

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

6/81

Université des Sciences et de la Technologie d'Alger

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE



PROJET DE FIN D'ETUDES
INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRICITE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
**ALIMENTATION ELECTRIQUE D'UNE USINE
DE FABRICATION DE CABINES**

10 PLANCHES

Proposé par : SONELEC

Dirigé par :
S. KWIATKOWSKI

Etudié par :

M. NEDJAR
A. TAKKA

JUIN 81

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des Sciences et de la Technologie d'Alger

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRICITE

المدرسة الوطنية للعلوم والتقنية
ALIMENTATION ELECTRIQUE D'UNE USINE
DE FABRICATION DE CABINES
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

Proposé par : SONELEC

Dirigé par ;
S. KWIATKOWSKI

Etudié par :

M. NEDJAR
A. TAKKA

JUIN 81

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur M^r S.KWIATKOWSKI pour tous les conseils qu'il nous a prodigué durant ce projet.

Nous exprimons notre reconnaissance à M^r KOURGLI professeur à l'ENPA pour son aide.

Nous remercions également les responsables de l'Unité Etudes et Réalisations de la SONELEC pour la réalisation matérielle de cet ouvrage.

Que tous les professeurs qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

DEDICACES

A la mémoire de mon grand-père
A mes parents
A ma femme et mes enfants
A tous mes amis

ARAB TAKKA

A la mémoire de mes grands parents
A mes parents
A tous mes amis

MOHAMED NEDJAR

INTRODUCTION:

Ce projet consiste en l'étude de l'alimentation d'une usine de fabrication de cabines en énergie électrique. Il comporte en général tous les problèmes de la distribution basse tension en particulier l'installation d'éclairage des allées extérieures de l'usine, le calcul des sections de câbles et la détermination des dispositifs de protection.

PREMIERE PARTIE:

ECLAIRAGE EXTERIEUR DE L'USINE

INTRODUCTION:

L'oeil permet de voir clair dans un domaine d'éclairement de 0,2 lux à 100 000 lux. Entre ces deux valeurs extrêmes qui fatiguent la vue, il est nécessaire de calculer un éclairage avec beaucoup de soins afin d'éviter de travailler dans de mauvaises conditions et d'augmenter la sécurité .

Dans cette partie de notre projet, on se propose d'étudier l'éclairage des allées extérieures et des aires de stockage de l'usine .

Compte tenu du contraste des objets (cabines d'habitation) et du faible trafic de circulation, nous devons obtenir un éclairement de 14 à 20 lux sur toutes les zones .

I-NOTIONS D'ECLAIRAGE:

I-1-Grandeurs et unités photométriques:

I-1-1-Flux lumineux:

C'est la quantité de lumière émise par seconde par une source lumineuse.

Unité: le lumen(lm)

Symbole: ϕ

I-1-2-Quantité de lumière:

La quantité de lumière est définie comme étant le produit du flux lumineux et du temps pendant lequel ce flux est émis.

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \phi . dt$$

Unité:lumen.seconde(lm.s)

I-1-3-Intensité lumineuse:

L'intensité lumineuse est donnée par le flux compris dans l'unité d'angle solide dans lequel il est émis et cela dans une direction donnée.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

Unités:I en candélas(cd)

d Ω en stéradians(sd)

d ϕ en lumens(lm)

Cette définition est valable pour une source ponctuelle. Dans le cas d'une source quelconque, la valeur moyenne de l'intensité lumineuse est:

$$I_{\text{moy}} = \frac{\phi}{4\pi r^2}$$

I-1-4-Efficacité lumineuse:

L'efficacité lumineuse est le quotient du flux lumineux émis par la puissance consommée.

$$F_e = \frac{\phi_e}{P}$$

Unités: ϕ_e (lm) ; P(W) ; F_e (lm/W)

I-1.5-Eclairement:

