "voies à trafic important."
- \* La nature des revêtements généralement utilisés fait de l'autoroute de Dakar, une chaussée sombre.

#### 2°- Contraintes d'installation.

##### \* Eclairage moyen.

Les recommandations de la société MAZDA préconisent de prendre pour les voies à trafic important et pour une chaussée sombre une valeur de 21 lux. au moins

Eclairage moyen  $E_{my} = 21 \text{ lux.}$

##### \* Hauteur des lampadaires.

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

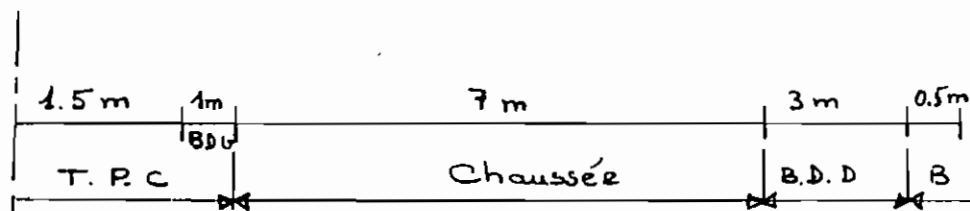
choisir la hauteur  $H$  des lampadaires selon la relation

$$H \geq l$$

où  $l$  est la largeur de la chaussée.

Largeur de la chaussée.

Le projet d'expansion de l'autoroute prévoit selon les renseignements fournis par la Direction de l'entretien routier les spécifications suivantes:



où : T.P.C vaut dire : trop-plein-central

B.D.G : bande dérasée de gauche

B.D.D : bande dérasée de droite

B : berne.

d'où la largeur  $l$  à éclairer est égale à :

$$1,5 \text{ m} + 1 \text{ m} + 7 \text{ m} = 9,5 \text{ m}$$

Nous avons introduit dans la longueur totale à éclairer, le trop-plein-central car cette partie de la route doit être aussi bien éclairée que la chaussée elle-même

Suivant donc la relation  $H \geq l$ , nous pouvons choisir la hauteur  $H$  égale à 12 m.  $H = 12 \text{ m}$ .

### \* Type d'éclairage.

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

### \* Type d'implantation.

Dans le souci d'économiser les supports, nous avons choisi pour type d'implantation, le type axial. En effet, ce type permet de monter deux luminaires sur un même support, ce qui diminue de moitié le nombre de supports qu'il faudrait utiliser si un autre type d'implantation avait été choisi.

### 3°- Choix du type de source.

L'étude sera faite sur trois types de source lumineuse. Le type le plus adéquat après l'étude économique qui s'en suivra et les considérations à observer, sera choisi comme source définitive à installer. Les trois types de source qui seront soumis à l'étude sont:

- a) Ballon fluorescent à vapeur de mercure
- b) Sodium haute pression.
- c) Iodure métallique.

### 4°- Choix des luminaires.

Les luminaires seront choisis suivant le type de source utilisé. Ainsi, avons-nous choisi:

- a) SOLAIR 400P pour: - Ballon fluorescent à vapeur de mercure  
 - Sodium haute pression  
 - Iodure métallique.
- b) ETHELUX 400 pour: - Ballon fluorescent à vapeur de mercure  
 - Sodium haute pression

### 5° Détermination du nombre de luminaires.

Nous nous servons de la méthode du coefficient d'utilisation pour déterminer l'interdistance entre les luminaires. Ceci nous permet alors de calculer le nombre de luminaires nécessaires pour éclairer un km de l'autoroute de Dakar suivant le type de luminaire et le type de source utilisés.

Pour les supports, une saillie de trois mètres sera retenue.

La Fig.(1) nous permet de faire les calculs.

Pour le cas précis de notre étude, nous avons:

$$l_1 = 9,5 \text{ m} - 3 \text{ m} = 6,5 \text{ m}$$

$$l_2 = 3 \text{ m} - (1,5 \text{ m} + 1 \text{ m}) = 0,5 \text{ m}$$

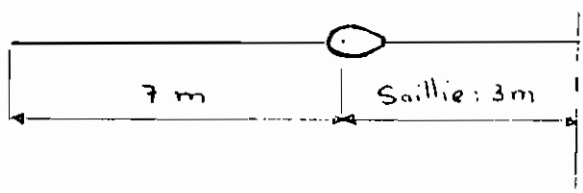
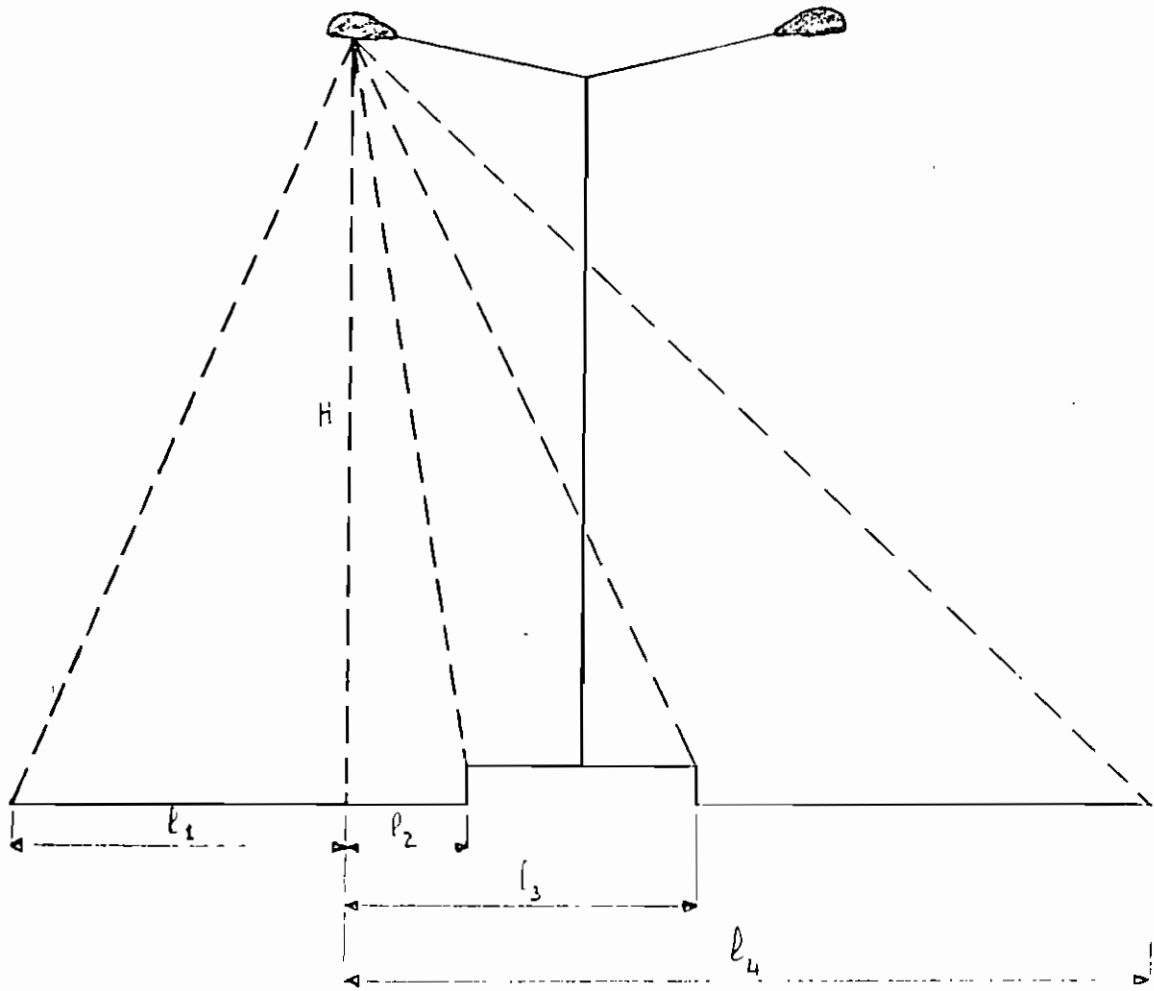


Figure : 1.



$$l_3 = 3 \text{ m} + (1,5 \text{ m} + 1 \text{ m}) = 5,5 \text{ m}$$

$$l_4 = 3 \text{ m} + 9,5 \text{ m} = 12,5 \text{ m}$$

$$H = 12 \text{ m.}$$

d'où :

Avant :

$$\frac{l_3}{H} = \frac{5,5}{12} = 0,46$$

Ce qui permet d'obtenir à partir de la courbe des coefficients d'utilisation la valeur de  $CU_3$

Arrière :

$$\frac{l_2}{H} = \frac{2,5}{12} = 0,21$$

Ce qui permet d'obtenir  $CU_2$

$$\frac{l_3}{H} = \frac{5,5}{12} = 0,46$$

Ce qui donne  $CU_3'$

$$\frac{l_4}{H} = \frac{12,5}{12} = 1,04$$

Ce qui donne  $CU_3''$

$$\text{et } CU_3 = CU_3'' - CU_3'$$

Pour les fins de calculs, nous utiliserons les facteurs de vé-  
tusté suivants :

— pour les luminaires  $V_u = 0,9$

— pour les lampes  $V_a = 0,85$

a) Ballon fluorescent à vapeur de mercure.

# Luminaire : SOLAIR 400 PLP.

La courbe d'utilisation de coefficients de lumineuse auquel est ajustée une lampe au mercure MAF 400 RV se présente comme indiqué sur la Fig. (2).

D'où les valeurs suivantes pour  $CU_1$ ,  $CU_2$  et  $CU_3$

$$\cdot CU_1 = 0,22$$

$$\cdot CU_2 \approx 0$$

$$\cdot CU_3 = CU_3'' - CU_3'$$

$$\text{avec : } CU_3'' = 0,18$$

$$CU_3' = 0,12$$

$$CU_3 = 0,18 - 0,12 = 0,06$$

L'interdistance  $L$  des foyers est obtenue de la formule:

$$L = \frac{\phi (CU_1 + CU_2 + CU_3) V_0 V_u}{E_{my} l}$$

où  $\phi$  = flux de la lampe

pour la lampe MAF 400 RV,  $\phi = 23\,000 \text{ lm}$

$E_{my}$  : éclairement moyen préconisé

$$E_{my} = 21 \text{ lux}$$

$l$  : largeur de la route à éclairer

$$l = 9,5 \text{ m}$$

$$\text{d'où } L = \frac{23\,000 (0,22 + 0 + 0,06) \times 0,85 \times 0,90}{21 \times 9,5} = \frac{4\,926,6}{199,5} = 24,69$$

$$L = 24,69 \text{ m}$$

• Nombre de luminaires pour éclairer une chaussée sur 1 km N:

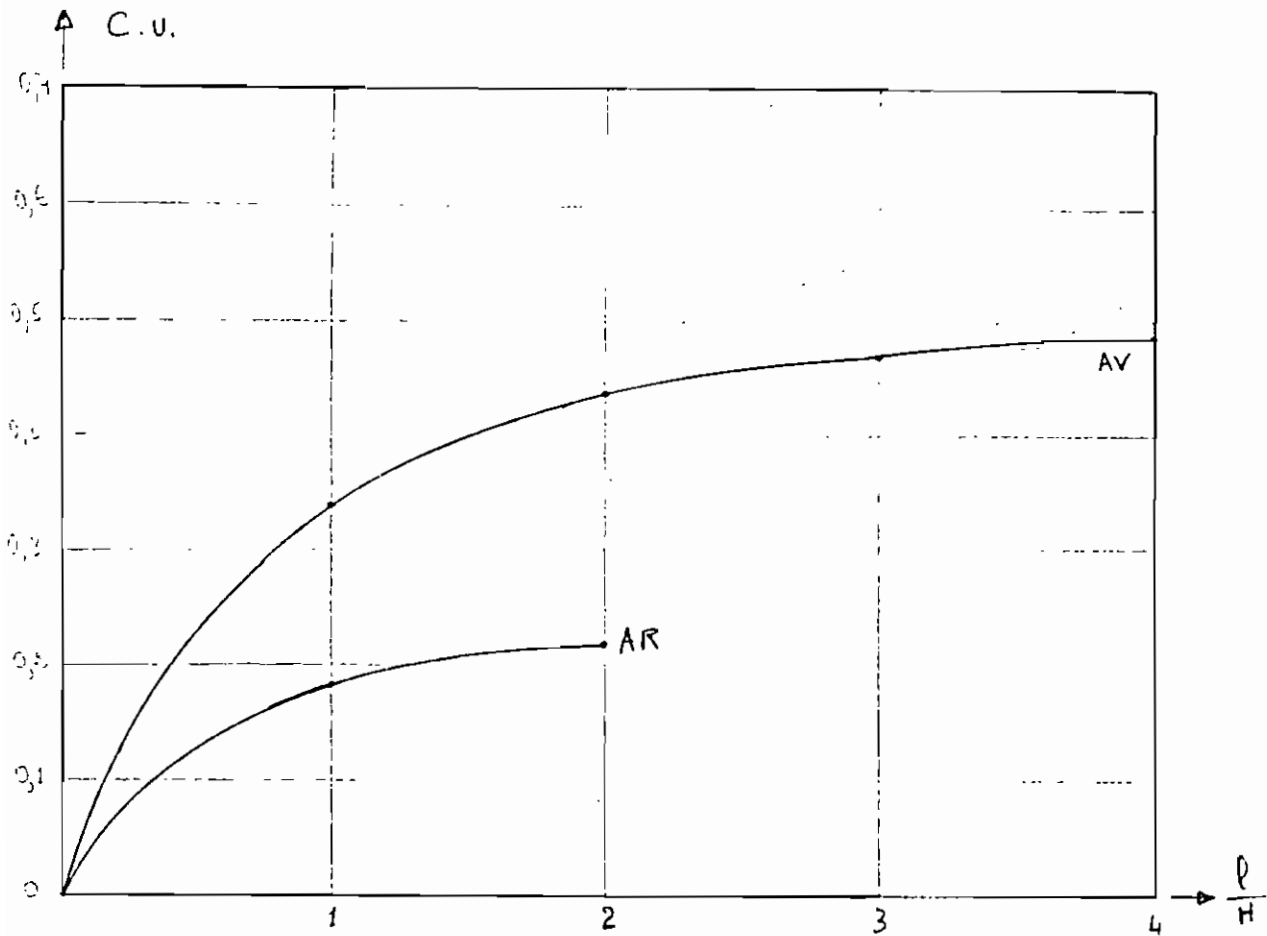


Figure : 2.

Courbes des coefficients d'utilisation.

$$N = \frac{1 \text{ lu} \times 1000 \text{ m}}{24,69 \text{ m}} = 40,50 \text{ lu.}$$

11

soit  $N = 41$  luminaires.

. Nombre total  $N_T$  de luminaires pour éclairer les deux chaussées

$$N_T = 2N = 2 \times 41 = 82$$

$N_T = 82$  luminaires.

# Luminaire : ETHELUX 400

Les coefficients d'utilisation sont obtenus à partir de la courbe de la Fig. (3).

Nous avons :

$$\cdot CU_1 = 0,24$$

$$\cdot CU_2 \approx 0$$

$$\cdot CU_3 = CU_3'' - CU_3'$$

$$\text{avec } CU_3'' = 0,18$$

$$CU_3' = 0,12 ; \quad CU_3 = 0,18 - 0,12 = 0,06$$

$$\text{Donc: } L = \frac{\phi (CU_1 + CU_2 + CU_3) V_0 V_u}{E_{my} l}$$

$$L = \frac{23000 (0,24 + 0 + 0,06) \times 0,85 \times 0,90}{21 \times 9,5} = \frac{5278,5}{199,5}$$

$$L = 26,45 \text{ m}$$

. Nombre  $N$  de luminaires pour une chaussée

$$N = \frac{1 \text{ lu} \times 1000 \text{ m}}{26,45 \text{ m}} = 37,80 \text{ lu.}$$

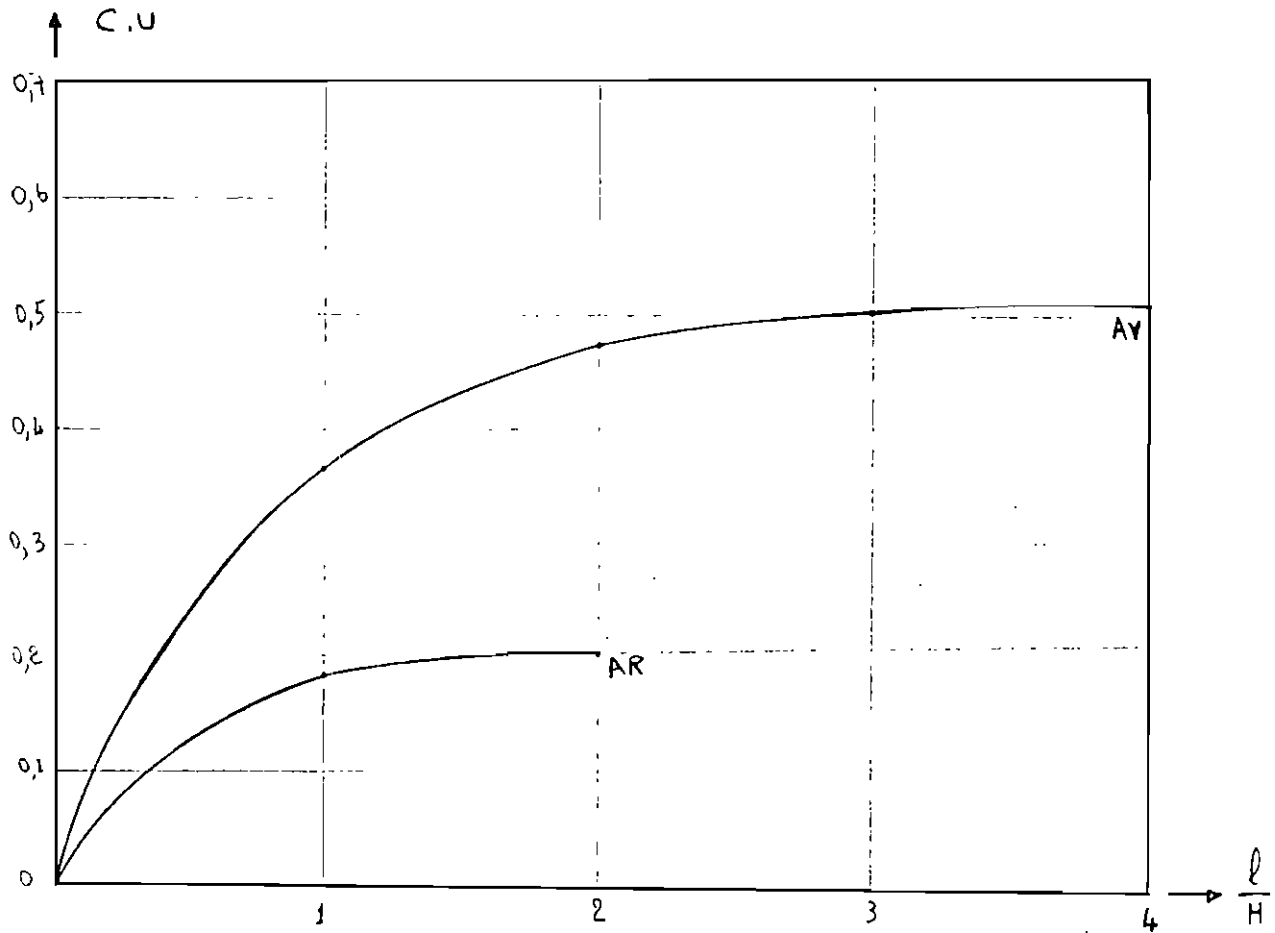


Figure : 3

Coefficients d'utilisation: ETELUX.

soit  $N = 38$  luminaires

Nombre total  $N_T$  de luminaires pour les deux chaussées

$$N_T = 2N = 2 \times 38 = 76 \text{ luminaires}$$

b) Lampes au sodium haute pression.

Nous utiliserons une lampe MAC 400 RV dont le flux vaut

$$\Phi = 48\,000 \text{ lm}$$

# Luminaire : SOLAIR 400 PLF

Les coefficients d'utilisation sont déterminés à partir de la fig (4)

Nous avons :

$$\cdot cu_1 = 0,27$$

$$\cdot cu_2 \approx 0$$

$$\cdot cu_3 = cu_3'' - cu_3'$$

$$\text{avec } cu_3'' = 0,20$$

$$cu_3' = 0,12$$

$$cu_3 = 0,20 - 0,12 = 0,08$$

Donc l'interdistance  $L$  entre les foyers vaut :

$$L = \frac{\Phi (cu_1 + cu_2 + cu_3) V_0 V_u}{E_{my} \times l}$$

$$L = \frac{48\,000 (0,27 + 0 + 0,08) \times 0,85 \times 0,90}{21 \times 9,5} = 64,42 \text{ m}$$

$$L = 64,42 \text{ m}$$

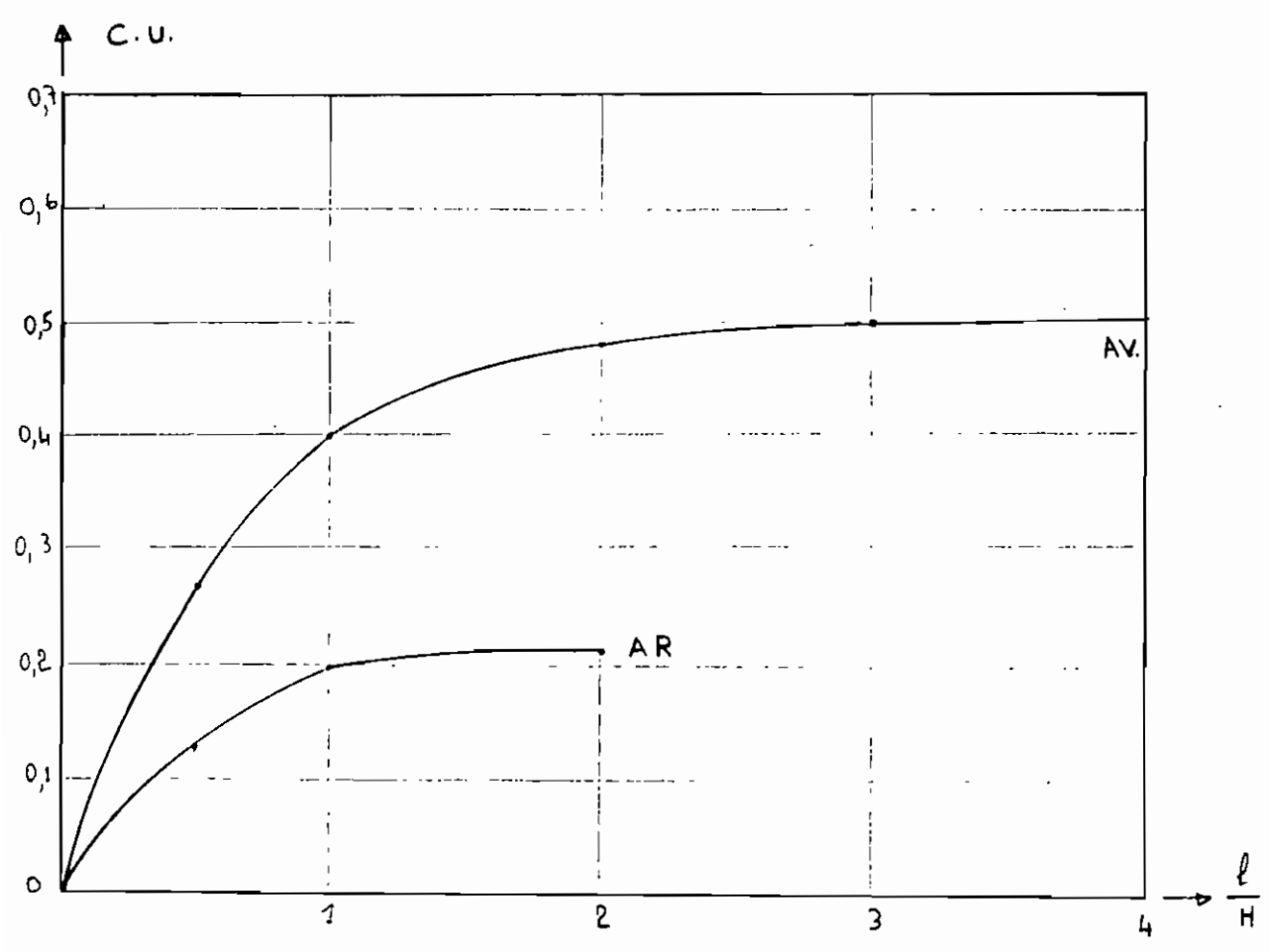


Figure : 4

Coefficients d'utilisation: SOLAIRE 400 PLF

Pour un luminaire donné, le rapport entre l'espacement des foyers et la hauteur des lampes doit être assez bas, afin <sup>que</sup> la lumière (en provenance d'un foyer), à l'angle vertical maximal éclaire la route sur, au moins, la moitié de l'espacement au poteau adjacent. MAZDA conseille de prendre au maximum une valeur de l'espacement  $L$  égale à quatre fois la hauteur  $H$  des lampes.

