

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : D'ÉLECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

SUJET

ECLAIRAGE

D'UN

STADE

Proposé par :

M. KOURGLI

chef de département

Étudié par :

Salah KHENE

Dirigé par :

~~Salah KHENE~~



PROMOTION : Janvier 1984

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTROTECHNIQUE

----- S U J E T -----

l
o
l
o
l
o
l
o
l
o
l
o
l

ECLAIRAGE D'UN
STADE

o
l
o
l
o
l
o
l
o
l
o

Proposé par :

M. KOURGLI

Chef de département

d'Electrotechnique

et professeur à l'E.N.P.A.

Etudié par :

Salah KHENE

PROMOTION JANVIER 1984.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَالْمَلَأَ وَالسَّلَامَ عَلَى أَشْرَفِ الْمُرْسَلِينَ

يَا فَتَّاحُ يَا رِزَّاقُ

--ooOoo-- R E S U M E --ooOoo--

Dans la présente étude, nous avons abordé le problème de l'éclairage extérieur à l'aide de projecteurs. Cet éclairage représente celui d'un stade permettant le déroulement des rencontres en nocturne et aussi la retransmission par télévision couleur. Nous sommes arrivé à un résultat nous permettant cela mais, avec une étude plus approfondie, nous aurions pu l'améliorer.

-o-o-o-o-o-

--ooOoo-- S O M M A R Y --ooOoo--

In this essay, we explain the system lighting system with floodlight in foot-ball stadium. This will make casier télévision color transmission of foot-ball parties nightly. We have had the résultat, but this could be better if the initial project mas deeply thought.

-o-o-o-o-o-

--ooOoo-- ملخص --ooOoo--

لدراسة هذا المشروع قد تعرضنا الى موضوع الاشارة الخارجية بواسطة الاضواء الكاشفة المستخدمة في الملاعب الكبرى لكرة القدم التي تساعد على مواولة الالعاب الرياضية الليلية، وكذلك تمكننا من ارسال الصور المنقولة على الشاشة الملونة. وقد توصلنا من خلال دراستنا الى هذه النتيجة والتي يمكن تطويرها وتحسين فعاليتها عن طريق الدراسات الواجبة التعمق.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes plus vives remerciements à :

— Monsieur M. KOURGLI pour l'aide et les conseils précieux qu'il m'a prodigués.

— Tous les professeurs que j'ai eu depuis le primaire jusqu'à ce jour.

— Toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loins à l'élaboration de ce projet.

Salah KHENE.

DEDICATIONS

Je dédie ce modeste présent à :

— Mes parents, à qui je doit tout, en leur souhaitant une longue et heureuse vie.

— A la mémoire de ma défunte sœur AICHA, que son âme repose en paix.

— A mon frère et mes sœurs, en leur souhaitant une bonne réussite (dans tous les domaines) dans la vie.

— A toute la famille.

— A tous les amis.

Salah KHENE.

I) CHOIX DE LAMPE 27

II) CHOIX DE PROJECTEUR 30

III)

CHAPITRE VI

RESULTATS DES CALCULS 33

I) APPROXIMATIONS FAITES PENDANT LE CALCULS 33

II) ECRITURE DE L'ORGANIGRAMME 34

III) ECRITURE DU PROGRAMME 35

IV) RESULTATS 41

V) INTERPRETATION DES RESULTATS 43

VI) AMELIORATIONS A FAIRE 43

CHAPITRE VII

ECLAIREMENT DU TERRAIN POUR SPORTS CO. 44

I) RESULTATS DES CALCULS 44

II) INTERPRETATION DES RESULTATS 45

III) AMELIORATIONS A FAIRE 45

CHAPITRE VIII

CHOIX DES MATS ET PYLONES 50

I) PYLONE PROPREMENT DIT 50

II) HERSES 51

III) MOYEN D'ACCES 51

IV) CHOIX DU MAT ET DU MOYEN D'ACCES 52

--ooOoo-- (C H A P I T R E II --ooOoo--

& (G E N E R A L I T E S &
& &

Avant d'aborder l'étude proprement dite du projet, il est nécessaire de dire quelques mots sur l'oeil humain et ses performances, de définir les différentes grandeurs photométriques nécessaires à l'élaboration de cette étude, et aussi les différentes sources de lumières existantes.

I) OEIL HUMAIN ET SES PERFORMANCES.

La principale difficulté de l'éclairage, qui empêche son étude directe par les lois générales de la physique, tient au fait que l'oeil, appareil récepteur des impressions visuelles, transforme d'une manière non linéaire et variable dans le temps des impressions optiques en signaux de nature électrique qui permettent au cerveau de reconstituer le phénomène appelé vision.

La sensibilité de l'oeil aux radiations dépend de leur longueur d'onde. En effet, les cônes n'étant sensibles qu'aux radiations comprises entre 380nm, où ils commencent à être impressionnés, et 780nm, où ils finissent de l'être. Il doit exister au moins une longueur d'onde pour laquelle la sensation de lumière est maximale, d'après le théorème de ROLLE.

On peut définir, ainsi, l'efficacité lumineuse relative de l'oeil. (Voir fig. 1)

I-1) Contraste:

L'oeil distingue d'autant mieux deux objets ayant des luminances voisines L et L' que le rapport $(L-L')/L'$ est grand.

I-2) Eblouissement :

C'est la diminution, ou la perte momentanée des sensations visuelles due à un contraste excessif. On distingue plusieurs sortes d'éblouissements.

I-2-1) Eblouissement directe : provoqué par une source qui dirige ses rayons directement sur l'oeil.

I-2-2) Eblouissement par réflexion : produit par réflexion d'une source lumineuse sur une surface polie.

I-2-3) Eblouissement par contraste : due à des écarts très importants entre les sources qui se trouvent dans le champs visuel.

II) GRANDEURS PHOTOMETRIQUES.

II-1) Flux lumineux.

C'est la quantité de lumière émise par une source en une seconde. C'est une notion qui ne tient pas compte de la manière dont cette lumière est répartie dans les différentes directions de l'espace. Son unité est le lumen (lm).

II-2) Intensité lumineuse.

C'est la seule véritable nouvelle grandeur, qu'introduit la photométrie dans le système S.I. rationalisé (MKSA) et c'est à partir de la notion du flux lumineux qu'elle est établie.

D'une manière générale, une source O n'émet pas d'une façon identique la lumière dans l'espace. Considérons l'émission de flux $d\phi$ d'une source O en direction d'un point A , centre d'un domaine dS vu de O sous l'angle solide $d\Omega$ (Voir fig. 2)

I de O vers A ; $I = \lim_{d\Omega \rightarrow 0} d\phi/d\Omega$ Son module est exprimé en candela (cd)

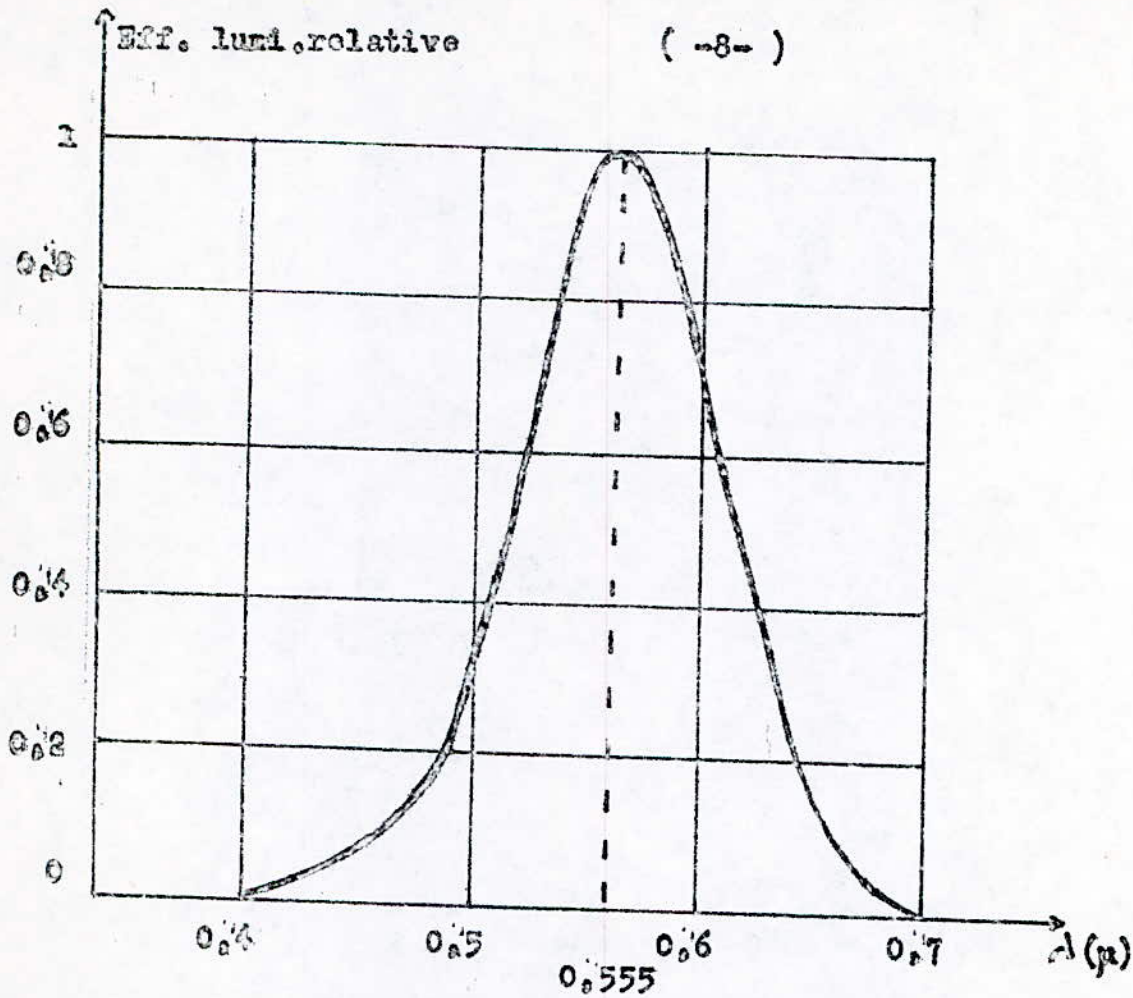


Fig. 1 Efficacité relative de l'oeil

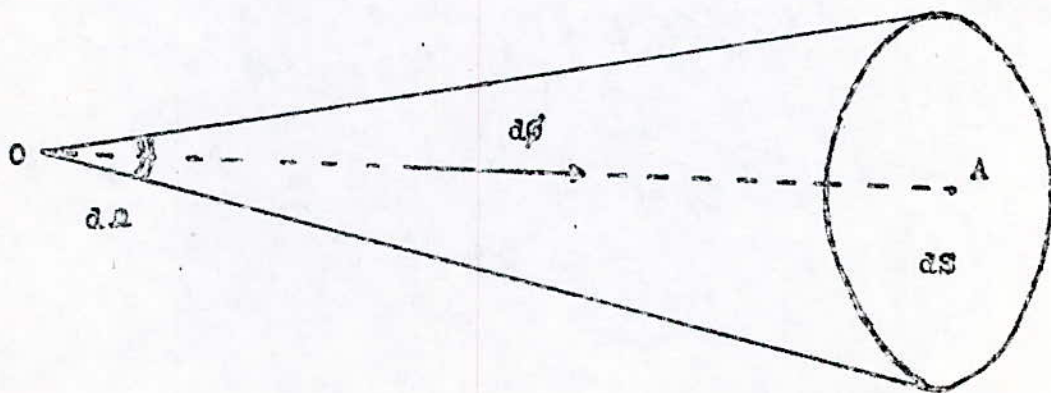


Fig. 2 Emission du flux $d\phi$

Le candela est l'unité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540.10^{12} Hz ($\lambda=555\text{nm}$) et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de $1/683$ Watt par stéradian.

II-3) Eclairement.

C'est le flux lumineux par unité de surface uniformément éclairée. $E = \phi/S$ son unité est le lux. $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm}/1 \text{ m}^2$.

Lorsque l'éclairement d'une surface n'est pas uniforme, il convient de faire la moyenne arithmétique en différents points pour définir l'éclairement moyen. Donc la notion de l'éclairement fait intervenir et la source, et la position de la surface éclairée.

II-4) Luminance.

La luminance L , dans une direction donnée, d'une surface émettrice dS , est le quotient de l'intensité dI émise par dS dans cette direction, par la surface apparente de dS dans cette direction. Unité: cd/m^2

II-5) Coefficient d'intensité lumineuse, ou efficacité lumineuse, d'une source.

C'est le quotient du flux émis par la source sur la puissance consommée par cette source. Unité: lm/W

II-6) Eclairement horizontal moyen.

Moyenne arithmétique des éclairagements horizontaux relevés au sol sur un réseau conventionnel de points de mesure. Dans notre cas, il permet la bonne visibilité du terrain de jeu et du fond sur lequel les obstacles se détachent.

II-7) Eclairement vertical moyen.

Moyenne arithmétique des éclairagements verticaux (éclairage relevé à 1m du sol, sur un plan vertical) relevés sur la même surface des différents plans perpendiculaires à la direction principale d'observation. Dans notre cas, il est nécessaire à la

bonne visibilité des joueurs du ballon.

II-8) Facteur d'uniformité.

Rapport entre l'éclairement minimum et l'éclairement moyen.

II-9) Facteur de maintenance.

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

III) SOURCES DE LUMIERE.

On distingue deux types de sources de lumière.

III-1) Lampes à décharge.