L'éclairement est le flux lumineux par unité de surface:

$$E = \frac{\phi}{S}$$

Unités: ϕ : (lm)
S: (m²)
E: Lux (lx)

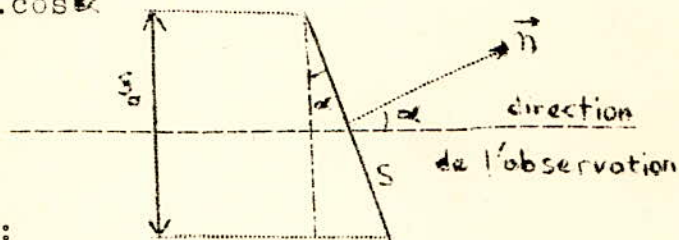
Selon l'éclairement, la surface paraîtra plus ou moins éclairée.

I-1.6-Luminance:

C'est l'intensité lumineuse émise par unité de surface visible à partir de la source lumineuse:

$$L = \frac{I}{S_a} \quad \text{avec } S_a = S \cdot \cos \alpha$$

Unités: I: (cd)
S_a: (m²)
L: Stilb (Sb).



I-1.7-Mesure de l'éclairement:

I-1.7.1-Procédé de mesure:

Afin de pouvoir comparer des éclairements, il importe d'effectuer toutes les mesures à la même distance du sol.

On fixe en général cette distance à 0,85m du sol, chiffre qui correspond à la hauteur moyenne des postes de travail. Au cours de ces mesures, il est essentiel de veiller à ne porter aucune ombre sur l'appareil de mesure de l'éclairement: le luxmètre.

I-1.7.2-Principe du luxmètre:

La quantité de lumière reçue sur une cellule photo-électrique est transformée en un courant mesuré à l'aide d'un milliampèremètre.

Les variations d'intensité sont traduites par les déplacements d'une aiguille sur un cadran gradué en lux.

I-2.Sources lumineuses:

Les sources lumineuses peuvent être classées en trois catégories:

- Lampes à incandescence
- Lampes (ou tubes) à décharge lumineuse.

I-2.1- Lampes à incandescence:

L'émission de rayonnement par incandescence est essentiellement caractérisée par son origine thermique.

En effet, il faut dépasser 1000°C pour avoir une émission de rayonnement visible appréciable

I-2.2- Lampes à décharge:

I-2.2.1-Lampes à décharge dans les gaz:

Le principe consiste à appliquer une tension d'amorçage nécessaire pour provoquer la décharge lumineuse, et de réduire ensuite cette tension (par une bobine d'induction en série) pour stabiliser l'intensité de la décharge.

Ces lampes à décharge peuvent être classées en lampes:

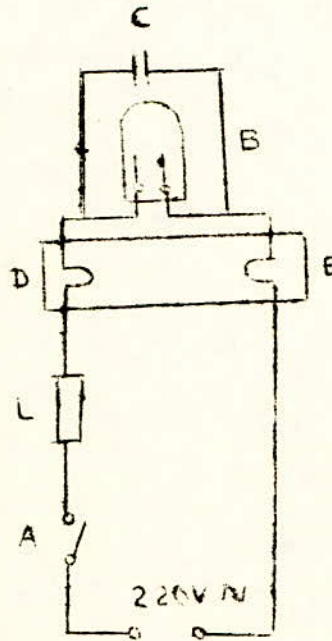
- à gaz inerte (Argon, Hélium, Xénon, Krypton...)
- à vapeur métallique (Hg, Na, I)

Le processus d'ionisation du gaz dans le tube conduit l'émission du rayonnement lumineux.

I-2.2.2-Lampes fluorescentes:

Certaines substances fluorescentes tels les sels minéraux par exemple émettent de la lumière visible lorsqu'elles sont soumises à un rayonnement ultra-violet, provenant de la décharge électrique à travers la vapeur de mercure: c'est le phénomène de la fluorescence.

Schéma de principe:



- A: Interrupteur.
- B: Starter.
- C: condensateur.
- ~~D et E: filaments~~
- L: Inductance .