Donc pour  $H = 12$  m, alors  $L = 4H = 4 \times 12 = 48$  m.

Au lieu donc de prendre  $L = 64,42$  m, nous considérerons

$$L = 48 \text{ m}$$

. Nombre  $N$  de luminaires pour éclairer une chaussée :

$$N = \frac{1 \text{ lu} \times 1000 \text{ m}}{48 \text{ m}} = 20,83 \text{ lu.}$$

$$\text{soit } N = 21 \text{ luminaires}$$

. Nombre total  $N_T$  de luminaires pour les deux chaussées

$$N_T = 2N = 2 \times 21 = 42 \text{ luminaires.}$$

# Luminaire : ETHELUX.

Nous avons :

$$\bullet \text{ } cu_1 = 0,24$$

$$\bullet \text{ } cu_2 \approx 0$$

$$\bullet \text{ } cu_3 = 0,06$$

$$\text{d'où } L = \frac{\phi(cu_1 + cu_2 + cu_3) V_a V_b}{E_{my} \ell}$$



. L'interdistance  $L$  des foyers :

$$L = \frac{48000(0,24 + 0 + 0,06) \times 0,85 \times 0,90}{21 \times 9,5} = 55,21 \text{ m}$$

soit  $L = 55,20 \text{ m}$

. Là également, nous prendrons, pour les mêmes raisons évoquées plus haut,  $L = 48 \text{ m}$

. Nombre de luminaires pour éclairer une chaussée  $N$

$$N = \frac{48 \times 1000 \text{ m}}{48 \text{ m}} = 21 \text{ luminaires}$$

. Nombre total  $N_T$  de luminaires pour les chaussées :

$$N_T = 2N = 2 \times 21 = 42 \text{ luminaires}$$

c) Lampes à iodure métallique.

Nous utiliserons la lampe à iodure métallique MAIH 400.

Elle a un flux lumineux de  $30\,000 \text{ lm}$ .

# Luminaire : ETHELUX.

Pour ce luminaire, il a été obtenu :

$$\cdot CU_1 = 0,24$$

$$\cdot CU_2 = 0$$

$$\cdot CU_3 = 0,06$$

D'où nous avons

. Interdistance  $L$  des foyers :

$$L = \frac{\phi (CU_1 + CU_2 + CU_3) V_a V_u}{E_{mj} \times l}$$

$$L = \frac{30000(0,24 + 0 + 0,06) \times 0,85 \times 0,90}{21 \times 9,5} = 34,50 \text{ m}$$

$$L = 34,50 \text{ m}$$

. Nombre  $N$  de luminaires pour éclairer une chaussée.

$$N = \frac{1 \text{ lu} \times 1000 \text{ m}}{34,50 \text{ m}} = 29 \text{ luminaires.}$$

. Nombre total  $N_T$  de luminaires pour les deux chaussées.

$$N_T = 2N = 2 \times 29 = 58 \text{ luminaires.}$$

# Luminaire: SOLAIR 400P.

Nous ne disposons pas de la courbe d'utilisation de ce luminaire dans lequel serait montée une lampe MAIH400. Pour avoir une idée du nombre de luminaires, nous supposons que le rapport des nombres de luminaires avec le SOLAIR 400P et l'ETHELUX est le même qu'avec le ballon fluorescent à vapeur de mercure.

. Nombre de luminaires pour une chaussée :

$$N = \frac{41 \times 29}{38} = 31 \text{ luminaires}$$

. Nombre total  $N_T$  de luminaires pour les deux chaussées.

$$N_T = 2N = 2 \times 31 = 62 \text{ luminaires.}$$

. Interdistance  $L$  des foyers.

$$L = \frac{1000 \text{ m} \times 1 \text{ lu}}{31 \text{ lu}} = 32,25 \text{ m.}$$

d) Les accessoires.

Parmi les accessoires des lampes à décharge, nous pouvons citer entre autre, le ballast. C'est un élément essentiel. Sa principale fonction est de fournir assez de voltage pour démarrer la lampe et ainsi, il limite le courant

à travers la lampe. Il se compose d'un noyau en tôles magnétiques, entouré d'un enroulement de fils de cuivre; celui-ci peut être englobé dans une résine en polyester qui protège le bobinage et évite toutes les vibrations sonores des vibrations. La bobine consomme du courant inductif et pour réduire ce courant demandé à la source, et ainsi améliorer le facteur de puissance, nous plaçons dans le circuit un condensateur. Ce condensateur est le seul élément qui est livré avec la platine. Le reste de la lampe est livré séparément. Les lampes à décharge ont donc un facteur de puissance qui se situe entre 0,35 et 0,50 et pour ramener ce facteur à 0,85 ou plus, MAZDA propose les valeurs suivantes pour les platines.

— lampe fluorescente à vapeur de mercure MAF 400 RV:

PSC<sub>1</sub> M400 MA22

— lampe au sodium haute pression MAC 400 RV:

PSC<sub>1</sub> M400 MAC20

— lampe à iodure métallique MAIH 400

M400 MAIH.22

### 6° Analyse de coût.

Elle sera faite selon le modèle des tableaux ci-après :

## a) Avec luminaire: SOLAIR 400P

	Systeme de numeration.	1	2	3
Description du système d'éclairage	1. Type de lampe	Fluo. à V. Hg	S. H. P	Iodure. M.
	2. Dépréciation lampe	0,85	0,85	0,85
	3. Type de luminaire	SOLAIR 400P	Solair 400P	Solair 400P
	4. Nombre de lampe/luminaire	1	1	1
Renseignements de base	5. Puissance initiale des lampes/lumi.	23 000 lm	48 000 lm	30 000 lm
	6. Vie de la lampe	6000 h	8000 h	3000 h
	7. Watts par luminaire y compris auxiliaire	423	440	425
	8. Nombre de luminaire	82	42	62
	9. Eclairage moyen en lux	21	21	21
	10. Coût du kW/h	50,02	50,02	50,02
	11. Nombre d'heure de fonctionnement par an	4015	4015	4015
Coût initial	12. Coût net du luminaire	102 564	130 784	117 706
	13. Coût additionnel des accessoires (vasque + platine)	45 055	70 630	62 310
	14. Coût net initial d'une lampe	9 100	18 580	23 615
	15. Coût net initial des lampes/lumi.	9 100	18 580	23 615
	16. Coût initial total/luminaire	156 719	220 054	203 631
	17. Coût initial total	12 850 958	9 242 268	12 625 128

Luminaire: SOLAIR 400P (suite).

Systeme de numeration.		1	2.	3.
Charges an- nuelles fixes	18. Coût initial par luminaire sans lampe	147 619	201 474	180 016
	19. Coût initial total sans lampe	12 104 758	8 461 908	11 160 992
	20. Charges fixes annuelles: 7,5% de (19)	907 857	634 643	837 074
Coût annuel d'opération.	21. Nombre annuel des remplacements des lampes	55	21	83
	22. Coût annuel des lampes de remplacement	500 500	390 180	1960 045
	23. Coût total annuel des matériaux de maintenance.	500 500	390 180	1960 045
	24. Coût de M.O. pour remplacer 1 lampe	500	500	500
	25. Coût annuel de M.O pour remplacer les lampes	27 500	10 500	41 500
	26. Coût de nettoyage d'1 luminaire	200	200	200
	27. Nombre de nettoyage par an	1	1	1
	28. Coût annuel de nettoyage	16 400	8 400	12 400
	29. Coût M.O annuel pour maintenance	43 900	18 900	53 900
	30. Coût annuel total de maintenance	514 400	409 080	2 013 945
	31. Coût annuel de l'énergie	6 966 000	3 711 344	5 291 878
	32. Coût annuel total d'opération	7 570 400	4 120 424	7 305 823

Luminaire : SOLAIR 400P (suite)

	Systeme de numeration.	1	2.	3
Coût annuel d'1 lux	33. Coût total annuel	20 361 358	13 362 692	19 930 365
	34. Coût annuel par lux.	969 588	636 318	949 093

b) Luminaire : ETHELUX.

	Système de numération.	1	2	3
Description du système d'éclairage	1. Type de lampe	Fluor. V. Hg	S. H. P	Iod. M
	2. Dépréciation lampe	0,85	0,85	0,85
	3. Type de luminaire	ETHELUX	ETHELUX	ETHELUX
	4. Nombre de lampe / luminaire	1	1	1
Renseignements de base	5. Puissance initiale des lampes / luminaire	23 000 lm	48 000 lm	30 000 lm
	6. Vie de la lampe en heures	6000	8000	3000
	7. Watts par luminaire y compris auxiliaire	423	440	425
	8. Nombre de luminaires	76	42	58
	9. Éclairage moyen en lux	21	21	21
	10. Coût du kW/h en CFA	50,02	50,02	50,02
	11. Nombre d'heures de fonctionnement par an.	4015	4015	4015
Coût initial.	12. Coût net du luminaire	100 515	100 515	100 515
	13. Coût additionnel des accessoires (vasque + platine)	70 305	95 940	87 560
	14. Coût net initial d'une lampe	9 100	18 580	23 615
	15. Coût net initial des lampes / lumi.	9 100	18 580	23 615
	16. Coût initial total / luminaire	179 920	215 035	211 690
	17. Coût initial total	13 673 920	9 031 470	12 278 020

Luminaire: ETHELUX. (suite).

	Systeme de numeration.	1.	2.	3.
Charges fixes annuelles	18. Coût initial par luminaire sans lampe	170 820	196 455	188 075
	19. Coût initial total sans lampe	12 982 320	8 251 110	10 908 350
	20. Charges fixes annuelles: 7,5% de (19)	973 674	618 833	818 126
Coût annuel d'operation.	21. Nombre annuel de remplacement des lampes	51	21	78
	22. Coût annuel des lampes de rempla.	464 100	390 180	1841 970
	23. Coût total annuel des matériaux de maintenance	464 100	390 180	1 841 970
	24. Coût de M.O pour remplacer 1 lampe	500	500	500
	25. Coût total annuel de M.O pour remplacement des lampes.	25 500	10 500	39 000
	26. Coût de nettoyage d'1 luminaire	200	200	200
	27. Nombre de nettoyage par an	1	1	1
	28. Coût annuel de nettoyage	15 200	8 400	11 600
	29. Coût annuel de M.O pour la maintenance	40 700	18 900	50 600
	30. Coût total de maintenance	504 800	409 080	1892 570
	31. Coût annuel de l'energie	6 456 292	3 711 344	4 950 467
	32. Coût annuel total d'operation	6 961 092	4120 424	6 843 017



Luminaire : ETELUX (suite).

	Systeme de numeration	1	2	3
Coût annuel par lux	33. Coût total annuel	20 635 012	13 151 894	19 121 057
	34. Coût annuel par lux	982 620	626 280	910 526

De l'analyse des coûts qui vient d'être effectuée, il ressort clairement qu'il est beaucoup plus économique d'utiliser les lampes au sodium à haute pression. En effet il revient,

— pour le luminaire SOLAIR 400P

- avec le ballon fluorescent à vapeur de mercure MAF 400 RV

$$\frac{(20\ 361\ 358 - 13\ 362\ 692)}{13\ 362\ 692} \times 100 = 52,37\%$$

- avec l'iodure métallique MAIH 400

$$\frac{(19\ 930\ 945 - 13\ 362\ 692)}{13\ 362\ 692} \times 100 = 49,15\%$$

— pour le luminaire ETHELUX

- avec le ballon fluorescent à vapeur de mercure MAF 400 RV

$$\frac{(20\ 635\ 012 - 13\ 151\ 894)}{13\ 151\ 894} \times 100 = 56,89\%$$

- avec l'iodure métallique MAIH 400

$$\frac{(19\ 121\ 057 - 13\ 151\ 894)}{13\ 151\ 894} \times 100 = 45,38\%$$

plus cher qu'en utilisant le sodium haute pression MAC 400

D'autre part, nous constatons également qu'il est légèrement plus économique d'utiliser le luminaire ETHELUX que le SOLAIR 400P. Il y a une différence de coût de:  $13\ 362\ 692 - 13\ 151\ 894$  soit: 210 798 Francs CFA. Donc en ne considérant que les déboursés que l'installation seulement des luminaires et des lampes exigerait, nous constatons qu'il est encore plus économique d'employer le luminaire ETHELUX. Cependant, dans le souci de faire une étude plus complète, nous proposons le

le luminaire: le SOLAIR 400 P pour être en mesure de calculer les éclairagements en différents points de la chaussée afin de déterminer le coefficient d'uniformité selon la "méthode des 21 points". En effet, nous disposons seulement des courbes photométriques concernant le luminaire SOLAIR 400 P, c'est essentiellement ça le motif de notre choix.

La "méthode des 21 points" permet de calculer l'éclairage obtenu en 21 points différents de la chaussée, ainsi, elle permet de trouver le coefficient d'uniformité qui est défini par  $EU = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$ . Ce facteur est important car il peut être un facteur de base pour le choix du dispositif d'éclairage. Pour ce qui est de notre étude, il n'en sera pas le cas, nous l'introduisons pour pur souci de compléter l'étude, en effet, nous pourrions ainsi avoir une idée de l'uniformité de notre éclairage et pas plus. Nous avons la situation indiquée par la Fig (5). L'éclairage en chaque point est donné par l'une ou l'autre des deux formules suivantes

$$(1) \quad E = \frac{I \cos^3 \gamma}{H^2}$$

$$(2) \quad E = \frac{I \cos^3 \beta \cos^3 \beta}{H^2}$$

Nous adoptons pour la deuxième formule: soit  $E = \frac{I \cos^3 \beta \cos^3 \beta}{H^2}$

où  $I$  = l'intensité lumineuse au point considéré en lm

$H$  = la hauteur du luminaire.

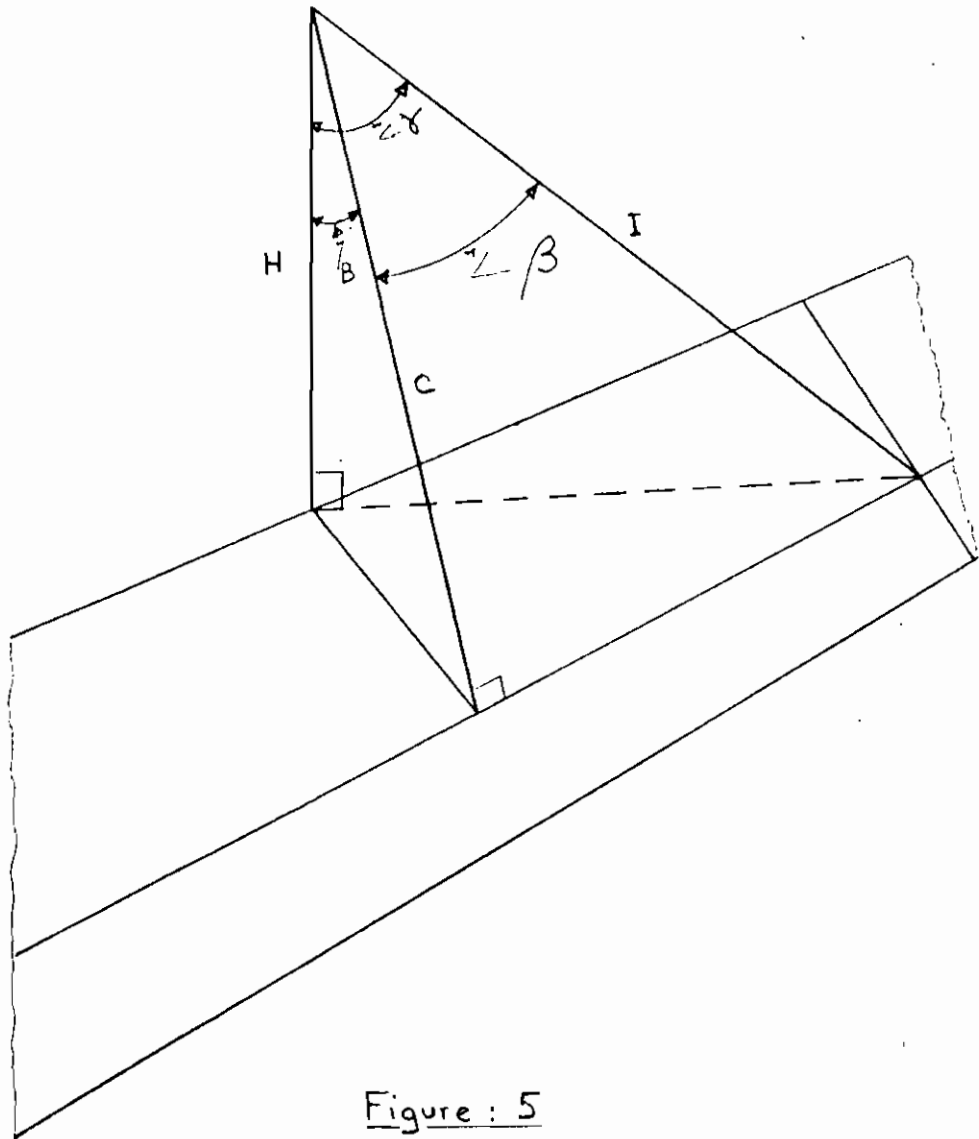


Figure : 5

Nous nous proposons la formule de calcul ci-après, basée sur la fig (6). Le calcul sera effectué pour chacun des 21 points disposés comme l'indique la Fig(7).

Pour chaque point des 21 différent de ceux qui se trouvent sur le plan vertical qui contient la verticale du centre des foyers et perpendiculaire à la longueur de la chaussée, nous calculerons l'apport de chacun des foyers entre lesquels, le point est placé. Pour les points situés dans plan  $xoy$  et sur la droite  $xy$ , (voir Fig (8)) nous ne prendrons en considération que l'apport du luminaire  $O_1$ . Nous négligerons également les effets des luminaires situés du "côté maison" de la chaussée d'autant plus que les luminaires ont un système optique assymétrique.

