

Ecole Polytechnique de Thies

DEPARTEMENT de GENIE MECANIQUE
INDUSTRIEL

— INSTALLATION ELECTRIQUE d'une USINE —

— soutenu par Damba SAGNA pour l'obtention du
grade d'ingenieur

Juin - 80

A

Toute ma famille, mon père - Amadou Gidjane en
particulier.

A mon inseparable Mademba TMG.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Harvey GAGNE professeur d'électrotechnique, dont la constante disponibilité, les conseils tout au long du projet, ont grandement aidé à mener à bien cette présente étude.

SOMMAIRE

Ce projet a pour but de préparer le cahier de charges ainsi que les plans nécessaires pour la réalisation de l'installation électrique d'une usine. Comme données de base, nous avons :

- la puissance de court-circuit disponible par la SENELEC - 250 MVA triphasé, 30 KV.
- l'infrastructure destinée à recevoir les machines, leur nombre ainsi que la puissance estimée de chaque.

Partant de ces données nous allons effectuer le travail suivant :

- Aménager les machines à l'intérieur des locaux, tracer les chemins de cable, disposer les sous-stations et centres de commande moteur, puis tracer le diagramme unifilaire.
- Dresser le cahier de charges qui justifie le calibrage des éléments du diagramme unifilaire ainsi que le plan d'éclairage
- En dernier ressort nous allons examiner le volet financier de l'installation ainsi conçue.

TABLE des MATIÈRES

	Page
1 - INTRODUCTION	1
2 - SELECTION des MOTEURS	3
3 - ESTIMATION des CHARGES	5
4 - CALIBRE des CABLES	9
4.1 - Cable des machines	
4.2 - Cables des transformateurs	
5 - ECLAIRAGE	14
5.1 - Cables d'éclairage	
6 - ETUDE des CHUTES de TENSION	22
7 - FACTEUR de PUISSANCE	26
8 - DESCRIPTION et UTILISATION de l'APPAREILLAGE ELECTRIQUE	30
8.1 - Entretien des moteurs	
8.2 - Demarrage des petits moteurs	
8.3 - Disjoncteur	
8.4 - Ampecteur WESTINGHOUSE	
8.5 - Sectionneur	
8.6 - Para foudre	
8.7 - Transformateurs.	

8.8 -	Design des barres omnibus	
8.9 -	Cables	
8.10 -	Mise à la terre	
9 -	ANALYSE des COÛTS	51
9.1 -	Coût de l'éclairage	
9.2 -	coût de l'appareillage	
10 -	REFERENCES de CALCULS	54
10.1 -	Valeurs par unité	
10.2 -	Moteurs Impedance	
10.3 -	Cables Transformateurs	
10.4 -	Calculs des courants de court circuit	
10.5 -	Eclairage des ateliers	
10.6 -	Eclairage bureaux	
10.7 -	Eclairage extérieur	
11 -	CONCLUSION et DISCUSSIONS	73
11.1 -	Conclusion	
11.2 -	discussion	
12 -	BIBLIOGRAPHIE	76

1. INTRODUCTION

Un homme vient de se faire electrocuter. Il a touché par inadvertance un conducteur mal protégé. Le disjoncteur a sauté immédiatement, tout s'arrête. Plus de moteur en marche, plus de lumière. C'est la paralysie totale.

De nos jours, l'électricité est devenue un produit de consommation de première nécessité tant sur le plan domestique qu'industriel. Il convient donc de l'utiliser le plus rationnellement possible. Néanmoins, le grand problème demeure toujours : il s'agit de dompter l'énergie électrique.

La maîtrise de cette forme d'énergie repose sur le choix judicieux des différents éléments électriques (cables, transformateurs, disjoncteurs, relais etc...), leur emplacement, ainsi que les dispositions générales à prendre pour leur entretien, en vue de garantir au maximum la sécurité du présent matériel et surtout des personnes ayant accès à ce matériel. Le travail de l'ingénieur consiste justement à concevoir une combinaison optimale des différents appareillages électriques, appareillages qui permettront un contrôle

efficace du -courant électrique.

Dans -cette présente étude, nous -ellons montrer en détail les différentes étapes -à suivre pour -aboutir -à l'installation électrique finale de notre usine.

2-SELECTION des MOTEURS

Cette selection est basée sur le fait - que le moteur ne fonctionnera - qu'à 80% de sa puissance nominale.

- A - Cause des températures - ambiantes très élevées (40° - à l'ombre), nous - allons choisir la classe d'isolation

B - qui permet :

- . un échauffement de 80°C par mesure de résistance
- . une température limite du bobinage (échauffement + ambiance) de 120°C

- On utilisera des moteurs type LEROY-SOMER Construction fermée - à roulements - à billes (-qui sont suffisamment protégées - contre les poussières et - assez robustes) pour une vitesse de rotation standard de 1500 tours par minute (TPM) -

- La figure 1.1 de la page suivante résume les caractéristiques de ces différents moteurs.

fig 1.1

Moteurs 3 ϕ , 50 Hz, 1500 RPM, classe B, rotor en court-circuit - LEROY-SOMER

Puissance (kw)		Type	I_N sous 380V (A)	I_D sous 380V (A)	Couple $\frac{C_N}{C_{max}}$	Facteur de Puissance			
demandée	choix					1/4	1/2	3/4	4/4
1	1.5	LS 90 L	3.84	25	2.75	0.41	0.60	0.74	0.78
3	4	LS 112 M	8.8	56	2.36	0.42	0.65	0.78	0.84
4	5.5	LS 132 S	11.8	92	2.86	0.54	0.72	0.79	0.84
10	15	LSN 160 L	29.3	185	2.7	0.53	0.74	0.83	0.86
30	37	LSN 225 S	71	511	3	0.61	0.78	0.84	0.85
50	75	N 280 S	140.5	982	2.8	0.58	0.74	0.82	0.85
100	132	LST 315 M	244	1755	2.6	0.64	0.80	0.85	0.86

3-ESTIMATION des CHARGES

Le type d'alimentation que nous avons retenu est le suivant : à partir du réseau SENELEC (30 KV, 3 ϕ), on entre dans un premier transformateur qui abaisse la tension à 5.5 KV. On entre ensuite dans quatre autres transformateurs qui vont alimenter indépendamment les ateliers A, B, C et éclairer toute l'usine

Le tableau de charges des ateliers A, B, C (Fig 1.2 page 6) nous a donné les résultats suivants :

Demande globale -	ATELIER A = 118 KVA	Fdi = 130%
	ATELIER B = 400 KVA	Fdi = 130%
	ATELIER C = 315 KVA	Fdi = 125%

Fdi = Facteur de diversité de l'atelier

TABLEAU de CHARGES des ATELIERS A, B, C

fig 1.2

	DESIGNATION des MOTEURS	PUISSANCE UNITAIRE		DEMANDE		COEFF. de SIMULTA NEITE	DEMANDE GLOBALE HP
		KW	HP	FACTEUR	HP		
ATELIER A	5 TOURS	5.5	7.4	.8	29.6	1.3	23
	3 ETAU-LIMEURS	1.5	2	.8	4.8	1.3	4
	5 FRAISEUSES	4	5.4	.8	21.6	1.3	17
	3 RABOTUSES	5.5	7.4	.8	17.8	1.3	14
	5 PERCEUSES	5.5	7.4	.8	29.6	1.3	23
	3 APPAREILS de LEVAGE	15	20	.8	48	1.3	37
TOTAL - A							118
ATELIER B	2 SCIES	1.5	2	.5	2	1.2	1.7
	2 MACHINES à POLIR	1.5	2	.8	3.2	1.3	2.5
	1 PRESSE	75	100	.8	80	1.0	80
	3 APP. de LEVAGE	15	20	.8	48	1.3	37
	1 APP. de LEVAGE	75	100	.8	80	1.0	80
	5 POSTES de SOUDURE	75	100	.8	400	2.0	200
TOTAL - B							400
ATELIER C	3 VENTILATEURS	15	20	.8	48	1.0	48
	2 COMPRESSEURS	132	177	.8	293	2.0	142
	2 APP. de LEVAGE	15	20	.8	32	1.3	25
	2 FOURS	37	50	1	100	1	100
TOTAL - C							315

Eclairage des locaux

Atelier A	(50 x 25 m ²) (10 W/m ²)	=	12.5	KVA
Atelier B	(50 x 25 m ²) (10 W/m ²)	=	12.5	KVA
Atelier C	(30 x 25 m ²) (10 W/m ²)	=	7.5	KVA
Administration	(20 x 20 m ²) (100 W/m ²)	=	40	KVA
			<hr/>	
			72.5	KVA

Eclairage cour

$$\text{Surface des locaux} = 1250 + 1250 + 750 + 400 = 3650 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface de la cour} = 300 \times 200 - 3650 = 56350 \text{ m}^2$$

$$\text{Charge d'éclairage} = 56350 \text{ m}^2 \times 0.1 \text{ W/m}^2 = 5.6 \text{ KVA}$$

Eclairage cloture

$$\text{Charge} = (200 + 300) \times 2 \text{ m} \times \frac{700 \text{ W}}{\text{m}} = 7 \text{ KVA}$$

Charge max d'éclairage

$$72.5 + 5.6 + 7 = 85 \text{ KVA}$$

$$\text{climatisation} = 15 \text{ KVA}$$

$$100 \text{ KVA}$$

Grosseur du Transformateur d'éclairage T_E = 160 KVA

Pour le dimensionnement des transformateurs alimentant les ateliers, on prendra un facteur de charge de 200% en vue de prévoir l'extension dans un proche avenir.

charge de l'atelier A

$$\frac{200\% \times 118 \text{ KVA}}{130\%} = 181 \text{ KVA} \quad \text{choix } \underline{\underline{T_A = 250 \text{ KVA}}}$$

charge de l'atelier B

$$\frac{200\% \times 400 \text{ KVA}}{130\%} = 615 \text{ KVA} \quad \text{choix } \underline{\underline{T_B = 750 \text{ KVA}}}$$

charge de l'atelier C

$$\frac{200\% \times 315 \text{ KVA}}{125\%} = 504 \text{ KVA} \quad \text{choix } \underline{\underline{T_C = 750 \text{ KVA}}}$$

Charge maximum sur le transformateur principal T_1

$$160 + 250 + 750 + 750 = 1910 \text{ KVA} \quad \text{choix } \underline{\underline{T_1 = 2500 \text{ KVA}}}$$

4 - CALIBRE des CABLES

On dessert les machines - à partir d'un centre de Contrôle moteur (C.C.M) placé - au centre de l'atelier - Deux étagères de tablettes sont prévues pour recevoir ces câbles. Ces étagères sont placées dans des conduites aménagées en conséquence.

4.1 CABLES des MACHINES

L'atelier A est celui qui a le CCM le plus sollicité. Chaque côté dessert 14 machines - Nous avons donc 28 départs de câbles dont 14 de puissance et 14 de commande - à raison de 14 câbles par tablette. Ceci correspond - à un facteur de pose Jointive $F_p = 0.43$
Afin de pouvoir supporter l'échauffement permmissible de 80°C des moteurs (classe B), - on prendra des câbles avec gaine extérieure isolante en vinyle - ce qui correspond - à un facteur de Correction du courant admissible en température de $F_c = 0.43$

Pour se munir contre les faibles surcharges, nous prévoyons un facteur de charge $F_{ch} = 125\%$

Le courant admissible I_N une fois corrigé par les 3 facteurs F_{ch} , F_p , F_c nous permettra de choisir la

Section minimale - que doit avoir notre Conducteur -
 Pour un Facteur de puissance moyen de 0.80 et pour
 des Cables unipolaires, 3 âmes, nous allons choisir
 les Sections en fonction des puissances installées.

$$2 \text{ HP} - I_N = \frac{2 \text{ HP} \times 0.746 \frac{\text{KW}}{\text{HP}}}{\sqrt{3} \times 0.380 \text{ KV} \times 0.80}$$

$$I_N = 2 \text{ HP} \times 1.42 = 2.8 \text{ A}$$

$$I_{N \text{ corrigé}} = 2.8 \text{ A} \times \frac{125\%}{0.43 \times 0.43}$$

$$= 2.9 \text{ A} \times 6.76 = 19 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \text{Section } \underline{S = 1 \text{ mm}^2}$$

$$5.4 \text{ HP} - I_N = 5.4 \times 1.42 = 7.7 \text{ A}$$

$$I_{N \text{ corrigé}} = 7.7 \text{ A} \times 6.76 = 52 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \underline{S = 6 \text{ mm}^2}$$

$$7.4 \text{ HP} - I_N = 7.4 \times 1.42 = 10.5 \text{ A}$$

$$I_{N \text{ corrigé}} = 10.5 \text{ A} \times 6.76 = 71 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \underline{S = 10 \text{ mm}^2}$$

$$20 \text{ HP} - I_N = 20 \times 1.42 = 28.4 \text{ A}$$

$$I_{N \text{ corrigé}} = 28.4 \text{ A} \times 6.76 = 192 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \underline{S = 50 \text{ mm}^2}$$

50 HP - $I_N = 50 \times 1.42 = 71 \text{ A}$

$I_{N \text{ corrigé}} = 71 \times 6.76 = 480 \text{ A}$

$\Rightarrow S = \underline{185 \text{ mm}^2}$

100 HP - $I_N = 100 \times 1.42 = 142 \text{ A}$

$I_{N \text{ corrigé}} = 142 \times 6.76 = 960 \text{ A}$

$\Rightarrow S = \underline{630 \text{ mm}^2}$

177 HP - $I_N = 177 \times 1.42 = 251 \text{ A}$

$I_{N \text{ corrigé}} = 251 \times 6.76 = 1700 \text{ A}$

$\Rightarrow S = \underline{1000 \text{ mm}^2}$

4.2 CABLES des TRANSFORMATEURS

Du secondaire du transformateur principal T₁ partent 4 lignes pour alimenter respectivement T_A, T_B, T_C et T_E

-Ce -qui correspond -à un facteur de pose $F_p = 0.80$.