Fonctionnement:

A la mise sous tension, la bilame contenue dans le starter s'échauffe et ferme le contact qui permet le passage du courant dans les filaments E et D. la bilame se refroidit et le contact se rompt. L'inductance L provoque alors une surtension capable d'amorcer la décharge entre D et E .La lampe s'allume, le starter est court-circuité. Le condensateur C absorbe l'étincelle de rupture et élimine les parasites radiophoniques .

I-3-Rendement d'une source lumineuse:

Le rendement d'une source lumineuse est le rapport entre la puissance équivalente au flux lumineux total émis W_{ϕ} et la puissance consommée W

$$\eta = \frac{W_{\phi}}{W}$$

Le rendement dépend des pertes lumineuses, c'est à dire les pertes par absorption dues à l'appareil et les poussières.

II-INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE EXTERIEUR:

II-1- Supports et luminaires:

II-1.1-Luminaires:

C'est un ensemble mécanique, électrique et optique qui comporte une ou plusieurs lampes.

II-1.2- Supports:

Les luminaires pour l'éclairage extérieur sont fixés sur des supports qui sont d'une manière générale soit des consoles, soit des candélabres. Ils doivent résister aux efforts dus aux chocs et aux intempéries (corrosion)

II-2-Implantation des appareils, technique de l'éclairage:

II-2.1- Implantation unilatérale:

Tous les foyers sont disposés d'un même côté de la chaussée. Elle peut être utilisée pour des chaussées étroites ou lorsque la chaussée présente une dissymétrie:

-Trafic en permanence plus élevé pour l'un des sens de circulation.

-Chaussée à sens unique.

-Présence d'arbres d'un côté de la voie.

II-2.2- Implantation axiale:

Tous les foyers sont disposés suivant l'axe de la chaussée. L'entretien d'une telle installation expose gravement le personnel et gêne la circulation.

II-2.3- Implantation bilatérale:

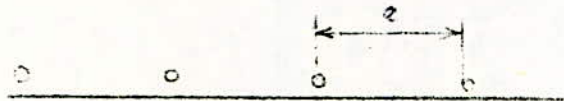
Tous les foyers sont disposés de part et d'autre de la chaussée. Chaque rangée doit éclairer la moitié de la chaussée. Ce type d'implantation est recommandée pour des chaussées de très grandes largeurs .

II-2.4-Implantation en quinconce:

Les foyers sont disposés de part et d'autre de la chaussée; ce type d'implantation est recommandée pour des chaussées à double sens de circulation.

II-2.5-Schémas d'implantation:

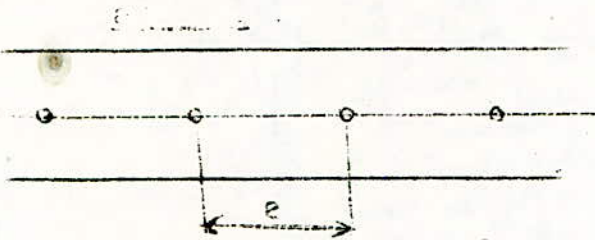
Implantation unilatérale:



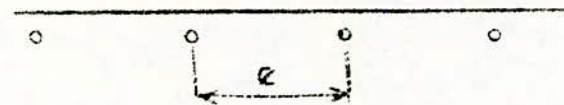
Disposition recommandée:



Implantation axiale



Implantation bilatérale:



Implantation en quinconce:



II- 3 - Choix des luminaires:

Les appareils d'éclairage extérieur sont classés en trois catégories:

II-3.1- Appareils défilés:

Ils suppriment tout éblouissement mais produisent des tâches courtes brillantes sur la chaussée d'où l'obligation de recourir à des intervalles faibles pour obtenir un recouplement convenable de ces tâches.