### Exemple de calcul.

Soient :  $E_i$  : éclairage au point  $i$

$E_{i,O_1}$  : éclairage au point  $i$  dû au foyer  $O_1$

$E_{i,O_2}$  : éclairage au point  $i$  dû au foyer  $O_2$

$$1^{\circ}) E_i = E_{i,O_1} + E_{i,O_2}$$

a) Calcul de  $E_{i,O_1}$

voir Fig(9)

$$\text{où } l_1 = (1/6 l + 1/3 l) - 0,5 \text{ m} = 1/2 l - 0,5 \text{ m} = 1/2 \times 7 - 0,5 = 3 \text{ m}$$

$$H = 12 \text{ m}$$

$$\text{d'où } \operatorname{tg} B = \frac{l_1}{H} = \frac{3}{12} = 0,25 \Rightarrow B = 14,036^{\circ}$$

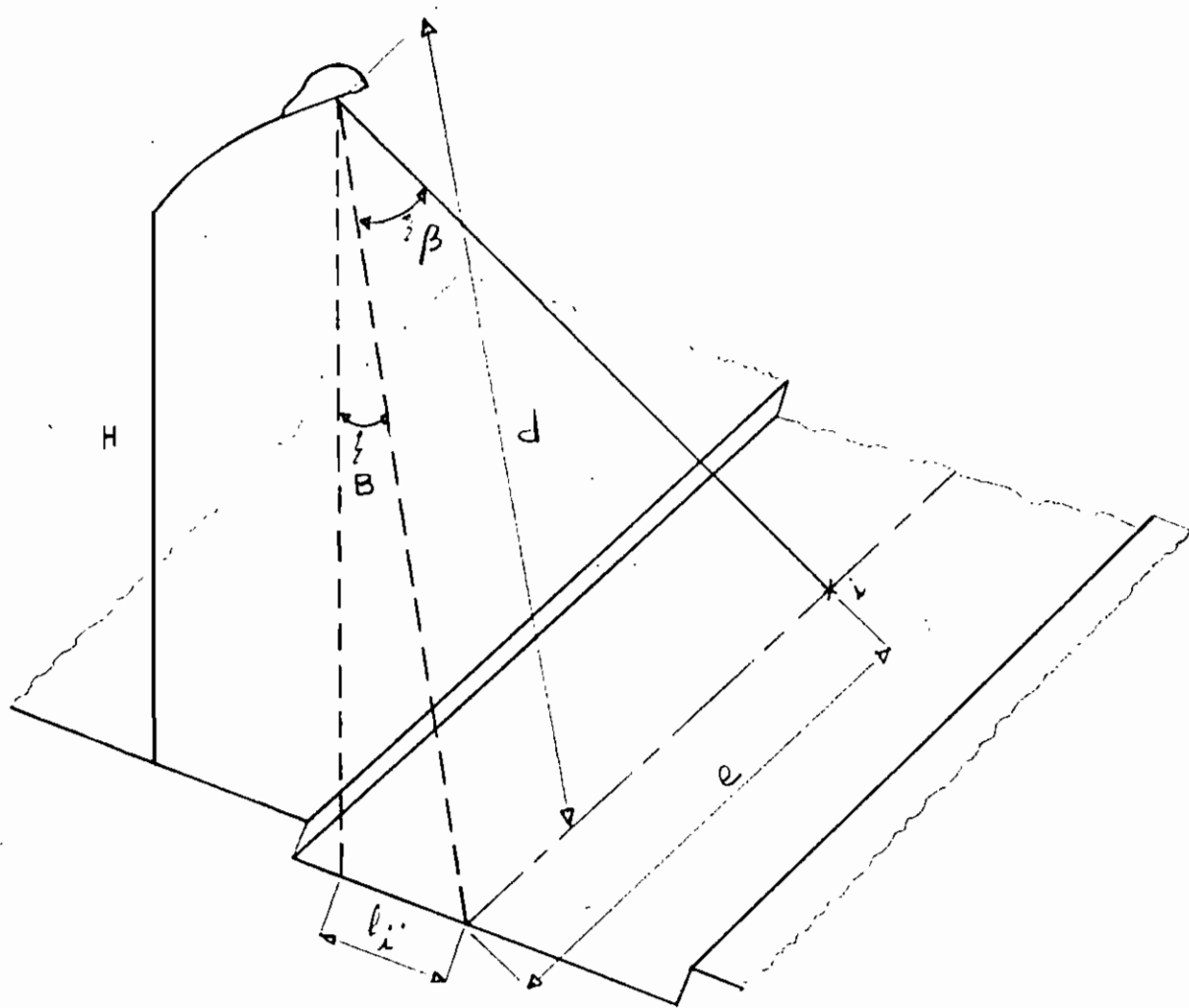


Figure : 6.

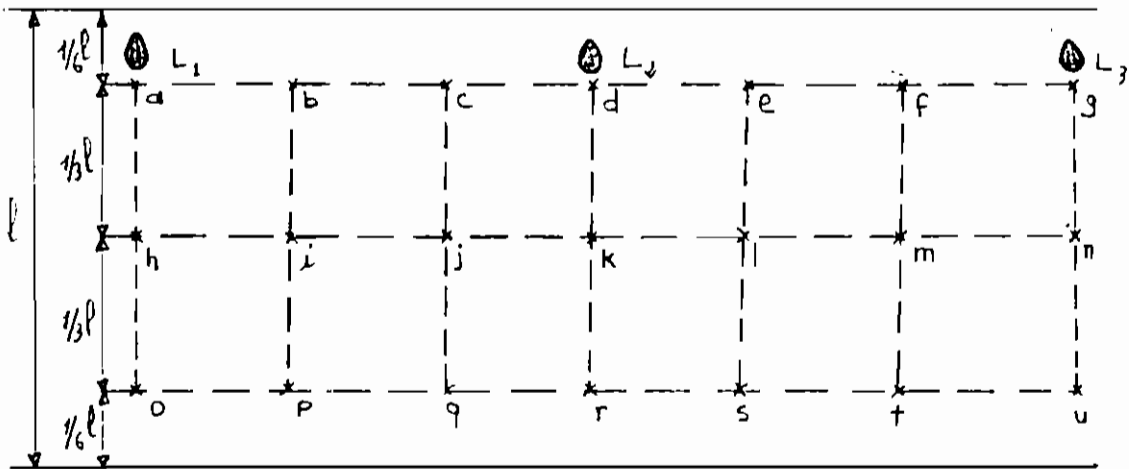


Figure : 7.

Répartition des 21 points sur la chaussée

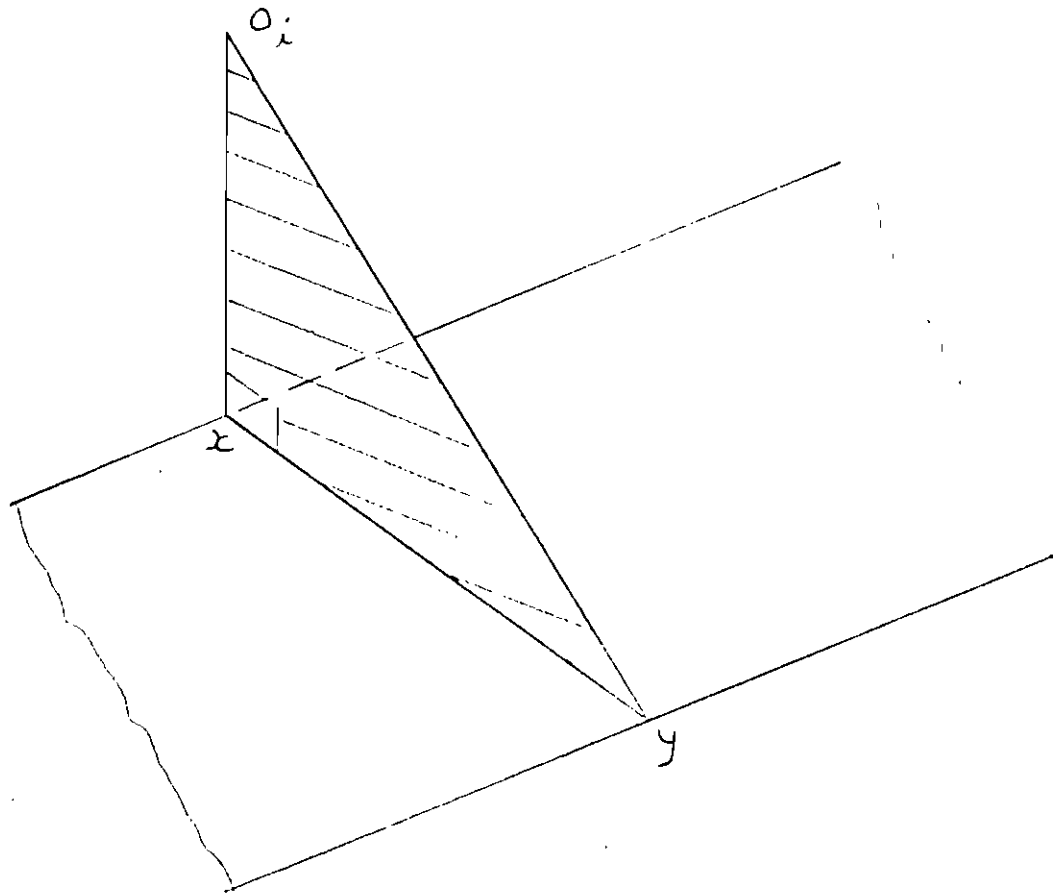


Figure : 8



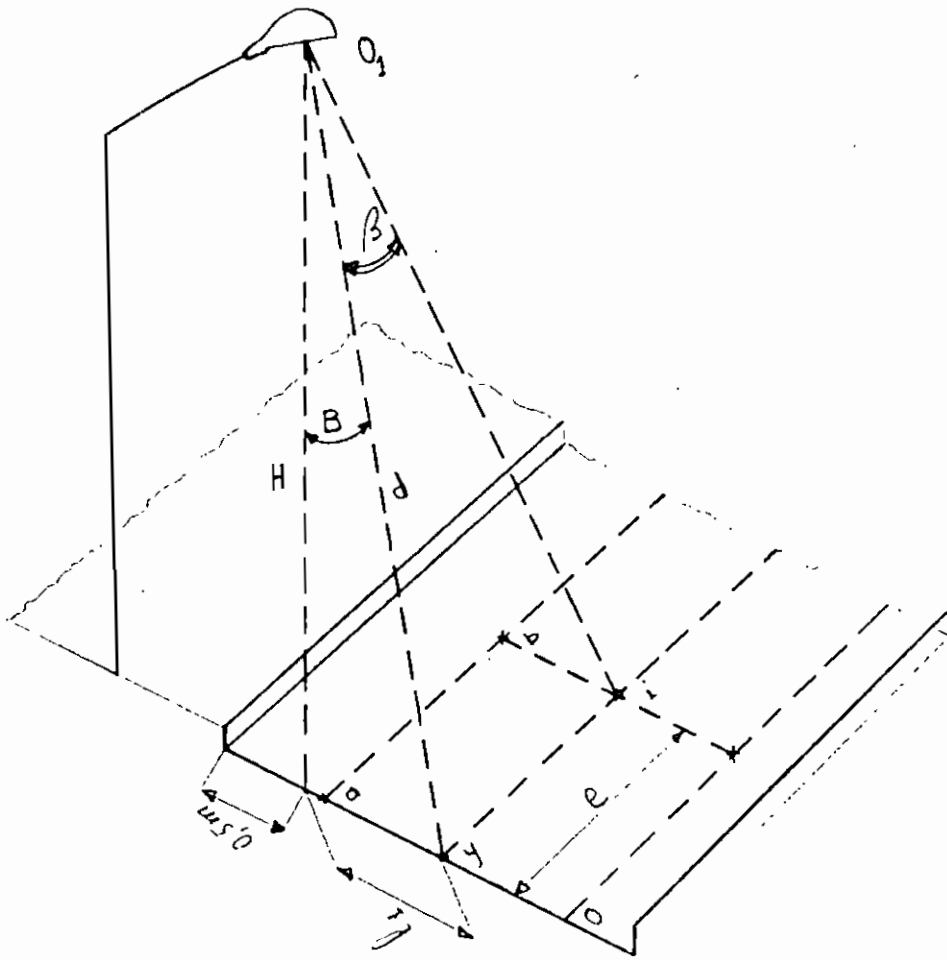


Figure : 9.

$$e = L/3$$

où  $L$ : distance entre deux foyers;  $L = 48\text{ m}$

$$e = \frac{48}{3} = 16\text{ m}$$

$$d = \frac{H}{\cos B} = \frac{12}{\cos(14,036^\circ)} = 12,371\text{ m}$$

$$\text{d'où } \operatorname{tg} \beta = \frac{e}{d} = \frac{16}{12,371} = 1,293$$

$$\Rightarrow \beta = \operatorname{tg}^{-1} 1,293 = 52,281^\circ$$

$$\text{alors } \cos^3 B = \cos^3 14,036^\circ = 0,912$$

$$\cos^3 \beta = \cos^3 52,281^\circ = 0,228$$

La valeur de l'intensité lumineuse  $I$  est obtenue à partir de la courbe de répartition des intensités. MAZDA en a établi une pour une lampe MAC 400 sur un luminaire SOLAIRE 400 de 47 000 lm. La valeur obtenue à partir de la courbe est celle obtenue du montage précédemment décrit quand le flux est ramené à 1000 lm. Dans notre étude, nous nous sommes servis d'une lampe de 48 000 lm, nous ferons donc la correction qui s'impose.

Pour  $\beta = 52,28^\circ$ , nous lisons sur la courbe  $I = 450\text{ cd}$  pour  $\phi = 1000\text{ lm}$ . D'où pour un  $\phi$  de 48 000 lm, nous avons:

$$I = \frac{450 \times 48\,000}{1000} = 21\,600\text{ cd}$$

Par la formule  $E = \frac{I \cos^3 B \cos^3 \beta}{H^2}$ , nous avons:

$$E_{i,0_2} = \frac{21\,600 \times 0,912 \times 0,228}{(12)^2} = 31,104\text{ lux}$$

b) Calcul de  $E_{i,0_2}$

Pour ce point, nous avons:

$$B = 14,036^\circ$$

$$e = 2 \times \frac{48}{3} = 2 \times 16 = 32 \text{ m}$$

$$d = 12,371 \text{ m}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{e}{d} = \frac{32}{12,371} = 2,588$$

$$\text{d'où } \beta = \operatorname{tg}^{-1} 2,588 = 68,858^\circ$$

$$\text{alors } \cos^3 B = \cos^3 14,036^\circ = 0,912$$

$$\cos^3 \beta = \cos^3 68,858^\circ = 0,046$$

$$\frac{\cos^3 B \cos^3 \beta}{H^2} = \frac{0,912 \times 0,046}{12^2} = 0,00029$$

Pour  $\beta = 68,858^\circ$ , nous lisons sur la courbe de répartition des intensités lumineuses:  $I = 370 \text{ cd}$ , donc, pour nous, la valeur à considérer est  $I = \frac{370 \times 48000}{1000} = 17760 \text{ cd}$

$$\text{d'où } E_{i,0_2} = I \left( \frac{\cos^3 B \cos^3 \beta}{H^2} \right) = 17760 \times 0,00029 = 5,150 \text{ lux}$$

c) Calcul de  $E_i$ .

$$E_i = E_{i,0_1} + E_{i,0_2} = 31,104 + 5,150 = 36,254 \text{ lux.}$$

2°) Calcul de  $E_a$

Pour le point a,  $E = E_{a,0_1}$  conformément à ce qui a été exposé précédemment.

Pour ce point, nous avons:

$$l_a = \frac{l}{6} - 0,5 \text{ m} = \frac{7}{6} \text{ m} - 0,5 \text{ m} = 0,666 \text{ m}$$

$$H = 12 \text{ m}$$

$$\text{d'où } \operatorname{tg} B = \frac{l_a}{H} = \frac{0,666}{12} = 0,055 \Rightarrow B = 3,148^\circ$$

$$e = 0$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{e}{d} = 0 \Rightarrow \beta = 0$$

$$\text{donc } \cos^3 \beta = \cos^3 3,148^\circ = 0,994$$

$$\cos^3 \beta = \cos^3 0 = 1$$

d'autre part, pour ce point, nous lisons :  $I = 190 \text{ cd pour } 1000 \text{ lm}$

$$\text{donc pour } \Phi = 48\,000 \text{ lm, nous avons : } I = \frac{190 \times 48\,000}{1000} = 9120 \text{ lm}$$

$$\text{D'où : } E_a = \frac{I \cos^3 \beta \cos^3 \beta}{r^2} = \frac{9120 \times 0,994 \times 1}{18^2} = 62,928 \text{ lux.}$$

Ainsi seront calculées les valeurs de l'éclairement de chacun des 21 points. Les valeurs obtenues seront tabulées comme l'indique la formulaire de la page suivante.

Il y a 3 foyers à considérer dans ce calcul. Nous établirons une formule pour chaque foyer et une autre qui donne le résultat cumulé.

Foyer  $O_1$ 

Points	$l$ (m)	$\text{tg } \beta = \frac{l}{H}$	$\beta$ (°)	$\cos \beta$	$\cos^3 \beta$	$d = \frac{H}{\cos \beta}$ (m)	$e$ (m)
a	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	0
b	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	16
c	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	32
d	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	48
e	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994		
f	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994		
g	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994		
h	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	0
i	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	16
j	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	32
k	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	48
l	3	0,25	14,036	0,970	0,912		
m	3	0,25	14,036	0,970	0,912		
n	3	0,25	14,036	0,970	0,912		
o	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	0
p	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	16
q	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	32
r	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	48
s	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761		
t	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	
u	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	

$t_{\beta} \beta = \frac{e}{d}$	$\beta$ (°)	$\cos \beta$	$\cos^3 \beta$	$\frac{\cos^3 \beta \cos^3 \beta}{H^2} (\frac{1}{m})$	I (cd)	E (lux)
0	0	1	1	0,0069	9120	62,928
1,331	53,088	0,600	0,216	0,001	21840	30,576
2,662	63,410	0,351	0,043	0,00023	16800	4,872
3,994	75,943	0,242	0,014	0,0000	~ 0	0,000
						~ 0
						~ 0
						~ 0
0	0	1	1	0,0063	9120	57,656
1,293	53,281	0,611	0,228	0,00144	21600	31,104
2,586	68,858	0,360	0,046	0,00029	17760	5,150
3,880	75,547	0,249	0,015	~ 0		~ 0
						~ 0
						~ 0
						~ 0
0	0	1	1	0,00528	9120	48,153
1,217	50,590	0,634	0,254	0,00134	20160	27,014
2,434	67,664	0,380	0,054	0,00028	26400	7,392
3,652	74,686	0,264	0,018	~ 0		~ 0
						~ 0
						~ 0
						~ 0

Foyer  $O_2$ .

Points	$l$ (m)	$\tan B = \frac{l}{H}$	$B$ ( $^\circ$ )	$\cos B$	$\cos^3 B$	$d = \frac{H}{\cos B}$ (m)	$e$ (m)
a	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	48
b	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	32
c	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	16
d	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	0
e	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	16
f	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	32
g	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	48
h	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	48
i	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	32
j	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	16
k	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	0
l	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	16
m	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	32
n	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	48
o	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	48
p	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	32
q	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	16
r	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	0
s	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	16
t	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	32
u	5,33	0,444	23,941	0,913	0,761	13,143	48



$\frac{tg \beta}{d} =$	$\beta (^{\circ})$	$\cos \beta$	$\cos^3 \beta$	$\frac{\cos^3 \beta \cos^2 \beta}{H^6}$	I (cd)	E (lux)
3, 994	75, 943	0, 242	0, 014	$\sim 0$	$\sim 0$	$\sim 0$
2, 662	69, 410	0, 357	0, 043	0, 00029	16 800	4, 872
1, 321	53, 088	0, 600	0, 216	0, 001	21 840	30, 576
0	0	1	1	0, 0063	9 120	62, 928
1, 321	53, 088	0, 600	0, 216	0, 001	21 840	30, 576
2, 662	69, 410	0, 351	0, 043	0, 00029	16 800	4, 872
3, 994	75, 943	0, 242	0, 014	0	$\sim 0$	$\sim 0$
3, 880	75, 547	0, 243	0, 015	0		$\sim 0$
2, 588	68, 858	0, 360	0, 046	0, 00029	17 760	5, 150
1, 233	52, 281	0, 611	0, 228	0, 00144	21 600	31, 104
0	0	1	1	0, 0063	9 120	57, 456
1, 233	52, 281	0, 611	0, 228	0, 00144	21 600	31, 104
2, 588	68, 858	0, 360	0, 046	0, 00029	17 760	
3, 88	75, 547	0, 243	0, 015	$\sim 0$		$\sim 0$
3, 652	74, 682	0, 264	0, 018	$\sim 0$		$\sim 0$
2, 434	67, 664	0, 380	0, 054	0, 00028	26 400	7, 392
1, 217	50, 590	0, 634	0, 254	0, 00134	20 160	27, 014
0	0	1	1	0, 00528	9 120	43, 153
1, 217	50, 590	0, 634	0, 254	0, 00134	20 160	27, 014
2, 434	67, 664	0, 380	0, 054	0, 00028	26 400	7, 392
3, 652	74, 686	0, 264	0, 018	$\sim 0$		$\sim 0$

Foyer O<sub>3</sub>

Points	$l$ (m)	$\operatorname{tg} B = \frac{l}{H}$	$B$ (°)	$\cos B$	$\cos^3 B$	$d = \frac{H}{\cos B}$	$e$ (m)
a	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	
b	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	
c	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	
d	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	48
e	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	32
f	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	16
g	0,666	0,055	3,148	0,998	0,994	12,018	0
h	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	
i	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	
j	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	
k	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	48
l	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	32
m	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	16
n	3	0,25	14,036	0,970	0,912	12,371	0
o	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	
p	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	
q	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	
r	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	48
s	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	32
t	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	16
u	5,333	0,444	23,961	0,913	0,761	13,143	0

$\operatorname{tg} \beta = \frac{e}{d}$	$\beta$ (°)	$\cos \beta$	$\cos^2 \beta$	$\frac{\cos^3 \beta \cos^3 \beta}{H^2}$	I (cd)	E (lux)
						~ 0
						~ 0
						~ 0
3, 994	75, 343	0, 242	0, 014	0, 000	~ 0	~ 0
2, 662	63, 410	0, 351	0, 043	0, 00023	16 800	4, 872
1, 331	53, 088	0, 600	0, 216	0, 001	21 840	30, 576
0	0	1	1	0, 0063	9120	62, 928
						~ 0
						~ 0
						~ 0
3, 880	75, 547	0, 243	0, 015	~ 0		~ 0
2, 586	68, 858	0, 360	0, 046	0, 00023	17 760	5, 150
1, 233	52, 281	0, 611	0, 228	0, 00144	21 600	31, 104
0	0	1	1	0, 0063	9120	57, 456
						~ 0
						~ 0
						~ 0
3, 652	74, 686	0, 264	0, 264	~ 0		~ 0
2, 434	67, 664	0, 380	0, 054	0, 00023	26 400	7, 392
1, 217	50, 530	0, 634	0, 254	0, 00134	20 160	27, 014
0	0	1	1	0, 00528	9120	48, 153

E cumulatif en chacun des 21 points.

Points	Eclairage E (Lux)
a	62, 928
b	35, 448
c	35, 448
d	62, 928
e	35, 448
f	35, 448
g	62, 928
h	57, 456
i	36, 254
j	36, 254
k	57, 456
l	36, 254
m	36, 254
n	57, 456
o	48, 153
p	34, 406
q	34, 406
r	48, 153
s	34, 406
t	34, 406
u	48, 153

Le coefficient d'uniformité GLU est défini par la relation  $GLU = \frac{E_{min}}{E_{my}}$

$$\text{où } E_{my} = \frac{(68,988 \times 3) + (25,448 \times 4) + (57,456 \times 3) + (36,254 \times 4)}{21} + \frac{(48,153 \times 3) + (34,406 \times 4)}{21} = 44,287 \text{ lux.}$$

$$E_{my} = 44,287 \text{ lux.}$$

Et nous déduisons du tableau cumulatif la valeur de  $E_{min}$

$$\text{où } E_{min} = 34,406 \text{ lux.}$$

Donc nous avons :

$$GLU = \frac{E_{min}}{E_{my}} = \frac{34,406}{44,287} = 0,776$$

Ce résultat nous permet de conclure, que nous avons bien obtenu un éclairage avec une uniformité assez satisfaisante.

## B. Calcul des supports.

L'effet du vent sur les supports doit être étudié dans deux directions différentes. Nous l'étudions dans chacune de ces deux directions séparément et nous prenons en considération le résultat le plus défavorable.