Nous prévoyons une température de pointe de 60°C $\Rightarrow F_c = 0.67$

et un facteur de surcharge de 125%. Le tableau de la figure 4.1 -à la page suivante résume les différents sections obtenues.

cables pour Transformateurs

	CÔTÉ PRIMAIRE			CÔTÉ SECONDAIRE		
	I_N (A)	$I_{correcte}$ (A)	Section (mm ²)	I_N (A)	$I_{correcte}$ (A)	Section (mm ²)
T _A	46	107	25	658	1500	1000
T _B	136	317	120	1974	4600	1000
T _C	136	317	120	1974	4600	1000
T _E	29	68	16	421	980	800

fig 4.1

À cause de la grande diversité de nos cables, nous allons procéder à un groupage des différentes sections puis les normaliser, -ce qui nous permet d'éviter des risques de confusion lors des installations.

Les solutions retenues sont les suivantes :

- Pour les moteurs de 2.0 HP, 5.4 HP et 20 HP
On utilisera un cable de 10 mm² AWG # 6.
- Pour les 7 moteurs de 100 HP, les 2 moteurs de 50 HP -ainsi que l'alimentation du côté primaire des 4 Transformateurs T_A, T_B, T_C, on prendra un cable de 630 mm² # 400 MCM.
- Pour l'alimentation des 2 Compresseurs de 177 HP ainsi que des CCM -à partir des transformateurs -on prendra des cables de 1000 mm² # 600 MCM.

- Pour le circuit de commande, on prendra un cable
de 3 mm^2 # 12

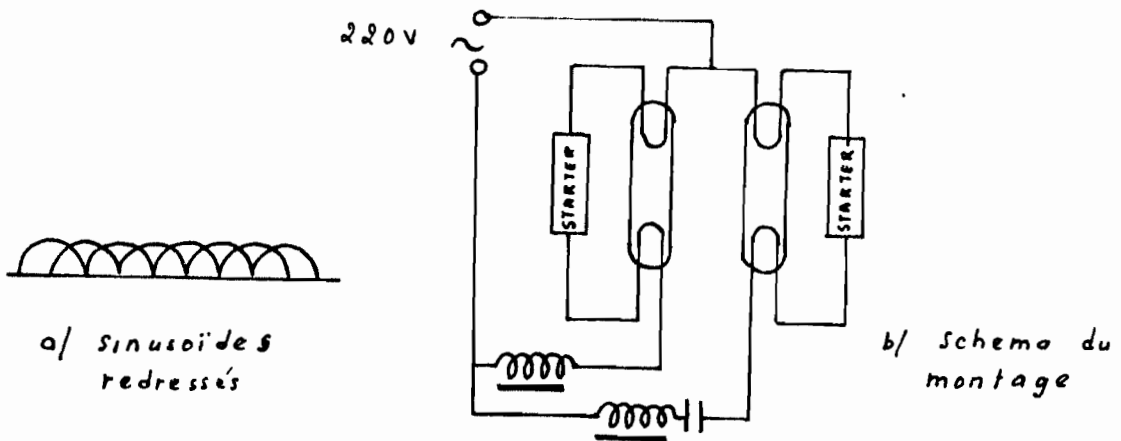
5- ECLAIRAGE

Nous allons déterminer le type - ainsi que le nombre de lampes et luminaires nécessaires pour un éclairage requis de 500 Lux, sur la base d'une méthode de calcul dite méthode des CAVITES.

Pour éclairer les ateliers, nous utilisons la lumière des lampes Fluorescentes - Cette lumière suit une courbe en forme de sinussoïde redressée avec un maximum 100 fois par secondes et passage sensiblement au zéro, également 100 fois par seconde pour une fréquence de courant de 50 Hz. Ce papillotement - qui n'est pas perceptible provoque des chocs sur la rétine et une fatigue visuelle et nerveuse.

Pour palier ce grave inconvénient - on adoptera un montage "duo" - avec ballast comportant deux enroulements ; sur l'un d'eux est monté un condensateur et les oscillations des deux tubes sont décalées dans le temps sensiblement d'une demi-période, de telle façon - que l'oscillation résultante ne passe plus par zéro et comporte des simples ondulations de lumière -

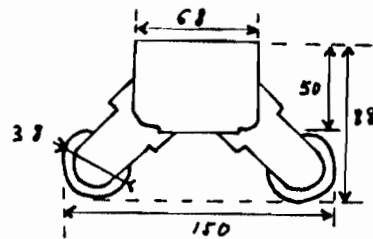
Le ballast est un organe régulateur placé en série avec la lampe. Il nous délivre la tension nécessaire à l'amorçage et limite le courant dans la lampe.



MONTAGE DUO

fig - 5.1

Le ballast DUO sera incorporé dans une reglette contenant également le starter et les lampes livrés toutes câblés, on constitue ainsi une "reglette bloc" d'un montage facile.



REGLETTE BLOC - MONTAGE DUO

fig - 5.2

Les luminaires seront placés à 1.5 m au dessus des appareils de levage (ponts roulants), ce qui permettra

- à l'équipe d'entretien d'y accéder facilement -

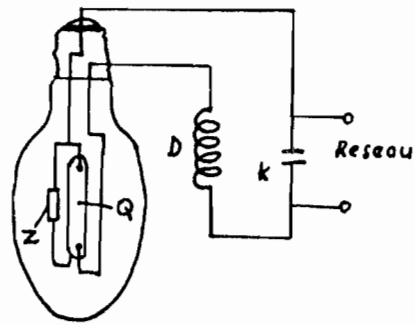
Pour l'éclairage extérieur, on prendra des lampes à Vapeur de mercure - Il est indispensable d'alimenter ces lampes par un ballast - qui stabilise l'arc et fournit la tension nécessaire. Pour palier l'inconvénient d'un faible facteur de puissance, ce ballast sera compensé par un Condensateur.

K - Condensateur de Compensation

D - Self 220V - 240V

Z - Résistance d'allumage

Q - brûleur à mercure



LAMPE à VAPEUR de MERCURE

fig - 5.3

- Le type de ballast - que nous utilisons se - compose d'un moyeu en toles magnetiques, entouré d'un enroulement en fils de Cuivre englobé dans une resine en polyester - qui protege le bobinage et evite toutes vibrations sonores des toles et vibrations perturbatrices dans les emissions radiophoniques - Ces appareils sont ainsi silencieux et incombustibles -

TABLEAU D'ETUDE de l'ECLAIRAGE des ATELIERS

DETAILS ATELIER A ou B			DETAILS des CAVITES			DETAILS LUMINAIRES		
DIMENSIONS de la SALLE	LONGUEUR	50 m	CAVITE SALLE	HAUTEUR	8 m	ECLAIREMENT REQUIS		600 Lux
	LARGEUR	25 m		RAPPORT	2.4	LAMPES / LUMINAIRE		2
	SURFACE	1250 m ²	CAVITE PLA FOND	HAUTEUR	1 m	Nombre de LUMINAIRES		218
	HAUTEUR	10 m		RAPPORT	0.3	LUMENS / LAMPE		3150
REFLEXION des SURFACES	PLAFOND	80 %	CAVITE PLANCHER	LUMINANCE	75 %			
	MUR	50 %		HAUTEUR	1 m	OPTION	LUMINAIRES	LUX
	PLANCHER	30 %	RAPPORT	0.3	a*	220	605	
HAUTEUR des LUMINAIRES	9 m		LUMINANCE	74 %	b	210	578	

* adopté

fig-5.4

TABLEAU D'ETUDE de l'ECLAIRAGE des BUREAUX ADMINISTRATIFS

DETAILS d'un BUREAU			DETAILS des CAVITES			DETAILS LUMINAIRES		
DIMENSIONS de la SALLE	LONGUEUR	9 m	CAVITE SALLE	HAUTEUR	2.3 m	ECLAIREMENT REQUIS		1600 Lux
	LARGEUR	6 m		RAPPORT	3	LAMPES / LUMINAIRE		2
	SURFACE	54 m ²	CAVITE PLAFOND	HAUTEUR	0 m	NOMBRE de LUMINAIRES		33
	HAUTEUR	3 m		RAPPORT	0	LUMENS / LAMPE		3200
REFLEXION des SURFACES	PLAFOND	80%	CAVITE PLANCHER	LUMINANCE	80%	OPTION	LUMINAIRES	LUX
	MUR	50%		HAUTEUR	0.69 m	a*	35	1697
	PLANCHER	20%	RAPPORT	1	b	30	1455	
HAUTEUR des LUMINAIRES	3 m		LUMINANCE	19%				

* adopté

fig 5.5

TABLEAU D'ETUDE de l'ECLAIRAGE EXTERIEUR

	ECLAIREMENT en foot-Candle	INTENSITE en Candelas	FACTEUR de MAINTENAN- CE	HAUTEUR de FIXATION (m)	ESPACEMENT (m)
AIRE de STOCKAGE	2.3	1800	0.80	10	20
CLOTURE	1	1200	0.80	10	60

fig-5.6

Pour tout detail de calculs, voir chapitre des REFERENCES

Une illustration des Types de luminaires utilises est la suivante :



Reflecteur



Reflecteur dome

Du tableau recapitulatif de l'eclairage nous verifions
- que la charge d'eclairage ne depasse guere celle de
notre transformateur d'eclairage - Nous sommes dans
la bonne marge.

① Pour tout l'eclairage, on prendra des cables # 7
(Voir calculs en REFERENCES).

TABLEAU RECAPITULATIF de l'ECLAIRAGE

fig - 5-7

	TYPE de LAMPE	TYPE de BALLAST	TYPE de LUMINAIRE	NOMBRE de LAMPES Par LUMINAIRE	NOMBRE TOTAL de LAMPES	PUISSANCE d'une LAMPE avec BALLAST (W)	CHARGE INSTALLÉE (KW)
ATELIER A	FLUORESCENT F40 CW	2-40 T12/IS	REFLECTEUR	2	440	80	35.2
ATELIER B	FLUORESCENT F40 CW	2-40 T12/IS	REFLECTEUR	2	440	80	35.2
ATELIER C	FLUORESCENT F40 CW	2-40 T12/IS	REFLECTEUR	2	280	80	22.4
ADMINIS- TRATION	FLUORESCENT F40 T10/cw/99	2-40 T12/IS	REFLECTEUR	2	490*	80	39.2
AIRE de STOCKAGE	MERCURE H37-5K/dx	1-250 W	REFLEC. DOME	1	24	275	6.6
CLOTURE	MERCURE H37-5K/dx	1-250 W	REFLEC. DOME	1	18	275	4.9

* Pour 7 bureaux

CHARGE TOTALE 144 KW

5.1 CABLES d'éclairage

- Chaque ligne comporte 22 Luminaires (Voir dessin # 7)

Facteur de pose $F_p = 0.48$ pour 20 Cables

Facteur de chaleur $F_c = 0.67$ pour une ambiance de 50°

Facteur de charge = 1.25

Charge d'une ligne = 44 Lampes $\times \frac{80W}{Lampe} = 3520 W$

Courant Nominal $I_N = \frac{3520W}{220V} = 16 A$

Courant Corrigé $I_{NC} = 16 A \times \frac{1.25}{0.48 \times 0.67} = 62 A$

Choix : Cable # 7 - 10.5 mm²

- On utilisera ce même Cable # 7 pour tout l'éclairage.

6. ETUDE des CHUTES de TENSION

- A cause de la reactance des artères, une chute de tension va apparaitre entre l'origine de notre installation et tout point d'utilisation. Cette chute de tension, au delà d'une certaine valeur, pourrait causer de ennuis aux différents points d'utilisation. Ces chutes sont surtout importantes lors du démarrage des gros moteurs, qui absorbent des puissances importantes.

Dans le cadre de notre installation, nous sommes intéressés de savoir les valeurs des tensions réelles que nous fournissent les secondaires des transformateurs pour alimenter nos différents ateliers. D'après la Norme NFC 15-100 la chute de tension admissible ne doit pas dépasser 10% de la valeur nominale de tension de l'installation.

Pour calculer ces chutes, nous allons partir du diagramme d'impédance des valeurs par unité que nous avons résumé à la page suivante (fig 6.1).

Comme nous travaillons dans un système par unité, le rapport de tension dans chaque branche est proportionnelle au rapport d'impédance.