La décharge s'établit dans un tube émetteur comprenant à chaque extrémité une électrode formée de fil de tungstène spiralé et recouverte d'une substance génératrice d'électrons.

L'émetteur contient du mercure ou du sodium et un gaz rare à travers lequel la décharge peut s'établir avant que le mercure ou le sodium ne se vaporise. Lorsque la tension alternative convenable est appliquée, un champ électrique prend naissance entre les électrodes et un arc s'établit. Le dégagement de chaleur vaporise alors progressivement le mercure ou le sodium.

Il existe des lampes qui, en plus du mercure ou du sodium, contiennent des halogénures métalliques.

Les (~~décharges~~) lampes à décharge ne peuvent pas fonctionner en les branchant directement au réseau, il leur faut un ballast et parfois un starter qu'on définira ultérieurement.

Différentes lampes à décharge et leurs caractéristiques:

III-1-1) Lampes à ballon fluorescent:

* Emploi obligatoire d'un ballast.

* Temps de mise en régime: 3 à 5 mn.

- * Efficacité lumineuse moyenne: 50 lm/W.
- * Durée de vie moyenne: 8000 h.
- * Température de couleur: 3300 à 4300 K.
- * Bonne résistance aux chocs, vibrations et aux intempéries

III-1-2) Lampes aux hallogénures métalliques.

Ce sont des lampes à vapeur de mercure à haute pression, contenant des halogénures d'Indium, de Thallium, de Sodium ou d'autre métaux.

- * Emploi d'un ballast et éventuellement d'un amorceur.
- * Temps de mise en régime: 3 à 5 mn.
- * Efficacité lumineuse: 85 lm/W.
- * Bonne résistance aux chocs, vibrations et aux intempéries
- * Température de couleur: 4500 à 6500 K.
- * Durée de vie plus faible que celles à ballon fluorescent.

III-1-3) Lampes à vapeur de sodium haute pression.

- * Emploi obligatoire d'un ballast et d'un amorceur.
- * Temps de mise en régime: 2 à 3 mn.
- * Efficacité lumineuse: 100 lm/W.
- * Température de couleur: 2000 à 2500 K.
- * Durée de vie moyenne: 600 h.

Pour ces trois types de lampes:

- * Au moment de la mise en marche, ces lampes et leur ballast appellent une intensité de courant supérieure à la valeur de régime

- * L'allumage et le fonctionnement correct ne peuvent être obtenus que dans la mesure où la tension d'allumage ou d'alimentation se maintienne dans la limite de $\pm 5\%$ de la tension nominale.

III-1-4) Lampes fluorescentes tubulaires.

Ce sont des lampes à décharge, revêtues d'un poudrage fluorescent, qui, suivant la qualité du poudrage, émettent des lumières de température de couleur différentes.

* Efficacité lumineuse: 65 lm/W.

* Emploi d'un ballast, et pour certains modèles, d'un starter.

* Durée de vie: 7500 h.

* Flux lumineux réduit par temps froid, ou pour des températures supérieures à 30°C.

* Température de couleur entre 2700 et 6300 K.

III-2) Lampes à incandescence.

III-2-1) Lampes à filament classique.

III-2-2) Lampes aux halogènes.

Avant de terminer avec le paragraphe concernant les sources de lumière, il faudrait d'abord définir quelques notions employées dans ce paragraphe, à savoir:

* Température de couleur.

Les sources de lumière possèdent des couleurs apparentes variées, depuis la rosée jusqu'au blanc bleuâtre d'aspect froid. Par ailleurs, il est bien connu qu'un métal chauffé, lorsque sa température s'élève, présente différents aspects variant du rouge au blanc bleuté. Cette analogie permet de définir l'apparence de la plupart des sources, en donnant la température de corps qui s'en approche le plus. Elle s'appellera "température de couleur proximale".

IV) BALLAST, STARTER.

IV-1) Ballast.

Appareil de stabilisation de courant, monté en série avec la lampe. Composé d'un noyau en tôle magnétique, entouré d'un enroulement en fil de cuivre.

IV-2) Starter.

Constitué d'un bilame plongé dans un tube renfermant un gaz

rare. La mise sous tension provoque le jaillissement d'un effluve qui a pour effet de chauffer le bilame, et de former l'interrupteur.

V) LUMINAIRE ET PROJECTEUR.

V-1) Définitions : (Extraites du vocabulaire de l'éclairage publié
l'Association Française d'Eclairage -A.F.E.)

V-1-1) Luminaire :

Appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière des lampes et comprenant toutes les pièces nécessaires pour fixer et protéger les lampes et pour ^{les} relier au circuit d'alimentation.

V-1-2) Projecteur :

Luminaire intensif dans lequel la lumière est concentrée dans un angle solide, déterminé par un système optique-miroir ou lentille- afin d'obtenir une intensité lumineuse élevée.

&
& P R E S E N T A T I O N D E S L I E U X &
&

Le but de notre étude est l'éclairage d'un stade comprenant un terrain de foo-ball, un terrain pour sports collectifs, un terrain pour sauts et lancers, et une piste d'athlétisme.

Ce stade est conçu pour une moyenne agglomération, c'est à dire que sa contenance est de 25000 à 30000 spectateurs.

Dimensions des terrains: (Voir fig. 3)

- * Terrain de football: 90m x 45m
- * Terrain pour sports collectifs: 20m x 45m
- * Terrain pour sauts et lancers: 20m x 45m
- * Pistes d'athlétisme: 8couloirs de 1,1m chacun

Nous étudierons indépendamment l'éclairage de ces différents terrains, cela nécessite un grand nombre de luminaire, mais il présente l'avantage d'autonomie d'éclairage.

I) ECLAIRAGE DU TERRAIN DE FOOT-BALL.

La qualité de l'éclairage d'un terrain de jeu est caractérisé par:

- * Le niveau d'éclairement vertical et horizontal.
- * L'uniformité de ces éclairement.
- * Le degré d'éblouissement produit par les sources.
- * L'aspect visuel du terrain -luminance de l'air de jeu-

De ce point de vue, les exigences des joueurs, des spectateurs et de la télévision, notamment couleur, sont différentes, parceque

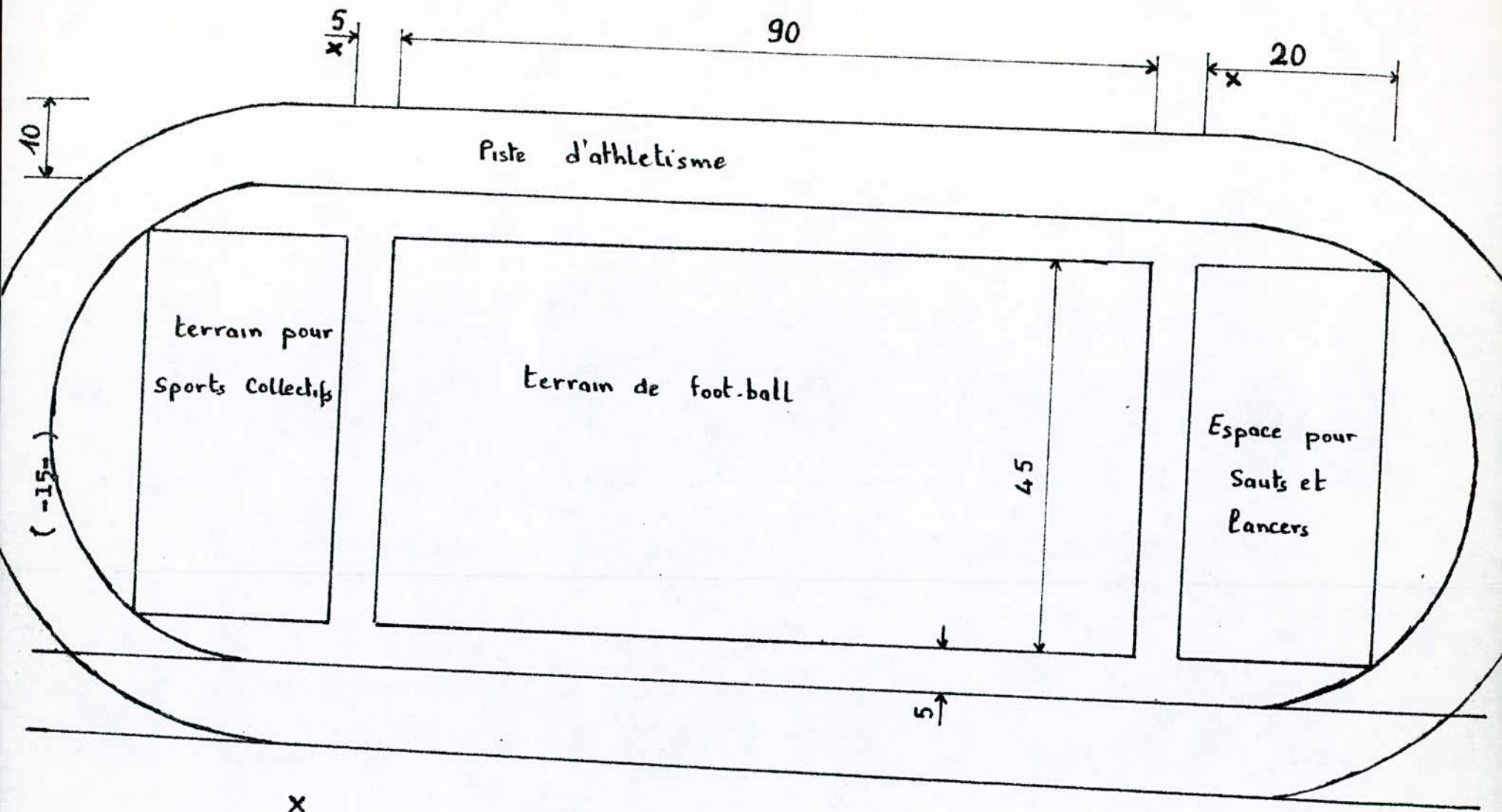


Fig. 3 Différents terrains
et emplacements des pylones (x)

Le niveau d'éclairément pour les spectateurs est plus important que celui des joueurs, vu la distance assez grande, celui nécessaire à la télévision couleur est encore plus élevé.

I-1) Niveau d'éclairément.

Les éclairéments horizontaux et verticaux sont aussi importants l'un que l'autre. Pour les spectateurs, ces éclairéments doivent être d'au moins 800 lux, mais pour la retransmission télévisée, ils doivent être en moyenne égal à 1400 lux.

I-2) Facteur d'uniformité de l'éclairément horizontal.

Il doit être, dans tous les cas, au ^{moins} égal à 0,7, plus ce rapport est grand, plus l'éclairément est bon. En plus le rapport entre l'éclairément maximum et l'éclairément minimum doit être inférieur à 2,5.

I-3) Degré d'éblouissement produit par les sources.

Il faudrait minimiser au maximum l'éblouissement; pour ce faire, il faudrait choisir convenablement l'emplacement des projecteurs et l'inclinaison de ceux-ci.

I-4) Sources de lumière.

Les principales caractéristiques d'une source à prendre en considération, pour l'éclairage d'un terrain de jeu sont:

- * L'efficacité lumineuse.
- * La puissance unitaire.
- * La couleur de la lumière et le rendu de couleur.

La prise en compte de ces critères conduit à envisager l'emploi des lampes aux halogénures métalliques, ~~et~~ au xénon, et aux halogènes.

Comme les températures de couleur, pour la retransmission télévisée, doit être comprise entre 3000 K et 6000 K, il est recommandé de choisir les lampes aux halogénures métalliques, qui sont économiquement mieux que celle au xénon.

I-5) Implantation des luminaires.

Pour l'éclairage des terrains de compétition, les mâts doivent être disposés sur une ligne distante d'au moins 10m des lignes de touche.

I-5-1) Plusieurs pylones par côté: Cette solution, économiquement, présente des inconvénients et n'est pas recommandée pour la retransmission télévisée à cause des ombres.

I-5-2) Deux pylones par côté: Plus économique que le cas précédent et conseillé pour la télévision.

I-5-3) Luminaire en ligne continue sur le toit des tribunes ou sur les gradins. Cette disposition est idéale mais rarement réalisable, bien qu'elle présente un grand intérêt économique.

Pour notre cas, de ces trois dispositions, nous choisissons la seconde, à savoir, deux pylones par ~~mât~~ côté.

Nous parlerons du choix des pylones ultérieurement.

II) ECLAIRAGE DES TERRAINS POUR SPORTS COLLECTIFS, SAUTS et LANCERS

Le niveau d'éclairage horizontal doit être entre 300 et 600 lux, le facteur d'uniformité de l'éclairage horizontal d'au moins 0,7.

III) ECLAIRAGE DES PISTES D'ATHLETISME.

Il a un rapport direct avec l'éclairage du terrain de football, car le niveau d'éclairage doit être au moins égal à la moitié de celui du terrain de foot-ball. Le facteur d'uniformité est au moins égal à 0,6.

IV) TABLEAU RECAPITULATIF.

Sport	Eclairage en service (lux)	Uniformité minimum	Nombre de mâts	Hauteur mini. (m)	Ecart mini. des mâts du terrain
Foot-ball	200 à 600 compét. 1400 TV oculou	0,7	6 4	13 20	10
Sports co	300 à 600	0,7	4 ou 6	9	3
Pistes d'athlét.	0,5 E. terrain	0,6		13	

--oo0oo-- (C H A P I T R E IV --oo0oo--

ELABORATION DU PROJET

Dans ce chapitre, nous étudierons l'emplacement des mats, l'éclairage par projecteur et la méthode de calcul.

I) EMBLACEMENT DES MATS.

Comme précisé précédemment, nous avons choisi la solution de deux mâts par coté, soit au total quatre mâts.