Il faut souligner qu'il nous a été impossible de connaître la vitesse du vent la plus grande jamais enregistrée à Dakar depuis 20 à 30 ans. C'est pourquoi, nous avons été contraints de travailler à la base d'une hypothèse, en supposant que la vitesse du vent à Dakar ne peut excéder les  $20 \text{ m/s}$ . Donc dans nos calculs, nous supposons que la vitesse du vent est égale à  $20 \text{ m/s}$ .

D'autre part, nous savons que dans la détermination des supports, intervient le poids du luminaire, de la crosse et celui du fût. Il faut noter que nous choisirons nos candélabres en fonction du poids maximum de la lanterne, du moment de flexion au niveau de l'encastrement et de l'effort tranchant correspondant, et que le moment de torsion engendré dans le cas où la direction du vent est perpendiculaire au plan de la crosse est négligeable. Et également puisque le fût et la crosse sont généralement

indissociables, leur poids total est pratiquement suivant la direction de l'axe du fût, donc son apport au moment de flexion total est négligeable. Le luminaire utilisé est, nous le savons déjà: le SOLAIRE 400P; sa masse vaut 8,2 kg soit un poids de :  $8,2 \times 9,81 = 80,36 \text{ N}$ .

Pour ce qui est de notre étude, chaque support doit porter deux luminaires, donc, les moments de flexion créés par les poids des lanternes s'éliminent et également s'éliminent les moments de torsion qui seraient créés par l'action d'un vent perpendiculaire au plan de la crosse. Le PETIT JEAN, une société française de fabrication de supports donne dans son catalogue intitulé "Candelabre et mat", suivant les régions des vents, le poids maximum du luminaire que le support doit porter, la surface maximale d'une lanterne de candelabre à crosse frappées par un vent perpendiculaire au plan des crosses, la surface maximale de la lanterne frappée par un vent parallèle au plan des crosses, le moment de flexion au niveau de l'encastrement et l'effort tranchant correspondant pour chaque type de candelabre. Les caractéristiques du support choisi doivent satisfaire les contraintes d'installation, telles qu'elles se présentent pour l'autoroute de

Dakar. Nous pouvons considérer que la région de Dakar peut être assimilée à la région 1 normale de la répartition du territoire français suivant la vitesse du vent, répartition utilisée par le PETIT JEAN. Le dessin de la Fig (10) nous schématise les deux situations qui peuvent bien se présenter.

### 1° - Calcul de la pression dynamique.

Charles Avril donne dans son livre "construction des lignes aériennes - haute tension" une formule permettant de calculer la pression dynamique  $V_s$ . La formule est la suivante:

$$V_s = C_t \frac{\rho V^2}{20}$$

où  $\rho$  est la masse volumique de l'air sec, à la pression de 760 mm de mercure.  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ .

$$C_t = C_e \times C_h$$

où  $C_e$  est de l'ordre de 1,45

$C_h$  tient compte de la hauteur de l'élément considéré par rapport au sol.

$$C_h = 1,00 \text{ pour une hauteur de } 10 \text{ m}$$

$$C_h = 1,10 \text{ pour une hauteur de } 15 \text{ m}$$

Donc pour une hauteur de 12 m, nous avons:

$$C_h = \frac{(1,10 - 1,00) \times (12 - 10)}{15 - 10} + 1,00 = 1,04$$

$$\text{d'où } C_t = C_e \times C_h = 1,45 \times 1,04 = 1,508$$

Les expériences ont montré qu'il faut appliquer un coeffi-



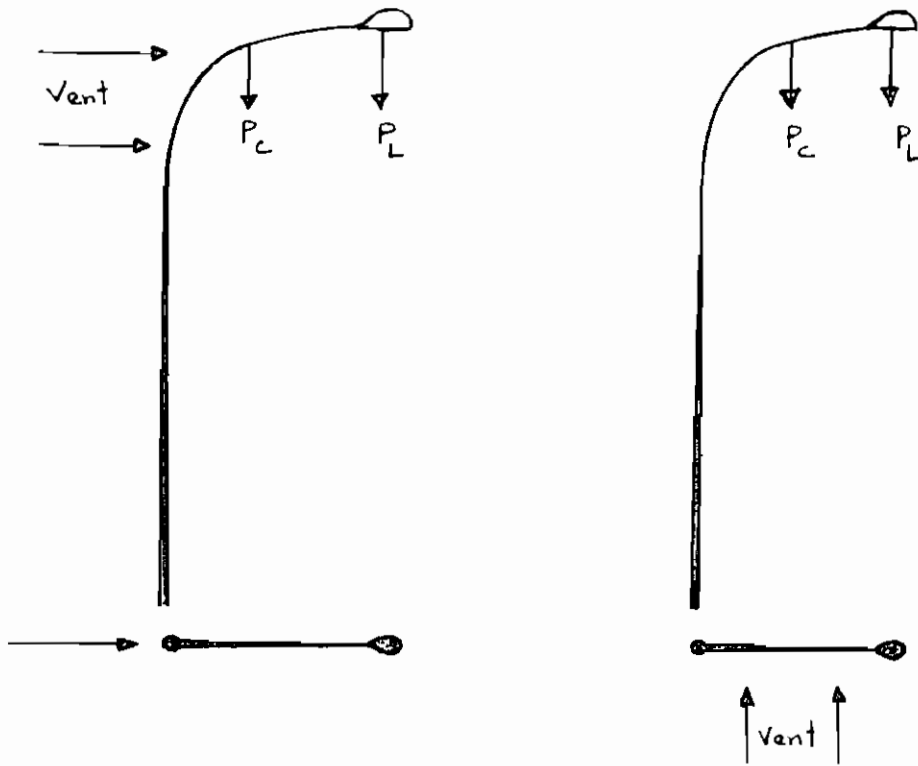


Figure : 10

vent parallèle  
vent perpendiculaire.

cient de modération situé entre  $2/3$  et  $3/4$  à la pression dynamique théorique calculée. Soit  $3/4$  ce coefficient, nous avons :  $V_s = \frac{3}{4} \times 0,0923 v^2 = 0,069225 v^2 = \frac{1}{14,445} v^2$  et pour  $v = 20 \text{ m/s}$ , nous avons

$$V_s = \frac{1}{14,445} \times 20^2 = 27,69 \text{ kg/m}^2$$

## 2° - Choix du Candélabre

Nous choisirons un type des candélabres construits par le PETIT JEAN. et nous vérifierons si ses caractéristiques permettent son utilisation.

Après analyse, nous avons pu nous rendre compte que, pour les candélabres à double crosse, seul intervient l'effet du vent, toutes les autres forces s'équilibrent et leurs effets s'annulent quant à leurs apports sur les différents moments cités plus haut. Et pour ce type de candélabre, le cas le plus défavorable est celui où le vent est perpendiculaire au plan de la crosse.

Nous optons pour le candélabre EURASIE.

En désignant par  $S$  la surface maximale de lanterne du candélabre à crosse frappée par un vent perpendiculaire au plan de la crosse, le PETIT JEAN donne dans son catalogue  $S = 0,30 \text{ m}^2$  pour une hauteur de candélabre de  $12 \text{ m}$ .

Si nous désignons par  $P$  la poussée du vent, nous :

$$P = V_s \times S = 27,69 \text{ kg/m}^2 \times 0,30 \text{ m}^2 = 8,307 \text{ kg}$$

Cette force s'applique conventionnellement à une hauteur de 10m.

### 3° - Calcul du moment de flexion $M$ .

A partir de la Fig (11), si

-  $M_x$  est le moment suivant la direction  $XX'$

-  $M_y$  est le moment suivant la direction  $YY'$

nous avons : 
$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

avec : 
$$M_x = 3P_L - 3P_L = 0$$

$$M_y = 10\text{m} \times P = 10\text{m} \times 8,307 \text{ kg} = 83,07 \text{ mkg}$$

L'effort tranchant  $T$  est égal à  $P$  soit : 8,307 kg

Pour le candélabre EURASIE, le PETIT JEAN donne les valeurs suivantes du moment de flexion maximal et de l'effort tranchant maximal que le candélabre peut supporter

$$M_{\max} = 2100 \text{ mkg}$$

$$T_{\max} = 255 \text{ kg}$$

Nous voyons que les valeurs ainsi données sont beaucoup plus grandes que celles mises en jeu dans notre installation. Donc ce candélabre est bien adaptable à la situation que nous avons.

### C - Calcul des fondations.

Pour avoir plus de renseignements sur ce sujet, se

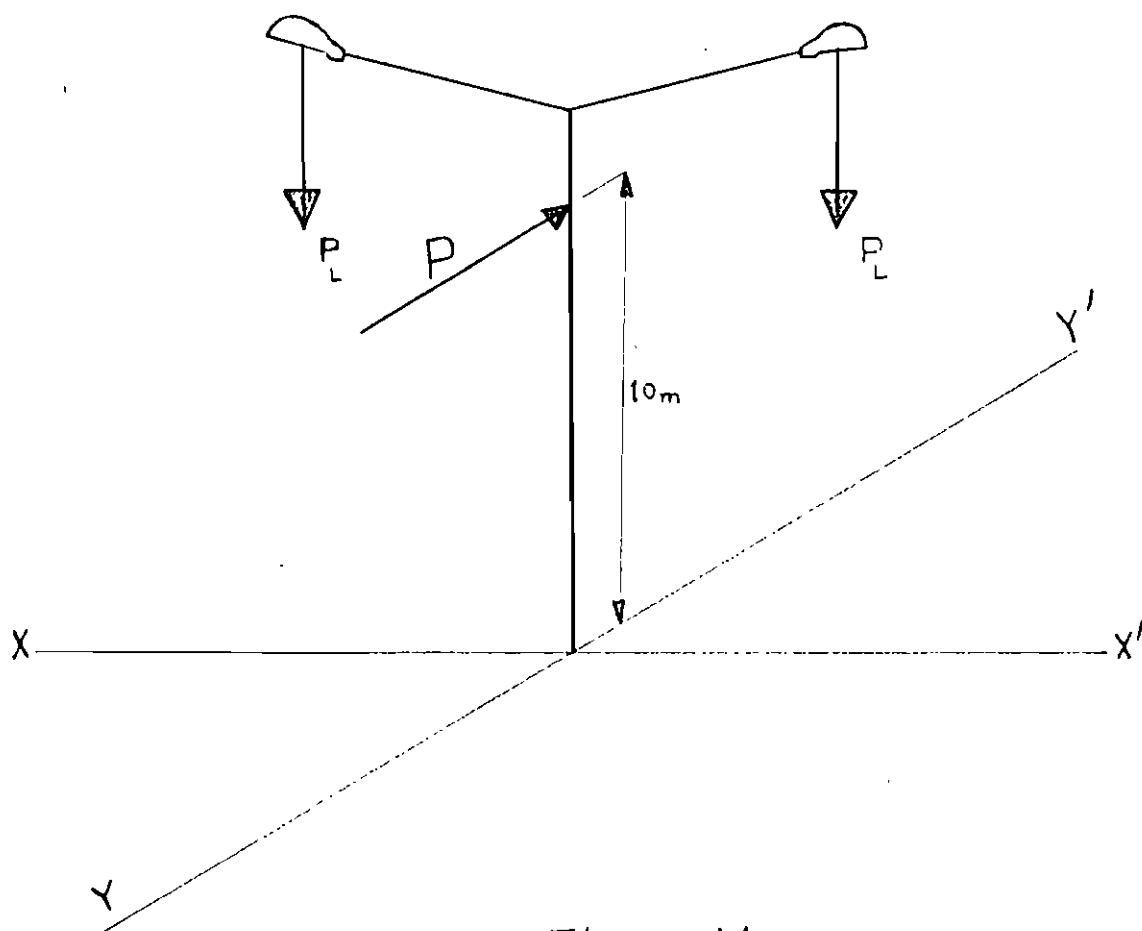


Figure 11.

référer à l'appendice B.

Les dimensions de la fondation seront obtenues par approximations successives en utilisant la formule d'Andrée-Norsa, soit:

$$M_s = P \left( \frac{a}{2} \right) - \frac{2}{3} \left( \frac{P^2}{b p_3} \right) + \frac{80}{7461} \left( \frac{b^3 p_3^2 h^3}{P} \right)$$

Nous devons avoir:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq 1$$

où:  $M_s$  = moment stabilisant en N.m

$P$  = poids total (support + massif) en N

$a$  : largeur du massif dans le sens de l'effort en m

$b$  : dimension dans le sens perpendiculaire en m.

$h$  : hauteur de la partie enterrée en m

$p_3$  : pression admissible sur le sol à fond de fouille en Pa.

$M_r$  : moment de renversement évalué par rapport à la base en N.m.

$$\text{avec } M_r = M_f + h \times T$$

où  $M_f$  : moment de flexion

$T$  : effort tranchant.

$h$  = hauteur du massif.

Les valeurs de  $p_3$  dépendent de la nature du sol. Elles se situent entre 2,5 et 3 bars en terrains moyens. Nous pouvons

donc poser  $p_3 = 2,75 \text{ bars}$  soit  $2,75 \times 10^5 \text{ Pa}$  ou  $2,75 \times 10^5 \text{ N/m}^2$   
 Pour le candélabre choisi, nous avons en désignant par  $P_3$  le poids du support et du luminaire :

$$P_3 = (233 \text{ kg} + 8,2 \text{ kg}) \times 9,81 = 2366,17 \text{ N}$$

Nous avons également trouvé :

- pour le moment de flexion  $M_f$ , une valeur de :  $83,07 \text{ m kg}$

$$\text{soit : } M_f = 815 \text{ Nm}$$

- pour l'effort tranchant  $T$ , une valeur de  $8,307 \text{ kg}$

$$\text{soit } T = 81,5 \text{ N}$$

- entraxe  $d$  des goujons de fixation du support est de  $0,30 \text{ m}$ . voir dessin sur Fig (12).

a) 1ère approximation.

Supposant :

$$a = b = 0,80 \text{ m}$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

nous obtenons :

- en désignant par  $P_g$  le poids du massif

$$P_g = (\rho \times a \times b \times h) g$$

où  $\rho$  est la densité du béton

$$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$$

donc :

$$P_g = \left( 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0,80)^2 \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ m} \right) \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

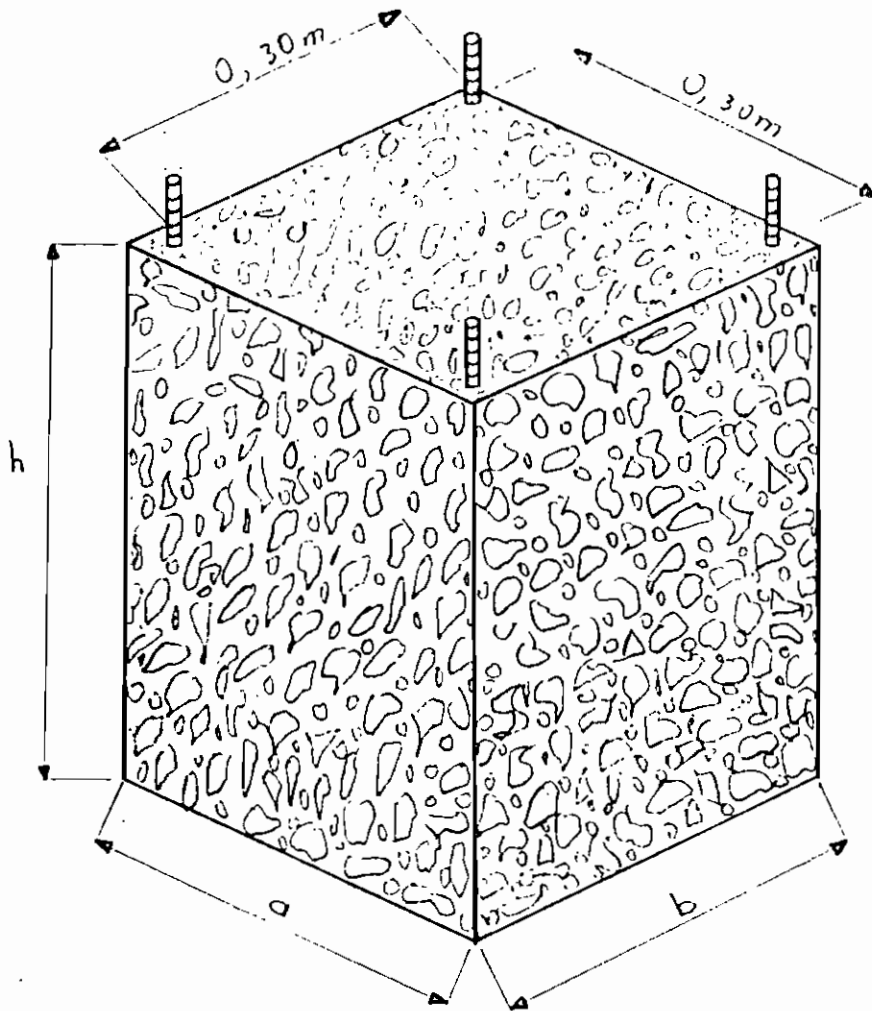


Figure : 12

Massif en béton armé

$$P_2 = 15\,696 \text{ N}$$

Et puisque  $P = P_1 + P_2$

nous avons  $P = 2\,366,17 + 15\,696 \approx 18\,062 \text{ N}$

La formule d'Andrée - Norsa donne :

$$\begin{aligned} M_s &= 18\,062 \frac{0,8}{3} - \frac{2}{3} \left( \frac{18\,062^2}{0,8 \times 2,75 \times 10^5} \right) + \frac{80}{7461} 0,8^2 (2,75 \times 10^5) \left( \frac{1,2}{18062} \right)^3 \\ &= 7\,224,8 - 988,59 + 49\,649,65 \approx 55\,886 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Calcul du moment de renversement  $M_r$

$$M_r = M_f + M_T$$

avec  $M_f = 815 \text{ Nm}$

$$M_T = T \times h = 81,5 \times 1,2 = 97,8 \text{ Nm}$$

$$M_r = 815 + 97,8 = 912,8 \text{ Nm}$$

Alors le rapport  $\frac{M_s}{M_r}$  vaut :

$$\frac{55\,886}{912,8} = 61,22$$

Ce rapport est trop grand, les dimensions du massif sont surestimées

2° approximation.

Soit :

$$a = b = 0,50 \text{ m}$$

$$h = 0,60 \text{ m}$$

alors :

$$\begin{aligned} P_g &= (f a b h) 9,81 \\ &= 2\,500 \times (0,50)^2 \times 0,60 \times 9,81 = 4\,291,87 \text{ N} \end{aligned}$$



$$P_2 \simeq 4292 \text{ N}$$

$$\text{d'où } P = P_1 + P_2 = 2366,17 + 4292 \simeq 6658 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{et } M_s &= 6658 \frac{0,50}{2} - \frac{g}{3} \frac{6658^2}{0,50 \times 2,75 \times 10^5} + \frac{80}{7461} \frac{(0,50^2 \times (2,75 \times 10^5)^2 \times (0,60)^3)}{6658} \\ &= 1664,5 - 214,92 + 6576,70 \\ &\simeq 8026 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Calcul de  $M_r$

$$M_r = 815 + 81,5 \times 0,6 = 863,9 \text{ Nm}$$

donc nous avons :

$$\frac{M_s}{M_r} = \frac{8026}{863,9} \simeq 9,3$$

Nous pouvons encore essayer une troisième approximation.

3<sup>e</sup> approximation.

Soit :

$$a = b = 0,60 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

alors :

$$P_2 = (2500 \times (0,60)^2 \times 0,50) \times 9,81 = 4414,5 \text{ N}$$

$$P = P_1 + P_2 = 2366,17 + 4414,50 \simeq 6781 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 6781 \times \frac{0,60}{2} - \frac{g}{3} \times \frac{6781^2}{0,60 \times 2,75 \times 10^5} + \frac{80}{7461} \frac{(2,75 \times 10^5)^2 \times (0,60)^2 \times (0,50)^3}{6781} \\ &= 2034,3 - 185,78 + 5381 \simeq 7230 \text{ N} \end{aligned}$$

Calcul de  $M_r$

$$M_r = 815 + 81,5 \times 0,50 = 855,75 \text{ Nm}$$

d'où le rapport  $\frac{M_s}{M_r}$

$$\frac{M_s}{M_r} = \frac{7230}{855,75} \approx 8,4$$

De ces trois approximations faites en guise d'estimer les dimensions du massif, nous pouvons adopter la deuxième. En effet, pour cette approximation, nous avons une stabilité pour un minimum de volume de béton.

Le volume du béton utilisé est de :

$$V = a \times b \times h$$

$$V = 0,50 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^3 / \text{support}$$

## D. Installation électrique.

Après avoir déterminé les éléments relatifs à l'éclairage proprement dit, nous devons maintenant faire face à l'installation électrique de tout cet appareillage qui doit fonctionner en sûreté et en sécurité. Il est bon de souligner que les calculs se feront à la base de 1 km d'autoroute. Les calculs porteront essentiellement sur les transformateurs à installer, les câbles et les éléments de protection.

### 1° - Calcul de la charge maximum totale.

Nous rappellerons que c'est la lampe au sodium haute pression qui a été retenue pour l'éclairage de l'autoroute de Dakar. Avec ce type de lampe, nous pouvons retenir:

— nombre de lampe : 42 lampes / 1 km

— consommation : 440 W / lampe

Comme il s'agit d'un éclairage public, le facteur d'instantanéité vaut 1; toutes les lampes s'allument en même temps.

la charge totale P:

$$P = \frac{440 \text{ W} \times 42 \text{ lampes}}{\text{lampe}} = 18480 \text{ W}$$

$$P = 18480 \text{ W.}$$

### 2° - Types de distribution.

Il y en a plusieurs. Nous en proposons deux.

— 1 transformateur pour chaque 500m de longueur. Il est placé

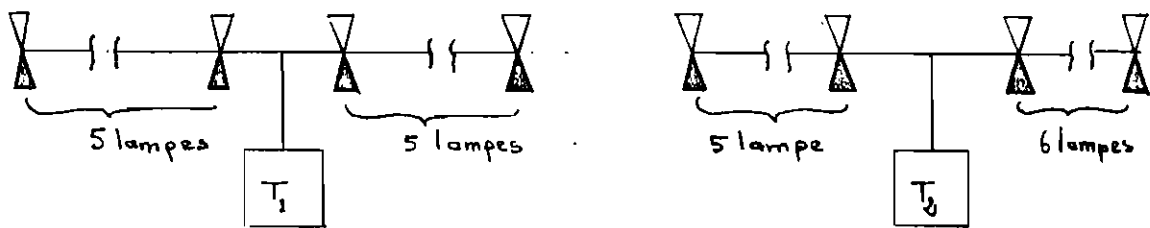
à 250 m. de part et d'autre

— 1 seul transformateur placé à mi-distance, 500 m de part et d'autre.