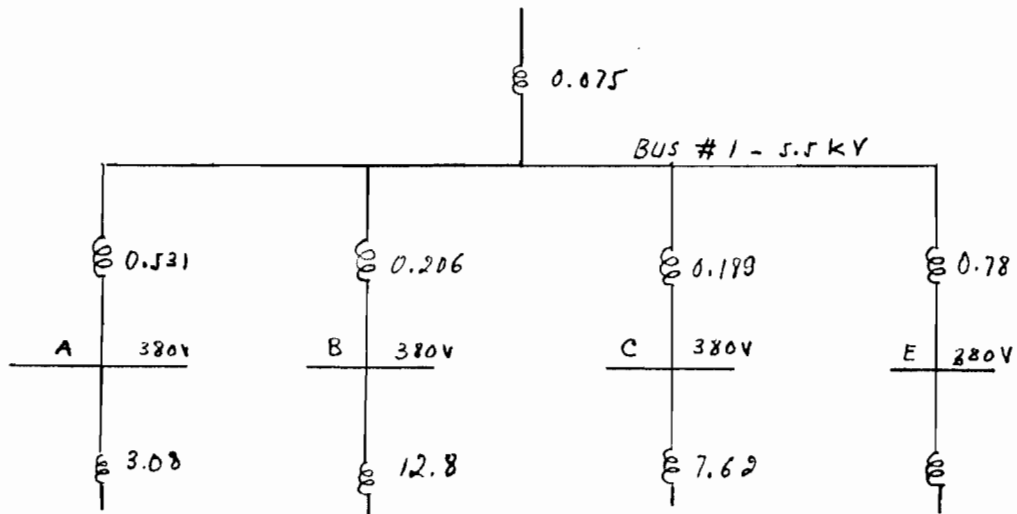


Diagramme contracté d'impédances par unité

fig-6.1

$$\text{Chute en A} = \frac{0.075 + 0.531}{0.075 + 0.531 + 3.08} = 3.9\%$$

$$\text{Chute en B} = \frac{0.075 + 0.206}{0.075 + 0.206 + 12.8} = 2\%$$

$$\text{Chute en C} = \frac{0.075 + 0.189}{0.075 + 0.189 + 7.62} = 3.5\%$$

$$\text{Chute en E} = 0$$

$$\text{Chute sur BUS #1} = 3.9 + 2 + 3.5 = 9.4\%$$

Conclusion : nous sommes dans la marge de sécurité.

Chute au niveau des compresseurs

$$177 \text{ HP} \times 0.745 \frac{\text{kVA}}{\text{HP}} = 132 \text{ kVA}$$

Cable C_1 : 400 MCM

$$Z_{C_1} = (0.0342 + j 0.0327) \frac{50 \text{ m}}{305 \text{ m}} \Omega$$

$$= 0.0056 + j 0.0054 \Omega$$

Cable C_2 : 600 MCM

$$Z_{C_2} = (0.0237 + j 0.0309) \frac{18 \text{ m}}{305 \text{ m}} \Omega$$

$$= 0.0014 + j 0.0018$$

$$Z_c = Z_{C_1} + Z_{C_2} = 0.007 + j 0.0072 \Omega$$

$$\text{base kVA} = 750 \text{ kVA}$$

$$\text{base Volts} = 380 \text{ V}$$

$$\text{base ohm} = \frac{(380 \text{ V}_B)^2}{750 \text{ kVA}_B \times 1000} = 0.192$$

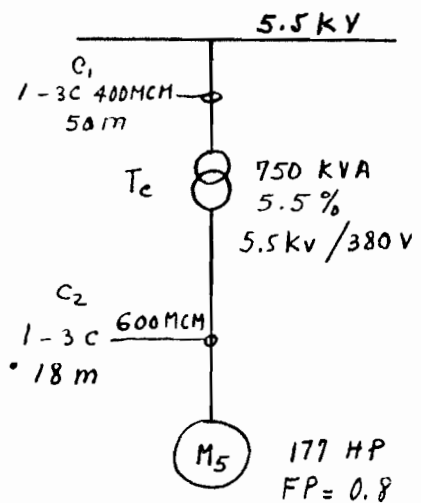
$$\text{base Ampere} = \frac{132 \text{ kVA}}{750 \text{ kVA}_B} = 0.176$$

$$X_T = j 0.055 \text{ pu}$$

$$Z_c = \frac{R_c + j X_c}{\text{base ohm}} = \frac{0.007 + j 0.0072}{0.192}$$

$$= 0.0364 + j 0.0375 \text{ pu}$$

$$X_T + Z_c = 0.0364 + j 0.0925 \text{ pu}$$



$$\begin{aligned} \text{chute } \Delta U &= 0.176 (0.0364 \times 0.8 + 0.0925 \times 0.6) \\ &= 0.015 \equiv 1.5\% \end{aligned}$$

Tension aux bornes du Compresseur

$$(1 - 0.015) 380 \text{ V} = 374 \text{ Volts}$$

Pour conclure nous voyons - que les chutes de Tension
 - à tous les niveaux de notre réseau de distribution
 est $< 10\%$; d'autre part un compresseur en plein régime
 ne voit qu'une faible chute 1.5% soit 374 volts. Mais
 si l'on considère - que le courant de démarrage est dans
 le pire des cas égal - à 5 fois le courant de pleine
 charge - alors on aura une chute - au démarrage de
 9% - ce qui est - quand même considérable. Pour palier
 - à cet inconvénient, un type de démarrage dit par
 sélection de résistances statoriques sera aménagé en
 conséquence (voir fig 8.1 page 30)
 - Comme les compresseurs causent une chute admissible
 je suppose - qu'il en sera de même pour tous les autres
 moteurs plus petits -

7. FACTEUR de PUISSANCE de L'INSTALLATION

- À cause de leur inductance, les bobines des moteurs vont faire appel à une certaine quantité de puissance qui sera dissipée sous forme de chaleur, donc puissance qui n'est pas consommée. Cette puissance dite réactive n'est pas enregistrée par le wattmètre mais plutôt par un varmètre, elle peut également être caractérisée par le facteur de puissance (FP) de l'installation -

La SENELEC tarifie ces vars lorsque l'installation a un $FP < 0.80$ -

Un FP bas engendre non seulement une tarification supplémentaire mais aussi augmente les chutes de tension dans le système de distribution -

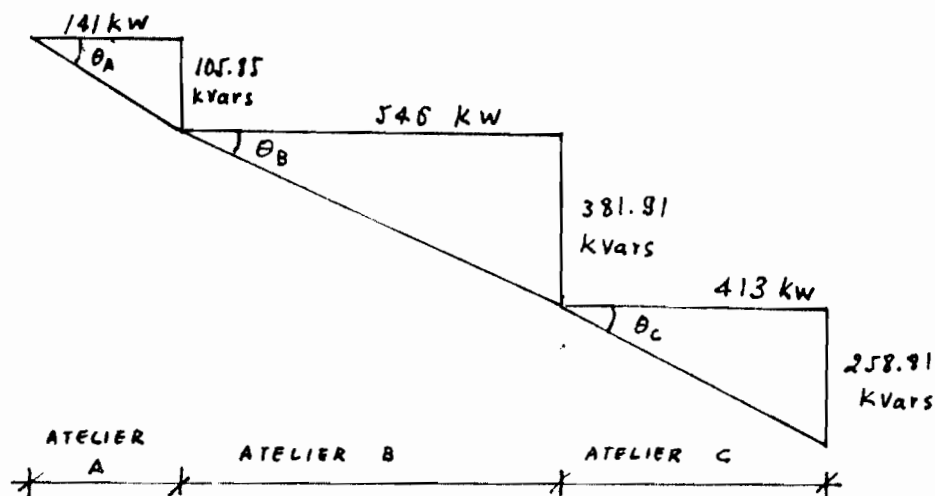
L'utilisation de condensateurs permet de relever le F.P. Nous allons maintenant évaluer le FP de notre usine et le relever si nécessaire -

- Comme hypothèse : - On suppose que les moteurs ne fonctionnent qu'à $3/4$ de leur puissance certifiée ce qui nous donne des FP correspondants dans le tableau de la fig 7.1 page 27

	DESIGNATION DES MACHINES	PUISSANCE LIMITAIRE (KW)	FP 3/4	θ deg	P (KW)	Q (KVats)
ATELIER A	5 TOURS 3 RABOTEUSES 5 PERCEUSES - 13	5.5	0.79	37.81	71.5	55.48
	3 ETAU. - 3	1.5	0.74	42.26	4.5	4.09
	5 FRAIS. - 5	4	0.78	38.74	20	16.04
	3 LEV. - 3	15	0.83	33.90	45	30.24
	TOTAL					141
ATELIER B	2 SCIÉS 2 POLISS. - 4	1.5	0.74	42.26	6	5.45
	1 PRESSE 1 LEV. 5 P. SOUDURE - 7	75	0.82	34.91	525	366.38
	1 LEV. - 1	15	0.83	33.90	15	10.08
	TOTAL					546
ATELIER C	3 VENT. 2 LEV. - 5	15	0.83	33.90	75	50.39
	2 COMPRESS. - 2	132	0.85	31.79	264	163.62
	2 FOURS - 2	37	0.84	32.86	74	44.80
TOTAL					413	258.81

RESUMÉ des FP des ATELIERS

fig 7.1



TRIANGLE de PUISSANCE des ATELIERS

fig

$$\begin{aligned} \text{ATELIER A} \quad \theta_A &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{105.85}{141} = 36.89^\circ \\ F_{PA} &= \cos 36.89 = \underline{0.80} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ATELIER B} \quad \theta_B &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{381.91}{546} = 34.97^\circ \\ F_{PB} &= \cos 34.97 = \underline{0.82} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ATELIER C} \quad \theta_C &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{258.81}{413} = 32.07^\circ \\ F_{PC} &= \cos 32.07 = \underline{0.84} \end{aligned}$$

TOTAL USINE

$$P_T = 141 + 546 + 413 = 1100 \text{ kW}$$

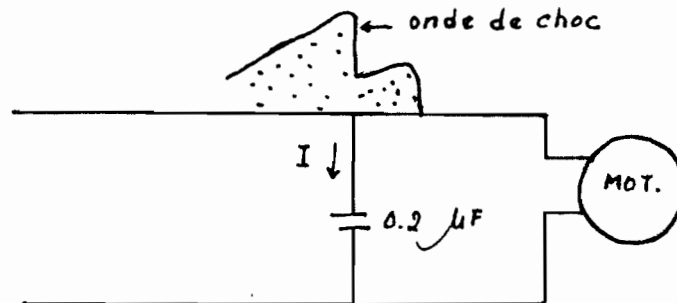
$$Q_T = 105.85 + 381.91 + 258.81 = 746.57 \text{ kVars}$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{746.57}{1100} = 34.16^\circ$$

$$FP = \cos 34.16 = \underline{\underline{0.827}}$$

{ tant donné - que nous sommes bien en dessus du $F P_{min}$ ($F P = 0.827 > 0.80_{min}$) la SENELEC ne taxera pas les 746.57 Kvars - que nous lui demandons en trop - Nous n'avons pas alors pas besoin de Condensateurs pour relever le $F P$ -

Mais dans le soucis de protéger nos moteurs - contre les ondes de choc, nous allons les équiper de Condensateurs pour amortir cette dernière. Rappelons - que ces Condensateurs amortiront également les chutes et contribueront à un relèvement du $F P$.



AMORTISSEMENT de l'onde par le CONDENSATEUR fig 7.2

8. DESCRIPTION et UTILISATION de l'APPAREILLAGE ELECTRIQUE

PROTECTION au DEMARRAGE de COMPRESSEURS

Pour réduire le courant de démarrage, nous allons équiper nos Compresseurs d'un système comme suit :

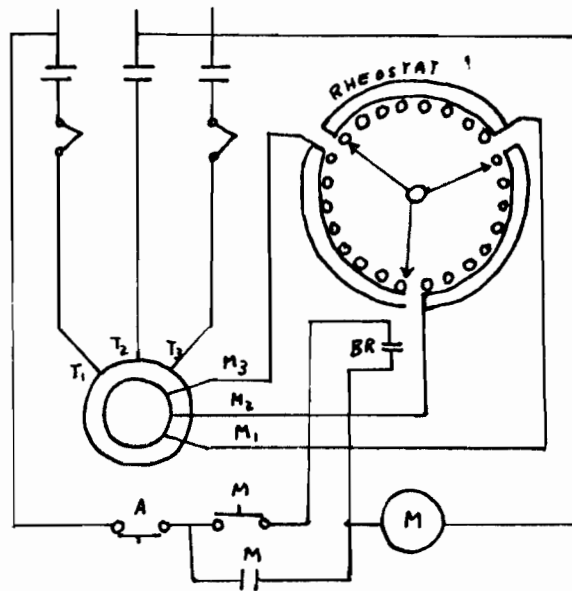


fig 8.1

Le démarrage se fait par sélection manuelle successive de résistances dans le rhéostat. Pour mesure de sécurité, on introduit un contacteur spécial BR qui ne se ferme au démarrage que lorsque toutes les résistances sont sélectionnées.

8.1 ENTRETIEN des MOTEURS

Nos moteurs étant de type -Construction fermée avec roulements -à billes, nous allons porter une attention particulière à ces derniers.

Tous les 6 mois on doit nettoyer et lubrifier ces roulements - Utiliser les huiles -au pétrole SAE 20 @ SAE 40 -ou équivalent (viscosité 200 @ 500 SSU à 38°C).