II-3.2-Appareils non défilés:

Ils produisent des tâches brillantes en forme de T allongées et donc s'accomodent d'espacements importants. Ils ont par éntre l'inconvénient d'être éblouissants.

II-3.3- Appareils semi défilés:

Ils constituent un compromis entre les deux catégories précédentes. En faisant varier l'angle de défilement, on peut allonger plus ou moins la tâche brillante sur la chaussée.

Classification des luminaires:

Type de luminaire	Direction de l'intensité maximale	Valeur maximale de l'intensité cd/lm	
		sous 90°	sous 80°
Défilé	o - 65°	10/1000	30/1000
Semi défilé	o - 75°	50/1000	100/1000
Non défilé	o - 90°	1000 cd	
		Indépendant du flux	

III-CALCUL DE L'ECLAIRAGE EXTERIEUR PAR LA METHODE DU FACTEUR

D'UTILISATION:

Il existe deux méthodes de calcul de l'éclairage extérieur:

- Méthode point par point
- Méthode du facteur d'utilisation

Dans le cas de notre projet, on utilise la méthode du facteur d'utilisation.

III -1-Facteur d'utilisation:

C'est le rapport entre d'une part le flux émis dans un dièdre dont l'arrête est la ligne des foyers et les plans passant par les bords de la chaussée et d'autre part le flux total émis par la (ou les) source (fig.1).

Le facteur d'utilisation de la chaussée en fonction du rapport l/h est donné par le tableau suivant:

l/h	0,5	1	1,5	2	l: largeur de la chaussée (m) h: hauteur de feu (m)
f_{uc}	0,20	0,30	0,35	0,4	

III-2-Facteur de vieillissement:

Le vieillissement de la lampe et du luminaire produisent une baisse de flux. On définit un facteur de vieillissement V tel que: $V = V_{la} \cdot V_{lu}$

V_{la} : facteur de vieillissement de la lampe

V_{lu} : facteur de vieillissement du luminaire.

les facteurs de vieillissement V_{la} et V_{lu} sont donnés dans les tableaux 1 et 2 (page 10).

Tableau 1:

Type de lampe	V_{1a}
Lampes à ballon fluorescent	0,90
Lampes mixtes	0,85
Lampes à vapeur de sodium à haute pression	0,90
Tubes fluorescents	0,85
Lampes à incandescence	0,90
Lampes à incandescence aux halogènes	0,95

Tableau 2:

Atmosphère	Luminaire	
	Sans vasque	Avec vasque
poluée	0,65	0,70
non poluée	0,90	0,95

III-3- Marche à suivre pour le calcul d'éclairage extérieur:

III-3.1-Définition du facteur R :

Le facteur R tenant compte du revêtement de la chaussée est défini comme étant le rapport de l'éclairage moyen et de la luminance moyenne:

$$R = \frac{E_{\text{moy.}}}{L_{\text{moy.}}}$$

Les valeurs de R sont par le tableau 3 (page 11)

Tableau 2:

Voir page 11

Tableau 3 :

Revêtement	Installation défilée	Installation semi défilée
Béton propre	12	8
Béton sale	14	10
Enrobés éclaircis	14	10
Enrobés moyens	19	14
Enrobés sombres	24	18
Pavés	18	13

Pour une installation non défilée, on ne définit pas le facteur R à cause de la diversité des caractéristiques photométriques des luminaires correspondants.

III - 3.2-Hauteur de feu:h

La hauteur de feu est définie suivant le type d'implantation:

- $h \geq 1$ pour une implantation unilatérale ou axiale
- $h \geq 1/2$ pour une implantation bilatérale

III - 3.3. Espacement entre candélabres:

L'espacement entre candélabres est défini par la limite supérieure du rapport e/h , en fonction du type de luminaire et de la disposition.