Nous étudierons chacun de ces deux types de distribution, nous ferons une étude comparative, et nous adopterons le type le plus économique.

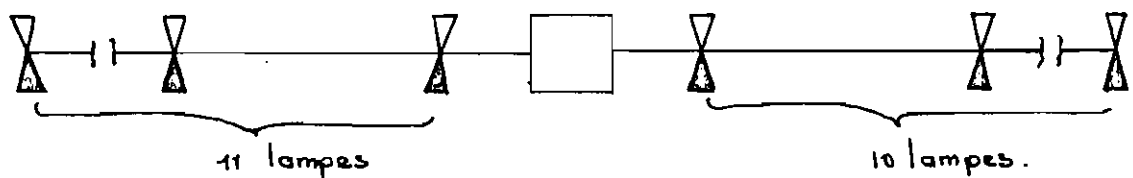
a) 1 transformateur pour chaque 500 m (2 transfo. au total)

Dans ce cas, le transport en moyenne tension se situe entre le point de branchement sur la ligne de distribution publique et le transformateur. Et il y a un transport en basse tension sur 500 m au total pour chaque transformateur. Pour les 21 points du km d'autoroute, nous aurons le schéma suivant:



b) Le transformateur est placé à mi-distance des deux bouts de ligne.

Le schéma ci dessous illustre la façon de connecter ce type de distribution.



3° - Calcul des courants nominaux.

Le courant nominal de l'intervalle entre deux points dépend du type de distribution. La distribution se fera en triphasé.

a) Avec 2 transformateurs alimentant chacun 500 m.

Pour chaque point, la charge totale est égale à la charge totale, soit 18 480 W moins la charge totale aux points qui le précèdent. Nous supposons un facteur de puissance de 0,85, ce qui correspond au pire des cas à la valeur escomptée une fois les platines installées. Nous ferons un exemple de calcul pour le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>o</sup> intervalle et nous dresserons dans un tableau les résultats obtenus pour tous les intervalles.

— Sur l'intervalle entre le transformateur et le 1<sup>er</sup> point alimenté.

Puisqu'il y a 21 supports et 2 transformateurs, nous aurons :

- 1 transformateur pour alimenter 10 supports
- 1 transformateur pour alimenter 11 supports.
- + 1 transformateur pour 10 supports.

Il y aura deux lignes alimentant chacune 5 supports

Charge totale par ligne :

$$P_1 = \frac{440W \times (5 \times 2) \text{ lampe}}{\text{lampe}} = 4400 W$$

Charge consommée aux points précédents.

$$P_2 = 0$$

Charge à véhiculer

$$P = P_1 - P_2 = 4400 - 0 = 4400 W$$

D'autre part, nous savons que  $P = \sqrt{3} I_N \cos \phi$

$$\text{d'où } I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{4400}{220 \times \sqrt{3} \times 0,85} = 13,58 \text{ A}$$

Il faut rappeler que les lampes doivent être alimentées au 220 V.

+ 1 transformateur pour 11 supports.

\* Ligne du côté où il y a 6 supports.

Charge totale  $P_1$

$$P_1 = \frac{440 \times (6 \times 1) \text{ lampe}}{1 \text{ lampe}} = 5280 \text{ W}$$

Charge consommée aux points précédents.

$$P_2 = 0$$

Charge à véhiculer.

$$P = P_1 - P_2 = 5280 - 0 = 5280$$

d'où le courant nominal  $I_N$ :

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{5280}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = 16,30 \text{ A}$$

- Sur le 2<sup>o</sup> intervalle après le transformateur.

+ 1 transformateur pour 10 supports.

$$P_1 = 4400 \text{ W}$$

$$P_2 = 440 \times 2 = 880 \text{ W}$$

$$P = P_1 - P_2 = 4400 - 880 = 3520 \text{ W}$$

$$\text{d'où } I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{3520}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = 10,86 \text{ A}$$

+ 1 transformateur pour 11 supports.

\* Ligne du côté où il y a 6 supports.

$$P_1 = 5280 \text{ W}$$

$$P_2 = 440 \times 2 = 880 \text{ W}$$

$$P = P_2 - P_1 = 5280 - 880 = 4400 \text{ W}$$

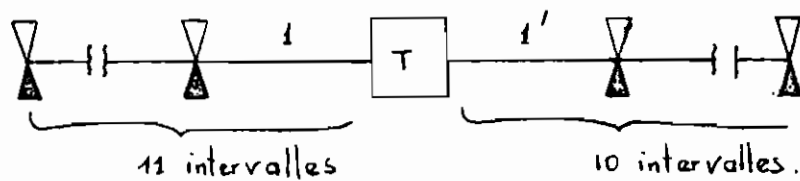
$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{4400}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = \underline{13,58 \text{ A}}$$

En dénotant par 1, 2, 3, 4, 5 les intervalles se trouvant sur le côté où il y a 5 supports et par 1', 2', 3', 4', 5', 6' les intervalles du côté où il y a 6 supports, nous obtenons le tableau des résultats suivant.

Tableau des résultats.

Intervalles	$P_1$ (W)	$P_2$ (W)	$P$ (W)	$U$ (V)	$\cos \phi$	$I_N$ (A)
1	4400	0	4400	220	0,85	13,58
2		880	3520			10,86
3		1760	2640			8,14
4		2640	1760			5,43
5		3520	880			2,71
1'	5280	0	5280			16,30
2'		880	4400			13,58
3'		1760	3520			10,86
4'		2640	2640			8,14
5'		3520	1760			5,43
6'		4400	880			2,71

b) Le transformateur est à mi-distance.



Nous dénoterons par 1, 2, 3, ..., 11, les intervalles situés du côté du transformateur où il y a 11 supports et par 1', 2', 3', ..., 10' les 10 intervalles situés de l'autre côté du transformateur. Nous ferons deux exemples de calcul, un pour chaque côté et nous dresserons un tableau de résultat.

— Côté des 11 intervalles.

Puissance totale consommée  $P_1$

$$P_1 = (440 \times 2) \times 11 = 9680 \text{ W}$$

Charge totale des points précédant le deuxième intervalle

$$P_2 = (440 \times 2) \times 1 = 880 \text{ W}$$

Charge à véhiculer  $P$ :

$$P = P_1 - P_2 = 9680 - 880 = 8800 \text{ W}$$

Courant nominal  $I_N$ :

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{8800}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = \underline{27,17 \text{ A}}$$

— Côté des 10 intervalles.

Puissance totale consommée:

$$P_1 = (440 \times 2) \times 10 = 8800 \text{ W}$$



Charge totale des points précédant le 3<sup>e</sup> intervalle.

$$P_2 = (440 \times 2) \times 2 = 1760 \text{ W}$$

Charge à véhiculer :

$$P = P_1 - P_2 = 8800 - 1760 = 7040 \text{ W}$$

Courant nominal  $I_N$  :

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi} = \frac{7040}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = 21,73 \text{ A.}$$

D'où les résultats du tableau de la page suivante.

Intervalles	$P_2 (W)$	$P_2 (W)$	$U (V)$	$\cos \phi$	$I_N (A)$			
1	9 680	0	220	0,85	29,88			
2		880			27,17			
3		1760			24,45			
4		2640			21,73			
5		3520			19,02			
6		4400			16,30			
7		5280			13,58			
8		6160			10,86			
9		7040			8,15			
10		7920			5,43			
11		8800			2,71			
1'		8 800			0	220	0,85	27,17
2'					880			24,45
3'	1760		21,73					
4'	2640		19,02					
5'	3520		16,30					
6'	4400		13,58					
7'	5280		10,86					
8'	6160		8,15					
9'	7040		5,43					
10'	7920		2,71					

#### 4° - Choix des cables

Les cables seront choisis, entre autres considérations, en fonction de la valeur du courant nominal qui le traverse. Les sections des conducteurs déterminées doivent satisfaire au fait que le courant nominal doit être inférieur ou au plus être égal au courant admissible tel qu'indiqué dans les tableaux. Pour la détermination des sections des conducteurs, Jeumont et Schneider ont proposé, dans un document intitulé "cables domestiques et industriels" une méthode que nous trouvons assez bien étudiée. Nous en exposons les principaux points.

Le principe de cette méthode est basé sur le fait que chaque conducteur doit être considéré comme une résistance électrique dissipant une partie de l'énergie transportée. Ceci se traduisant par :

- de la chaleur dissipée qui élève la température du cable d'où une condition de température
- de l'énergie gaspillée qui s'inscrit au compteur de l'utilisateur, d'où la condition d'économie
- une chute de tension qui augmente avec la résistance d'où la condition de chute de tension.

Le tableau dont nous nous servons pour la condition de chute de tension est fait à la base d'un facteur de puissance de 0,80. Donc pour pouvoir utiliser ce tableau, nous devons reconvertir nos valeurs des courants nominaux avec un facteur de puissance de 0,85 à

la base d'un facteur de puissance de 0,80. Nous obtenons ainsi les valeurs ci-après pour les courants.

a) En utilisant 2 transformateurs

	$I_N$ (A)					
$\cos \phi = 0,85$	16,30	13,58	10,86	8,14	5,43	2,71
$\cos \phi = 0,80$	17,32	14,43	11,54	8,65	5,77	2,88

b) En utilisant un seul transformateur.

	$I_N$ (A)										
$\cos \phi = 0,85$	29,88	27,17	24,45	21,73	19,02	16,30	13,58	10,86	8,14	5,43	2,71
$\cos \phi = 0,80$	31,74	28,86	25,97	23,08	20,20	17,31	14,42	11,53	8,66	5,77	2,87

Nous déterminerons la section correspondant à chaque condition, et nous prendrons en considération la section la plus grande. Le matériau choisi pour les conducteurs est le cuivre.

+ Condition de température.

La section du conducteur est donnée en fonction :

- du mode de pose
- du type de canalisation
- de la température ambiante
- et de l'intensité en régime normal.

Pour ce qui est de notre cas, nous avons :

- mode de pose : câbles enterrés

- type de canalisation : nous choisissons le 535 A
- température ambiante : nous la supposons égale à  $30^{\circ}\text{C}$

1°) En utilisant deux (2) transformateurs)

• pour une intensité de 17,32 A, nous déduisons du tableau de la page 16 une section de  $1,5\text{ mm}^2$ .

Pour chaque courant nominal, nous obtenons la valeur de la section qui lui correspond dans le tableau ci-après.

Courants (A)	Sections ( $\text{mm}^2$ )
17,32	1,5
14,43	1
11,54	1
8,65	1
5,77	1
2,88	1

2°) En utilisant un seul transformateur.

Courants (A)	31,36	28,86	25,97	23,08	20,20	17,31	14,42	11,53	8,66	5,77	2,88
Sections ( $\text{mm}^2$ )	4	4	2,5	2,5	2,5	1,5	1	1	1	1	1

+ Condition de chute de tension.

La section est donnée en fonction :

— de la chute de tension admise (en %)

- de la tension du réseau et de la nature du courant
- de la longueur de la liaison (en m)
- et de l'intensité en régime normal.

Pour ce qui est de notre étude, nous avons :

- . chute de tension admise : 3 %
- . tension du réseau et nature du courant : 220 V, triphasé
- . longueur de la liaison. Elle sera évaluée à partir du transformateur jusqu'au point à alimenter. D'autre part, nous supposons la longueur de câble entre deux poteaux égale à 55 m pour tenir compte des déviations  
+ . En utilisant deux transformateurs.

Par exemple pour une intensité de 13,58 A, nous déduisons du tableau de la page 17 de "câbles domestiques et industriels" une section de 4 mm<sup>2</sup> pour une longueur de liaison de 110 m.

Courants (A)	L. liaison (m)	Section (mm <sup>2</sup> )
17,32	55	4
14,43	110	4
11,54	165	6
8,65	220	10
5,77	275	6
2,88	330	6

- + . En utilisant un seul transformateur.

Courants (A)	L.liaison(m)	Section (mm <sup>2</sup> )
31,74	55	10
28,86	110	16
25,97	165	16
23,08	220	25
20,20	275	25
17,31	330	25
14,42	385	25
11,53	440	25
8,64	495	25
5,77	550	25
2,87	615	25

#### + Condition économique

Nous ne pouvons pas nous servir des valeurs tabulées car les conditions de paiement des factures d'électricité sont différentes au Sénégal qu'en France

En définitive, nous adopterons les valeurs suivantes pour les sections :

+ En utilisant deux transformateurs.

voir page suivante.

Courants (A)	Section (mm <sup>2</sup> )
17,32	4
14,43	4
11,54	6
8,65	10
5,77	6
2,88	6

+ Utilisant un seul transformateur.

Courants (A)	Section (mm <sup>2</sup> )
31,74	10
28,26	16
25,97	16
23,08	25
20,20	25
17,31	25
14,42	25
11,53	25
8,66	25
5,77	25
2,87	25



## Analyse des tableaux courant - section.

### a) Installation avec deux transformateurs.

Pour cette installation, si nous tenons à poser des cables dont la section du conducteur est choisie en fonction du courant qui le parcourt, nous devons pour se faire, acheter un rouleau de  $4 \text{ mm}^2$ , un de  $6 \text{ mm}^2$  et un autre de  $10 \text{ mm}^2$ . Ce travail exigerait une main d'œuvre assez avancée pour éviter de poser un fil à la mauvaise place. Il y a surtout qu'il faudrait placer un disjoncteur convenablement choisi sur chaque portion de cable. Donc s'il faut réaliser cette installation avec les différentes sections de conducteur telles qu'obtenues par calcul, l'investissement en capital serait très élevé. Par souci d'économie, nous proposons d'utiliser une valeur constante de section des conducteurs pour les cables qui vont du transformateur au dernier poteau. Pour se faire, nous nous servirons du cable dont le conducteur a la section la plus grande de toutes celles déterminées par calcul, soit une section de conducteur de  $10 \text{ mm}^2$ . Nous aurons donc un cable S35A  $3 \times 10 \text{ mm}^2$ .

### b) Installation avec un seul transformateur.

Pour les mêmes raisons que celles que nous venons d'évoquer, un cable dont le conducteur a une section uniforme de  $25 \text{ mm}^2$ , soit un cable S35A  $3 \times 25 \text{ mm}^2$ .

## Cable de liaison entre la platine et le luminaire.

C'est un câble monophasé alimentant une charge constante de 400 W. (nous avons retranché la perte à travers la platine). Il y a deux câbles dans chaque support, chaque câble alimentant une lampe.

• Calcul du courant nominal.

Charge totale : 400 W

$$\cos \phi = 0,85$$

Tension  $U = 220 \text{ V}$

$$\text{d'où } I_N = \frac{P}{U \cos \phi} = \frac{400}{220 \times 0,85} = 2,14 \text{ A}$$

• Section du conducteur

Nous déduisons des tableaux, en supposant une chute de tension de 3%, pour un courant nominal de 2,14 A, une section de 1,5 mm<sup>2</sup>; d'où le câble S35A 2x1,5.

• Longueur du câble:

Elle est sensiblement égale à :

hauteur du luminaire + longueur de la crosse.

$$\text{soit: } 12 \text{ m} + 3 \text{ m} = 15 \text{ m.}$$

Les câbles S35A (câbles sidérurgie, norme 35) sont conformes aux normes Françaises (NF C15 100) qui définissent les conditions d'utilisation. Selon ces mêmes normes, les câbles S35A peuvent supporter une température ambiante de 60°C. Ces câbles sont donc bons pour être enterrés jusqu'à une profondeur d'un mètre (1m).

Après avoir déterminé la section des câbles, nous devons mainte...

nant comparer les valeurs des courants nominaux à celles des courants admissibles que ces sections peuvent supporter au régime normal. Cette comparaison se fera en tenant compte des corrections à faire quant aux courants admissibles tabulés dans le catalogue au raison du fait que les conditions d'installation des cables sont différentes à celles pour lesquelles, les valeurs tabulées sont valables. Pour cela, nous multiplierons les valeurs admissibles, tabulées par :

— coefficient de température ambiante.

Nous avons supposé la température ambiante égale à  $40^{\circ}\text{C}$ , ce qui nous donne un coefficient de correction de  $0,77$  pour une isolation au polyéthylène de vinyle. (NF C15 100)

— coefficient de résistivité du sol.

Nous supposons un sol sal; ce qui équivaut à une résistivité thermique de  $120^{\circ}\text{C cm/W}$ , soit un coefficient de correction de  $0,94$ .

En prenant en considération ces deux coefficients, nous obtenons les valeurs suivantes pour les sections retenues

Section ( $\text{mm}^2$ )	Courant nominal max (A)	Coefficient de temp.	Coefficient de résistivité	Courant adm. mod (A)
1,5	2,14			19,54
10	16,30	0,77	0,94	61,52
25	29,88			104,95

L'analyse de ce tableau nous assure de l'utilisation des sections de câble déterminées. En effet, pour chacune des sections ainsi déterminées, le courant admissible maximal est supérieur au courant nominal en régime normal.

### Resistances des câbles.

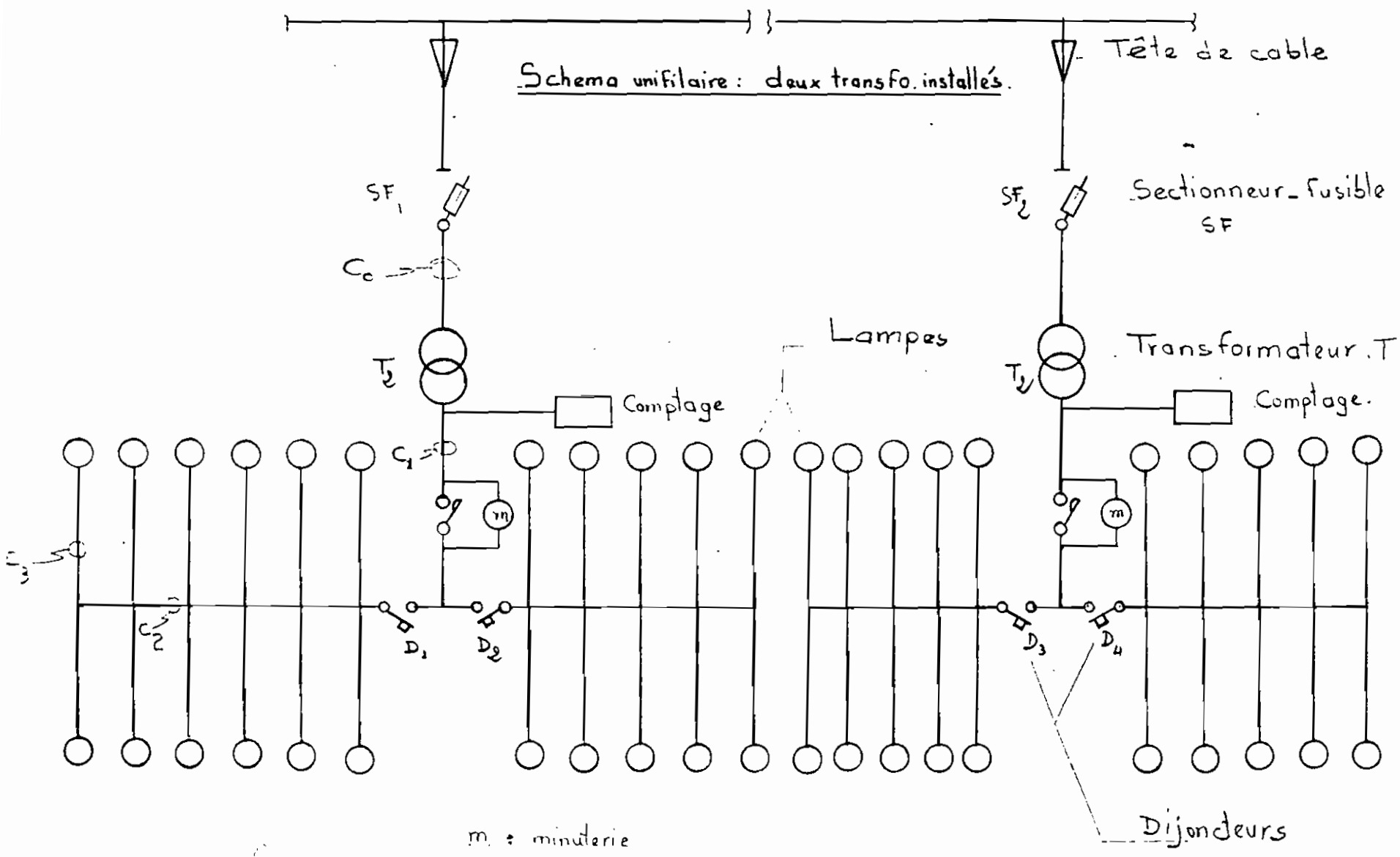
Jeumont et Schneider donnent dans leur document intitulé "Câbles domestiques et industriels", les valeurs des résistances correspondant aux sections choisies; ces valeurs sont tirées des normes françaises (NF C15.100). Pour les câbles souples c'est à-dire ceux de la classe 5 et multipolaires, nous avons les valeurs ci-après des résistances.

Section (mm <sup>2</sup> )	Résistance ( $\Omega$ /km)
1,5	15,43
10	8,22
25	0,805

### Schémas unifilaires.

1) Installation avec deux transformateurs.

Le schéma relatif à l'un <sup>et l'autre</sup> des deux transformateurs sera indiqué. Ce schéma est identique à celui que l'on peut obtenir avec le deuxième transformateur.



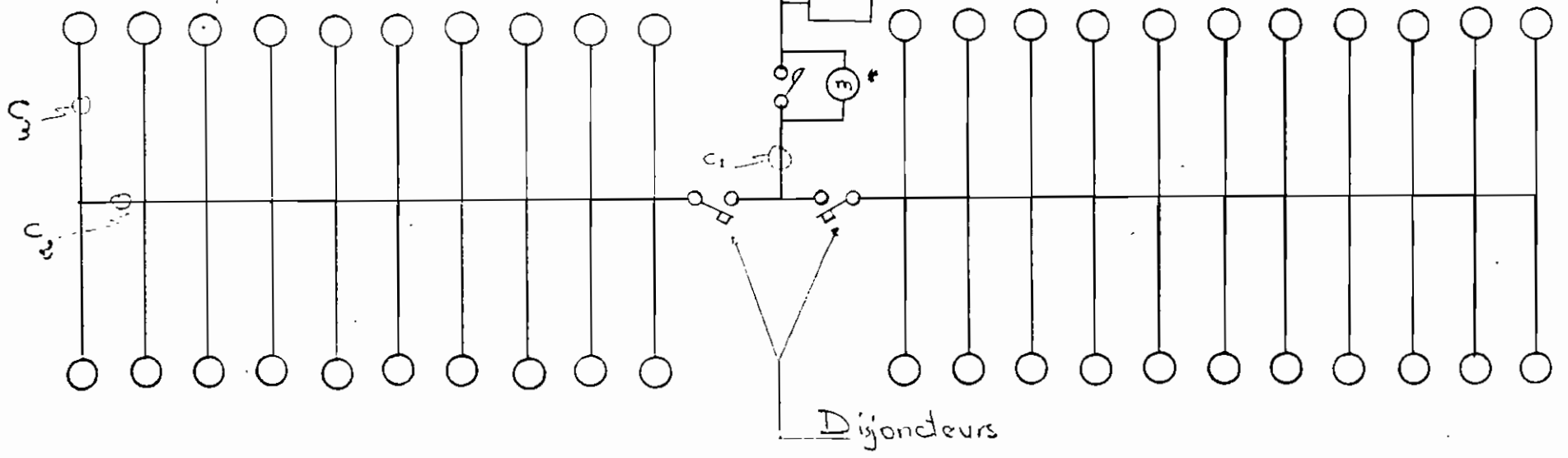
Tête de cable.