L'emplacement de ces mats devrait être choisi de telle manière que les luminaires ne soient pas dans le champ de vision des joueurs et qu'ils ne gênent ni les spectateurs, ni la télévision.

Donc le meilleur endroit serait du côté des lignes de touche et légèrement en retrait par rapport à la ligne de but (fig. 4).

Vu l'existence de la piste d'athlétisme, on doit insérer celle-ci dans le calcul.

Pour que les joueurs ne soient pas gênés lors des tirs de corner, le mât doit être placé à l'intersection de la diagonale du terrain et de la droite passant par le milieu de la ligne de but et faisant avec celle-ci un angle de 10° à 15°.

tg delta = (22,5 + 5 + 10) / 45 = 0,83 = BE / (BC + AE)
d'où AE = (BC * tg delta * tg alpha) / (1 - tg delta * tg alpha)

pour alpha = 10 degrees AE = 7,7 nous choisissons AE = 8 d'où BE = 44,5m
pour alpha = 15 degrees AE = 12,9

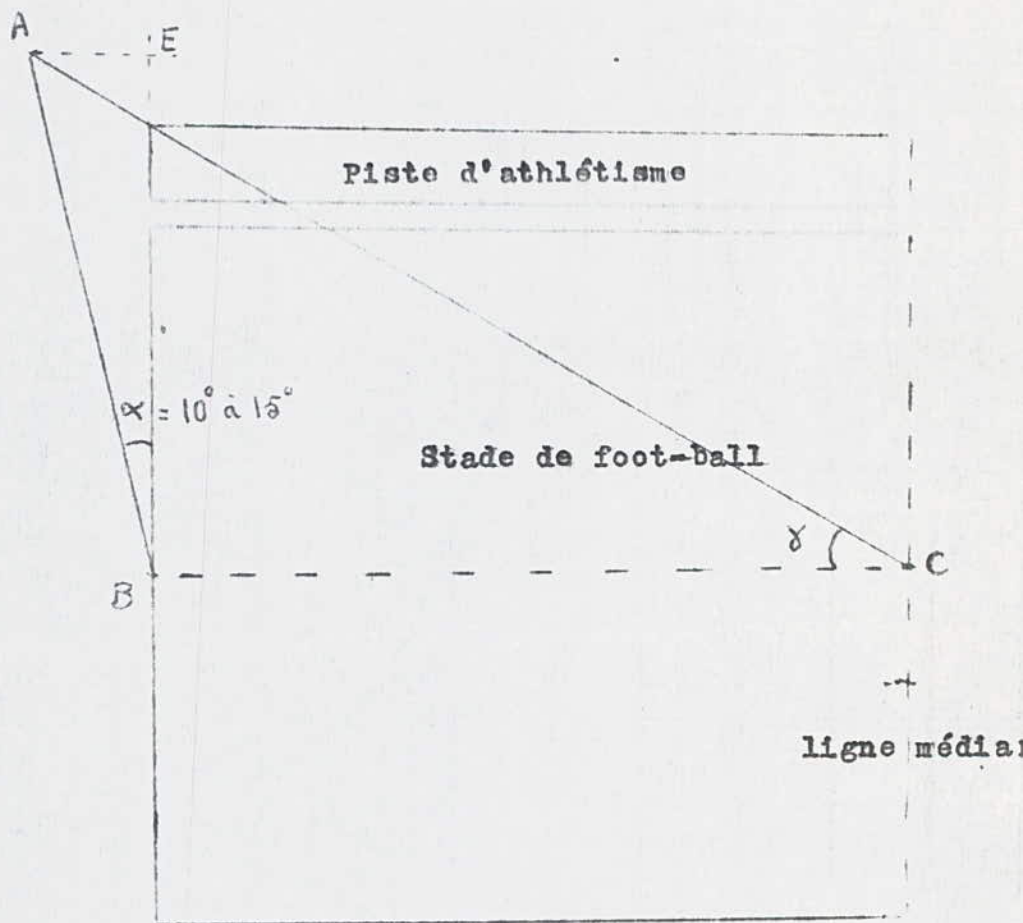


fig. 4 Emplacement des masts

II) ECLAIREMENT PAR PROJECTEUR.

L'usage de projecteur, à flux relativement concentré, est la seule solution pratique pour éclairer à haut niveau.

Le faisceau lumineux est donc caractérisé par une indicatrice d'émission dont les plans de symétrie sont ceux du projecteur lui-même et dont l'intersection définit l'axe optique du luminaire.

L'axe optique de l'appareil présente avec la normale au sol un angle d'incidence, ou angle de visée, noté "V", qui devra, à cause de l'éblouissement, être inférieur à 65°.

Pour chaque projecteur, le constructeur donne la table photométrique et les courbes isocandelas correspondantes. Ces courbes, comme leur nom l'indique, sont des courbes qui joignent les points de même intensité lumineuse, suivant les directions exprimées dans un système de coordonnées B et B', autour de l'axe optique.

III) EXEMPLE DE CALCUL DE L'ECLAIREMENT CREE PAR UN PROJECTEUR.

Soit un point P, de coordonnées x, y par rapport aux axes du projecteur, et z, hauteur de feu. Soit V, son angle de visée. (fig5)

L'éclairement en P résulte de:

* d: distance de P au foyer, tel que $d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

* α : angle de la normale en P avec la direction de l'intensité émise vers P

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right)$$

* B': colatitude relative au point P,

$$B' = \arctg\left(\frac{|x|}{\sqrt{x^2 + z^2}}\right)$$

* B: Longitude relative au point P,

$$B = \arctg\left(\frac{y}{x}\right) - V$$

Une fois B' et B calculés, nous pouvons lire sur la courbe isocandela propre au projecteur choisi, l'intensité lumineuse pour une

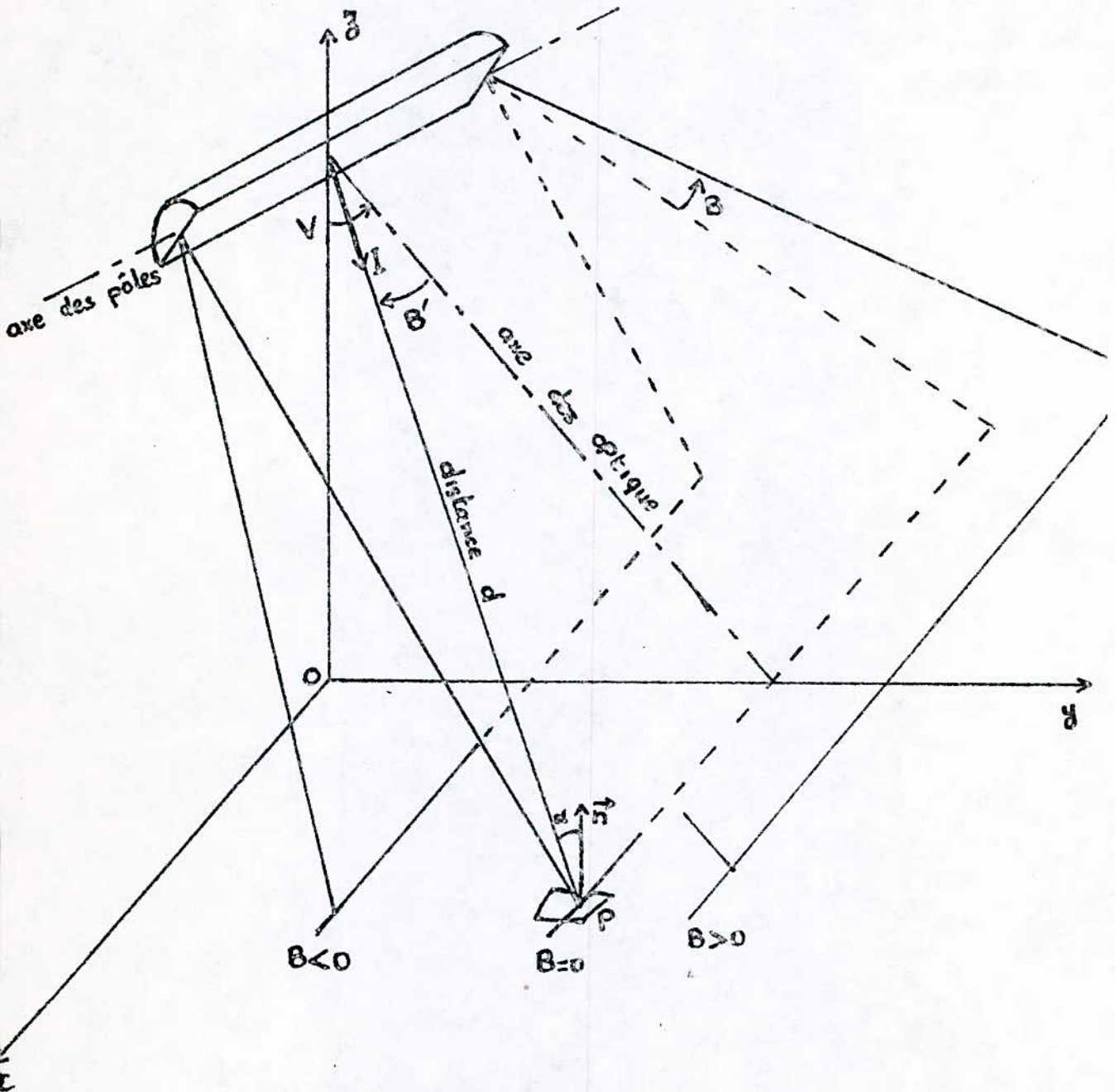


fig. 5 Eclairage par projecteur.

source de 1000lm. (quelques constructeurs donnent directement la courbe pour une source bien déterminée.)

D'où l'éclairement horizontal en P:

$$E_h(x,y) = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha$$

Eclairement vertical en P:

$$E_v(x,y) = \frac{I}{d^2} \cdot \sin \alpha = E_h(x,y) \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

IV) METHODE DE CALCUL DE L'ECLAIREMENT MOYEN.

Pour avoir un résultat assez précis, on doit diviser le terrain en un grand nombre de mailles, et de calculer pour chacune d'elles l'éclairement créé par la totalité des projecteurs. L'éclairement moyen sera, alors; la moyenne arithmétique de tous les éclairagements

Plus le nombre de mailles est grand, plus le résultat est meilleur. Mais comme nous sommes limités par les moyens, nous avons divisé le terrain en des mailles de 5 x 5m.

Puisque nous avons choisi la solution de quatre mâts, nous pouvons faire le calcul pour un seul mât et, en raison de symétrie, le calcul pour les quatre mâts.

En effet, si nous divisons le terrain en N x M facettes,

$$E(n,m) = E(n,n) + E(n, M+1-n) + E(N+1-n, m) + E(N+1-n, M+1-m)$$

avec $1 \leq n \leq N$ et $1 \leq m \leq M$.

En plus de l'éclairage du terrain, nous devons calculer l'éclairement sur les abords, pour connaître celui de la piste d'athlétisme et pour avoir un bon contraste. Pour ~~que~~ ce dernier il faut que le rapport entre l'éclairage sur les abords et celui du terrain soit supérieur ou égal à 0,4. Donc nous devons calculer l'éclairement créé par le projecteur aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du terrain.

Reste maintenant, la disposition des luminaires et leur inclinaison

Le luminaire le plus bas doit être placé à une hauteur telle que son angle de visée V par rapport au centre du terrain soit inférieur à 65°.

Soit: x, y, et z les coordonnées du centre du terrain par rapport au luminaire.

$$\operatorname{tg}V = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} \quad \text{avec } x=(22+22,5) ; y=(45+6) \text{ et } V=65^\circ$$

$$z = \frac{\sqrt{44,5^2 + 51^2}}{2,14} = 32,2m$$

Nous comme valeur moyenne z=40m

Quant aux inclinaisons, nous avons d'abord fait un calcul réduit, c'est à dire, pour quelques projecteurs et pour quelques points. Nous avons remarqué, que pour qu'il y ait une meilleure uniformité, il faudrait que les points d'intersection des axes optiques des projecteurs avec le sol doivent être beaucoup plus rapprochés du côté du centre du terrain que vers les bords.