Tableau 4 :

Type de luminaire	Disposition	
	Unilatérale, axiale, bilatérale	quinconce
Défilé	3	2,5
Semi défilé	3,5	3
Non défilé	4	3,5

III-3.4-Calcul du flux initial:

On calcule le flux initial ϕ_1 de chaque foyer nécessaire pour obtenir la luminance L_{moy} demandée par la relation:

$$\phi_1 = \frac{l.e.L_{moy}.R}{V.f_{uc}}$$

Avec: R: facteur de revêtement de la chaussée
l: largeur de la chaussée (m)
e: espacement entre candélabres (m)
 f_{uc} : facteur d'utilisation de la chaussée
V: facteur de vieillissement

En choisissant un type de lampe; on prend une valeur ϕ_0 la plus voisine de ϕ_1 et on vérifie éventuellement que l'éclairement moyen sur la chaussée se situe dans l'intervalle donné; il en est de même pour la luminance.

III-3.5-Calcul de l'éclairement sur la chaussée:

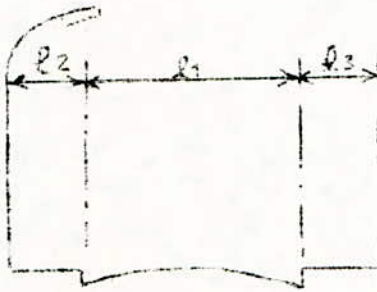
On calcule l'éclairement moyen E_0 et la luminance moyenne L_0 de la lampe choisie

$$E_0 = \frac{\phi_0.V.f_{uc}}{l.e}$$

$$L_0 = \frac{\phi_0.V.f_{uc}}{l.e.R}$$

On déduit la puissance de la lampe correspondant au flux ϕ_0 . Connaissant la longueur de la chaussée et l'espacement entre candélabres, on détermine le nombre de lampes nécessaire.

III-3.6-Calcul des éclairagements sur les trottoirs pour une implantation unilatérale:



III-3.6.1-Facteur d'utilisation du trottoir arrière:

On calcule le rapport l_2/h puis on se ramène au graphe (côté trottoir) pour avoir la valeur du facteur d'utilisation $f_{ut'}$ (fig.1)

III-3.6.2-Facteur d'utilisation du trottoir avant:

Sur le trottoir avant, on retranche du facteur d'utilisation pour la chaussée plus le trottoir f_u correspondant à $\frac{l_1 + l_3}{h}$ (côté chaussée) celui pour la chaussée f_{uc} .

On obtient le facteur d'utilisation du trottoir avant

$f_{ut''}$:

$$f_{ut''} = f_u - f_{uc}$$

III-3.6.3-Eclairage moyen sur le trottoir arrière:

$$E_{mt} = \frac{\phi_o \cdot f_{ut'}}{l_2 \cdot e}$$

III-3.6.4-Eclairage sur le trottoir avant:

$$E_{mt''} = \frac{\phi_o \cdot f_{ut''}}{l_3 \cdot e}$$

-Application numérique (voir tableau 6)

IV-APPLICATION:

On se propose de calculer l'installation d'éclairage de l'usine autour de la grille et sur les allées extérieures. L'éclairement moyen est fixé entre 14 et 20 lux.

IV-1-Choix des luminaires:

On choisit des luminaires semi défilés avec vasque qui donnent une bonne uniformité de luminance car les appareils non défilés ont l'inconvénient d'être trop éblouissants et les appareils défilés produisent des tâches sur la chaussée.

IV-2-Choix de l'implantation des candélabres:

On choisit une implantation unilatérale car le trafic de circulation n'est pas très important et que la chaussée n'est pas très large .

IV-3-Choix des supports:

On choisit des candélabres à crosse et des consoles en alliage d'aluminium parcequ'ils ne nécessitent pas de protection contre la corrosion et qu'ils sont légers.

IV-4-Choix du type de lampe:

On choisit des lampes à ballon fluorescent à cause des caractéristiques suivantes:

- Très grande durée de vie: 8000 h pour un temps de fonctionnement de 4 heures par allumage.