Un certain nombre de problèmes peuvent empêcher le bon fonctionnement de nos moteurs. Il devient alors pratique de se préparer à remédier aux ennuis les plus courants. Le tableau de la page suivante donne une liste de certains problèmes, leurs causes éventuelles -ainsi que le remède -

Nous disposerons d'un certain nombre d'instruments pour inspection des causes, à savoir :

- Multimètre Versatile, portable (Voltage AC-DC, Ω)
- Electropince
- Thermometre (150°C) -

TABLEAU de DEPANNAGE des MOTEURS

PROBLEME	CAUSE	REMEDE
1- le moteur ne démarre pas.	<p>Defaut de connection. Une phase est ouverte. Une phase Court-circuitée. Tension très basse.</p> <p>Frottement élevé.</p> <p>Mauvais sens de rotation.</p> <p>Charge à inertie élevée.</p>	<p>Inspecter les connections. Reduire l'impédance du circuit extérieur.</p> <p>Verifier la lubrification des paliers de roulement ainsi que l'alignement de l'axe. Verifier la tension dans les courroies.</p> <p>Renverser 2 phases quelconques.</p> <p>Enlever la charge.</p>
2- Le moteur fait des sauts.	<p>les contacteurs ne ferment pas complètement</p> <p>Pas d'excitation suffisante.</p> <p>fluctuation importante de la charge avec C_{max} élevé</p>	<p>Reviser le mecanisme de Contact</p> <p>Verifier les Contacteurs - ainsi - que toutes les connexions.</p> <p>Consulter le manufacturier.</p>

A suivre

3. Le moteur chauffe

Court-circuit.

Déséquilibre des courants.

Surcharge.

Mauvaise tension

Mauvaise ventilation

Voir les enrôlements et rebobiner si nécessaire.

Mauvaises connexions.

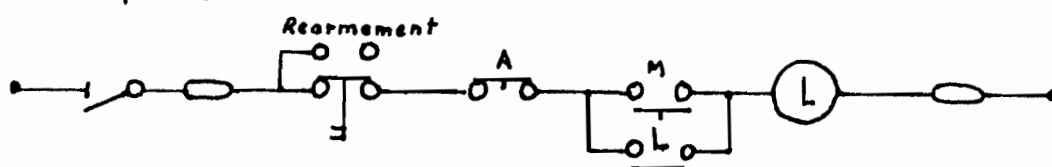
Réduire la charge, ou remplacer le moteur par un plus gros - Vérifier le frottement et la tension dans les courroies - ainsi que l'alignement de l'axe.

Vérifier qu'on est dans la marge du voltage plaque.

Enlever toute obstruction à la circulation d'air, nettoyer les grilles d'entrée de l'air

8-2 DEMARRAGE des petits moteurs

- Ces moteurs seront démarrés en direct - - Ce qui demande un courant élevé et un couple élevé au démarrage. Mais nous choisissons ce type de démarrage - à cause de son coût relativement bas. (6 fois moins cher - que le démarrage par sélection de résistances statoriques)



En appuyant sur le bouton marche M, la bobine L est excitée. le Contacteur auxiliaire L est appelé et maintenant même si le bouton à impulsion M est lâché, le circuit est alimenté par le Contacteur L - Pour arrêter, il suffit d'actionner sur A : la bobine L n'est plus excitée et son Contacteur L par conséquent ouvre et on a l'arrêt.

8.3 DISJONCTEURS

Nous avons choisi des disjoncteurs du type MG à faible volume d'huile parce qu'ils sont compacts, légers, faciles à entretenir et surtout parce qu'ils peuvent être munis d'un déclencheur transistorisé "AMPECTOR".

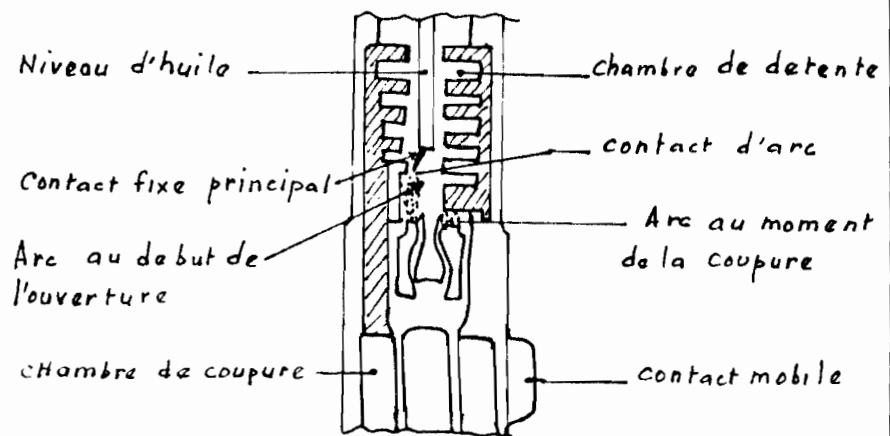
Construction : Il consiste en un châssis d'acier qui supporte 3 pôles indépendants et un mécanisme de fonctionnement. Chaque pôle a un tube isolant fixé au boîtier inférieur au moyen d'une collerette. Le contact mobile consiste en une tige de cuivre dont l'extrémité inférieure est reliée au mécanisme de fonctionnement par l'intermédiaire de bielles isolantes. Des bouchons filetés permettent la vidange de l'huile.

Fonctionnement : la coupure de l'arc est contrôlée dans l'huile. L'arc une fois formé vaporise l'huile et crée ainsi une surpression dans la chambre de coupure. Cette pression force l'huile non vaporisée à se déplacer transversalement par rapport au contact mobile, ce qui allonge l'arc et le désionise. L'allongement de l'arc est fonction de la pression de vapeur, donc du courant qui est interrompu. Au début du temps d'ouverture, le

Contact mobile se détache - à grande vitesse - A une distance prédéterminée, il est ralenti au moyen d'un amortisseur permettant le contrôle adéquat de sa vitesse même lorsque la surpression due - à l'huile vaporisée - essaye d'accélérer le mécanisme. A ce stade l'arc est éteint. Pour le restant du temps d'ouverture l'action de l'amortissement est annulée. Le contact mobile effectue son parcours jusqu'à ce qu'il atteigne la position ouverte.

L'ouverture peut être réalisée - au moyen d'un bouton de déclenchement - ou par des dispositifs électriques tels :

- . les relais
- . l'Ampektor



Coupe sommaire d'un disjoncteur

8.4 AMPECTOR de WESTINGHOUSE

- C'est un dispositif transistorisé - qui assure un déclenchement en surintensité réglable pour les disjoncteurs à faible volume d'huile du type MG. Il suffit d'un ampektor par disjoncteur. Il reçoit toute son énergie de fonctionnement d'un groupe de senseurs. Le courant de régime du disjoncteur peut être modifié en changeant simplement les senseurs.

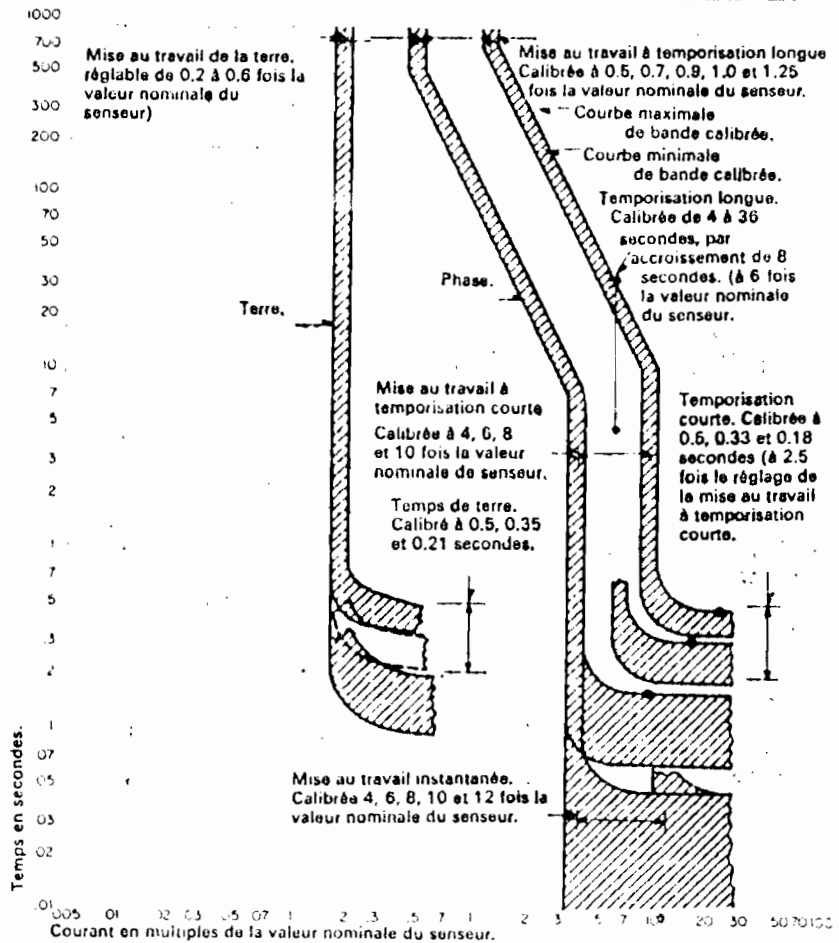
Il est muni de 4 gammes de mise au travail, ajustables en continu (1 - Temporisation longue, 2 - Temporisation courte, 3 - instantané, 4 - protection de Terre). Comme le montrent des Courbes Caractéristiques à la page suivante.

Il développe une valeur de sortie pour un déclencheur -actuateur lorsque les conditions d'amplitude et de durée de courant, choisies à l'avance, sont dépassées.

Les senseurs sont disponibles dans la gamme suivante :

100 - 150 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600 - 800 - 1200

1600 Amperes.



Caracteristiques de l'ampécteur Wastinghouse.

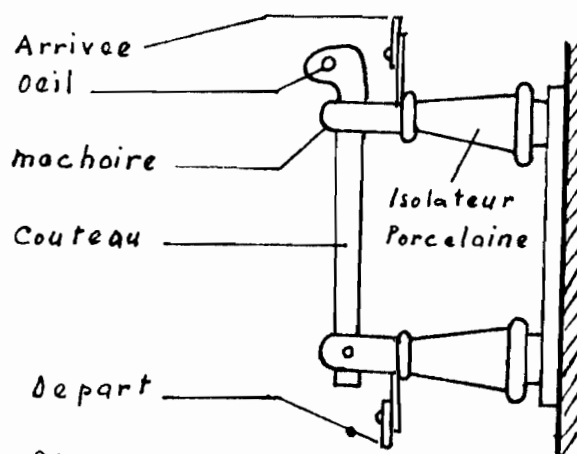
8-5 SECTIONNEUR

C'est un appareil destiné à isoler un circuit. Il ne possède aucun pouvoir de coupure et par conséquent il ne faut jamais le manœuvrer en charge.

Il donne un contrôle visuel de la coupure par dégauchement du couteau dans la mâchoire en actionnant sur l'œil.

Il permet d'isoler un circuit pour permettre des réparations sans danger.

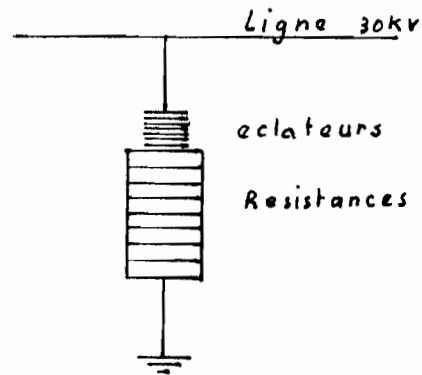
On utilisera des serrures bourrées afin de verrouiller entre eux les leviers de commande des sectionneurs et disjoncteurs et éviter ainsi toute fausse manœuvre ; c'est à dire que la clef de la serrure du sectionneur que l'on veut ouvrir ne peut être retiré de la serrure du disjoncteur qu'une fois celui-ci ouvert.



COUPE SCHEMATIQUE D'UN SECTIONNEUR

8-6 PARAFODRE

C'est un appareil qui se branche entre les phases et la terre. Il sera placé à l'extrémité du branchement aérien de la SENELEC juste avant l'entrée de notre poste T₁. Lorsque la surtension dépasse la tension d'amorçage (200 kV), le para foudre s'amorce et écoule la surtension à la terre, après quoi, le réseau est établi.