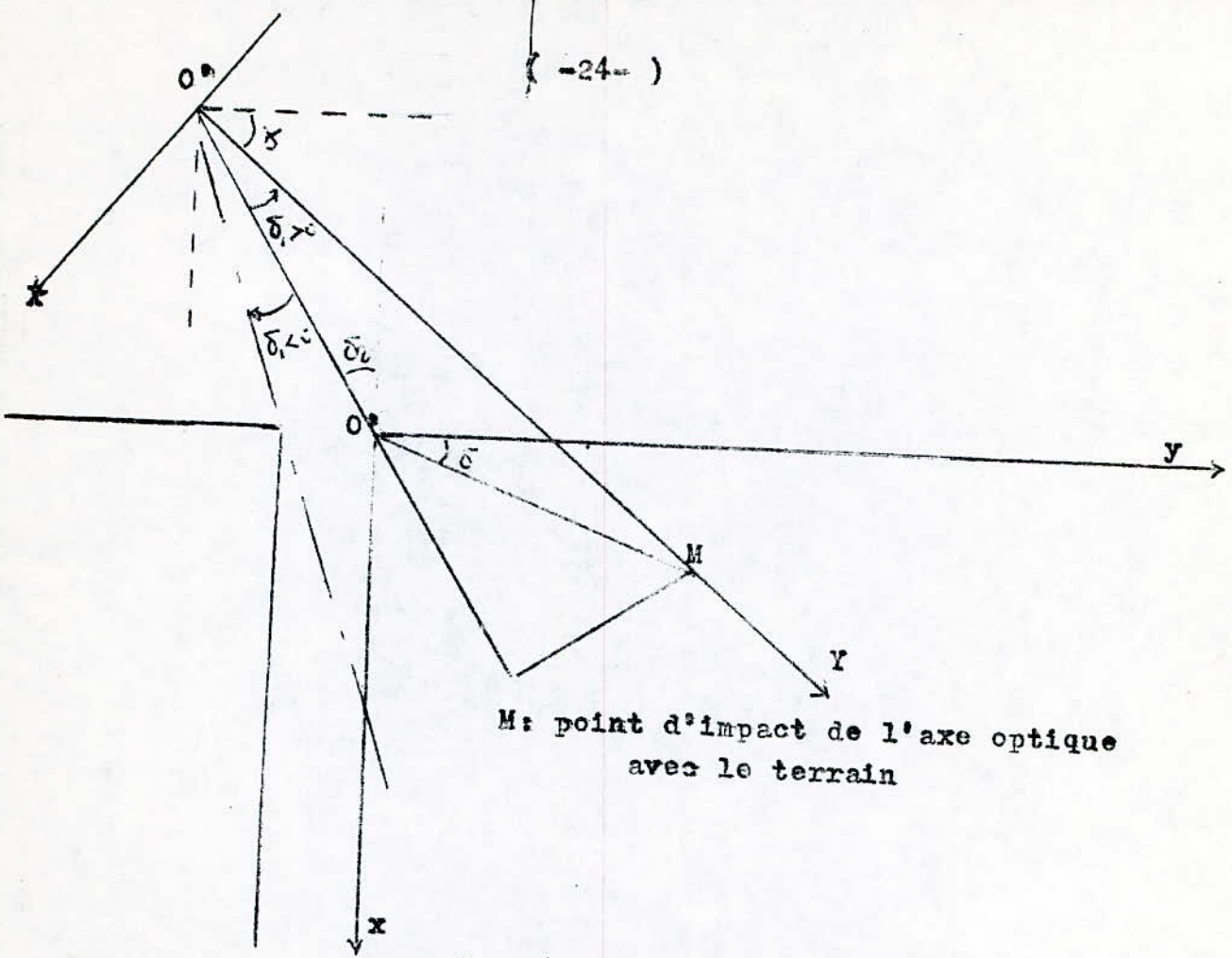
Pour déterminer le nombre de projecteurs qu'il faut pour avoir l'éclairement moyen favorable, on prendra en premier lieu un petit nombre, on calculera l'éclairement moyen correspondant, puis on fera une simple règle de trois.

Comme nous avons un très grand nombre d'opérations à faire, nous nous proposons de le faire à l'aide d'un ordinateur. Le langage choisi est celui du BASIC.

Avant d'écrire le programme, nous devons reporter tous les paramètres nécessaires au repère de référence ~~0XXX,YYY,ZZZZZZZZZZ~~

(Voir fig. 6) O', X, Y, Z.

$$\begin{aligned} \vec{OM} &= \vec{OO'} + \vec{O'M} ; & \vec{O'M} &= \vec{OM} - \vec{OO'} \\ X\vec{i}' + Y\vec{j}' &= (x-A)\vec{i} + (y-B)\vec{j} \\ \vec{j}' &= \vec{j} \cdot \cos\delta + \vec{i} \cdot \sin\delta \\ \vec{i}' &= -\vec{j} \cdot \sin\delta + \vec{i} \cdot \cos\delta \end{aligned}$$



M: point d'impact de l'axe optique avec le terrain

fig. 6a Changement de repère pour terrain de foot-ball

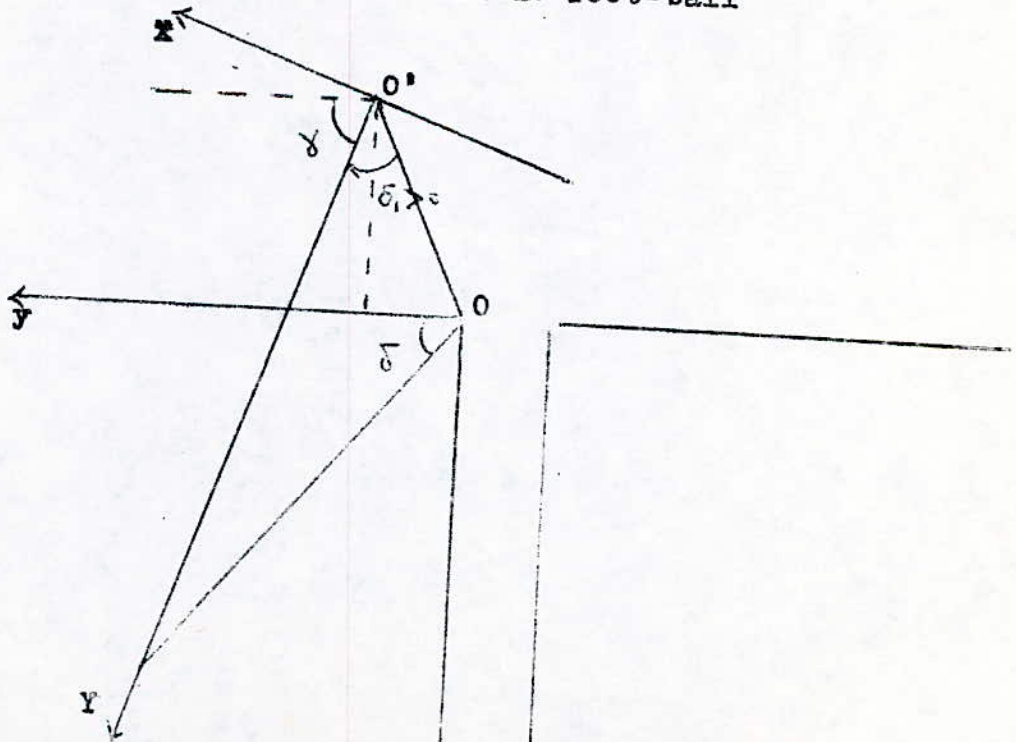


fig. 6b Changement de repere pour terrain pour sports co.

$$Y\vec{i}\sin\delta + Y\vec{j}\cos\delta + X\vec{i}\cos\delta - X\vec{j}\sin\delta = (x-A)\vec{i} + (y-B)\vec{j}$$

$$Y\sin\delta + X\cos\delta = x-A$$

$$Y\cos\delta - X\sin\delta = y-B$$

$$X = (x-A)\cos\delta - (y-B)\sin\delta$$

$$Y = (x-A)\sin\delta + (y-B)\cos\delta$$

IV-1) Détermination de δ .

$$\delta + \delta_1 = \operatorname{arctg} \frac{A}{B}; \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{MM'}{OM' + \sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{x}{y}; \quad \delta_2 = \operatorname{arctg} \frac{B}{A}$$

$$\cos(\pi/2 - \delta - \delta_2) = \frac{OM'}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \quad OM' = \sqrt{x^2 + y^2} \cos(\pi/2 - \delta - \delta_2)$$

$$\sin(\pi/2 - \delta - \delta_2) = \cos(\delta + \delta_2) = \frac{MM'}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$\text{d'où } MM' = \sqrt{x^2 + y^2} \cos(\delta + \delta_2)$$

$$\text{et } OM' = \sqrt{x^2 + y^2} \sin(\delta + \delta_2)$$

$$\delta_1 = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{x^2 + y^2} \cos(\delta + \delta_2)}{\sqrt{A^2 + B^2} + \sqrt{x^2 + y^2} \sin(\delta + \delta_2)}$$

Cet angle δ_1 est très important pour le réglage des projecteurs, ainsi que l'angle de visée V .

IV-2) Détermination de l'angle de visée V .

Le point M, considéré précédemment, est l'intersection de l'axe optique avec le sol. D'où

$$V = \operatorname{arctg} \frac{y}{z}$$

$$V = \frac{(x-A)\sin\delta + (y-B)\cos\delta}{z}$$

IV-3) Orientations des différents projecteurs.

Comme précisé, pour qu'il y ait une bonne uniformité dans l'éclairément, il faudrait que les distances entre les points de contact des différents axes optiques avec le sol ne soient pas égales. Pour exploiter mathématiquement cette constatation, nous avons pensé à ce que les distances soient en progressions arithmétique. Cela ne veut pas dire que c'est la meilleure solution, mais, elle donne des résultats satisfaisants.

Prenons l'exemple de n projecteurs.

Soit A la distance entre le dernier et le premier point/

$$x_n - x_1 = A$$

Fixons la distance entre le dernier et l'avant dernier point à e,

$$x_n - x_{n-1} = e$$

$$x_{n-1} - x_{n-2} = e + r$$

$$x_{n-2} - x_{n-3} = e + 2r$$

$$" \quad " \quad " \quad "$$

$$" \quad " \quad " \quad "$$

$$" \quad " \quad " \quad "$$

$$\begin{array}{r}
 x_2 - x_1 = e + (n-2).r \\
 \hline
 x_n - x_1 = (n-1).e + r \cdot \sum_{i=0}^{n-2} i
 \end{array}$$

d'où $r = \frac{x_n - x_1 - (n-1).e}{\sum_{i=0}^{n-2} i}$ r; raison de cette progression.

Nous remarquons que cette progression dépend de "e" choisi initialement. Donc, dans nos calculs, nous devons prendre plusieurs valeurs de "e", et choisir celle qui conviendra le mieux.

Une fois tous ces paramètres définis, nous pouvons établir brièvement l'organigramme de calcul.

bien que les progrès effectués sur les caméras ne rendent plus nécessaire ce panachage.

En résumé, le xénon donne une plus belle lumière avec un meilleur rendu de couleur, mais il est nettement plus cher que les hallogénures métalliques et ses accessoires sont plus coûteux, et qu'il faut d'avantage de puissance à cause de sa moindre efficacité.

Quant aux hallogénures métalliques, elles sont plus économiques et répondent parfaitement à nos exigences. Il faudrait choisir la lampe la plus puissante possible et qui a ^{une} efficacité lumineuse élevée.

Pour notre étude nous avons choisi une lampe de 1600 W. (nous aurions pu choisir une, plus puissante, mais nous manquons d'informations sur les lampes de ce genre existant sur le marché). La lampe choisie est la lampe MBIL/H (Voir fig. 7) Sa température de couleur est de 4000 K

Puissance (W)	Culot	Flux lumineux (lm)		eff. lumi. (lm/W)	
		à 100h	à 2000h	à 100h	à 2000h
1600	Céramique	148000	125000	92,5	78,125

I-3-1) Caractéristiques physiques:

- * Longueur de l'arc 190 ± 2 mm
- * Longueur hors tout 254 ± 2 mm
- * Longueur des contacts Moins de 4 mm
- * Diamètre de la lampe 17,7 mm
- * Embouts Céramique
- * Position de fonctionnement Horizontale
- * Tube quartz Dépoli

I-3-2) Caractéristiques lumineuses

- * Temps de montée 2' 30"
- * Durée de vie 3000h.

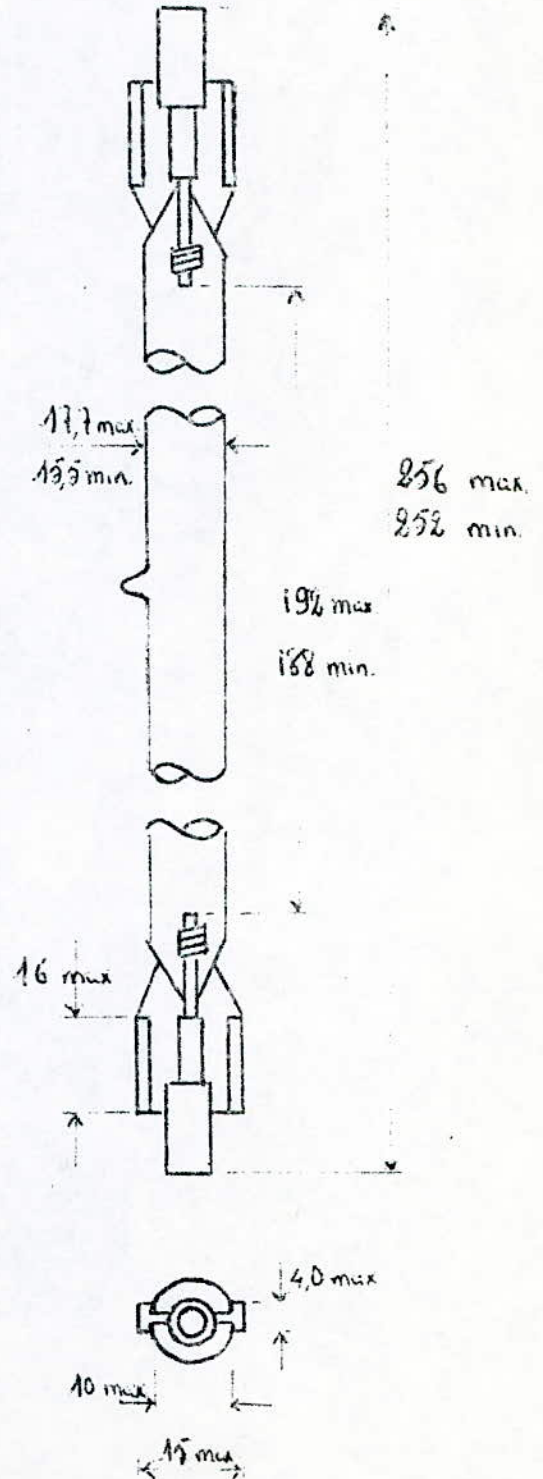
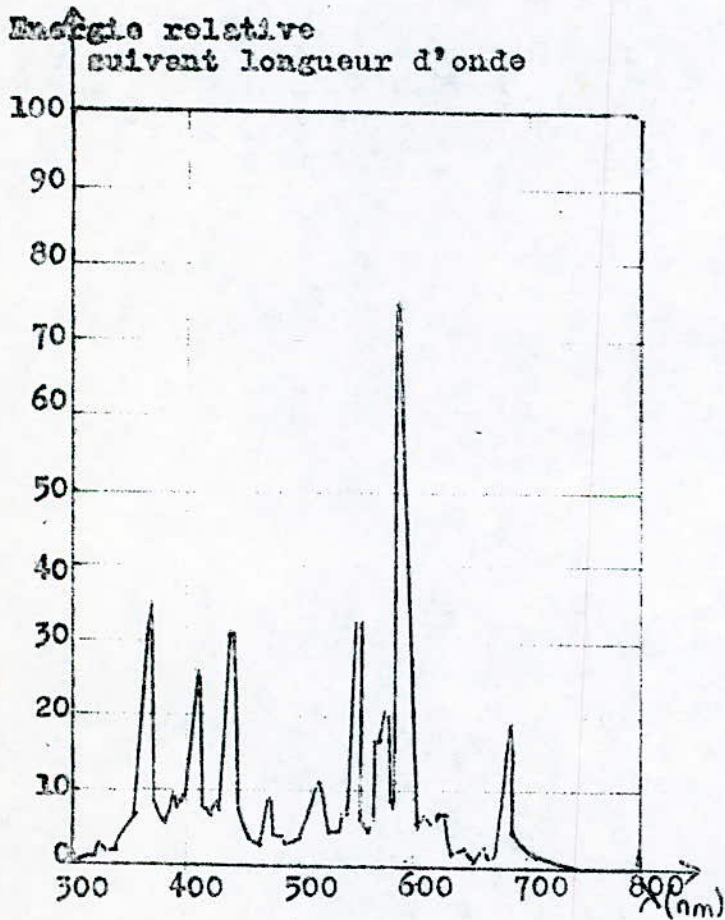