Schema unifilaire: 1 seul transfo.

Sectionnaire - Fusible. SF.

Lampes.

Transformateur T  
Comptage



Dijoncteurs

\* m: minuterie.

## Calibres des cables $C_0, C_1$

a) Deux transformateurs sont installés.

1° Calibre du cable  $C_0$ .

Il sera déterminé en fonction de la charge qu'il alimente. (le cable alimente). Soit  $\varphi$  la puissance du transformateur qui est connecté au bout du cable  $C_0$ , nous avons :

$$\varphi = \sqrt{3} U I_N \Rightarrow I_N = \frac{\varphi}{\sqrt{3} U}$$

$$\text{où : } \varphi = 25 \text{ KVA} = 25\,000 \text{ VA}$$

$$U = 6600 \text{ V}$$

$$\text{donc } I_N = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 6600} = 2,18 \text{ A.}$$

Nous avons calculé le courant nominal  $I_N$  à la base d'une tension de 6600V parceque nous avons eu, de la SENELEC, l'assurance de nous fournir partout où nous voulons, une tension d'alimentation de 6600V.

Jeumont-Schneider donne dans son catalogue intitulé "cables domestiques et industriels" pour un courant de 2,18A avec un cable S35A à 3 conducteurs en cuivre, une section de 1,5 mm<sup>2</sup> (condition de chute de tension 3%).

2° Calibre du cable  $C_1$

$$\varphi = (440 \times 2) \times 11 = 9680 \text{ W}$$

$$I_N = \frac{9680}{\sqrt{3} \times 220} = 25,40 \text{ A}$$

d'où la section  $S = 4 \text{ mm}^2$

Cependant, afin d'homogénéiser les sections des câbles, pour en faciliter le montage, nous choisissons la section du conducteur du câble  $C_1$ , égale à celle du conducteur du câble  $C_2$ , soit  $10 \text{ mm}^2$ .  
Et pour les câbles  $C_0$  et  $C_3$ , la section du conducteur vaut :  $1,5 \text{ mm}^2$

b) Un seul transformateur est installé.

1° Calibre du câble  $C_0$ .

$C'$  est le câble qui alimente le transformateur.

$$\text{Charge } \varphi = 25 \text{ kVA} = 25\,000 \text{ VA}$$

$$\text{Tension } U = 6600 \text{ V}$$

$$\text{D'où courant: } I_N = \frac{\varphi}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{25\,000}{\sqrt{3} \times 6600}$$

avec  $\cos \phi = 1$

$$I_N = 2,18 \text{ A}$$

d'où la section  $S = 1,5 \text{ mm}^2$ .

2° Calibre du câble  $C_1$

$$\text{Charge } \varphi = (440 \times 21) \times 2 = 18\,480 \text{ W}$$

$$I_N = \frac{\varphi}{\sqrt{3} U \cos \phi}$$

avec  $\cos \phi = 0,85$  ;  $U = 220 \text{ V}$

$$I_N = \frac{18\,480}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = 57 \text{ A.}$$

d'où la section du conducteur  $S = 4 \text{ mm}^2$ .

Pour les mêmes raisons que pour le cas où deux transformateurs sont installés, nous choisirons :

— pour les câbles  $C_0$  et  $C_3$  une section du conducteur égale à  $1,5 \text{ mm}^2$



— pour les câbles  $C_1$  et  $C_2$  une section de  $25 \text{ mm}^2$  pour les conducteurs

5° Choix des éléments de puissance, de mesure et de protection.

a) Deux transformateurs sont montés.

i) Choix du paraFoudre.

Le neutre du réseau sera relié à la terre par impédance. Pour ce genre d'accordement, la CGE "DELLE ALSTHOM" indique dans son catalogue N° 9/2 - 31 5-75, nous citons : la tension nominale du paraFoudre sera au moins égale à la tension maximale de service entre phase du réseau. Fin de citation.

Pour ce qui est de notre cas : tension entre phases =  $6600 \text{ V} = 6,6 \text{ kV}$

En désignant par  $U_p$ , la tension nominale du paraFoudre, nous la choisissons égale à la valeur donnée dans les catalogues, immédiatement supérieure à  $6,6 \text{ kV}$ . Dans le type de paraFoudre PCA, nous pouvons choisir  $U_p$  égale à  $7,5 \text{ kV}$ . dont le niveau de protection est de  $27 \text{ kV}$ .

ii) Choix du sectionneur avec fusible.

Courant nominal  $I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi}$  avec  $\cos \phi = 1$

$$I = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 6600} = 2,18 \text{ A}$$

Nous choisissons le sectionneur - fusible SF-DL

Fusible associé : MFN ou MFA

taille :  $10,3 \times 38$

iii) Choix du compteur.

Il sera placé après le transformateur, c'est-à-dire à la ten-

sion de 220 V.

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{(440 \times 2) \times 11}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = \frac{9680}{323,89} = 29,88 \text{ A}$$

soit  $I_N = 30 \text{ A}$

D'après  $E_D$  (Electro-Distribution) une société Française de distribution d'appareils électriques et électromécaniques, nous pouvons choisir le compteur A6C1 20/60 A - 220/380 V Ref. 9278, N<sup>os</sup> 346 012

#### iv) Choix des transformateurs $T_1$ et $T_2$ .

Deux transformateurs ayant chacun une puissance de 10 KVA auraient été largement suffisant pour les besoins de notre étude. En effet, les transformateurs  $T_1$  et  $T_2$  doivent alimenter une charge également évaluée à : 8800 W soit 8,800 KVA pour  $T_1$  et 9680 W soit 9,68 KVA pour  $T_2$ . Mais, les caractéristiques des transformateurs sur poteau dont nous disposons ne nous permettent pas d'en choisir un dont la puissance serait inférieure à 25 KVA. C'est pour cette raison que nous avons porté notre choix sur le transformateur à huile du type TW/23/25 qui a une puissance de 25 KVA et une tension de court-circuit de 4%.

#### v) Choix de la minuterie.

Nous n'avons pas pu choisir cet article à cause du manque de documentation sur le sujet. Nous avons partout cherché, mais en vain.

## vi) Choix des disjoncteurs $D_1$ et $D_2$

Nous ferons le choix de ces appareils suivant la norme C15-100 qui précise que pour choisir un disjoncteur, il faut satisfaire aux trois conditions suivantes.

1. Protection contre les surcharges	2. Protection contre les courts-circuits	3. Protection contre les chocs électriques
<u>Il faut connaître</u>	<u>Il faut connaître</u>	<u>Il faut connaître</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_B</math>: intensité d'emploi</li> <li>• <math>S</math>: section du conducteur</li> <li>• <math>I_Z</math>: intensité admissible dans le câble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{cc}</math>: intensité de court-circuit</li> <li>• <math>L</math>: longueur du câble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schema: TT, TN, IT</li> <li>• <math>S'</math>: section du conducteur de protection.</li> </ul>
<u>Il faut vérifier</u>	<u>Il faut vérifier</u>	<u>Il faut vérifier.</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_B &lt; I_R &lt; I_Z</math></li> <li>• <math>I_R</math>: intensité de réglage thermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{cc} \leq P_{dc}</math></li> <li>• <math>I_{cc} \leq I_{cc \text{ admis}}</math></li> <li><math>P_{dc}</math>: pouvoir de coupure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>t_{\text{coupure}} &lt; t_{\text{max}}</math> admissible</li> <li>• <math>L &lt; L_2</math> (longueur max qui peut être protéger</li> </ul>

### Remarque:

Si le disjoncteur assure à la fois la protection contre les surcharges et les courts-circuits, c'est à dire que:

$$I_R \leq I_Z \text{ et } P_{dc} \geq I_{cc},$$

il n'est pas nécessaire d'effectuer ces vérifications.

c'est à dire :  $t_{\text{coupure}} < t_{\text{max. ad.}}$

### 1° Protection contre les surcharges.

. Intensité d'emploi  $I_B$

$$I_B = 16,30 \text{ A}$$

. Section de cable  $S = 10 \text{ mm}^2$

Le catalogue "Cables domestiques et industriels" permet de déterminer l'intensité admissible dans le cable, soit  $I_Z$ . Il donne pour un cable en PVC à  $30^\circ\text{C}$ ,  $I_Z = 77 \text{ A}$

. En choisissant une intensité de réglage thermique  $I_R = 18 \text{ A}$ , nous avons :  $I_B < I_R < I_Z$

### 2° Protection contre les courts-circuits.

Calcul du courant de court-circuit.  $I_{cc}$

Nous ferons ce calcul au point  $F_2$  correspondant au niveau de la 1<sup>ère</sup> lampe. En effet c'est le point le plus défavorable car c'est le point où la résistance du cable est la plus grande en raison de la longueur même du cable. Nous utiliserons une méthode préconisée par la norme C15-100

$$\text{soit } I_{cc} = \frac{U}{Z\sqrt{3}}$$

où  $Z$  = impédance du circuit

$U$  = tension.

Pour calculer  $Z$ , nous ferons les suppositions suivantes :

a) La réactance  $x$  des conducteurs est négligeable. En effet elle est voisine de  $0,0157 \Omega/\text{km}$ .

b) Les longueurs à considérer sont :

- du point de branchement sur la ligne de distribution de la SENELEC au transformateur :  $L_1 = 20 \text{ m}$
- du transformateur à l'armoire :  $L_2 = 2 \text{ m}$
- d'un disjoncteur (dans l'armoire) à la 1<sup>ère</sup> lampe :
  - + jusqu'à la platine du support :  $L'_3 = 30 \text{ m}$
  - + de la platine au luminaire :  $L''_3 = 10 \text{ m}$

Les résistances ci-dessous sont tirées du catalogue "Cables domestiques et industriels". Nous adoptons la classe 5 ce qui correspond aux câbles souples; soit :

pour une section de conducteur de  $1,5 \text{ mm}^2$ ,  $R = 15,43 \Omega/\text{km}$

pour une section de conducteur de  $10 \text{ mm}^2$ ,  $R = 2,22 \Omega/\text{km}$

D'où les valeurs ci-après pour les impédances :

$$Z_1 = \frac{15,43 \Omega \times 20 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,308 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{2,22 \Omega \times 2 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,004 \Omega$$

$$Z_3 = Z'_3 + Z''_3$$

$$\text{avec } Z'_3 = \frac{2,22 \Omega \times 30 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,066 \Omega.$$

$$Z''_3 = \frac{1,5 \Omega \times 10 \text{ m}}{1000 \text{ m}} = 0,015 \Omega.$$

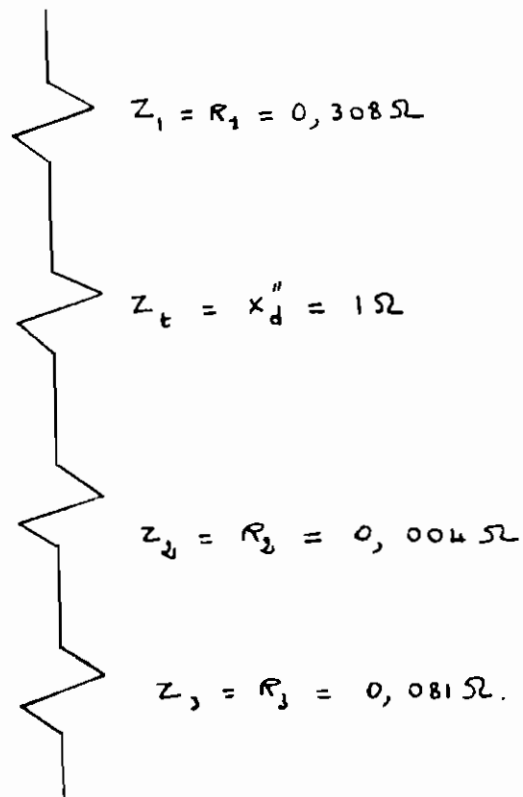
$$Z_3 = 0,066 + 0,015 = 0,081 \Omega.$$

Impédance du transformateur :

La réactance  $X''_d$  du transformateur :  $X''_d = 0,04 / \text{kVA}$ .

En prenant le kVA du transformateur égal à 25 kVA, nous avons :

impédance  $Z_t = 0,04 \times 25 = 1 \Omega$ . Ceci est à vrai dire une réactance et équivaut à la réactance totale du système. Il faut également que les valeurs calculées pour les impédances des câbles représentent les résistances. D'où le schéma des impédances ci-dessous.



d'où:  $\Sigma R = 0,308 + 0,004 + 0,081 = 0,393 \Omega = R$

$$X''_d = 1 \Omega$$

donc  $Z = \sqrt{R^2 + X''_d{}^2} = \sqrt{0,393^2 + 1^2} = 1,074 \Omega$

Nous pouvons alors calculer  $I_{cc}$ .

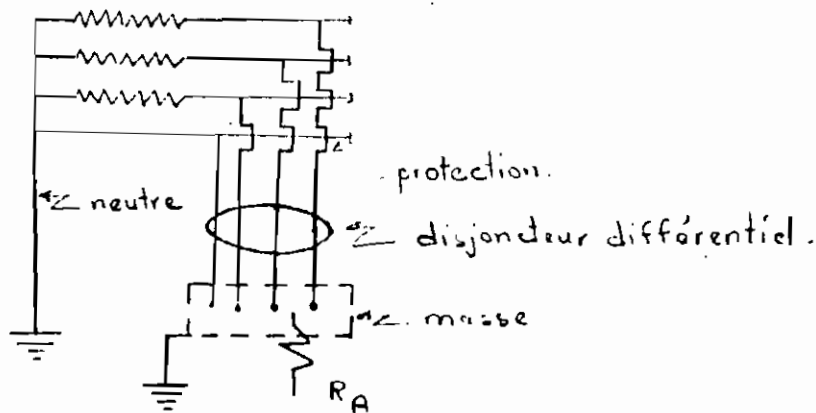
$$I_{cc} = \frac{U}{Z \sqrt{3}} = \frac{220}{1,074 \times \sqrt{3}} = 118,26 \text{ A}$$

En choisissant un disjoncteur DT 100 N à calibre 40, son pouvoir de coupure  $P_{dc}$  vaut: 5 kA. Donc la relation  $P_{dc} > I_{cc}$

est satisfaite. Nous avons donc :  $I_R < I_Z$  et  $P_{dc} > I_{cc}$ .

### 3°. Protection contre les contacts indirects.

Vu : la simplicité dans l'étude, la Facilité d'entretien, nous avons opté pour le schéma TT. Il est représenté sous la forme ci-dessous.



Dans ce schéma, le neutre et la masse sont mises à la terre. Pour ce type de schéma, les déclencheurs normaux du disjoncteur ne suffisent généralement pas à assurer une protection correcte. Il est nécessaire d'utiliser des disjoncteurs différentiels résiduels. La sensibilité  $I_{\Delta n}$  doit être telle

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A}$$

$U_L$  = tension de contact limite (généralement 50V)

$R_A$  = résistance de la prise de terre des masses.

En posant  $R_A = 120 \Omega$ , nous avons :  $I_{\Delta n} = \frac{50}{120} = 0,41 A$ , nous pouvons utiliser un disjoncteur dont la sensibilité est 0,3 A soit 300 mA.

Nous choisirons ce disjoncteur dans  $E_D$  (Electro Distribution, un manuel français) page 129. Puisque le courant nominal max est 16,30 A, le disjoncteur à 4 pôles calibre 10/30, Ref. 131 602, N° 52 8 352 convient

vii) Choix de l'armoire.

Cette armoire sera accrochée sur le même poteau que le transformateur. Elle servira à abriter :

- les deux disjoncteurs de type DT 100 N
- le compteur
- la minuterie
- le disjoncteur différentiel résiduel.

Nous n'avons pas les dimensions de ces éléments, mais, nous pouvons choisir notre armoire aussi grande que cela nous semble raisonnable. C'est ainsi que nous optons pour les dimensions suivantes 600 x 400 x 220 mm. Et dans E<sub>d</sub>, nous choisissons l'armoire :

"POLYSTAR 9000" IP557 Ref. 9026, N° 505 205

En résumé, pour ce type de montage, nous avons :

- 2 parafoudres type PCA
- 2 Sectionneur-Fusible SF-DL
- 2 compteurs ABC1 20/60 A - 220/380 V
- 2 transformateurs TW 23/25 de 25 KVA
- 2 disjoncteurs différentiels résiduels 10/30, Ref. 131 601.
- 4 disjoncteurs de type DT 100 N calibre 40.
- 240 m de câble S35A de 1,5 mm<sup>2</sup> de section du conducteur (3x1,5)
- 1145 m de câble S35A 3x10 mm<sup>2</sup>
- 2 armoire "POLYSTAR 9000" 600 x 400 x 220 mm



b) Un seul transformateur est installé.

i) Choix du parafoudre.

Pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment, nous choisissons le type PCA avec  $U_p = 7.5 \text{ kV}$

ii) Choix du sectionneur-fusible.

$I_N = 2,18 \text{ A}$  déjà calculé

Nous choisirons le sectionneur-fusible SF-DL dont l'intensité nominale admise est :  $25 \text{ A}$ .

iii) Choix du compteur

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{(440 \times 2) \times 21}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = \frac{18480}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = 57 \text{ A}$$

Dans  $E_D$ , nous choisissons le compteur A6C1 20/60 A-220/380V

Ref. 9278, N°s 346 012.

iv) Choix du transformateur.

Charge totale :  $\varphi = (440 \times 2) \times 21 = 18480 \text{ V}$ . Pour les mêmes raisons que celles évoquées dans le paragraphe précédent, nous installerons sur poteau TW 23/25 de  $25 \text{ kVA}$ .

v) Choix de la minuterie

Nous n'avons pas pu choisir cet article à cause du manque de documentation sur le sujet.

vi) Choix des disjoncteurs  $D_1$  et  $D_2$ .

Intensité d'emploi  $I_B = 29,88 \text{ A}$

• Section du conducteur  $S = 25 \text{ mm}^2$ .

•  $I_Z = 145 \times 0,87 = 126,15 \text{ A}$

où 0,87 est le facteur de température qui tient compte de la température du sol soit  $30^\circ\text{C}$  qui est différente de celle pour laquelle les 145A ont été tabulés soit  $20^\circ\text{C}$ .

• En choisissant  $I_{Rth} = 32 \text{ A}$ , nous avons

$$I_B = 29,88 \text{ A}, \quad I_{Rth} = 32 \text{ A}, \quad I_Z = 126,15 \text{ A}$$

donc les inégalités  $I_B < I_{Rth} < I_Z$  sont vérifiées.

### Protection contre les courts-circuits.

Les longueurs suivantes seront considérées pour les câbles :

— du point de branchement sur le réseau de SENELEC au transformateur  $L_1 = 20 \text{ m}$

— du transformateur au disjoncteur :  $L_2 = 2 \text{ m}$

— du disjoncteur au premier poteau  $L_3$  :

+ jusqu' à la platine du support  $L_3' = 30 \text{ m}$

+ de la platine au luminaire :  $L_3'' = 10 \text{ m}$

Les valeurs des résistances tirées du catalogue "Câbles domestiques et industriels" sont :  $15,43 \Omega/\text{km}$  pour le conducteur de  $1,5 \text{ mm}^2$

$0,905 \Omega/\text{km}$  pour le conducteur de  $25 \text{ mm}^2$

d'où les valeurs ci-après pour les résistances :

$$R_1 = \frac{15,43 \Omega \times 20}{1000 \text{ m}} = 0,308 \Omega$$

$$R_2 = \frac{0,905 \times 2}{1000} = 0,002 \Omega$$

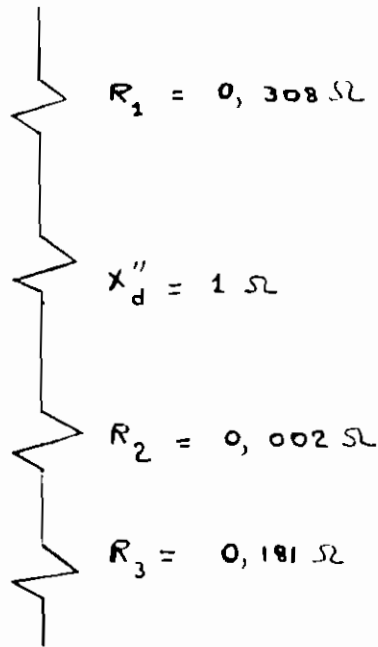
$$R_3 = R_3' + R_3''$$

$$\text{avec } R_3' = \frac{0,905 \times 30}{1000} = 0,027 \Omega$$

$$R_3'' = \frac{15,43 \times 10}{1000} = 0,154 \Omega$$

$$R_3 = 0,027 + 0,154 = 0,181 \Omega$$

D'où le diagramme des impédances suivant :



$$R = \sum R_i = R_1 + R_2 + R_3 = 0,308 + 0,002 + 0,181 = 0,491 \Omega$$

$$\text{Impédance } Z = \sqrt{R^2 + X_d''^2} = \sqrt{0,491^2 + 1^2} = 1,114 \Omega$$

D'où le courant de court-circuit  $I_{cc}$  :

$$I_{cc} = \frac{U}{Z\sqrt{3}} = \frac{220}{1,114 \times \sqrt{3}} = 114 \text{ A.}$$

Nous devons choisir le disjoncteur tel que son Pdc soit supérieur à 114 A. Le disjoncteur DT 100 N dont le Pdc = 10 kA avec un câble en PCV de 25 mm<sup>2</sup>.

Donc, nous avons :  $I_{cc} < Pdc$ .