- Bonne résistance aux chocs et aux intempéries. Ce sont en général les lampes utilisées pour les cours et abords d'usine ainsi que les aires de stockage.

Caractéristiques des lampes à ballon fluorescent:

Voir tableau 5.

Tableau 5:

Puissance nominale de la lampe (W)	Flux lumineux nominal (lm)	Dimensions (mm)		Culot
		Diamètre	Longueur	
80	3800	70	152	E27
125	6200	75	172	E27
250	13500	90	220	E40
400	23000	120	282	E40
700	40000	140	320	E40
1000	55000	165	400	E40

IV-5-Fixation des supports:

Dans les cours et aires de stockage, on utilise des candélabres à crose scellés au sol.

Aux abords des ateliers et autres bâtiments on utilise des consoles scellés aux façades.

IV-6-Exemple:

Calcul de l'éclairage de la clôture:

-Allée du type enrobé moyen d'où $R=14$ (tableau 3)

-Largeur de l'allée $l=7m$.

-Implantation unilatérale: $h \geq 1$ on prendra $h=8$ m (hauteur de feu)

-Espacement entre candélabres: pour l'implantation unilatérale et pour une chaussée en enrobé moyen

$$\frac{e}{h} = 3,5 \quad (\text{d'après tableau 4}) \quad e=3,5 \quad h=3,5 \times 8 = 28m$$

- $E_{\text{moy.}} = 14$ à 20 lux . On prendra $E = 15$ lux pour le calcul.

-Facteur d'utilisation f_u :

$$\frac{1}{h} = \frac{7}{8} = 0,875 \quad \text{d'où} \quad f_u = 0,27 \quad (\text{d'après la figure 1})$$

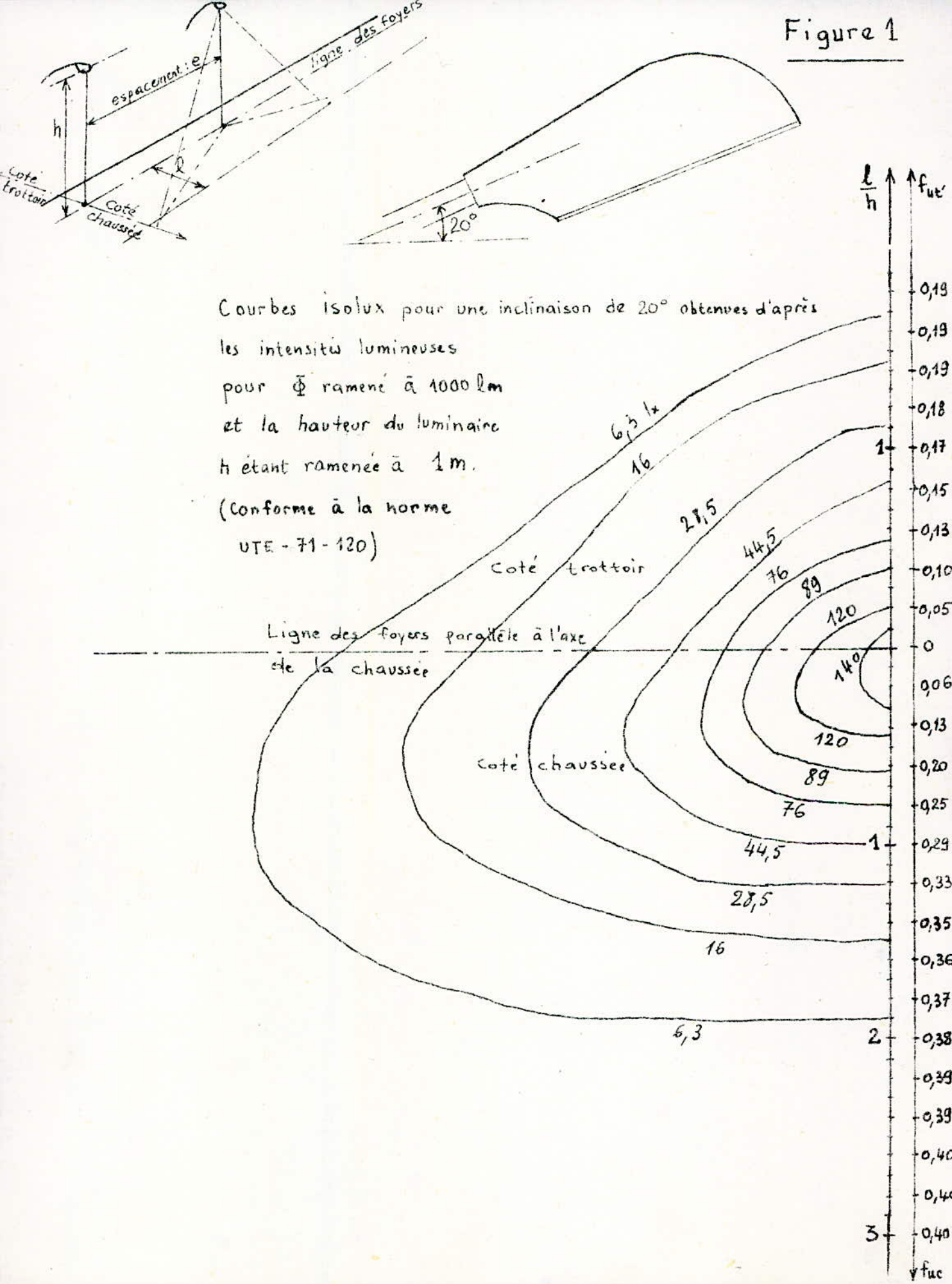
-Facteur de vieillissement V :