fig. 7 Schéma et caractéristique de
la lampe MBIL/H 1600 W.

Pour que le fonctionnement de cette lampe soit possible, et pour ramener le facteur de puissance le plus grand possible (très proche de 1), il faut un appareillage adéquat à monter avec la lampe.

Ces appareils sont définis par le constructeur de cette lampe à savoir, le groupe THORN.

Appareillage nécessaire:

2 ballasts AME 53-254.2 montés en parallèle
et 6 capacités MMEC 22-36 montées en parallèle.

II) CHOIX DE PROJECTEUR.

Le choix du projecteur se repose surtout sur la répartition du flux lumineux dans le plan à éclairer.

Le projecteur qui s'adapte à la lampe choisie, et dont la répartition est bonne, est le ON 1600. (Voir fig.8)

- * Léger et compact,
- * faible encombrement,
- * faible prise de vent,
- * excellent rendu de couleurs
- * et éblouissement réduit.

Il est étudié pour donner la même illumination sur de larges surfaces, avec un éblouissement très réduit, tout en ayant un plus grand angle dans le plan vertical.

II-1) Caractéristiques physiques:

* Réflecteur asymétrique, poli et anodisé, placé entre les joues et le boîtier du projecteur.

* Ensemble réalisé en alliage d'aluminium LM 6M.

* Chambre de refroidissement, largement dimensionnée, permettant le fonctionnement de la lampe dans de bonnes conditions de température.

* Boîtier de raccordement arrière avec domino en porcelaine,

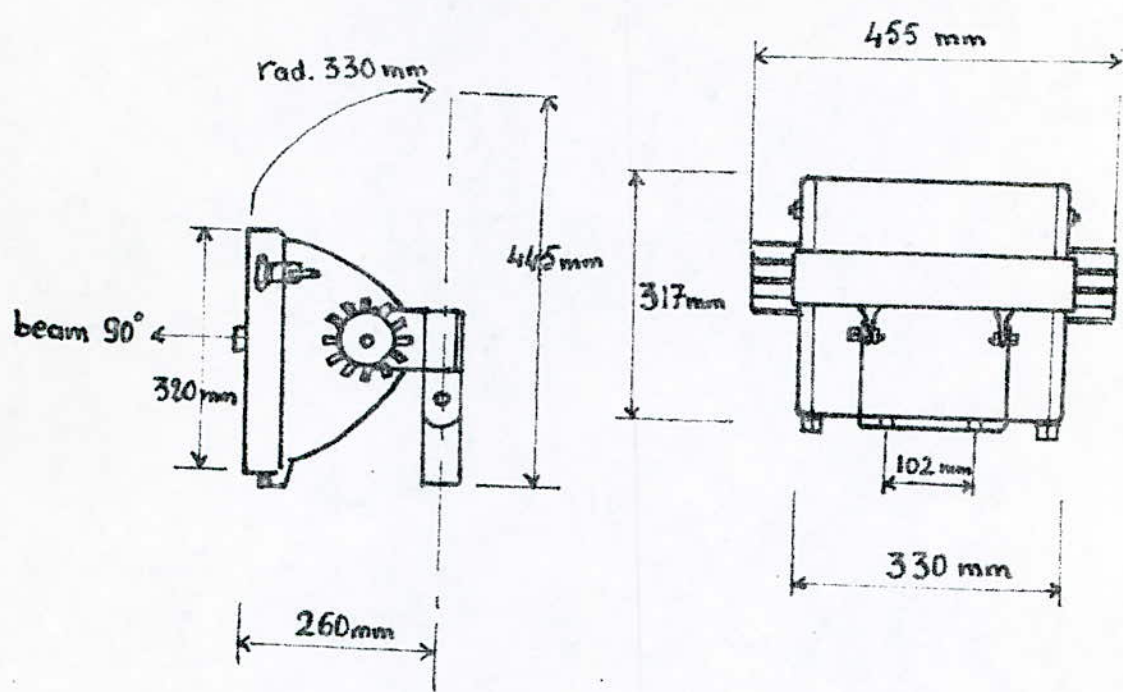


fig. 8a Projecteur ON 1600 .

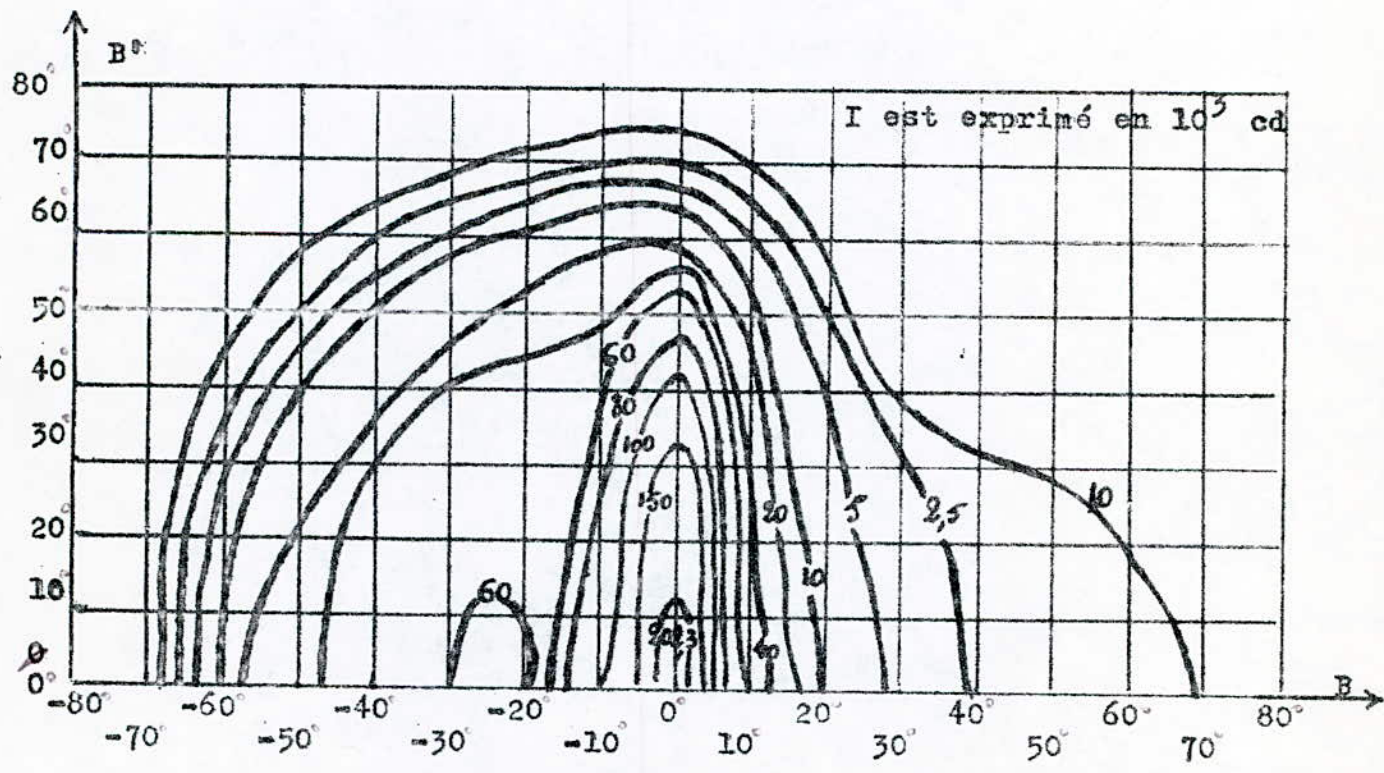


fig. 8b Courbes isocandelas du proj. ON 1600.

presse étoupe et prise de terre permettant une alimentation aisée.

* Ensemble parfaitement étanche.

* Contrôle du faisceau obtenu à l'aide d'un déflecteur interne interne en aluminium poli (celui-ci peut être enlevé pour élargir l'étendue du faisceau dans la partie courbe, située au-dessus de la pointe d'intensité).

* Appareillage (ballasts et capacités) monté séparément.

II-2) Caractéristiques électriques:

Watts	Lampe	lumens	Angle d'ouverture au 1/10 de I.A.		
			Vertical		Horizontal
			au-dessus	au dessous	
1600	MBIL/H	11500	14°	57°	98°

Angle d'ouverture au 1/2 de IA.			Eclairage Faisceau		
Vertical		Horizontal	candelas	lumens	facteur
au dessus	au dessous				
5°	8°	56°	226.000	91.140	0,79

* I.A. : Intensité axiale.

II-3) Tableau de valeurs: tiré de la courbe isocandelas.

B	B'										
	-50°	-25°	-10°	-5°	-3°	0°	2°	3°	5°	10°	50°
0°	30	50	100	150	202	226	202	150	100	60	2
10°	28	59	80	150	180	205	202	150	100	40	1,9
20°	20	50	70	100	150	160	150	130	90	38	1,5
30°	15	42	58	80	100	110	100	80	60	27	1
50°	0,5	10	19	20	20	20	19	18	18	10	0,2

* Les valeurs à l'intérieur du tableau sont exprimées en 10³ cd.

RESULTATS DES CALCULS

I) APPROXIMATIONS FAITES PENDANT LE CALCUL.

Nous avons jugé utile de faire quelques approximations pendant l'élaboration du programme, pour faciliter quelque peu les calculs, sans que cela n'influe beaucoup sur les résultats.

Ces approximations sont faites sur:

I-1) Hauteur de feu.

Durant tout le calcul, nous avons considéré que les sources sont ponctuelles et regroupées en un même point situé à une hauteur de 40m.

I-2) Table photométrique:

Vu les exigences du programme (il ne peut pas contenir beaucoup de valeurs) nous avons pris un nombre restreint de I(B', B).

I-3) Interpolation:

Durant le calcul de B' et B nous avons affaire souvent à des valeurs n'existant pas sur la table photométrique, alors, nous faisons appel à une interpolation linéaire, qui, en réalité est fautive.

Exemple de calcul d'interpolation:

Soit B' et B, valeurs trouvées par le calcul et n'existant pas sur le tableau de valeurs.