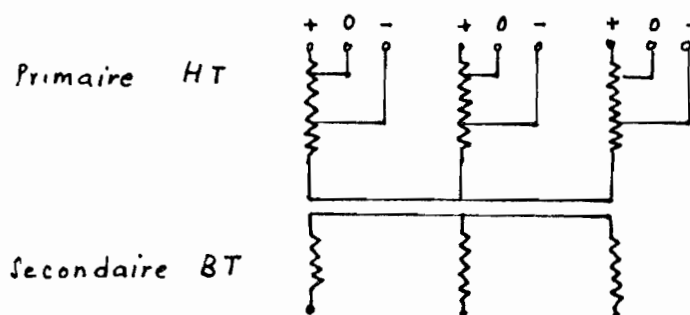


8.7 TRANSFORMATEURS

Construction : l'ensemble des circuits magnétiques est plongé dans un bain d'huile contenu dans une cuve. Cet huile permet :

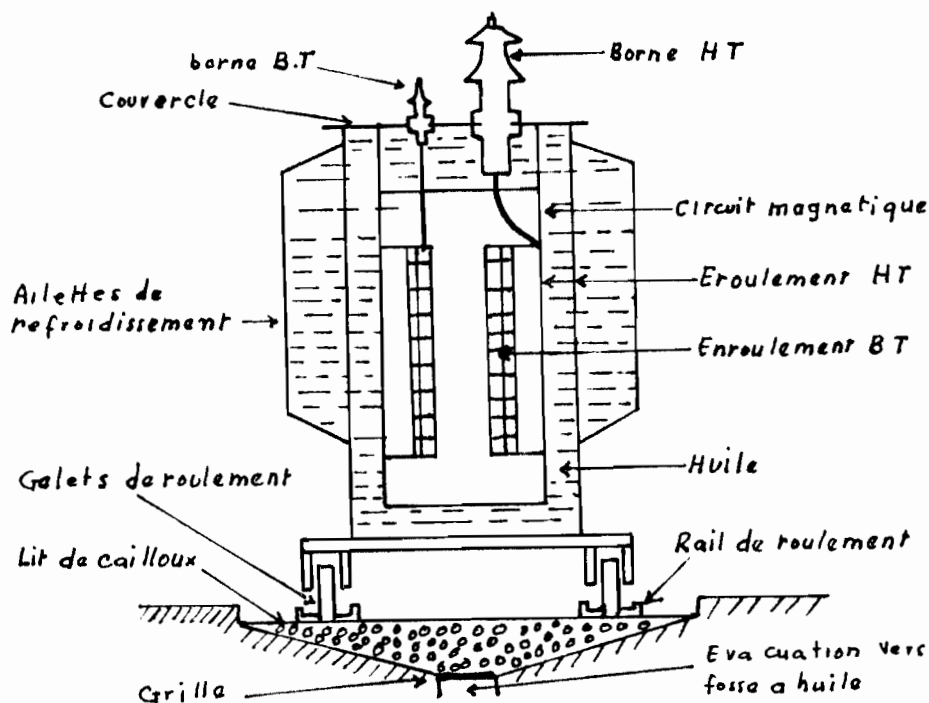
- de rapprocher les conducteurs davantage, que s'ils étaient dans l'air, à cause de son pouvoir inducteur spécifique qui améliore son pouvoir isolant.
- d'évacuer les calories causées par les pertes de Fer et de Cuivre dans les enroulements. Des ailettes placées sur les parois latérales améliorent le refroidissement.

On dispose de deux prises de réglage ($\pm 5\%$) situées de part et d'autre de la prise nominale marquée 0. Ces prises sont destinées à modifier légèrement le rapport de transformation.



PRISES de REGLAGE d'un TRANSFORMATEUR

A fin de reduire les dangers d'incendie, on menagera une fosse à huile au dessous du transformateur destinée à son évacuation.



COUPE D'UN TRANSFORMATEUR.

Au cours de son fonctionnement, l'huile s'altère peu à peu par suite de :

- La Condensation d'humidité à l'intérieur de la Cuve

- Sa décomposition au contact de l'air qui donne lieu à des dépôts

On effectuera alors les tests suivants conseillés par

l'ASTM (American Society for Testing materials) -
Si l'état de l'huile est jugé mauvais, on procédera à
un filtrage en circuit fermé - au cours duquel l'huile sera
rechauffée pour permettre la régénération.

les 8 TESTS ASTM de l'HUILE d'un TRANSFORMATEUR.

Methoda de TEST.	Critere d'evaluation des resultats	Informations tirees a Partir du Test
D-877 Dielectrique	bonne huile resiste jusqu'à 30 KV	Presence d'eau.
D-974 Nombre de neutralisation NN	mg de Potassium hydroxide pour neutraliser un gramme d'huile	Presence d'acide.
D971 Tension inter-faciale (IFT)	> 40 dynes par cm^2 pour une bonne huile	Presence de boue.
D-1524 Couleur	Comparer à 0.5 pour une bonne huile sur l'echelle des couleurs	le changement d'une année à l'autre indique la presence d'un probleme.
D-1298 densité	0.875 pour une bonne huile	Presence de Contaminants.
D-1524 Visuel	une bonne huile est claire	l'opacité indique la presence de Contaminants.
D-1691 Sediment	Pas du tout, peu, beaucoup de sediments	deterioration ou Contamination
D-924 Facteur de Puissance	bonne huile $FP \leq 0.05$	Presence de saletés : resines, oxydants.

8-8 DESIGN des BARRES OMNIBUS

Leur Capacité de Conduction est limitée par l'élévation de température - qui dépend des facteurs suivants : type de matériau, Configuration géométrique, degré de proximité etc...

L'efficacité maximale de Conduction est obtenue lorsque toutes les parties des barres opèrent à la même température.

On arrangera les barres de manière à ce que :

- la densité de Courant soit uniforme sur tout le Conducteur.
- la surface soit suffisamment grande pour dissiper la chaleur

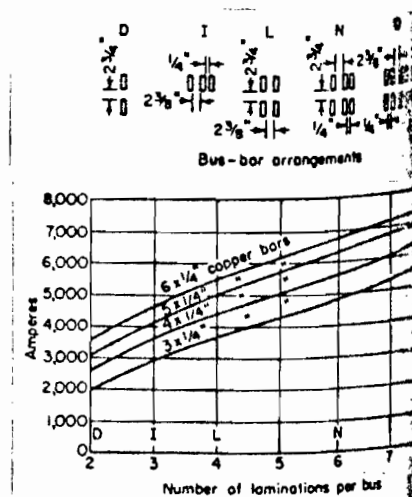
Les barres seront en Cuivre, c'est à dire même matériau que les Cables. Car des barres faites d'un matériau autre que le Cuivre (Aluminium par exemple) pourraient provoquer à la jonction, des réactions électrolytiques.

On choisira un arrangement :

Type L - $6 \times \frac{1}{4}$ " en Cu

Capable de conduire jusqu'à

5500 A



8-9 CABLES

Inspecter soigneusement les rouleaux à la réception, car il peut y avoir des dommages dissimulés, causés par les fourches des chariots éleveurs, ou produits lors de l'enroulement. Ces dommages peuvent être la cause de pannes prématurées ou d'interruptions tardives mais coûteuses.

Éviter de traîner le câble sur le sol, veiller à ce que les appareils mobiles ne montent pas dessus (risque de détérioration du système d'enveloppe.)

Porter une attention particulière aux finis de surface rugueux pouvant détériorer la gaine et causer ainsi des court-circuits.

traction des câbles pour appareils de levage.

formules :

$$T = L \times P \times f \quad \text{pour une section droite}$$

$$T = T_2 + T_1 e^{fa} \quad \text{pour une section courbe}$$

$$T = \text{tension en g}$$

$$T_2 = \text{tension pour la section droite suivant la courbe}$$

$$T_1 = \text{tension pour la section précédant la courbe}$$

α = angle de la courbe en radians

P = Poids du câble en g/m (935)

L = Longueur de traction.

$$\text{Tension à B} = 4 \times 935 \times 0.5 = 1906 \text{ g}$$

$$\text{Tension à C} = 1906 \exp(0.5 \times 1.57) = 4179 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Tension à D} &= 4179 + 5.25 \times 935 \times 0.5 \\ &= 6680 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tension à E} &= 6680 \exp(0.5 \times 1.57) \\ &= 14645 \text{ g} \end{aligned}$$

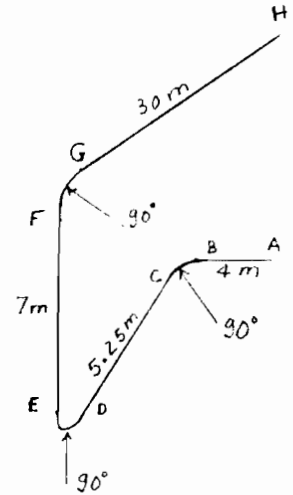
$$\text{Tension à F} = 14645 + 7 \times 935 \times 0.5 = 17980 \text{ g}$$

$$\text{Tension à G} = 17980 \exp(0.5 \times 1.57) = 39419 \text{ g}$$

$$\text{Tension à H} = 39419 + 30 \times 935 \times 0.5 = 14295 \text{ g}$$

On utilisera un œillet de traction sur le conducteur
 Vu que la tension totale est trop grande.

Utiliser une pince de traction pour les autres câbles.

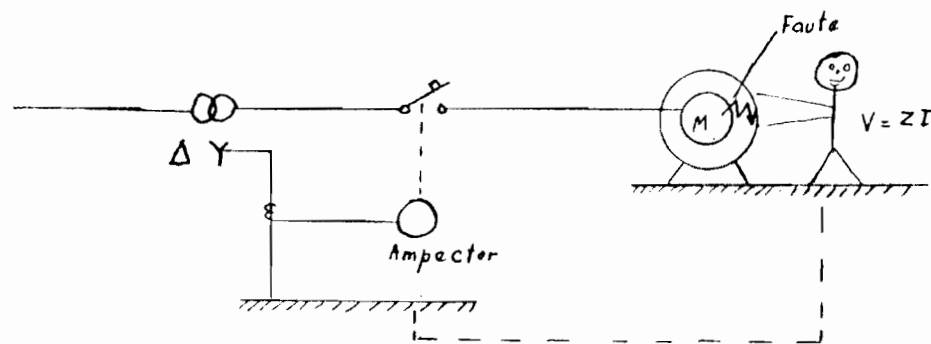


8.10 Mise à la terre

Les 2 avantages d'une bonne mise à la terre sont :

- Diminution du potentiel entre la faute et la terre
- Augmentation du courant de circulation dans le neutre. Le relais (Ampektor) du transformateur le plus proche va enregistrer ce courant qui va l'exciter, et commander ainsi l'ouverture du disjoncteur.

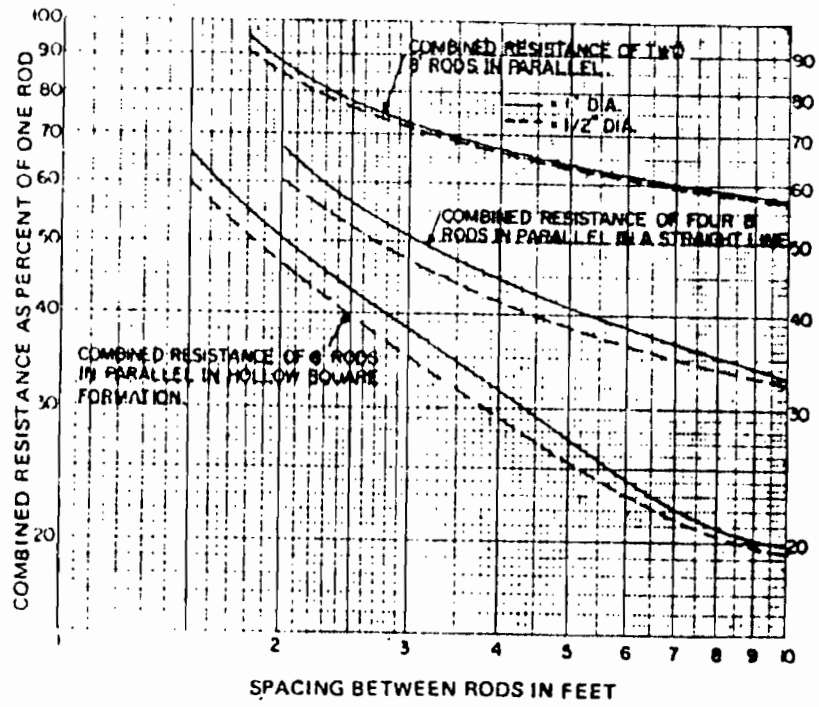
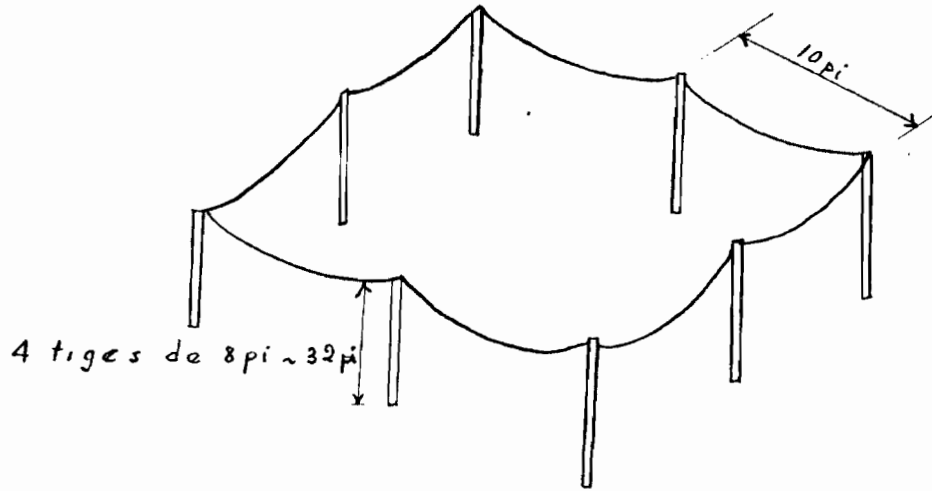
Le bonhomme qui se trouve entre la faute et la terre pourra ainsi être sauvé comme le montre le schéma suivant :



On utilisera des tiges de 8 pi de longueur, qui sont les plus courantes.

Le sol est argileux. La résistance installée est de 2 Ω par colonne.

Les tiges seront disposées comme suit :



Resistances de tiges combinées

Cette disposition donne une résistance combinée de l'ensemble égale à : $R_G = 20\% \times 2\Omega = 0.4\Omega$

Exemple d'application :

Transformateur T_1 $Z_{\text{cable}} \approx 0$

$$I_{\text{faute}} = \frac{5500V}{0.4\Omega} = 13750 \text{ A.}$$

l'ampèremètre déclenche instantanément l'ouverture du disjoncteur D_1 .