### Protection contre les chocs électriques.

Elle sera assurée par un disjoncteur différentiel résiduel. A cet effet, nous choisirons le disjoncteur de calibre 30/60, Ref. 131.628 , N° 528 356 dont la sensibilité est 300 mA avec une résistance de prise de terre de  $120 \Omega$ .

### vii) Choix de l'armoire.

Cette armoire est accrochée sur le même poteau que le transformateur. Elle servira à abriter:

- les deux disjoncteurs
- le compteur
- la minuterie
- le disjoncteur différentiel, 30/60, 4 poles, Ref. 131 628.

Nous estimons ses dimensions à  $600 \times 400 \times 220$  mm. Ces dimensions sont normalisées.

En résumé, nous avons pour ce type de montage :

- . 1 parafoudre PCA , 7,5 kV
- . 1 sectionneur - Fusible SF-DL calibre 25
- . 1 compteur A6C1 20/60A - 220/380 V
- . 1 transformateur TW 23/25, 25 KVA
- . 1 disjoncteur différentiel Ref 131-628 , N° 528 356 , 30/60A
- . 2 disjoncteurs de type DT 100 N calibre 40.
- . 230 m de cable 535 A  $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$

. 1105 m de cable S35A 3x25 mm<sup>2</sup>

. 1 armoire " POLYSTAR 9000 " 600 x 400 x 220 mm

le tableau des prix ci-après nous permettra de choisir le type d'installation le plus économique.

Designation	Type d'installation.					
	1 seul transformateur			2 transformateurs.		
	q <sup>té</sup>	Prix / unité	Prix total	q <sup>té</sup>	Prix / unité	Prix total
Parafoudre	1	.		2		
Sectionneur-fusible	1	9 000 Fra	9 000 F	2	9 000 F	18 000 F
Compteur	1	46 000 *	46 000	2	46 000	92 000
Transformateur	1	820 000	820 000	2		1 640 000
Disjoncteur différentiel résiduel	1	35 600 *	35 600	2	16 000	32 000
Disjoncteur de puissance	2	53 790	107 580	4	53 790	215 160
Cables : 3x1,5 mm <sup>2</sup>	230 m	374 F/m	86 020	260 m	374 F/m	89 760
3x10 mm <sup>2</sup>				1185 m	1 630 F/m	1 866 350
3x25 mm <sup>2</sup>	1180 m	4 000 F/m	4 440 000			
<b>TOTAL</b>			<b>= 5 544 200</b>			<b>= 3 953 210</b>

Les valeurs avec astérisque sont prises dans le catalogue E<sub>p</sub> Edition 1977. Nous n'avons pas pu trouver les prix des parafoudre.

Il est à ajouter que dans cette étude de coût, il n'a pas été tenu compte du conducteur de protection. Le catalogue  $E_D$  recommande de prendre la même section que les conducteurs de phases  $S$  si  $S \leq 16 \text{ mm}^2$ . Pour cette étude, puisque  $S = 10 \text{ mm}^2$ , nous prendrons  $S_p = 10 \text{ mm}^2$ . La longueur de ce câble est la même que celle du conducteur de phase soit: 1145 m. Nous devons également souligner que les prix pris de  $E_D$  ont été majorés de:

- 25 % pour tenir compte de l'inflation
- 100 % pour tenir compte des frais de douane et de transport.

### III. Etude économique.

Cette étude consistera essentiellement à déterminer le coût total de toute l'installation, qui comprend le coût de la main d'œuvre et le coût des appareils.

#### 1° Eclairage proprement dit.

Le total du coût annuel a été évalué à 13 362 692 F. Ce coût comprend les frais annuels se rapportant à l'installation et à l'entretien des luminaires et le prix des sources de lumière et leurs accessoires.

#### 2° Accessoires.

Nous entendons par accessoires, tout le reste qui est nécessaire pour faire fonctionner le système. Dans cette rubrique, nous déterminerons les prix des appareils de puissance (distribution), de mesure et de protection, et les coûts de main d'œuvre relatifs à leur installation.

##### a) Coût des appareils et accessoires.

Ce coût est celui qui a été déjà trouvé lors du choix du mode d'installation le plus économique (soit 3953 270 F) auquel, il faut ajouter le prix du câble de protection et des poteaux.

##### — Prix du câble de protection.

C'est un câble S 35 A  $1 \times 16 \text{ mm}^2$ . Son prix est estimé à : 850 F/m. Il a une longueur de 1145 m. D'où :

$$C_{cp} = 850 \times 1145 = 973\ 250 \text{ F.}$$

— Prix des poteaux.

Ce sont des poteaux EURASIE de 12 m de hauteur à double croise de 3 m. Son prix est environ 260 000 F (estimation CGE) d'où le prix  $C_p = 260\ 000 \times 21 = 5\ 460\ 000 \text{ F.}$

D'où le coût des appareils et accessoires :

$$C = C_{cp} + C_p + 3\ 953\ 270 = 973\ 250 + 5\ 460\ 000 + 3\ 953\ 270$$

$$C = 10\ 386\ 520 \text{ F.}$$

b) Coût de la main d'oeuvre.

Il comprend :

— Coût du déblai pour enterrer les câbles. Ce coût est déterminé par le volume de sable à enlever : soit :  $0,8 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$

où :  $0,8 \text{ m}$  est la profondeur du chemin de câble

$0,6 \text{ m}$  est la largeur

$1000 \text{ m}$  la longueur à creuser.

Il a été admis qu'un manoeuvre moyen enlève  $0,75 \text{ m}^3$  de sable par heure et qu'il est payé  $140,50 \text{ F}$  à l'heure (Bulletin de la commission d'officialisation des prix, Janvier 1981)

D'où nous avons :

$$\text{Volume de déblai } V = 0,8 \times 0,6 \times 1000 = 480 \text{ m}^3$$

$$\text{Nombre d'heures - hommes : } N = \frac{1 \text{ h} \times 480}{0,75} = 640 \text{ h-h.}$$

$$\text{Coût du déblai } C_d = 140,50 \times 640 = 89\ 920 \text{ F.}$$



— Coût de la pose des cables et montage des appareils.

La pose des cables sera confiée à un ouvrier de 4<sup>e</sup> catégorie au moins pour éviter tout défaut pouvant conduire à la catastrophe. Il est payé 193,43 F l'heure. Si l'on estime qu'il faut 12 heures-hommes pour monter le tout, alors le coût  $C_p$  :

$$C_p = 193,43 \times 12 = 2321 \text{ F.}$$

Il faut au moins un agent de maître  $M_5$  pour superviser et monter les appareils électriques comme les transformateurs, les disjoncteurs etc... Il est payé 492,48 F l'heure. S'il lui faut 12 heures de travail, nous avons :

$$C_a = 492,48 \times 12 = 5909 \text{ F}$$

D'où le coût de la main-d'œuvre  $C_m$  :

$$C_m = C_d + C_p + C_a = 83920 + 2321 + 5909$$

$$C_m = 98150 \text{ Frcs.}$$

Nous sommes maintenant en mesure de calculer la somme totale d'argent à déboursier. Le tableau ci-dessous nous résume la situation.

Type (secteur)	Prix
Eclairage proprement dit :	13 362 692
Appareils électriques et accessoires.	10 386 520
Main d'œuvre	98 150
<b>TOTAL</b>	<b><u>23 847 362 Frcs.</u></b>

## IV Conclusion.

Considérant les hypothèses à la base desquelles, notre étude a été réalisée, nous pouvons dégager les conclusions suivantes sur les résultats auxquels, nous sommes parvenus.

- Le type de source qui a été retenu est la lampe au sodium haute pression. Cette source est de loin la plus économique donc c'est celle qui convient le plus car dans un pays en voie de développement comme le nôtre, c'est surtout le coût qui est le facteur le plus déterminant dans le choix des types de réalisation. Cette source permet d'obtenir une bonne uniformité d'éclairage avec un niveau d'éclairement moyen très suffisant. Et puisque cette lampe donne une couleur jaune doré, elle occupe sur la courbe de sensibilité de l'œil une place assez satisfaisante. La lampe à employer est le MAC 400 RV. Cette lampe devra être montée dans le luminaire SOLAIR 400P dont l'aspect esthétique se passe de tout commentaire.

- Le support des luminaires qui a été retenu pour notre étude est le type EURASIE fabriqué par la maison PETIT JEAN. Il a une crosse double de 3 m de saillie. Le support a une hauteur de 12 m et l'interdistance entre les poteaux a été fixée à 48 m. Chaque support sera scellé sur un massif en béton armé dont les dimensions sont:  $0,5 \times 0,5 \times 0,6$  m

. Les résultats auxquels nous sommes parvenus quant à l'installation électrique du projet sont pour la plupart des cas surdimensionnés, en disant cela, nous pensons par exemple aux transformateurs dans le cas où deux transformateurs sont montés ensemble chacun devant alimenter les lampes sur une portion de 500 m. Alors que deux transformateurs de 6 KVA chacun auraient été largement suffisants pour les besoins de l'éclairage, nous avons été contraints de monter deux transformateurs de 25 KVA par défaut de document sur les transformateurs dont la puissance serait inférieure à 25 KVA. Certes que cette disposition a été retenue à la suite d'une étude économique comparative entre ce type d'installation et celui qui consiste à installer un seul transformateur également de 25 KVA. Cependant le choix entre ces deux types d'installation aurait été plus évident si au lieu de poser le problème en terme de conception de l'éclairage d'un kilomètre de l'autoroute de Dakar, on avait demandé de faire l'étude pour toute la longueur de l'autoroute. En effet, si le problème avait <sup>été</sup> posé comme ainsi proposé, le coût du fil serait certainement le facteur le plus pesant dans le choix du type d'installation.

Vu également que certains prix que nous avons utilisés sont très approximatifs, le coût total auquel, nous sommes parvenus ne peut donner qu'une idée de ce que peut être réellement le coût du projet.

Pour terminer, nous tenons à exprimer tout notre vœux de voir ce projet se réaliser pratiquement et ce vœux est celui des nombreux usagers de l'autoroute, nous en sommes persuadés. Et c'est le minimum que l'on peut exiger de la commune de Dakar quand on pense aux nombreux accidents dont l'origine est essentiellement liée à l'éblouissement (par les feux de derrière des voitures), à la mauvaise visibilité qui y règne la nuit. En éclairant l'autoroute de Dakar, non seulement que l'on assure la sauvegarde des vies humaines en réduisant les dangers d'accident, mais aussi, la ville devient plus accueillante car dotée d'une entrée plus rayonnante. En éclairant l'autoroute de Dakar, on assure indéniablement du renouveau dans la vie sociale et économique de la capitale et partant de tout le pays.

# ANNEXES

## Appendice 0

### 1° Historique

L'éclairage des rues et des routes est un des éléments essentiels de l'éclairage public qui comprend entre autre : l'éclairage des places, des passages souterrains, des parcs de stationnement etc...

L'éclairage des rues et des routes fut mal connu à l'Antiquité, au Moyen-Age et au début des temps modernes. Cependant des essais avaient été faits depuis bien des siècles. Les romains firent les premiers pas en plaçant des flambeaux sur les murs d'enceinte de leur propriété. François 1<sup>er</sup> également recommanda d'allumer une lanterne au 1<sup>er</sup> étage des maisons. Mais il faut dire que toutes ces initiatives ne furent guère suivies grandement car il fallait être riche pour le faire, des indemnités n'étant pas prévues.

En 1662, l'abbé Lacedati est allé plus loin en instituant les porte-lanternes. Ainsi, les personnes sortant la nuit pouvaient se faire accompagner par des gens porteurs de torches ou de lanternes.

Mais une fois amorcé, le processus se développa très vite. Ainsi en 1721, Paris possédait seulement 5772 foyers

lumineux. En 1964, on y comptait 56 300 et 72 000 en 1970. Et actuellement Paris possède quelque chose comme 85 000 foyers lumineux. Le taux d'accroissement du nombre de foyers est d'environ 5% par an. Pour ce qui est de notre pays, le Sénégal, il a fallu attendre longtemps après l'arrivée des colons pour voir les premières réalisations dans les communes françaises de Saint-Louis, Dakar, Gorée et Rufisque.

Grâce aux progrès de la technique et de la science, de l'éclairage des jalonnements des voies pour le passage des piétons, nous sommes parvenus très vite, à la réalisation d'excellentes installations.

### 2° - But.

L'éclairage public a pour but essentiel d'éclairer les obstacles sur la chaussée. Son objectif principal est de créer des contrastes permettant la vision nocturne des objets qui peuvent se trouver sur la chaussée. Il apporte ainsi la sécurité et le confort des usagers en facilitant la circulation.

### 3° - Conséquences d'un bon éclairage.

En plus des caractères stimulont et attrayant qu'il donne à la ville, l'éclairage public entrave l'activité des malfaiteurs. En effet, ces derniers ne trouvent meilleur champ d'action qu'une rue sinistre, engloutie dans l'obscurité.

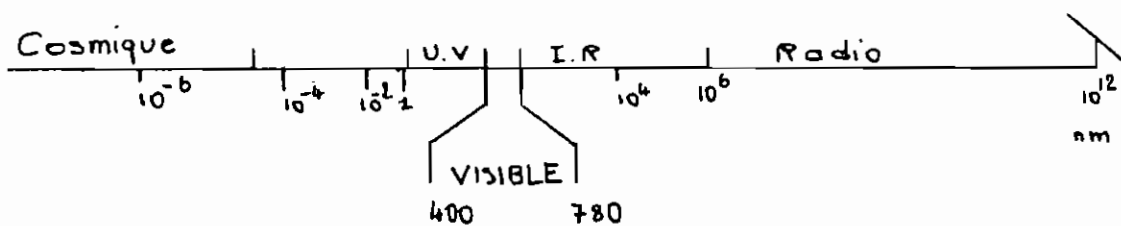
#### 4° Propriétés physiques de la lumière:

Nous jugeons nécessaire de passer en revue les propriétés physiques de la lumière car c'est de ces propriétés que nous tirons profit.

L'espace dans lequel nous vivons est sillonné par un grand nombre de radiations qui englobent les rayons cosmiques, l'ultra-violet, le rayon visible infra-rouge, les ondes radio, télévision, radar etc...

La lumière est constituée par les ondes électromagnétiques.

Les radiations sont caractérisées par leur longueur d'onde. Une représentation schématique des radiations permet de voir combien est faible la place occupée par le rayonnement visible.



où : nm = nanomètre

avec  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

Une onde est caractérisée par :

– sa vitesse de propagation



- sa longueur d'onde  $\lambda$
- sa fréquence  $\nu$

Pour les vibrations électromagnétiques,  $v = cte = 300\ 000\ km/s$ .

Le rayonnement émanant d'une source lumineuse est assez complexe. Il comprend une quantité innumérable de radiations simples dites monochromatiques, ayant des fréquences différentes les unes des autres. L'ensemble de ces radiations est appelé spectre lumineux.

Dans le spectre lumineux, une sensation de couleur est associée à chaque longueur d'onde. Le spectre de la lumière naturelle a été divisé par la commission internationale d'éclairage (C.I.E) en huit bandes définies comme suit:

en nanomètres	Couleur.
380 - 420	violet foncé
420 - 440	violet
440 - 460	bleu
460 - 510	bleu vert
510 - 560	vert
560 - 610	jaune
610 - 660	orange
660 - 760	rouge

5° - Etude physiologique de l'éclairage.

### a) Propriétés optiques de l'œil

L'œil est l'organe de vision de l'homme. Il est constitué comme un appareil photographique, la pellicule sensible est la rétine, qui comprend des cellules appelées cônes et bâtonnets. Ces cellules sont reliées au nerf optique qui transmet au cerveau.

### b) Vision en éclairage public

La sensibilité de l'œil peut varier suivant le niveau d'éclairement. Ainsi aux faibles éclairagements, la courbe de sensibilité est déplacée vers les courtes longueurs d'onde. Il en résulte que l'œil n'enregistre que les couleurs bleutées ou grisâtres et que la discrimination des couleurs n'intervient plus dans la perception des formes.

Selon le niveau de luminance, l'une ou l'autre des catégories de cellules rétiniennes contribue à la vision. C'est ainsi que l'on distingue :

#### Vision photopique.

Seuls les cônes interviennent essentiellement ou exclusivement. Il en est ainsi dans le cas où les niveaux de luminance sont de l'ordre de quelques  $\text{cd}/\text{m}^2$

#### Vision scotopique.

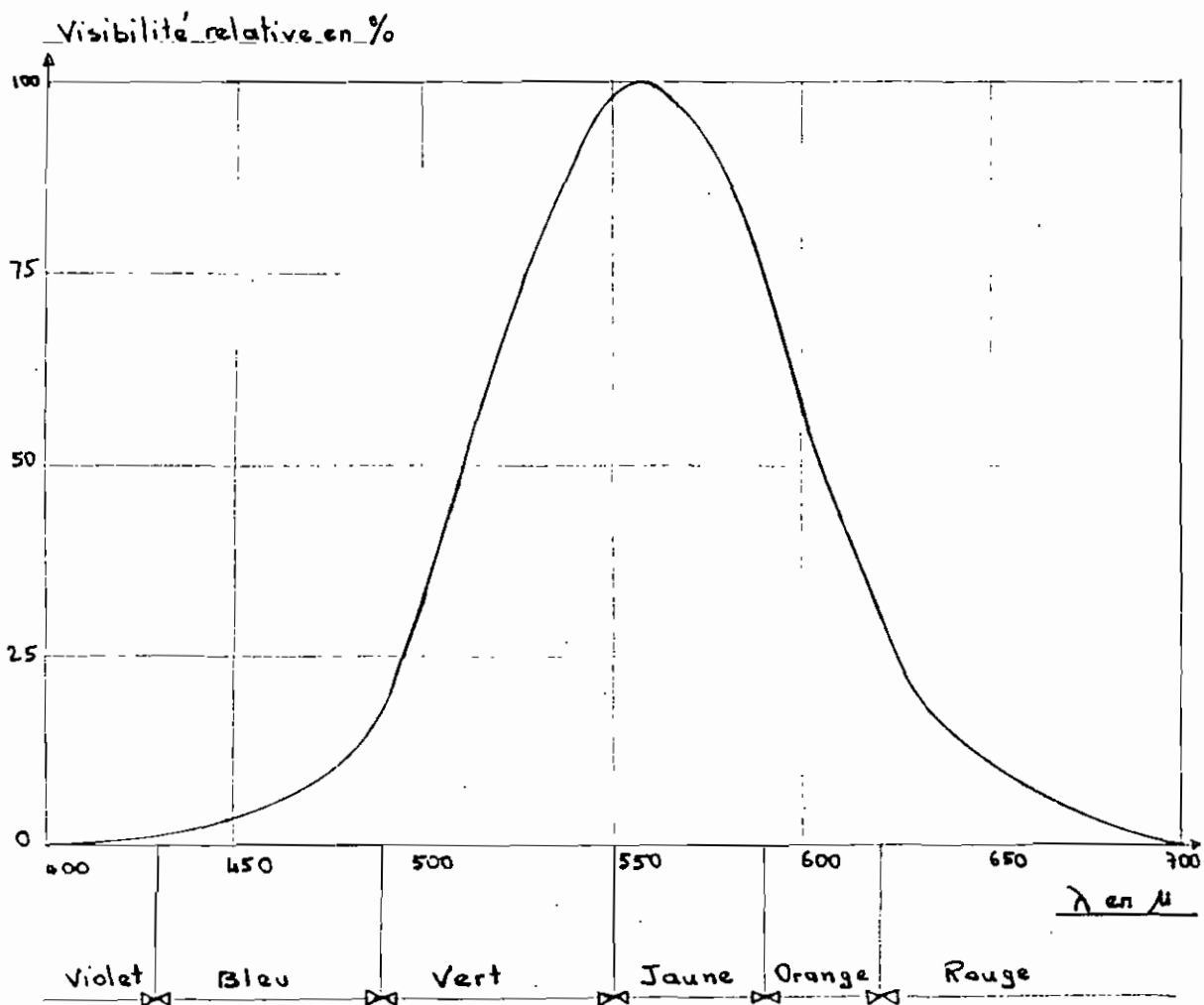
Ce sont ici les bâtonnets qui interviennent essentielle-

ment ou exclusivement. Il en est ainsi dans les cas où les niveaux de luminance sont inférieurs à quelques centièmes de  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

### Vision mésopique.

Vision des conditions intermédiaires entre celles de la vision photopique et de la vision scotopique.

### c) Courbe de sensibilité de l'œil.



## Appendice A.

Nous tenons à resumer les recommandations et techniques relatifs au calcul des projets d'éclairage afin d'éviter au maximum possible les confusions et oublis qui pourraient surgir au cours des calculs. Les méthodes préconisées sont celles utilisées en France et dans plusieurs autres pays européens.

### 1° - Grandeurs photométriques.

#### \* Flux lumineux.

Quantité totale de lumière émise par seconde par une source de lumière.

unité : lumen

symbole : lm.

#### \* Intensité lumineuse

Quotient du flux lumineux émis par une source dans une direction dans un cône infiniment petit ayant pour axe cette direction, par l'angle solide de ce cône.

unité : candela

symbole :  $I = \frac{\phi}{\Omega}$

#### \* Eclairement.

L'éclairement en un point d'une chaussée par exemple est le quotient du flux lumineux par la surface infiniment petite entourant

ce point exprimé en mètres carrés recevant ce flux.

unité : lux

symbole : E.

### \* Facteur d'uniformité.

Rapport de l'éclairement minimum de la surface de la chaussée à son éclairement moyen.

symbole :  $GLU = \frac{E_{min}}{E_{my}}$

### \* Luminance.

La luminance en un point d'une chaussée et dans la direction de l'œil de l'observateur est égale au quotient de l'intensité lumineuse par la surface infiniment petite entourant le point, exprimée en mètres carrés

unité : candéla par m<sup>2</sup> cd/m<sup>2</sup>

symbole :  $L = \frac{I}{S}$

### 2° Les sources.

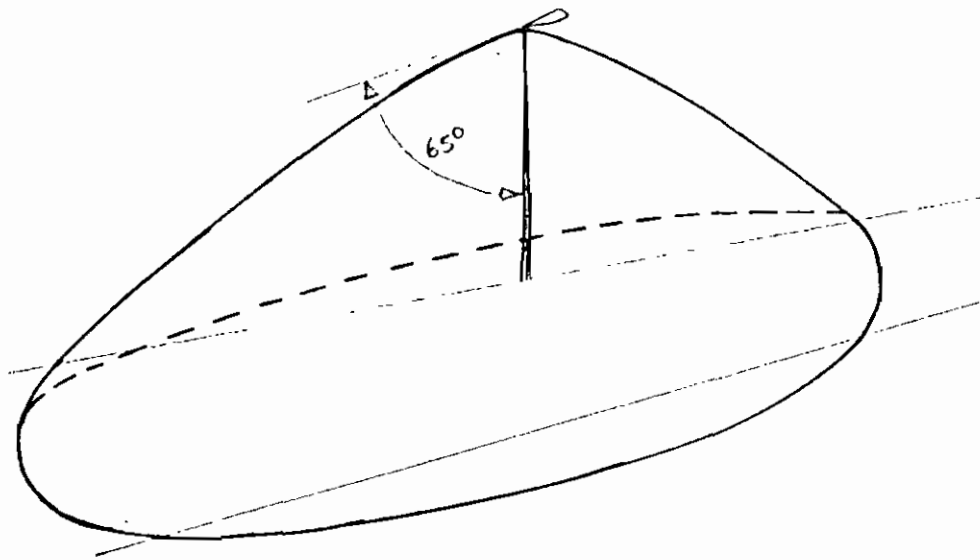
Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des principales sources utilisées en éclairage extérieur.