B1' <= B' <= B2' B1' et B2' valeurs prises dans le tableau
B1 <= B <= B2 B1 et B2 " " " " " " " "

d'où I(B1', B1) ; I(B1', B2) ; I(B2', B1) ; I(B2', B2) existent,

calculons alors I(B', B)

Calculons alors $I(B', B)$ (-34-)

$$I' = I(B'_1, B_1) + \left[I(B'_2, B_1) - I(B'_1, B_1) \right] \cdot \frac{B' - B'_1}{B'_2 - B'_1}$$

$$= I(B'_1, B_1) \cdot \frac{B'_2 - B'}{B'_2 - B'_1} + I(B'_2, B_1) \cdot \frac{B' - B'_1}{B'_2 - B'_1}$$

$$I'' = I(B'_1, B_2) + \left[I(B'_2, B_2) - I(B'_1, B_2) \right] \cdot \frac{B' - B'_1}{B'_2 - B'_1}$$

$$= I(B'_1, B_2) \cdot \frac{B'_2 - B'}{B'_2 - B'_1} + I(B'_2, B_2) \cdot \frac{B' - B'_1}{B'_2 - B'_1}$$

$$I(B', B) = I' + (I'' - I') \cdot \frac{B - B_1}{B_2 - B_1} = I' \left(1 - \frac{B - B_1}{B_2 - B_1} \right) + I'' \cdot \frac{B - B_1}{B_2 - B_1}$$

$$= I' \cdot \frac{B_2 - B}{B_2 - B_1} + I'' \cdot \frac{B - B_1}{B_2 - B_1}$$

d'où

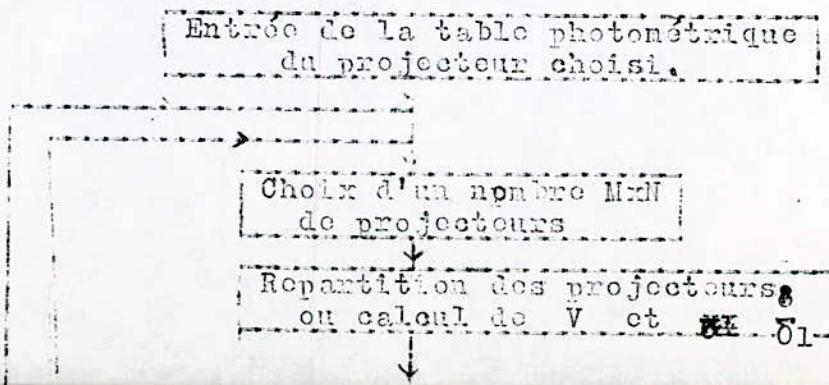
$$I(B', B) = I(B'_1, B_1) \cdot \frac{(B'_2 - B') \cdot (B_2 - B)}{(B'_2 - B'_1) \cdot (B_2 - B_1)} + I(B'_2, B_1) \cdot \frac{(B' - B'_1) \cdot (B_2 - B)}{(B'_2 - B'_1) \cdot (B_2 - B_1)}$$

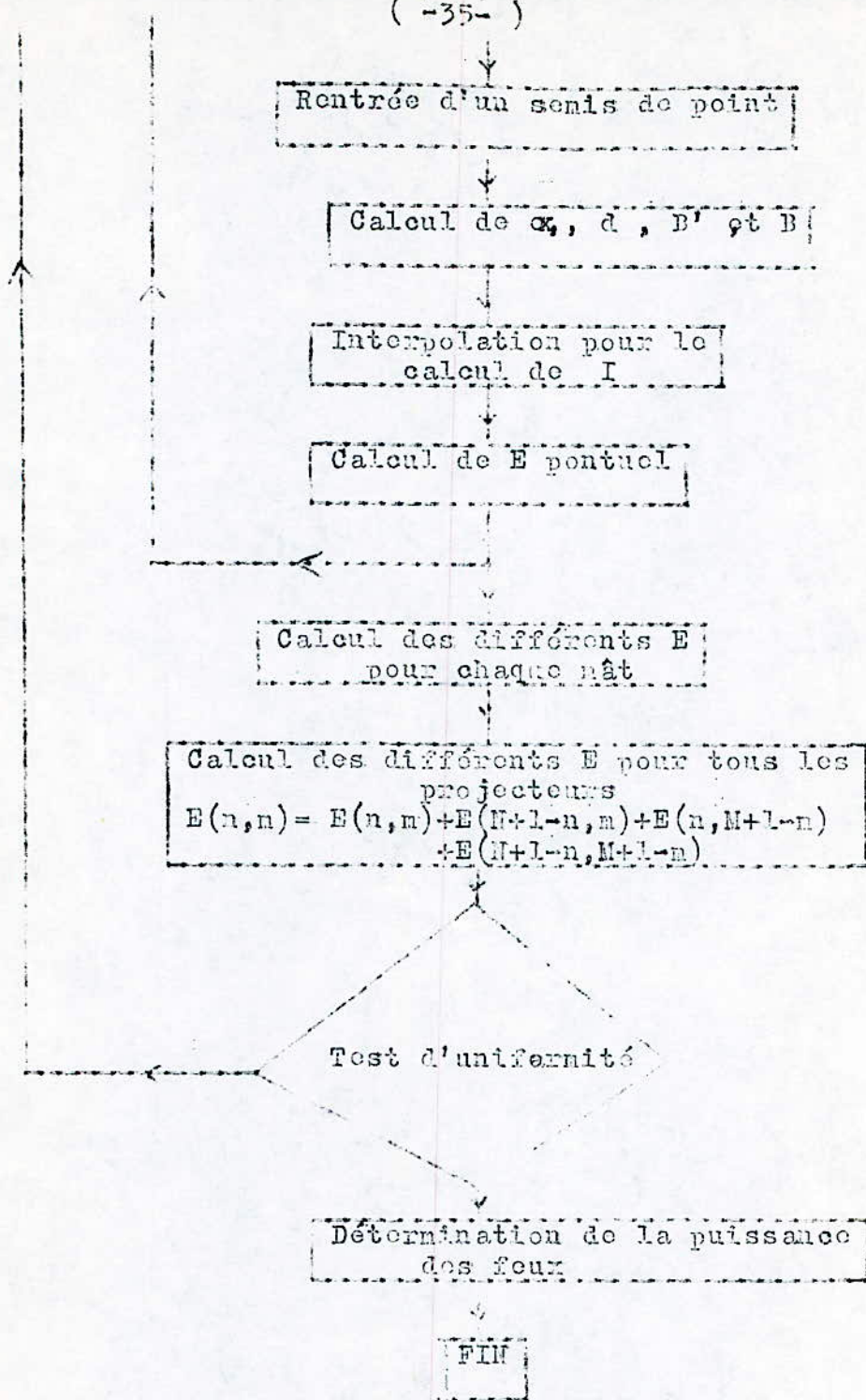
$$+ I(B'_1, B_2) \cdot \frac{(B'_2 - B') \cdot (B - B_1)}{(B'_2 - B'_1) \cdot (B_2 - B_1)} + I(B'_2, B_2) \cdot \frac{(B' - B'_1) \cdot (B - B_1)}{(B'_2 - B'_1) \cdot (B_2 - B_1)}$$

I-4) Éclairément vertical:

Comme défini, l'éclairément vertical doit être calculé à 1 m du sol. Mais comme la hauteur de feu est très grande, l'erreur est insignifiante si nous prenons cet éclairément au niveau du sol.

II) ÉCRITURE DE L'ORGANIGRAMME.





Dans cet organigramme, il faudrait tenir compte du test concernant le contraste, c'est à dire:

$$\frac{\text{Eclairément sur les bords du terrain}}{\text{Eclairément à l'extérieur du terrain}} \geq 0,4$$

III) ECRITURE DU PROGRAMME.

En tenant compte de toutes les approximations, et du choix du projecteur et de la lampe, voici le programme définitif que nous avons adopté.

```

10  DIM S1(8),S2(4),N(4,8),L1(4,8),V1(4,8),A2(11,20),V2(11,20),
    V(11,20),V9(11,20),R9(11,20),H1(11,20)
110  FOR I=0 TO 8
120  READ S1(I)
130  PRINT S1(I)
140  NEXT I
150  DATA -50.0,-10.0,-5.0,-3.0,0.0,2.0,3.0,5.0,50.0
160  FOR I=0 TO 4
170  READ S2(I)
180  PRINT S2(I)
190  NEXT I
200  DATA 0.0,10.0,20.0,30.0,50.0
210  FOR J=0 TO 8
220  FOR I=0 TO 4
230  READ N(I,J)
240  PRINT N(I,J)
250  NEXT I
260  NEXT J
270  DATA 30.0,28.0,20.0,15.0,0.5,100.0,80.0,70.0,58.0,19.0,150.0
    150.0,100.0,80.0,20.0,202.0,180.0,150.0,100.0,20.0,
    226.0,205.0,160.0,110.0,20.0,202.0,202.0,150.0,100.0,12
    19.0,150.0,140.0,130.0,80.0,18.0,100.0,100.0,90.0,
    60.0,18.0,2.0,1.9,1.6,1.0,0.2
280  N=4 ; M=2*N ; Y4=3 ; X0=20.5 ; X2=19.5 ; Y3=42 ; Y0=43 X3=3
    Z=40 ; A=-22 ; B=-8
290  MAT A2=ZER ; MAT V2=ZER
300  KL= 0
310  FOR M1=1 TO N-1
320  KL=KL+M1

```



```

330 NEXT M1
340 R1=(X0-X3-NM(X0-X2))/K1
350 K2=0
360 FOR M2=1 TO M-1
370 K2=K2+M2
380 NEXT M2
390 R2=(Y0-Y4-MM(Y0-Y3))/K2
400 L2=ATN(B/A)
420 Y1=Y3
420 FOR Q=1 TO M
430 X1=X2
440 FOR P=1 TO N
450 IF X1=0 GOTO 490
460 IF Y1=0 GOTO 510
470 L3=ATN(X1/Y1)
480 GOTO 520
490 L3=0
500 GOTO 520
510 L3=PI/2
520 L1(P,Q)=ATN(SQR(X1**2+Y1**2)*COS(L3+L2)/(SQR(A**2+B**2)+
SQR(X1**2+Y1**2)*SIN(L3+L2)))
530 L4=ATN(A/B)-L1(P,Q)
540 Y2=(Y1-B)*COS(L4)+(X1-A)*SIN(L4)
550 V1(P,Q)=ATN(Y2/Z)
560 Y5=-2.5
570 FOR K=1 TO 20
580 X5=-2.5
590 FOR L=1 TO 11
600 X6=(X5-A)*COS(L4)-(X5-B)*SIN(L4)

```

```

610 Y6=(Y5-B)*COS(L4)+(X5-A)*SIN(L4)
620 D=SQR(X6**2+Y6**2+Z**2)
630 L5=ATN(SQR(X6**2+Y6**2)/Z)
640 B1=(ATN(Y6/Z)-V1(P,Q))*180/PI
650 B2=(ATN(ABS(X6)/SQR(X6**2+Z**2)))*180/PI
655 J=0
660 IF B1<50.0 GOTO 800
670 IF B1>S1(J) GOTO 700
680 B3=S1(J)/; B4=S1(J-1)
690 GOTO 730
700 IF J>8 GOTO 800
710 J=J+1
720 GOTO 670
730 I=0
740 IF B2>S2(I) GOTO 770
750 B5=S2(I) ; B6=S2(I-1)
760 GOTO 820
770 IF I>6 GOTO 800
780 I=I+1
790 GOTO 740
800 N1=0
810 GOTO 870
820 N2=N(I-1, J-1)*(B5-B2)*(B3-B1)
830 N3=N(I, J-1)*(B3-B1)*(B2-B6)
840 N4=N(I-1, J)*(B5-B2)*(B1-B4)
850 N5=N(I, J)*(B2-B6)*(B1-B4)
860 N1=(N2+N3+N4+N5)/((B3-B4)*(B5-B6))
870 H1(L, E)=N1*COS(L5)/D**2
880 V(L, K)=N1*SIN(L5)/D**2

```



```

890   X5=X5+5
910   NEXT L
920   Y5=Y5+5
940   NEXT K
960   MAT A2=A2+H1
970   MAT V2=V2+V
980   X1=X1-X0+X2-P=R1
990   NEXT P
1000  Y1=Y1-Y0+Y3-Q=R2
1010  NEXT Q
1040  FOR J=1 to 20
1050  FOR I=1 TO 11
1060  H9(I,J)=A2(I,J)+A2(I,21-J)+A2(12-I,J)+A2(12-I,21-J)
1070  V9(I,J)=V2(I,J)+V2(I,21-J)+V2(12-I,J)+V2(12-I,21-J)
1080  NEXT I
1090  NEXT J
1120  T1=0 ; T2=0 ; T3=0 ; T4=0
1130  FOR J=2 TO 19
1140  FOR I=2 TO 10
1150  T1=T1+H9(I,J)
1160  T2=T2+V9(I,J)
1170  NEXT I
1180  NEXT J
1210  H3=T1/162
1220  V7=T2/162
1230  FOR J=2 TO 19
1240  FOR I=1 TO 2
1250  T3=T3+H9(I,J)
1260  NEXT I
1280  NEXT J

```

```

1280 FOR J=1 TO 2
1290 FOR I=2 TO 10
1300 T4=T4+H9(I,J)
1310 NEXT I
1320 NEXT J
1400 H7=10000 ; W=10000 ; H8=0 ; V8=0
1410 FOR J=2 TO 19
1420 FOR I=2 TO 10
1430 IF H9(I,J)<H8 GOTO 1450
1440 H8<H9(I,J)
1450 IF V9(I,J)<V8 GOTO 1470
1460 V8=V9(I,J)
1470 IF H9(I,J)>H7 GOTO 1490
1480 H7=H9(I,J)
1490 IF V9(I,J)>W GOTO 1510
1500 W=V9(I,J)
1510 NEXT I
1520 NEXT J
1530 MAT PRINT #1, H9;
1550 MAT PRINT #1, V9;
1570 MAT PRINT #1, V1;
1590 MAT PRINT #1, L1;
1610 PRINT #1, T2= ; PRINT #1, W=
1620 PRINT #1, T2= ; PRINT #1, T4=
1630 PRINT #1, T3= ; PRINT #1, H3=
1640 PRINT #1, H8= ; PRINT #1, V7=
1650 PRINT #1, V8= ; PRINT #1, H7=
1670 END

```


IV) RESULTATS (Voir fig. 9)

δ_1 est l'angle, suivant l'horizontale, que fait le projecteur ou plus exactement, son axe optique avec le point de corner. Le sens positif étant vers le centre du terrain.

Donc, l'orientation du projecteur se fait à l'aide des angles V , verticalement, et δ_1 , horizontalement.