A cause de la fluctuation des saisons, nous allons introduire des impuretés dans le sol (Sel, sulfate de Mg) à 17% du mélange argileux pour augmenter la résistivité. Ceci aura pour effet de diminuer davantage le potentiel de faute.

9 - ANALYSE des COÛTS

9.1 COÛT de l'ECLAIRAGE

Les ateliers A, B, C, seront éclairés de 19^h00 @ 24^h00
 soit 5^h / jour ; L'administration : 3^h / jour ; l'aire de
 stockage et la clôture seront éclairées toute la nuit durant
 soit 13^h / jour.

	Lieu d'éclairage →	ATELIERS A, B, C	ADMINIS- TRATION	CLOTURE & STOCKA- GE
Données de base	0. Lumens initiaux par lampe	3150	3200	20000
	1. Watt par Lampe	80	80	275
	2. Vie (Heures)	30000	15000	24000
	3. Nombre de luminaires	580	245	42
	4. Lampes par luminaire	2	2	1
	5. Nombre de lampes au total	1160	492	42
	6. Coût de l'énergie (CFA/kwh)	55	55	55
7. Heures d'utilisation par an	1825	1095	4745	
Coûts initiaux	8. Coût d'un luminaire	1000	1000	800
	9. Coût des accessoires additionnels par luminaire (ballast)	4750	4750	4750
	10. Coût du câblage par luminaire	500	500	700
	11. Coût d'une lampe	770	770	1200
	12. Coût initial des lampes par luminaire (11 x 4)	1540	1540	1200
	13. Coût initial Total par luminaire (8 + 9 + 10 + 12)	8290	8290	7450
	14. COUT INITIAL TOTAL (3 x 13)	4 800 000	2 031 000	313 000
	A suivre			

charges fixes annuelles	15. Cout initial par luminaire (sans lampe). (8 + 9 + 10)	6750	6750	6250
	16. Charge fixes annuelles	2 015 000	1 654 000	2 025 000
coûts d'opération annuels	17. Nombre de lampes remplacées par an (5 x 7 ÷ 2)	71	36	9
	18. Cout annuel de remplacement (17 x 11)	54670	27720	10800
	19. Cout annuel de l'énergie (1 x 5 x 6 ÷ 1000)	2552	538	49822
	20. Cout annuel d'opération (18 + 19)	57222	28258	60622
	21. Cout annuel Total (20 + 16)	3917552	1654528	323122

Prix en francs CFA.

Source : Casernement de l'École polytechnique de Thies.

3.2 Coût de l'appareillage électrique.

Appareillage	Nombre	prix unitaire (Francs CFA)	prix total (millions CFA)
Sectionneur HT	1	900 000	0.9
Sectionneur BT	2	200 000	0.4
Disjoncteur HT 30kV	1	1 500 000	1.5
Disjoncteur MT 5.5kV	4	400 000	1.6
Disjoncteur BT 380V	6	250 000	1.5
Ampektor Westing house	11	350 000	3.85
Transfo - 2500 kVA	1	2 000 000	2
Transfo - 750 KVA	2	1 500 000	3
Transfo - 250 kVA	1	1 000 000	1
Transfo - 160 KVA	1	800 000	0.8
para foudre	1	400 000	0.4
Centre de commande moteur	4	15 000 000	60

Total 76 950 000 Francs CFA

Sources: SENELEC
 SENEMATEL
 C.G.E (Compagnie Generale d'electricite)
 E.S.E (entreprise Senegalaise d'electricite)

10 REFERENCES de CALCULS

10.1 CALCUL des VALEURS par UNITE (P.u)

$$\text{kVA de base} = 2500 \text{ kVA}_B$$

Transformateurs

Designation	T ₁	T _A	T _B	T _C	T _E
Charge kVA	2500	250	750	750	160
Impedance X	.065	.050	.055	.055	.050

$$X_{T_1} = \frac{2500 \text{ kVA}_B}{2500 \text{ kVA}} \times .065 = 0.065 \text{ pu}$$

$$X_{T_A} = \frac{2500 \text{ kVA}_B}{250 \text{ kVA}} \times .05 = 0.50 \text{ pu}$$

$$X_{T_B} = X_{T_C} = \frac{2500 \text{ kVA}_B \times .055}{750 \text{ kVA}} = 0.183 \text{ pu}$$

$$X_{T_E} = \frac{2500 \text{ kVA}_B \times .050}{160 \text{ kVA}} = 0.78 \text{ pu}$$

10.2 Moteurs Impedance

Pour les petits moteurs ($H_p \leq 20$) le courant de démarrage I_D est sensiblement égal à 4 fois le courant nominal - ce qui correspond à une reactance sous

$$\text{transitoire } X_d'' \approx \frac{I_D}{I_N} = \frac{1}{4} = 0.25$$

Etant donné que tous les autres moteurs sont alimentés

à $380\text{ V} \ll 600\text{ V}$, leur apport à un court-circuit est supposé $\approx 4 I_B \Rightarrow X_d'' = 0.25$ Comme pour les petits moteurs.

Atelier A

13	moteurs de 7.4 HP	=	96.2 HP
5	de 5.4 HP	=	27 HP
3	de 9 HP	=	6 HP
3	de 20 HP	=	60 HP
<hr/>			
$M_1 = 189.2\text{ HP}$			

Atelier B

4	moteurs de 2 HP	=	8 HP
2	de 20 HP	=	40 HP
<hr/>			
$M_2 = 48\text{ HP}$			
7	moteurs de 100 HP	$M_3 = 7 \times 100\text{ HP}$	

Atelier C

5	moteurs de 20 HP	=	100 HP
<hr/>			
$M_4 = 100\text{ HP}$			
2	Compresseurs de 177 HP	$M_5 = 2 \times 177\text{ HP}$	

La contribution des fours et de l'éclairage aux courants de court-circuit est négligeable. Avec un $\cos \varphi_{\text{moy}} = 0.8$ on a :

$$X_{M_1} = \frac{2500 \text{ kVA}_B \times 0.25 \times 0.745 \frac{\text{HP}}{\text{kVA}}}{189.2 \text{ HP} \times 0.8} = 3.08 \text{ pu}$$

$$X_{M_2} = \frac{2500 \times 0.25 \times 0.745}{48 \text{ HP} \times 0.8} = 12.12 \text{ pu}$$

$$X_{M3} = \frac{2500 \times 0.25 \times 0.746}{7 \times 100 \text{ HP} \times 0.8} = 0.83 \text{ pu}$$

$$X_{M4} = \frac{2500 \times 0.25 \times 0.746}{100 \text{ HP} \times 0.8} = 5.89 \text{ pu}$$

$$X_{M5} = \frac{2500 \times 0.25 \times 0.746}{2 \times 177 \text{ HP} \times 0.8} = 1.64 \text{ pu}$$

10.2 Cables des transformateurs

Numero du cable	Impedances L.N $\Omega/305 \text{ m}$		
	X	R	Z
400 MCM	0.0397	0.0342	0.0475
600 MCM	0.0309	0.0237	0.0389

Secondaire T_A - 25 m $X_{AS} = \frac{0.0389 \Omega}{305 \text{ m}} \times 25 \text{ m} = 0.003 \text{ pu}$

Primaire T_A - 180 m $X_{AP} = \frac{0.0475 \Omega}{305 \text{ m}} \times 180 \text{ m} = 0.028 \text{ pu}$

Secondaire T_B - 25 m $X_{BS} = \frac{0.0389 \Omega}{305 \text{ m}} \times 25 \text{ m} = 0.003 \text{ pu}$

Primaire T_B - 130 m $X_{BP} = \frac{0.0475}{305 \text{ m}} \times 130 \text{ m} = 0.020 \text{ pu}$

Secondaire T_c ~ 0 m $X_{cP} = \approx 0$

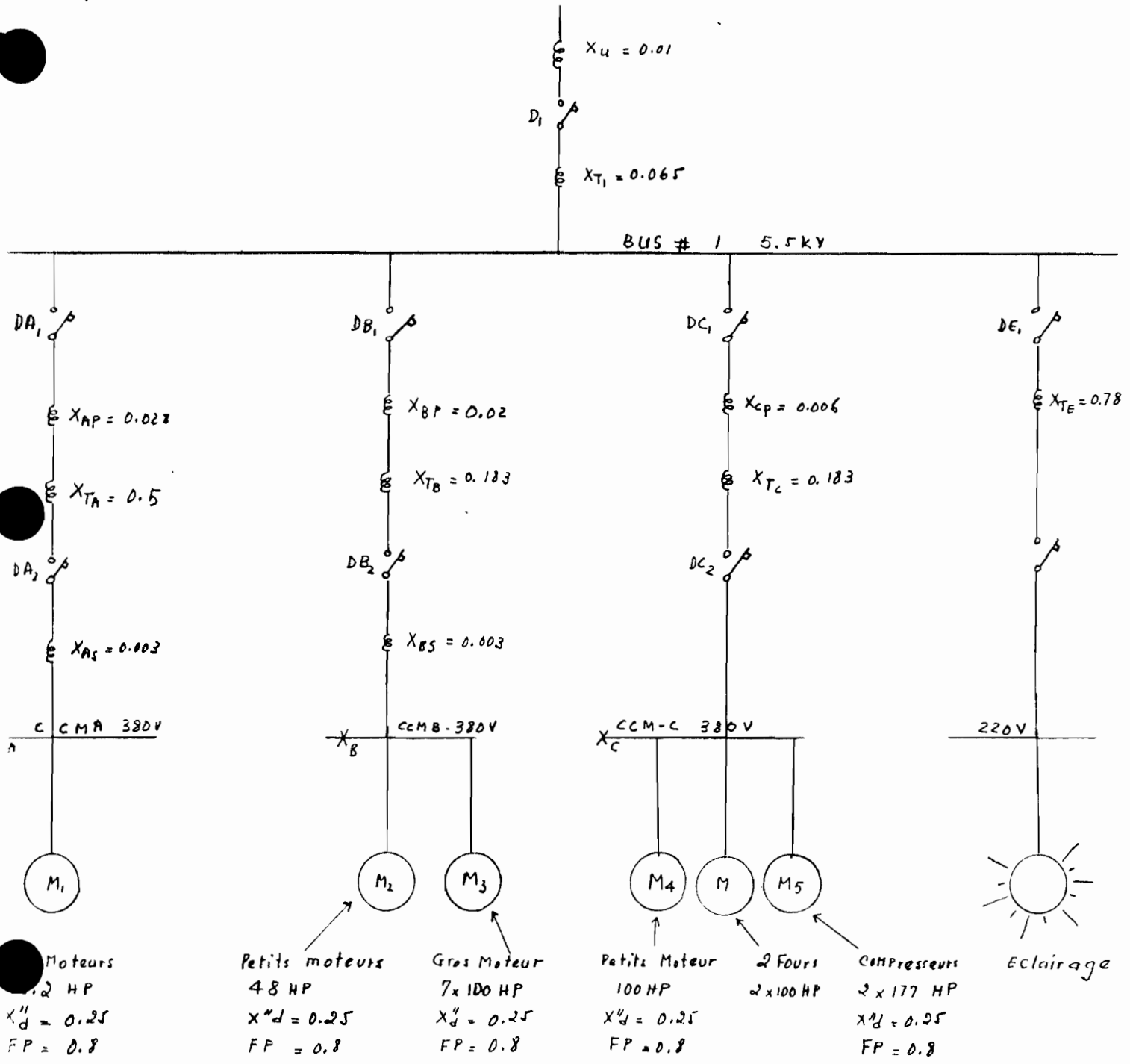
Secondaire T_c - 50 m $X_{cS} = \frac{0.0389}{305 \text{ m}} \times 50 \text{ m} = 0.006 \text{ pu}$

Primaire T_E ~ 0 m $X_{EP} = \approx 0$

Arrivée SENELEC - 250 MVA

$$X_u = \frac{2500 \text{ KVA}_B}{250000 \text{ KVA}} = 0.01 \text{ pu}$$

Diagramme unifilaire d'impédances par unités



10.4 CALCUL des COURANTS de COURT-CIRCUIT

faute au point D_1

$$I_H = \frac{2500 \text{ KVA}_B}{\sqrt{3} \times 30 \text{ kV}} = 48 \text{ A}$$

$$I_{\text{coupure}} = \frac{1}{0.01} \times 2500 \text{ KVA}_B \equiv 250 \text{ MVA}$$

$$\frac{250000 \text{ KVA}}{30 \text{ kV}} = 8300 \text{ A @ } 30 \text{ kV}$$

$$8300 \text{ A} \times \frac{30 \text{ kV}}{.380 \text{ kV}} = 65800 \text{ A @ } 380 \text{ V}$$

$$I_{\text{momentané}} = 1.6 \times 250000 \equiv 400 \text{ MVA}$$

$$\frac{400000 \text{ KVA}}{30 \text{ kV}} = 13300 \text{ A @ } 30 \text{ kV}$$

$$13300 \text{ A} \times \frac{30 \text{ kV}}{.380 \text{ kV}} = 1050000 \text{ A @ } 380 \text{ V}$$