Source	Couleur de la lumière	Puissance (W)	Flux (lm)	Efficacité lumineuse lm/W	Type de branchement	Durée de vie (heures)	Utilisation
Ballon Fluor.	Blanc blauté	80	3 500	44	Appareillage	6 000	- zones résidentielles
		125	6 200	50			- Voies urbaines
		250	13 500	54			- Aires de parking
		400	23 000	58			
		700	42 500	61			
		1 000	57 000	57			
Sodium haute pression	Jaune doré	250	25 500	102	Appareillage	8 000	- Voies à grand trafic
		400	47 000	118			- Echangeurs
		1 000	120 000	120			- Autoroutes
							- Parkings
Iodures métal-liqués	Blanche	250	19 000	90		3 000	Eclairage public
		5 000	480 000	100		4 000	

### 3° Les luminaires.

Une des deux catégories des surfaces à éclairer est celle des routes. Ces dernières sont caractérisées par leur faible largeur par rapport à leur longueur.

Le système souvent utilisé en éclairage des routes est le système optique assymétrique dont le schéma de répartition du flux lumineux est comme suit:



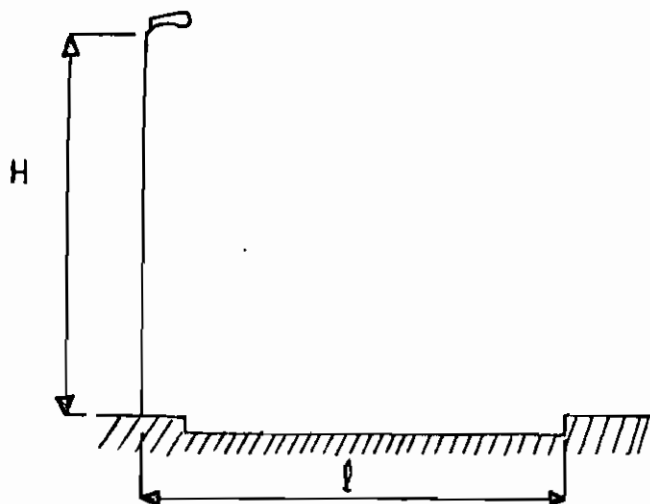
### 4° Principes d'implantation.

(hauteur et espacement des lampadaires).

- Eviter la gêne visuelle due à la brillance des foyers
- Obtenir un confort visuel : l'intensité lumineuse maximale est en particulier limitée à  $65^\circ$  par rapport à la verticale.
- Réaliser une bonne uniformité de l'éclairage, ce qui implique

une répartition entre la hauteur des luminaires et l'interdistance entre candélabres.

a) Hauteur des foyers. (en fonction de la largeur de la surface éclairée).



La relation  $H \geq l$  est à respecter

— Hauteurs usuelles des lampadaires

systeme optique asymétrique :

$$5 \text{ m} \leq H \leq 15 \text{ m}.$$

b) Interdistance entre lampadaires.

Soit  $L$  l'interdistance entre les lampadaires; pour les luminaires de type optique asymétrique, il faut que la relation ci-dessous soit vérifiée :

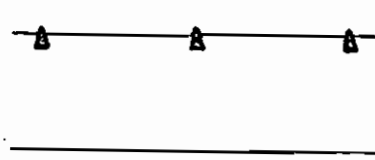
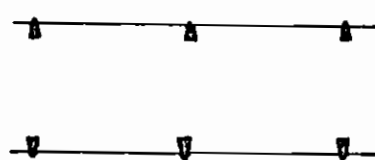
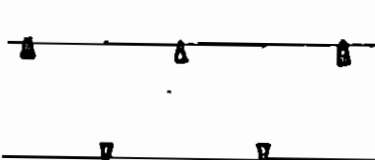
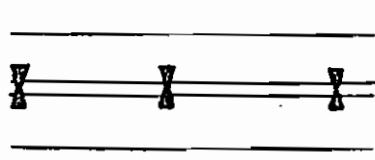
$$L \leq 4H.$$



### c) Types d'implantation.

Quatre types d'implantation des lampadaires permettent de résoudre pratiquement tous les problèmes d'éclairage.

Le coût d'une installation est directement lié au nombre et à la répartition des lampadaires. Afin de choisir l'installation la mieux adaptée, le tableau ci-dessous indique les limites pour chaque cas et précise les avantages et inconvénients.

Implantation	Rapport Longeur-haut.	Conséquences.
Unilatérale 	$l \leq H$	- 1 seule tranchée - 1 seule alimentation
Bilatérale vis à vis 	$l > H$	- 2 tranchées - 2 alimentations
Bilatérale quinconce 	$l > H$	- 2 tranchées - 2 alimentations - uniformité d'éclairage inférieure au bilatéral vis-à-vis
Axiale 	$l \leq H$	- 1 tranchée - 1 alimentation - Difficultés d'entretien.

### 5° Valeurs d'éclairage préconisées.

Classe des voies	Chaussée sombre	Chaussée claire
Voies à grand trafic de lux commerçantes	42	21
Grandes places		
Trafic important	21	10
Trafic réduit	9	4,5

### 6° Méthode de calcul et représentation des éclairages sur la chaussée.

#### a) Courbe de coefficient d'utilisation.

##### - Définition.

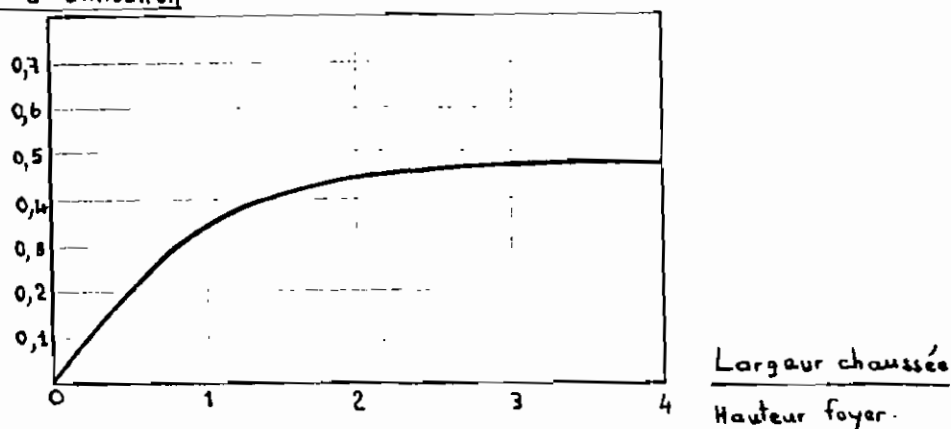
Courbe indiquant le flux reçu effectivement sur la chaussée par rapport au flux émis par la source en fonction du rapport : "largeur chaussée / hauteur foyers".

- Ces courbes permettent de définir rapidement l'éclairage moyen sur une chaussée connaissant les conditions d'installation mais ne donnent aucune précision sur l'uniformité d'éclairage. Ces courbes se présentent comme celle indiquée par la figure de la page suivante.

La méthode du facteur d'utilisation peut être aussi utilisée lors d'implantation plus complexe, par exemple deux chaussées séparées par banquette

centrale éclairée par deux luminaires. C'est le cas des autoroutes

Coefficient d'utilisation



Cette courbe a été obtenue dans les conditions d'installation suivantes :

Appareil SOLAIR 400P

Inclinaison 10°

Source Ballon Fluo.

Lampe MAF 400 RV

Flux 23 000 lm

Réglage N° 2 intensif.

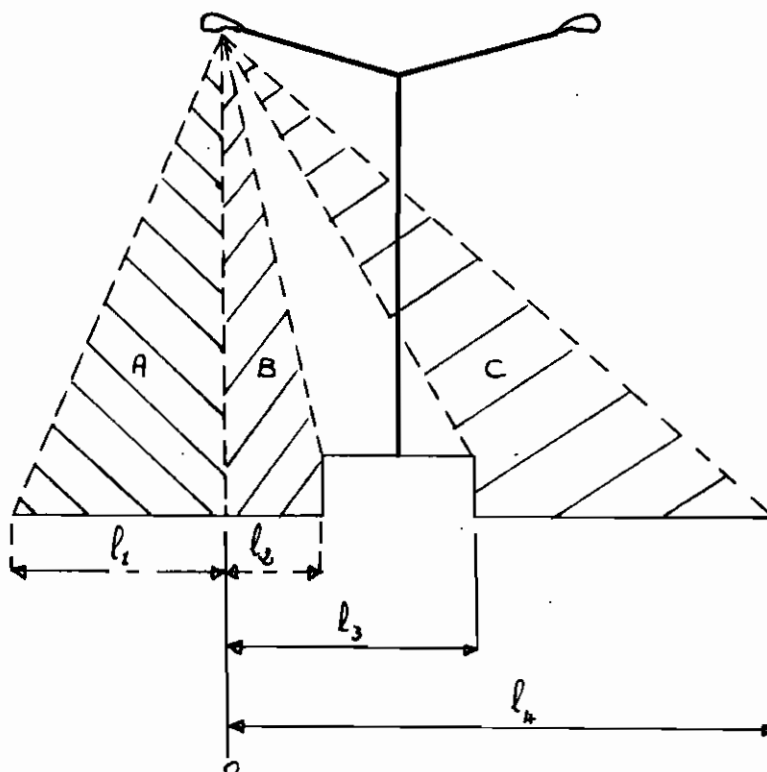
Pour utiliser ces courbes pour les calculs concernant deux chaussées séparées par une banquette centrale éclairée par deux luminaires, on doit raisonner sur un appareil, et déterminer le flux avant et arrière tombant sur la chaussée, et éliminer le flux tombant en dehors des voies.

Pour A:  $l_1/h \rightarrow K_1$

B:  $l_2/h \rightarrow K_2$

C:  $l_3/h \rightarrow K_3$

le schéma explicatif est le suivant.



$$\text{Eclaircement moyen } E_{my} = \frac{\phi \times (K_1 + K_2 + K_3)}{L}$$

où  $\phi$  = flux de la source

$L$  = espacement.

ou, si l'on a défini  $E_{my}$  et que l'on veut déterminer l'espacement  $L$

$$L = \frac{\phi \times (K_1 + K_2 + K_3)}{E_{my}}$$

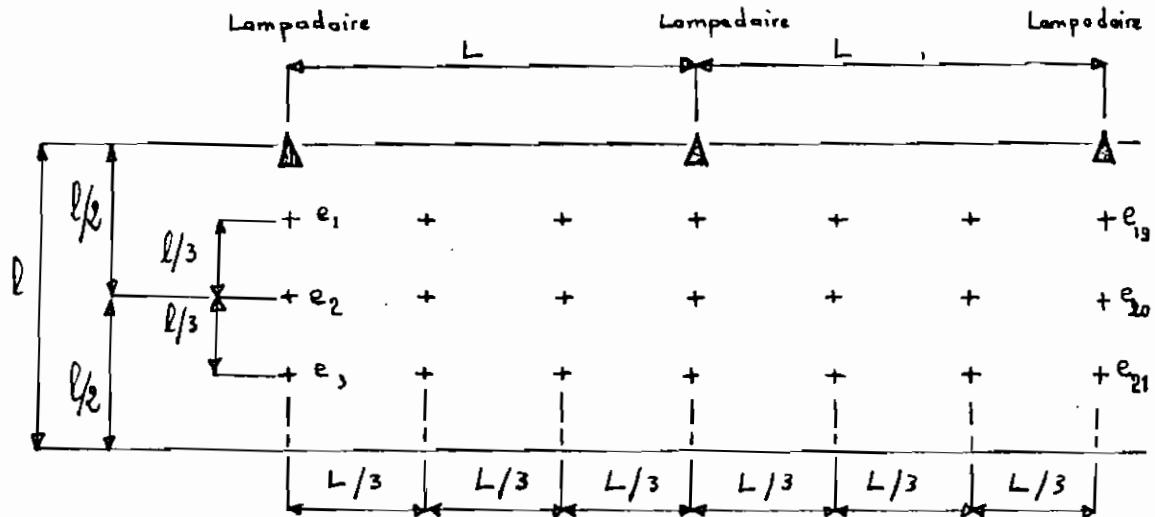
D'autres facteurs tels que les coefficients de vétusté de la lampe et du luminaire peuvent être ajoutés à ces formules.

#### b) Répartition des points d'éclaircement sur la chaussée.

Les points représentatifs de la qualité d'une installation se répartissent

sur la chaussée selon la "méthode des 21 points" (Recommandations de l'association française de l'éclairage).

Pour simplifier les calculs, nous ne considérerons que les lampes destinées à éclairer une chaussée donnée.



$$\text{Éclairage moyen } E_{my} = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_{21}}{21}$$

$$\text{Coefficient d'uniformité } GLE = \frac{E_{\min}}{E_{my}}$$

### 7° Choix d'une installation d'éclairage.

- Une installation d'éclairage avec un matériel donné, doit satisfaire les conditions d'éclairage imposées
- Le respect des règles précédemment définies assure un éclairage de qualité
- Les paramètres d'une installation :
  - Type d'implantation
  - Hauteur du lampadaire

. Caractéristiques du luminaire:

. Type de source

etc.....

ne sont pas indépendants et l'importance que l'on accorde à chacun d'eux, les solutions peuvent être différentes.

## Appendice B

### Fondation.

"Technique de l'ingénieur" fait la distinction suivante des fondations en béton.

- la fondation en massif unique en général parallélépipédique (pour poteaux et poutrelles métalliques)
- la fondation à pieds séparés comprenant un massif pour chaque pied. Ce dernier type est généralement utilisé pour les polygones métalliques tétrapodes.

### Calcul des fondations.

On peut distinguer parmi les différents types de fondation décrits, deux modes de travail principaux :

- les fondations travaillant au renversement : massif unique
- les fondations travaillant à l'écharnement : massif à pieds séparés

Pour ce qui est de notre étude, nous prendrons en considération la fondation en massif unique travaillant au renversement.

Les formules donnant la résistance d'une fondation travaillant au renversement sont fort nombreuses. On peut toutefois indiquer une formule couramment utilisée en France : la méthode d'Andrée-Norsa

$$M_s = P(a/2) - \frac{2}{3} \left( \frac{P^2}{b p_s} \right) + \frac{80}{7461} \left( \frac{b^2 p_s^2 h^3}{P} \right)$$

avec:  $a$  (m): largeur du massif dans le sens de l'effort

$b$  (m): dimension dans le sens perpendiculaire.

$F$  (N): effort horizontal appliqué en tête du poteau

$h$  (m): hauteur de la partie enterrée

$P$  (N): poids total (support + massif)

$p_s$  (Pa): pression admissible sur le sol à fond de fouille

$M_s$  (N.m): moment stabilisant dû au poids du support et son massif et à la réaction au sol

$M_r$  (N.m): moment de renversement évalué par rapport à la base du massif.

— Le premier terme correspond à l'action stabilisante du poids de l'ensemble reposant sur la base du massif sur un terrain supposé indéformable.

— Le second terme est une correction correspondant à l'élasticité du sol situé sous la base du massif.

— Le troisième fait intervenir l'influence des terrains

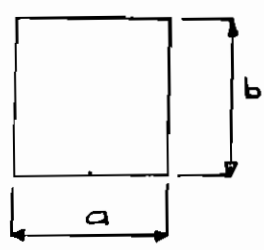
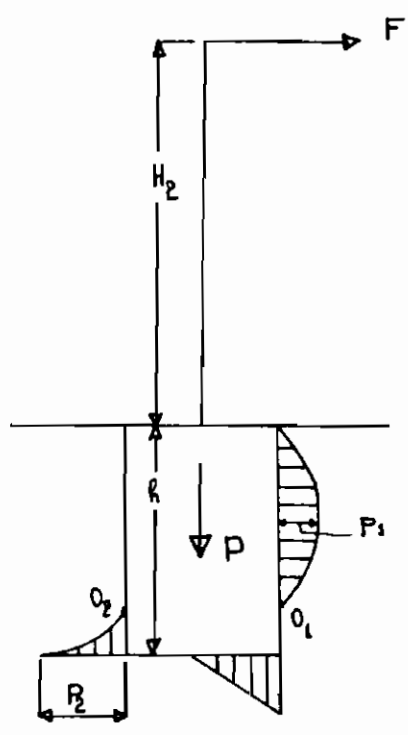
Les valeurs de  $p_s$  dépendent de la nature du sol.

( 2,5 à 3 bars en terrains moyens )

Le coefficient de stabilité du support est  $S = \frac{M_s}{M_r}$ . Il doit être au moins égal à 1.



Cette méthode tient compte en même temps de la pression verticale sur les terres à fond de fouille et des pressions latérales sur les surfaces perpendiculaires à la direction de l'effort. Andréa avait proposé une répartition triangulaire des pressions latérales, ce qui correspondait à une pression non nulle en surface; Norsa a modifié cette répartition en prenant une variation parabolique partant d'une valeur nulle à la surface du sol.



Répartition des pressions pour la formule d'Andréa - Norsa.

BIBLIOGRAPHIE.

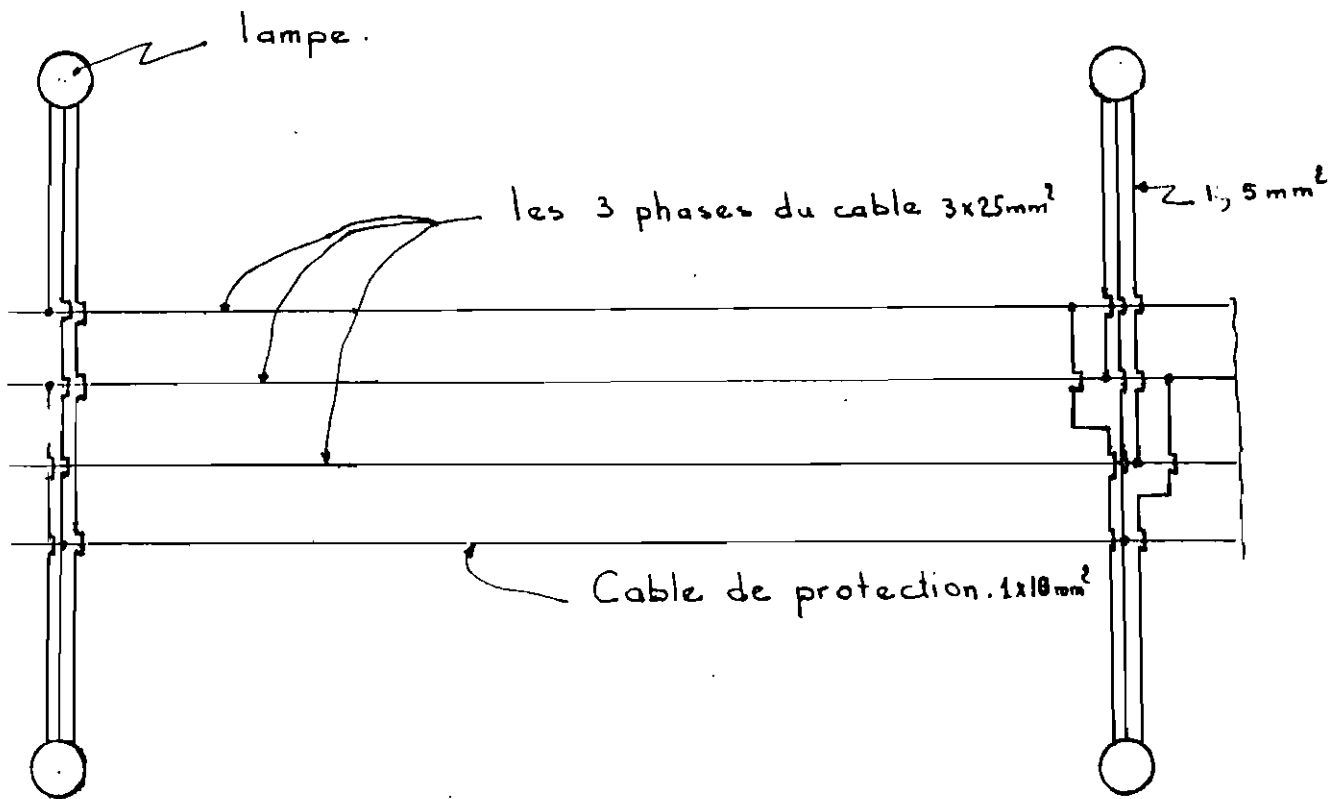
# Bibliographie

## Volumes

- CHARLE AVRIL, Construction des lignes aeriennes HT  
( technique française d'études et de réalisation)  
Edition: \_\_\_\_\_, Editeur: \_\_\_\_\_  
pages: 46 - 50
- Technique de l'ingénieur, D<sub>4</sub>, D<sub>605</sub> - D<sub>695</sub>, Juin 1976  
page D<sub>640</sub>, 1 - 10

## Revue et catalogues

- Eclairage public, MAZDA, Juillet 1973 JCM/macc  
pages: 1 - 17
- Eclairage extérieur, MAZDA, 1980  
pages: 40, 41, 45
- Condélabres et mâts 801, PETIT JEAN & Cie  
Mod. 1529.7 - 78; page 68.
- Cables domestiques et industriels, JEUMONT - SCHNEIDER  
pages: 9, 11, 16, 17, 90
- Comment choisir un disjoncteur UNELEC C15-100, G 30500  
édition: Juin 1978; pages: 9, 11, 13 - 15, 20
- Transformateurs pour montage sur poteaux  
série TW 23, UNELEC, TRD 111
- Matériel d'installation et d'utilisation industrielle E<sub>D</sub> Ed. 77; p. 49, 96, 129



Ecole polytechnique de Thies

SYSTEME DE CABLAGE

23-05-81

BOURAMA FOFANA