* Nombre de mâts:	$n = 32$ (par mât)
* Eclaircement horizontal moyen:	$E_{\text{moy}} = 1341$ Lux
* Eclaircement horizontal minimum:	$E_{\text{hmin}} = 938$ Lux
* Eclaircement horizontal maximum:	$E_{\text{hmax}} = 1562$ Lux
* Eclaircement vertical moyen:	$E_{\text{vmoy}} = 1817$ Lux
* Eclaircement vertical minimum:	$E_{\text{vmin}} = 1530$ Lux
* Eclaircement vertical maximum:	$E_{\text{vmax}} = 2185$ Lux
* Facteur d'uniformité horizontal:	$\mu_1 = 0,7$
* Rapport $\eta_1 = E_{\text{hmax}}/E_{\text{hmin}}$:	$\eta_1 = 1,66$
* Rapport d'uniformité verticale:	$\mu_2 = 0,84$
* Rapport $\eta_2 = E_{\text{vmax}}/E_{\text{vmin}}$:	$\eta_2 = 1,43$
* Eclairc. horiz. moyen à l'ext. du terrain: ..	$E_{\text{h moy ext}} = 1512$ lux
* Rapport $\eta_3 = E_{\text{h moy}}/E_{\text{h moy ext}}$:	$\eta_3 = 0,89$

Orientations des projecteurs:

$\delta_1 =$	30°	29°	27°	24°	20°	14°	6°	-5°
	33°	31°	29°	26°	22°	16°	8°	-4°
	37°	36°	34°	31°	27°	20°	11°	-1°
	43°	42°	41°	38°	34°	28°	18°	4°
$V =$	58°	57°	57°	55°	53°	51°	49°	47°
	57°	57°	56°	54°	52°	50°	47°	45°
	56°	55°	54°	52°	50°	47°	44°	41°
	54°	53°	52°	50°	47°	43°	39°	34°

1530 1691	1536 1680	1501 1607	1479 1529	1448 1438	1431 1370
Ligne des buts					
1484 1752	1495 1746	1481 1686	1449 1597	1452 1531	1436 1451
1463 1833	1433 1782	1456 1761	1433 1675	1440 1607	1452 1543
1390 1850	1411 1856	1423 1820	1415 1744	1420 1676	1440 1597
1344 1889	1365 1895	1391 1875	1412 1823	1386 1707	1431 1650
1284 1901	1358 1924	1352 1909	1375 1848	1380 1760	1429 1716
1219 1892	1228 1883	1284 1892	1355 1890	1419 1862	1456 1810
1097 1779	1130 1806	1217 1865	1342 1934	1475 1987	1557 1976
995 1666	1028 1698	1146 1814	1336 1978	1531 2110	1679 2162
938 1599	970 1633	1090 1751	1328 1999	1563 2186	1730 2250
Ligne médiane				Ligne de touche	

fig. 2 Eclairéments horizontaux (valeurs du haut)
(9) et verticaux (" " bas)
d'un quart du terrain de foot-ball

V) INTERPRETATION DES RESULTATS.

En ce qui concerne l'éclairement moyen, la valeur trouvée est bonne, et l'appareil choisi répond parfaitement à nos exigences. En effet, il nous donne l'éclairement demandé pour un nombre réduit de projecteurs.

Mais l'orientation de ces derniers reste à améliorer, car, ils nous donnent un facteur d'uniformité d'éclairement horizontal égal à 0,7, valeur tout juste acceptable.

Nous remarquons aussi, que l'éclairement à l'extérieur du terrain est aussi important que celui à l'intérieur. Donc nous devons concentrer beaucoup plus les faisceaux vers l'intérieur.

Quant au rapport η_2 , il répond parfaitement aux exigences de la télévision couleur.

VI) AMELIORATIONS A FAIRE.

L'amélioration devrait se faire de telle manière à augmenter le facteur d'uniformité, et concentrer le flux lumineux beaucoup plus vers l'intérieur du terrain. Pour ce faire, les axes lumineux des projecteurs doivent être plus concentrés vers le centre du terrain.

Le meilleur résultat possible peut être obtenu après plusieurs itérations. Par manque de temps et de moyens surtout, nous n'avons pas pu faire plusieurs calculs, néanmoins, nous pouvons avancer une solution qui, sans nul doute, aura un résultat meilleur que celui trouvé.

Nous devons remplacer dans le programme de calcul les valeurs:

Y4 = 10	au lieu de	Y4 = 3
X0 = 23,5	" " "	X0 = 20,5
X2 = 22,5	" " "	X2 = 19,5
Y3 = 45	" " "	Y3 = 42
Y0 = 46	" " "	Y0 = 43
X3 = 7	" " "	X3 = 3

$$\delta_1 = \begin{bmatrix} 36^\circ & 31^\circ & 22^\circ & 7^\circ \\ 30^\circ & 26^\circ & 18^\circ & 7^\circ \\ 27^\circ & 23^\circ & 17^\circ & 7^\circ \\ 24^\circ & 22^\circ & 16^\circ & 7^\circ \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} 36^\circ & 35^\circ & 34^\circ & 32^\circ \\ 41^\circ & 41^\circ & 40^\circ & 39^\circ \\ 46^\circ & 45^\circ & 45^\circ & 44^\circ \\ 48^\circ & 48^\circ & 47^\circ & 46^\circ \end{bmatrix}$$

Ici $\bar{\delta}_1 = 0$, quand l'axe optique est dirigé suivant le coin le plus proche du mât du terrain considéré. Le sens positif est toujours vers l'intérieur du terrain.

II) Interpretations des résultats.

L'éclairement horizontal moyen est un peu faible, mais nous pouvons le garder parcequ'il est compris entre 300 et 600 lux.

Par contre le facteur d'uniformité horizontale est insuffisant, nous devons l'améliorer quelque peu.

III) AMELIORATION DES RESULTATS.

L'amélioration devrait se faire, comme pour le stade de foot-ball, de telle manière à augmenter le degré d'uniformité. On doit, alors, concentrer les faisceaux lumineux vers l'intérieur du terrain. La solution proposée est: de modifier les valeurs suivantes dans le programme.

Y3= 20	au lieu de	Y3= 17
Y0= 21	" " "	Y0= 18
Y4= 5	" " "	Y4= 3
X0= 23,5	" " "	X0= 20,5
X2= 22,5	" " "	X2= 19,5
X3= 5	" " "	X3= 3

* Emplacement du pylone

6 623 403	728 459	735 466	665 430	591 398	500 357	441 334	387 310
509 367	589 417	617 437	597 428	537 400	476 371	420 345	370 318
417 333	483 379	518 405	517 409	483 395	448 380	400 353	348 320
349 305	402 346	446 380	448 387	439 389	409 375	378 356	335 326
300 283	344 320	384 355	401 375	396 378	381 373	352 353	324 332
267 269	301 300	339 336	365 364	366 371	355 368	332 349	311 334
244 259	270 284	307 321	335 353	345 368	335 362	318 347	297 331
231 253	251 275	285 310	319 348	332 365	322 358	307 345	289 327
224 251	241 268	275 305	310 345	323 361	316 357	302 345	283 327

Ligne médiane du terrain.

fig. 10 Eclairagements horizontaux (valeurs du haut)
 et verticaux (" " bas)
 du terrain pour sports co;.

Programme pour terrain sports collectifs.

```

10   DIM S1(8),S2(4),N(4,8),L1(4,4),V1(4,4),A2(18,8),V2(18,8)
      V(18,8),V9(18,8),H9(18,8),H1(18,8)
110  FOR I=0 TO 8
120  READ S1(I)
130  PRINT S1(I)
140  NEXT I
150  DATA -50.0,-10.0,-5.0,-3.0,0.0,2.0,3.0,5.0,50.0
160  FOR I=0 TO 4
170  READ S2(I)
180  PRINT S2(I)
190  NEXT I
200  DATA 0.0,10.0,20.0,30.0,50.0
210  FOR J=0 TO 8
220  FOR I=0 TO 4
230  READ N(I,J)
240  PRINT N(I,J)
250  NEXT I
260  NEXT J
270  DATA 30.0,28.0,20.0,15.0,0.5,100.0,80.0,70.0,58.0,19.0,150.0
      150.0,100.0,80.0,20.0,202.0,180.0,150.0,100.0,20.0,
      226.0,205.0,160.0,110.0,20.0,202.0,202.0,150.0,100.0,
      10.0,150.0,140.0,130.0,80.0,18.0,100.0,100.0,90.0,
      60.0,18.0,2.0,1.9,1.5,1.0,0.2
280  N=4;M=N; Y4=17 ; X0=20.5 ; X2=19.5 ; Y3=3 ; Y0=18 ; X3=3
      Z=40 ; A=-22 ; B=3
290  MAT A2=ZER ; MAT V2=ZER
300  K1=0
310  FOR M1=1 TO N-1
320  K1=K1+M1
330  NEXT M1
340  R1=(X0-X3-N*(X0-X2))/K1
350  K2=0
360  FOR M2=1 TO M-1
370  K2=K2+M2
380  NEXT M2
390  R2=(Y0-Y4-M*(Y0-Y3))/K2
400  L2=ATN(B/A)
410  Y1=Y3
420  FOR Q=1 TO M
430  X1=X2
440  FOR P=1 TO N
450  IF X1=0 GOTO 490
460  IF Y1=0 GOTO 510
470  L3=ATN(X1/Y1)
480  GOTO 520
490  L3=0
500  GOTO 520
510  L3=PI/2
520  L1(P,Q)=ATN(SQR(X1**2+Y1**2)*COS(L3+L2)/(SQR(A**2+B**2)+
      SQR(X1**2+Y1**2)*SIN(L3+L2)))
530  L4=ATN(A/B)+L1(P,Q)
540  Y2=(X1-A)*COS(L4)+(Y1-B)*SIN(L4)
550  V1(P,Q)=ATN(Y2/Z)
560  Y5=15.75
570  FOR K=1 TO 8
580  X5=1.25
590  FOR L=1 TO 18
600  X6=(Y5-B)*COS(L4)-(X5-A)*SIN(L4)

```

```

616 Y6=(X5-A)*COS(L4)+(Y5-B)*SIN(L4)
620 D=SQR(X6**2+Y6**2+Z)
630 L5=ATN(SQR(X6**2+Y6**2)/Z)
640 B1=(ATN(Y6/Z)-V1(P,Q))*180/PI
650 B2=ATN(ABS(X6)/SQR(X6**2+Z**2))*180/PI
655 J=0
660 IF B1 < -50.0 GOTO 800
670 IF B1 >= S1(J) GOTO 700
680 B3=S1(J) ; B4=S1(J-1)
690 GOTO 730
700 IF J >= 8 GOTO 300
710 J=J+1
720 GOTO 670
730 I=0
740 IF B2 >= S2(I) GOTO 770
750 B5=S2(I) ; B6=S2(I-1)
760 GOTO 820
770 IF I >= 4 GOTO 800
780 I=I+1
790 GOTO 740
800 N1=0
810 GOTO 870
820 N2=N(I-1, J-1)*(B5-B2)*(B3-B1)
830 N3=N(I, J-1)*(B3-B1)*(B2-B6)
840 N4=N(I-1, J)*(B5-B2)*(B1-B4)
850 N5=N(I, J)*(B2-B6)*(B1-B4)
860 N1=(N2+N3+N4+N5)/((B3-B4)*(B5-B6))
870 H1(L, K)=N1*COS(L5)/D**2
880 V(L, K)=N1*SIN(L5)/D**2
900 X5=X5+2.5
910 NEXT L
930 Y5=Y5-2.5
940 NEXT K
960 MAT A2=A2+H1
970 MAT V2=V2+V
980 X1=X1-X0+X2-P**R1
990 NEXT P
1000 Y1=Y1-Y0+Y3-Q**R2
1010 NEXT Q
1040 FOR J=1 TO 8
1050 FOR I=1 TO 18
1060 H9(I, J)=A2(I, J)+A2(19-I, J)
1070 V9(I, J)=V2(I, J)+V2(19-I, J)
1080 NEXT I
1090 NEXT J
1120 T1=0 ; T2=0
1130 FOR J=1 TO 8
1140 FOR I=1 TO 18
1150 T1=T1+H9(I, J)
1160 T2=T2+V9(I, J)
1170 NEXT I
1180 NEXT J
1210 H3=T1/144
1220 V7=T2/144
1400 H7=10000 ; W=10000 ; H8=0 ; V8=0
1410 FOR J=1 TO 8
1420 FOR I=1 TO 18
1430 IF H9(I, J) < H8 GOTO 1450

```



```
1440 H8=H9 (I,J)
1450 IF V9 (I,J) < V8 GOTO 1470
1460 V8=V9 (I,J)
1470 IF H9 (I,J) > H7 GOTO 1490
1480 H8=H9 (I,J)
1490 IF V9 (I,J) > W GOTO 1510
1500 W=V9 (I,J)
1510 NEXT I
1520 NEXT J
1530 MAT PRINT H9;
1540 MAT PRINT V9;
1550 MAT PRINT V1;
1560 MAT PRINT L1;
1570 PRINT T2=
1580 PRINT T1=
1590 PRINT T3=
1600 PRINT H8=
1610 PRINT V8=
1620 PRINT W=
1630 PRINT T4=
1640 PRINT H3=
1650 PRINT H7=
1660 PRINT W7=
1670 END
```


Beaucoup plus élégant, mais plus cher parcequ'ils sont plus lourds.

I-1-3) Pylones tubulaires:

Sont à section ronde ou elliptique, ne conviennent pas pour les grande hauteurs.

Sans la moindre protection contre les éléments atmosphériques, l'acier est sujet à la corrosion, d'où ces pylones métalliques doivent être protégés à l'aide de la peinture, la galvanisation à chaud ou la combinaison des deux méthodes.

I-2) Pylone en béton.

Les pylones en béton sont choisis en raison de leur résistance à la corrosion, toutefois, ils sont lourds et d'un maniement difficile qu'on peut considérer comme un inconvénient sérieux. Par contre, les pylones en acier peuvent être assemblés sur place.