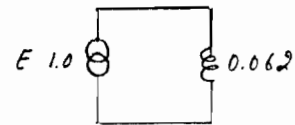
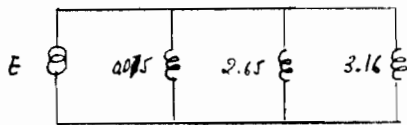
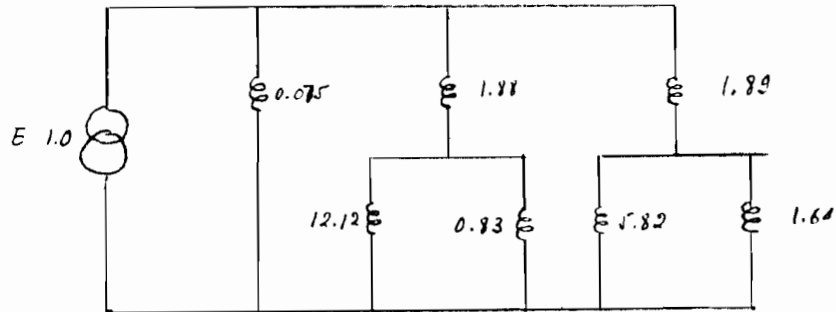
Choix du disjoncteur : D_1 38 MG 500-6 30 kV

500 MVA - 630 A regime

8400 A coupure

13400 A Momentané

faute au point DAI



$$I_{\text{symétrique}} = \frac{2500 \text{ KVAB}}{\sqrt{3} \times 5.5 \text{ KV}} / 0.062 = 4233 \text{ A @ } 5.5 \text{ KV}$$

Coupure

$$4233 \text{ A} \times \frac{5.5 \text{ KV}}{0.380 \text{ KV}} = 61300 \text{ A @ } 380 \text{ V}$$

$$I_{\text{asymétrique}} = 1.6 \times 4233 = 6920 \text{ A @ } 5.5 \text{ KV}$$

momentane

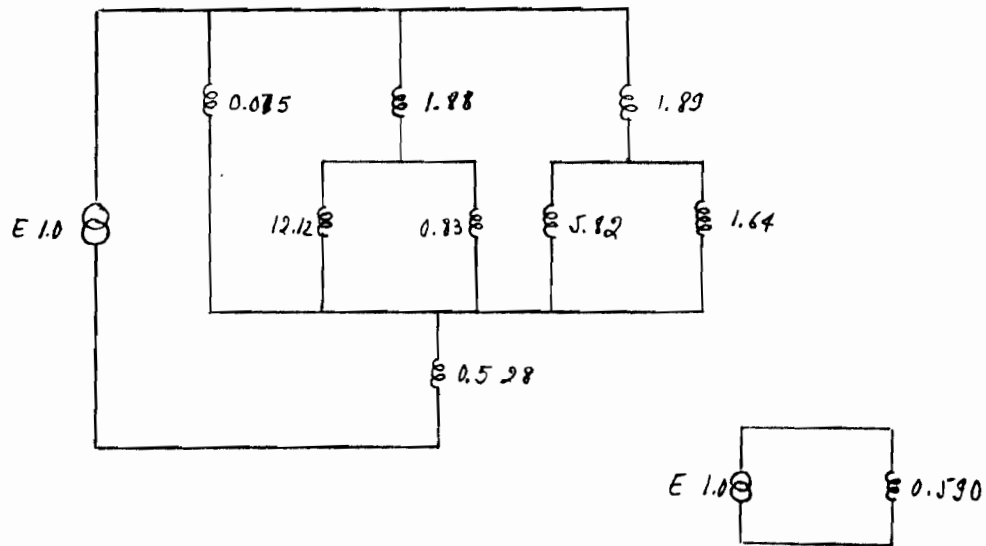
$$= 100000 \text{ A @ } 380 \text{ V}$$

choix du Disjoncteur : DA₁ 12 MG 250-6 7.2 KV

150 MVA - 630 A regime

12000 A Coupure

faute au point DA₂



$$I_{\text{symétrique}} = \frac{2500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0.380 \text{ kV}} / 0.59 = 6438 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

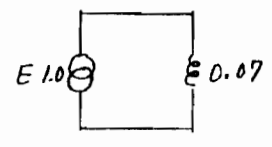
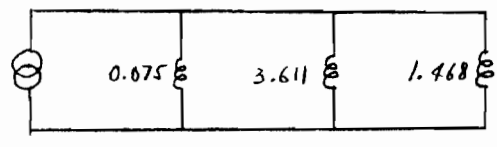
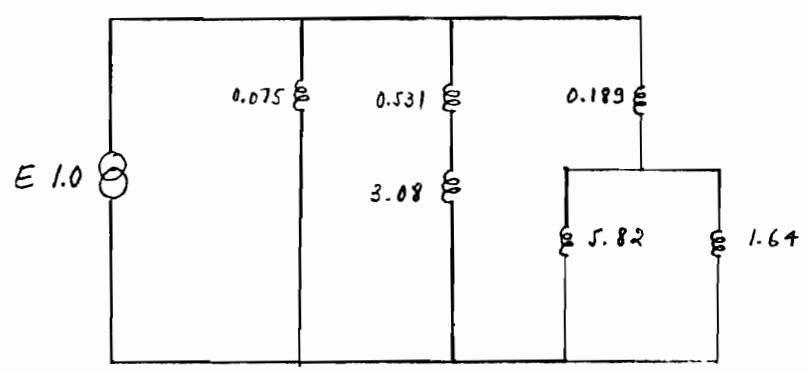
coupure

$$I_{\text{asymétrique}} = 1.6 \times 6438 \text{ A} = 10300 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

momentane

Choix du disjoncteur : DA₂ AK-15 - 380V
9000 A coupure

faute au point DB₁



$$I_{\text{symétrique coupure}} = \frac{2500 \text{ kVA}_B}{\sqrt{3} \times 5.5 \text{ kV}} / 0.07 = 3749 \text{ A @ } 5.5 \text{ kV}$$

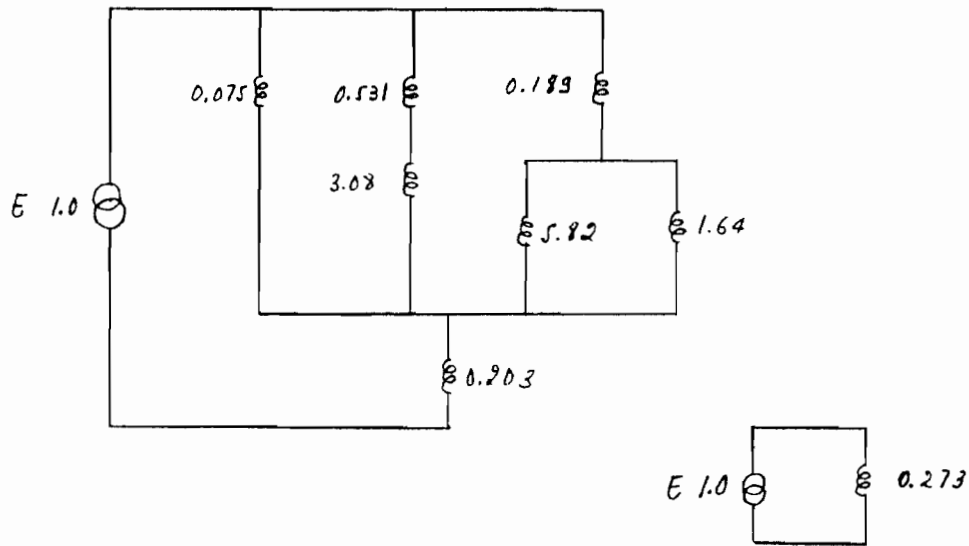
$$= 54264 \text{ A @ } 380 \text{ V}$$

$$I_{\text{asymétrique momentané}} = 1.6 \times 3749 \text{ A} = 5998 \text{ A @ } 5.5 \text{ kV}$$

$$= 86822 \text{ @ } 380 \text{ V}$$

choix du disjoncteur : DB1 12 MG 250-6 7.2 kV
 150 MVA - 630A regime
 12000 A coupure

faute au point DB2



$$I_{\text{symétrique}} = \frac{2500 \text{ kVA}_B}{\sqrt{3} \times 0.380 \text{ kV}} \Big/ 0.273 = 13914 \text{ A} \quad @ 380 \text{ V}$$

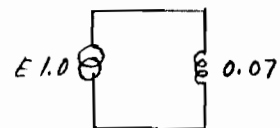
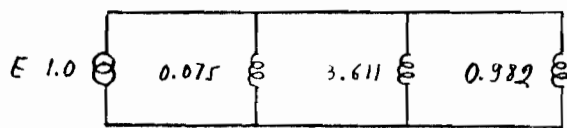
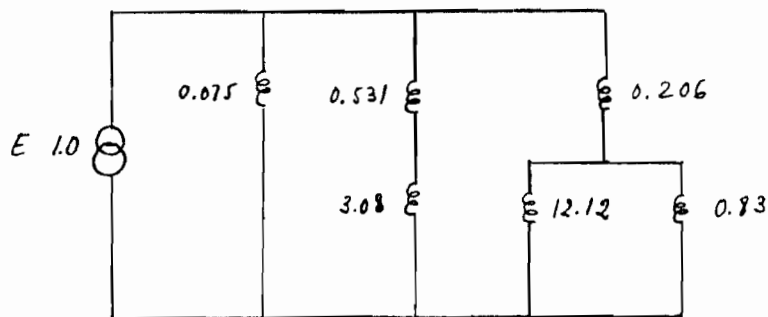
Coupure

$$I_{\text{asymétrique}} = 1.6 \times 13914 \text{ A} = 22262 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

momentane

Choix du disjoncteur DB2 : AK75 - 380V
22000 A Coupure

faute au point DC₁

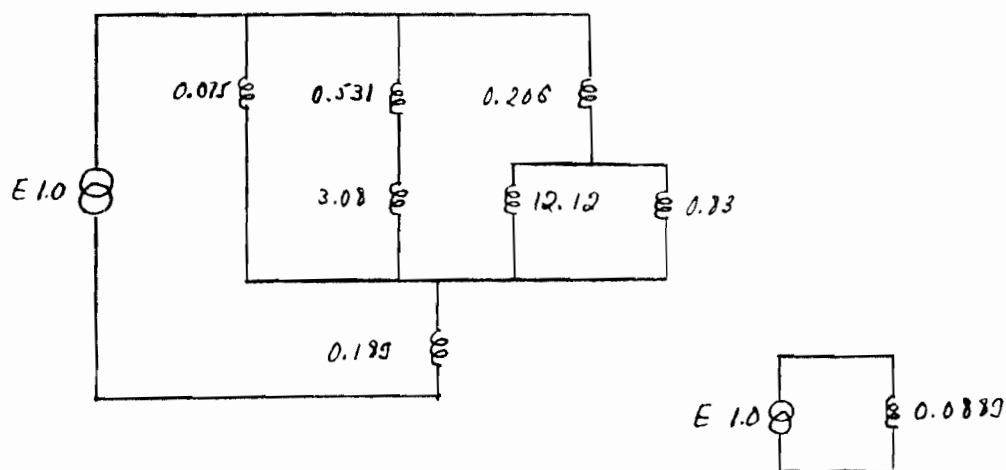


Même niveau de faute - qu'au point DB₁ - donc :

$$\begin{aligned}
 \bar{I}_{\text{symétrique}} &= 3749 \text{ A @ } 5.5 \text{ kV} \\
 \text{COUPURE} &= 54264 \text{ A @ } 380 \text{ V} \\
 \bar{I}_{\text{asymétrique}} &= 5998 \text{ A @ } 5.5 \text{ kV} \\
 \text{momentané} &= 86822 \text{ A @ } 380 \text{ V}
 \end{aligned}$$

choix du disjoncteur : DC₁ 12 MG 250-6 7.2 kV
 150 MVA - 630 A régime
 12000 A coupure.

faute au point DC2



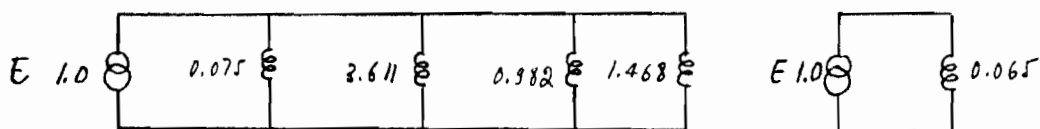
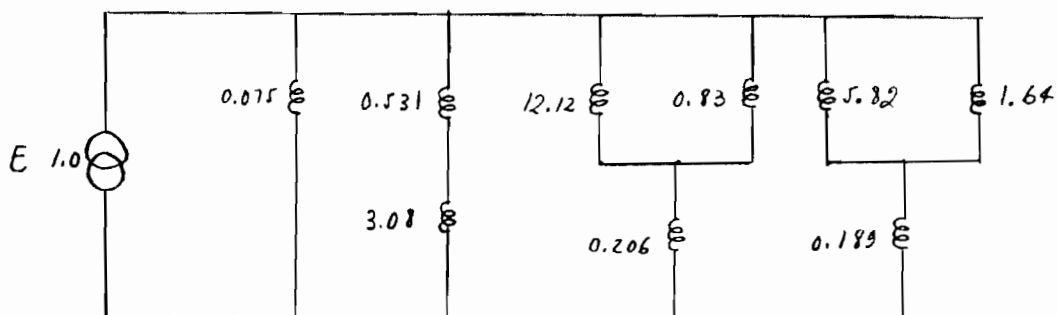
$$I_{\text{symétrique}} = \frac{2500 \text{ kVA}_2}{\sqrt{3} \times 0.380 \text{ kV}} / 0.0889 = 42730 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

$$I_{\text{asymétrique}} = 1.6 \times 42730 = 68360 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

momentané

choix du disjoncteur : DC2 AK75 - 380V
22000 A coupure

faute au point DE₁



$$I_{\text{symétrique}} = \frac{2500 \text{ kVA}_B}{\sqrt{3} \times 0.380} / 0.065 = 58440 \text{ A} @ 5.5 \text{ kV}$$

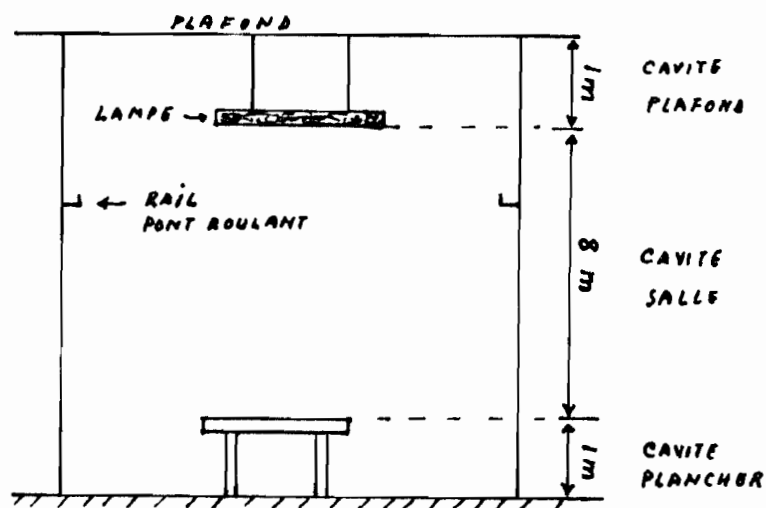
$$= 58440 \times \frac{5.5 \text{ kV}}{0.380 \text{ kV}} = 845810 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

$$I_{\text{asymétrique}} = 1.6 \times 58440 \text{ A} = 93504 \text{ A} @ 5.5 \text{ kV}$$

$$= 1353000 \text{ A} @ 380 \text{ V}$$

Choix du disjoncteur: DE₁ 12 MG 750 - 17 7.2 kV
 550 MVA - 1750 A régime
 58 A coupure.

10-5 CALCUL de l'ÉCLAIRAGE des ATELIERS



Rapports de cavité

$$\text{Salle} = 5 \times \frac{75}{1250} \times 8 = 2.4$$

$$\text{Plafond} = -4- \times 1 = 0.3$$

$$\text{Plancher} = -11- \times 1 = 0.3$$

$$\text{Reflexion plafond} = 80\%$$

$$\text{-11- Plancher} = 30\%$$

$$\text{-11- Mur} = 50\%$$

$$\Rightarrow \text{Luminance cavité plafond} = 75\%$$

$$\text{-11- Plancher} = 74\%$$

Detail Luminaire

Reflecteur categorie III \rightarrow facteur de depreciation = 0.85

Coefficient d'utilisation CU = 0.69

Facteur de correction = 1.06

C.U corrigé = $1.06 \times 0.69 = 0.73$

Detail Lampe

Type FLUORESCENT F40CW

Lumen depreciation = 0.88

Seuil de Tension = 256 volts

Ballast - Type 2-40 T12/IS

Nombre de Luminaires =

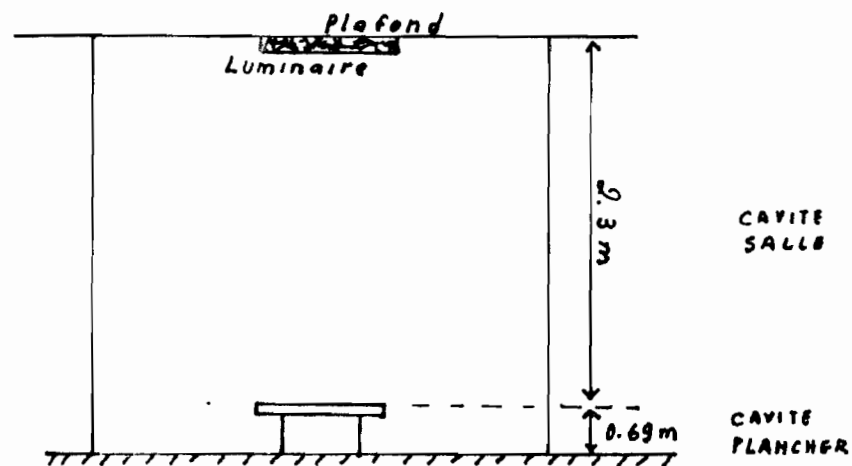
$$\frac{1250 \text{ m}^2 \times 600 \text{ Lux}}{2 \times 3150 \times 0.88 \times 0.73 \times 0.85} = \underline{218 \text{ Luminaires}}$$

Espacement : d

$$d \leq 1.2 \times 8 \text{ m}$$

$$d \leq 10 \text{ m}$$

10-6 CALCUL de l'ECLAIRAGE de BUREAU X ADMINISTRATIFS



Rapport de cavité

$$\text{Salle} = 5 \times \frac{15}{54} \times 2.3 = 3$$

$$\text{Plafond} = \text{--} \times 0 = 0$$

$$\text{Plancher} = \text{--} \times 0.69 = 0.9$$

$$\text{Reflexion Plafond} = 80\%$$

$$\text{--} \text{ Plancher} = 20\%$$

$$\text{--} \text{ Mur} = 50\%$$

$$\Rightarrow \text{Luminance -cavité plafond} = 75\%$$

$$\text{--} \text{ Plancher} = 74\%$$

Detail Luminaire

Reflecteur à 2 Lampes

Coefficient d'utilisation CU = 0.48

facteur de correction du CU = 1

Detail Lampe

Type FLUORESCENT F 40 T 10 / CW / 99

Lumen depreciation = 0.86

Seuil de Tension = 250 Volts

Ballast - Type 2 - 40 T 12 / IS

Nombre de Luminaires

$$\frac{54 \text{ m}^2 \times 1600 \text{ Lux}}{2 \times 3200 \times 0.86 \times 0.98} = \underline{33 \text{ Luminaires}}$$

Espacement: d

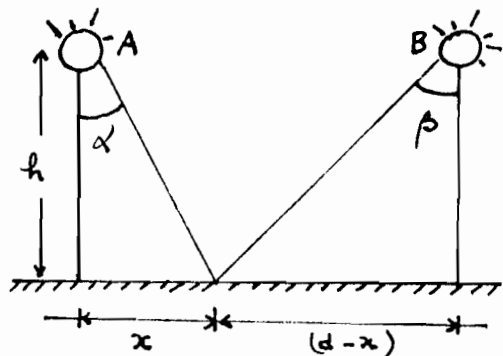
$$d \leq 1.2 \times 2.3 \text{ m}$$

$$d \leq 2.76 \text{ m}$$

10.7 CALCUL de L'ECLAIRAGE EXTERIEUR

Nous cherchons le point entre deux lampes - où le niveau d'éclairage est minimum. Etant donné qu'il y'a interférence des deux lumières; intuitivement, le point milieu sera le moins éclairé - C'est ce - que nous allons vérifier -

- On cherche l'éclairage
- au point situé - à une
distance x du Luminaire A



$$\text{Contribution de A : } E_A = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha$$

$$\text{Contribution de B : } E_B = \frac{I}{h^2} \cos^3 \beta$$

$$\text{Total } E_A + E_B = \frac{I}{h^2} (\cos^3 \alpha + \cos^3 \beta) = E$$

E : éclairage en Lux

I : intensité émise en Candélas

$$\cos \alpha = \frac{h}{(h^2 + x^2)^{1/2}} \quad \cos \beta = \frac{h}{[(d-x)^2 + h^2]^{1/2}}$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = 0 \quad \curvearrowright \quad (x^2 + h^2)^{-3/2} = (d-x) [(d-x)^2 + h^2]^{-5/2}$$

On vérifie bien - que $x = d/2$ (le milieu) est un point critique - Nous sommes maintenant sûrs - que

le milieu des 2 Luminaires est un point d'éclairage minimum.

Pour calculer la distance minimum entre 2 Luminaires nous procéderons comme suit :

$$f_c = \frac{CP \cos \theta \times FM}{h^2} \quad \theta \equiv \alpha = \beta$$

f_c = Foot Candle

CP = Candle Power

FM = facteur de maintenance
= 0.80

$$\cos \theta = \frac{f_c h^2}{CP \times FM} = \frac{h}{(d^2/4 + h^2)^{1/2}}$$

$$\Rightarrow d = 2h \left[\frac{(CP \times FM)^2}{(f_c \times h^2)^2} - 1 \right]^{1/2}$$

d = distance minimum

AIRE de STOCKAGE

lampe - H 37-5 KC / 0x
250 W
1300 Lumen

$$f_c = 2.3$$

$$CP = 1800 @ 45^\circ$$

$$h = 10m \approx 30ft$$

$$d = 2 \times 10 \left[\left(\frac{1800 \times 0.80}{(2.3/2)(30)^2} \right)^2 - 1 \right] = \underline{20 \text{ m}}$$

CLOTURE

Lampe - H 37 - 5KC / D1
 250 W
 13 000 Lumen

$$fc = 1$$

$$CP = 1800 \text{ @ } 45^\circ \text{ m\u00eame - que precedent}$$

$$h = 10 \text{ m} \approx 30 \text{ ft}$$

$$d = 2 \times 10 \left[\left(\frac{1800 \times 0.80}{(1/2)(30)^2} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = \underline{50 \text{ m}}$$

Le choix d'un (fc = 1) pour la cloture beaucoup plus faible que la fc de l'aire de stockage (fc = 2.3) se justifie par le fait qu'il n'est pas tellement necessaire d'eclairer la cloture. Nous accordons de l'importance surtout au materiel stocke a l'air libre.

LUMINAIRE

Comme luminaires - on prendra des reflecteurs en d\u00f4me - \u00e0 raison d'une lampe par reflecteur.

II - CONCLUSION et DISCUSSIONS

II.1 CONCLUSION

tout au long de cette présente étude, nous avons essayé de nous conformer le plus que possible à un certain nombre de critères d'évaluation dans le cadre de la méthodologie d'un design électrique. Critères que nous nous fixons au départ, à savoir :

- Sécurité maximale
- Versatilité de l'appareillage, flexibilité de l'installation.
- Centralisation des opérations.

Ces trois principaux critères justifient :

- l'utilisation massive des déclencheurs en surintensité variables (Ampektor Westinghouse) et des disjoncteurs d'intérieur à faible volume d'huile.
- L'uniformisation des câbles :
 - # 6, 7, 12 pour petits moteurs, circuits de commande et éclairage.
 - # 400, 600 MCM pour les transformateurs et gros moteurs.

- Centralisation des fonctions - à partir des Centres de Commande moteurs et panneaux d'éclairage.

11.2 - DISCUSSIONS

Dans cette phase finale de notre installation, nous allons porter une attention particulière au calibrage des éléments de protection -

La première fonction d'un élément de protection est d'ouvrir un circuit et isoler par là, l'équipement électrique - qui est en danger. Danger du à une surcharge venant d'un -court-circuit ou d'une faute. Le temps de réponse de ces éléments est fonction de l'intensité du courant. Il sera long pour les faibles courants et ira en décroissant avec l'augmentation du courant pour atteindre une vitesse presque instantanée (2 @ 3 cycles) pour les grosses fautes.

Il serait alors très souhaitable - que l'interruption de -courant soit confinée dans la zone la plus restreinte possible - afin d'éviter les arrêts de tout un processus continu -

Les -appareillages doivent par conséquent être coordonnés

de manière à créer la discrimination entre eux.

Ainsi dans chaque circuit;

- Tous les éléments de protections doivent permettre le passage du courant de démarrage ($I_D \approx 6 I_N$) durant 5 secondes environ et le courant de pleine charge.
- Les transformateurs doivent permettre :
 - le passage du courant de courant de magnétisation (INRUSH) = $8 I_N$ pendant 0.1 secondes
 - le court-circuit aux bornes (POINT ANSI) - le Transformateur T₁ 30KV/5.5KV laissera ainsi passer $17 I_N$ pendant 3 sec.

L'efficacité de cette coordination (discrimination) sera donnée par la sélectivité des éléments de protection dans leur fonctionnement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Standard Handbook for electrical engineers - Section 10-421-528 power system electrical equipment.
- FINK & CARROL 10^e EDITION.
2. Practical Grounding - COPPER WELD BIMETALLICS DIVISION - INTERNATIONAL INC. N.YORK.
3. Moteurs Asynchrones Triphases 0.09 @ 450 KW
LEROY SOMMER
4. Westinghouse lighting Handbook -
WESTINGHOUSE CANADA LTD
5. Technical information from independant test report
6. Today's electrical practice - supply/distribution/ utilisation. in the industrial plant.
JAMES J. O'CONNOR, ASSOCIATE EDITOR - OCT. 1973.
7. Disjoncteur d'interieur à faible volume d'huile
Type MG - WESTINGHOUSE CANADA LTD - OCT. 1975

8. Industrial Power and systems coordination
CANADIAN GENERAL ELECTRIC 1972.
9. Circuits electriques (theorie et applications)
J. A. EDMINISTER Serie SCHAUM.
10. How to write electrical specifications -
ELECTRICAL CONSTRUCTION and MAINTENANCE .
11. Exercices sur les Montages electriques -
ANTONIO ROBERT T.D - Mars 1971.
12. Encyclopedie d'electricite' - QUILLET.
13. Motor Application and Maintenance Handbook
SMEATON - Mc GRAW - HILL.