II) HERSES.

Les projecteurs sont presque toujours fixés sur une plate forme située au sommet du pylone.

La construction des herses dépend beaucoup du nombre de projecteurs à y fixer. La herse peut être fixe, ou consister en une construction métallique abaissable jusqu'au sol.

Dans le premier cas, le technicien devra ^{être} transporter jusqu'en haut pour procéder aux travaux d'entretien et au remplacement des lampes. Pour cela il faut grimper au mât. Dans ce cas, il faut prendre des précautions rigoureuses (vu la hauteur du mât) pour assurer la sécurité du personnel.

De part leur forme, les herses participent d'une manière non négligeable aux efforts en pied du pylone. Trop haute, elle augmente le bras de levier, trop large, elle crée un couple de torsion. Il faut donc constamment chercher un moyen terme.

III) MOYEN D'ACCES.

Trois moyens d'accès:

III-1) Echelle crinoline:

Echelle classique avec des arceaux, faible sécurité.

III-2) Echelle classique:

Equipée d'un rail ou conçu spécialement. Un de ses montants étant en fer "T" afin que glisse un dispositif arrimé à une ceinture de sécurité. En cas de chute, il s'exerce immédiatement une pression vers le bas qui libèrent les galets, permettant aux parties de blocage de s'appliquer contre le rail arrêtant le dispositif instantanément, même sur un rail verglacé ou huileux.

III-3) Chariot ascencour:

Moyen très coûteux.

IV) CHOIX DU MAT et DU MOYEN D'ACCES. (Voir fig. II)

Notre choix de mât se porte sur celui à treillis métallique et comme moyen d'accès, l'ecelle classique. Quant à la herse, elle devrait ^{être} incliner légèrement vers le bas d'un angle de 10° envi environ, pour réduire un peu la prise de vent.

Dans chaque herse, il y a 48 projecteurs (32 pour le foot-ball et 16 pour les autres sports) répartis en 6 x 8. Il faudrait tenir compte de l'entretien des projecteurs, donc prévoir assez de place au manipulateur pour faire ce travail.

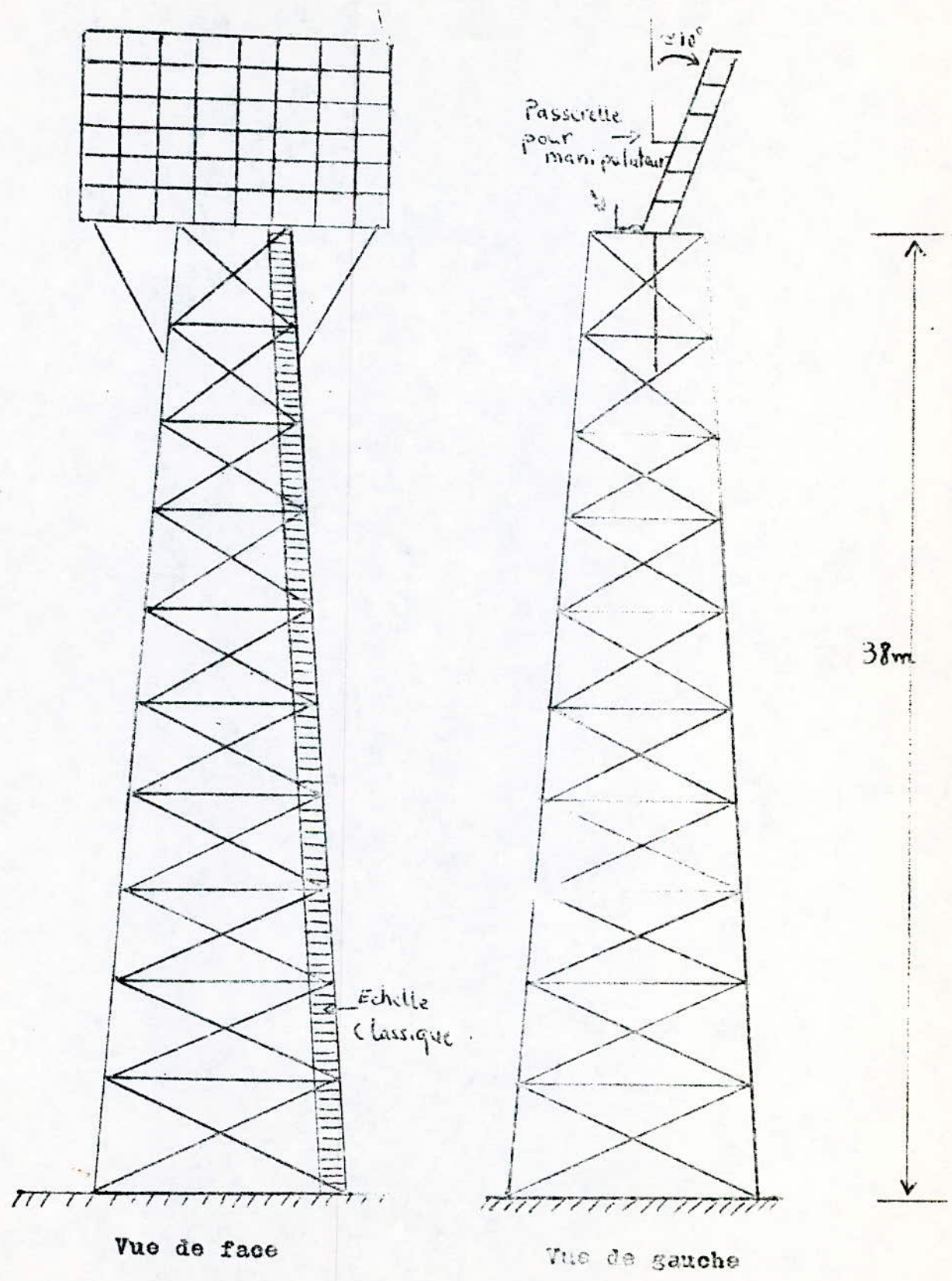


fig. 11 Pylone en treillis métalliques

S (mm ²) \ I (A)	1,5	2,5	4	6	10	16	25
6	78	120	200	310	/	/	/
8	56	96	150	230	380	/	/
10	44	76	120	180	310	490	/

Donc d'après le tableau, nous prendrons comme conducteur, le cable de cuivre de section 6mm².

Vérification:

Chute de tension de la ligne:

$$\Delta V = \rho \cdot L/S \cdot I_n = 1,66 \cdot 10^{-8} \cdot 177,7 \cdot 6/6 \cdot 10^{-6} = 3,8V$$

Chute de tension admissible:

$$\Delta V = U_n \cdot 3\% = 380 \cdot 3\% / \sqrt{3} = 6,6V$$

Nous choisissons le cable U500 VGV: -Enveloppe: isolante, polychlorure de vinyl.

-Bournage: Matière plastique ou élastique formant gaine autour du cond.

-Gaine de protection métallique: polychlorure de vinyl

II) PROTECTION.

Pour la protection des cables, nous avons opté pour les fusibles.

II-1) Fusible ou coupe circuit à fusible:

Comportez un élément sensible à la chaleur dégagée par le passage d'un courant, et qui fond lorsque cette chaleur dépasse une certaine valeur.

Les principales caractéristiques du fusible sont:

* Le mode de remplacement de l'élément fusible; remplacement ou non sous tension, rechargeable ou non, calibré ou non.

- * Le degré de protection contre les contacts accidentels.
- * Le degré de protection contre les agents extérieurs.
- * La solidité des enveloppes.
- * Le nombre de pôles.
- * Le courant nominal: celui que le fusible peut supporter indéfiniment sans que l'échauffement dépasse les limites prescrites
- * Pouvoir de coupure: il s'exprime pour la valeur la plus élevée du courant de court-circuit qu'il peut couper sous une tension donnée.

Le fusible choisi pour la protection de la ligne est: le fusible de
25A.

Sur chaque conducteur, doivent être placés donc, en série, l'appareillage nécessaire au fonctionnement de la lampe (ballasts et capacités), un fusible de protection et un contacteur. (Voir fig.12)
II-2) Disjoncteur.

Le disjoncteur doit être placé immédiatement en aval du transformateur. Il occupe les fonctions suivantes:

- * d'interrupteur,
- * des fusibles
- * protection contre les surcharges

Nous avons besoin de 4 disjoncteurs (un, pour chaque mât) pour le terrain de foot-ball, et 4 disjoncteurs pour les autres terrains.
Choix de disjoncteur:

- * Disjoncteur pour terrain de foot-ball:

Courant nominal passant par le disjoncteur: ~~XXXXXX~~
 $11 \times 7,6 = 83,6 \text{ A.}$

- * Disjoncteur pour les autres terrains:

Courant nominal est: $6 \times 7,6 = 45,6 \text{ A.}$

Donc les disjoncteurs sont du type F100-RL25

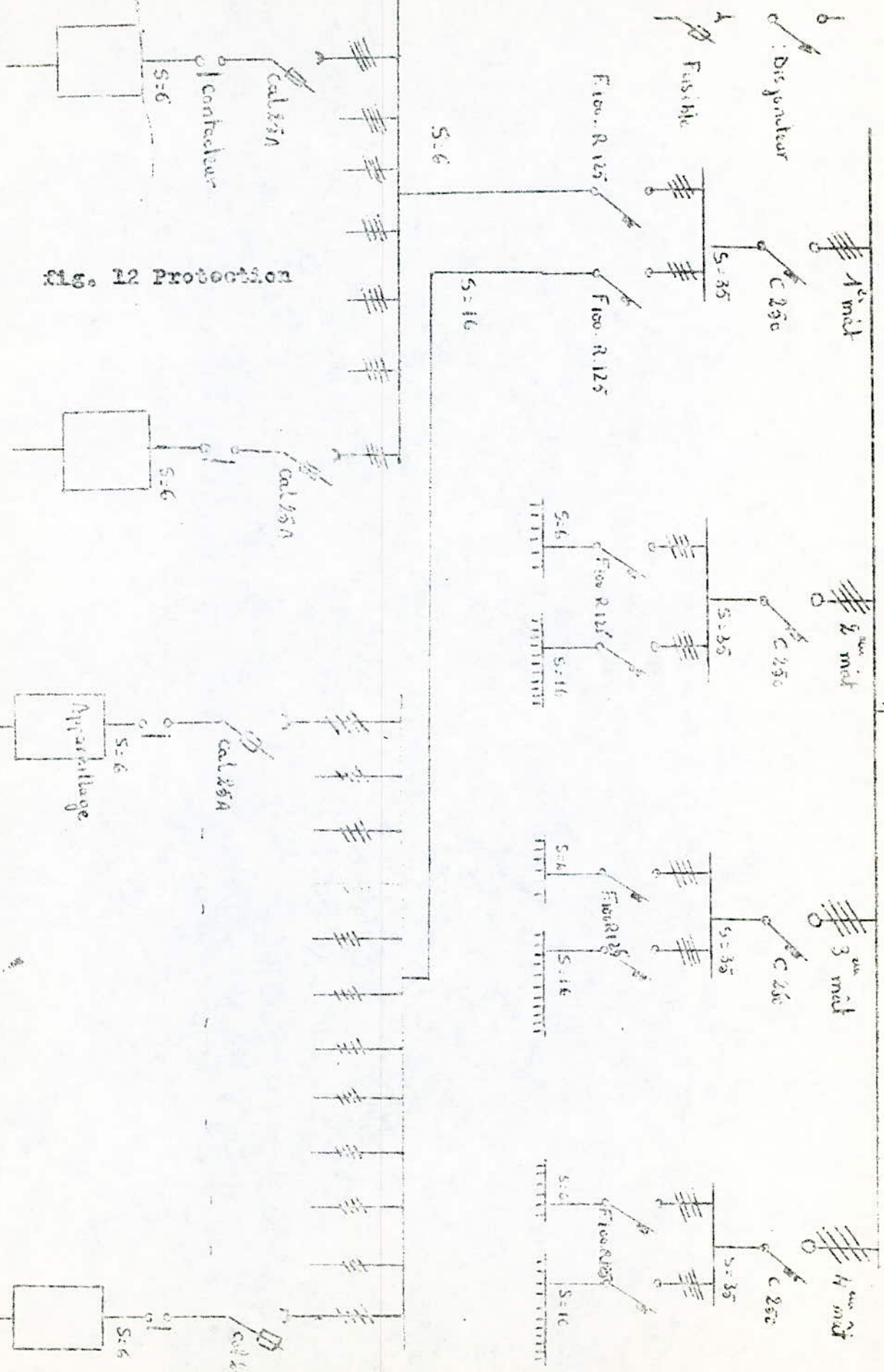


Fig. 12 Protection

Appareillage
après les bornes

de service.

II) REPLACEMENT SYSTEMATIQUE DES LAMPES.

Lorsque les lampes atteignent leur durée de nominale, il ^{vie} est plus rationnel de procéder à leur remplacement systématique.

Ce remplacement total, complété par un dépoussierage soigné de luminaires, permet de renover l'ensemble de l'installation d'éclairage. Il faut rappeler qu'une installation d'éclairage mal entretenu perd très rapidement de son efficacité et le rendement total peut être réduit de 25% à 35% en un an.

& BIBLIOGRAPHIE &
#####

M. CONU Sources lumineuses et photométrie. Installations
d'éclairage intérieur et extérieur.

Association Française de l'Eclairage (A.F.E.): Recommandations
relatives à l'éclairage des installations sportives.

P. VADEPLANQUE L'éclairage, notions de base projet d'installation

MERLIN GERIN Catalogue sur choix de cables et de disjoncteurs
compacts BF

Catalogue THORN Atlas.

Revue LUX n° 104 du 10-1979