$$V = V_{lu} \cdot V_{la}$$

$V_{lu} = 0,95$ pour les lampes à incandescence (tableau 1)

$V_{la} = 0,95$ pour les lampes à incandescence (tableau 1)

Figure 1



Courbes isolux pour une inclinaison de 20° obtenues d'après les intensités lumineuses pour Φ ramené à 1000 lm et la hauteur du luminaire h étant ramené à 1 m.
(Conforme à la norme UTE - 71 - 120)

$V_{1a} = 0,90$ pour lampes à ballon fluorescent (voir tableau 1)

$V_{1u} = 0,95$ pour luminaire avec vasque en atmosphère non polluée (tableau 2)

$$V = 0,90 \times 0,95 = 0,855$$

-Calcul du flux initial par lampe:

$$\phi_1 = \frac{l \cdot e \cdot L_{moy} \cdot R}{V \cdot f_u} \quad \text{or on a } R = \frac{E_{moy}}{L_{moy}}$$

On a donc $L_{moy} \cdot R = E_{moy} = 15 \text{ lux}$

$$\text{d'où } \phi_1 = \frac{7 \times 28 \times 15}{0,855 \times 0,27} = 12735,54 \text{ lm}$$

D'après les caractéristiques des lampes à ballon fluorescent (tableau 5), on a le choix entre 2 lampes l'une de 250 W, 13500 lm, l'autre de 400 W, 23000 lm, pour cela nous calculerons l'éclairement sur la chaussée de chacune des lampes.

- Eclairement de la première lampe:

$$E_0 = \frac{\phi_1 \cdot V \cdot f_u}{l \cdot e} = \frac{13500 \times 0,855 \times 0,27}{7 \times 28} = 15,9 \text{ lx}$$

-Eclairement de la deuxième lampe:

$$E_0 = \frac{23000 \times 0,855 \times 0,27}{7 \times 28} = 27,08 \text{ lx}$$

On choisit la première lampe c'est à dire celle ayant la puissance de 250 W et le flux de 13500 lm qui donne un éclairement compris entre 14 et 20 lx.

Connaissant l'espacement entre candélabres: $e = 28 \text{ m}$, on déduit le nombre de lampes nécessaire.

Conclusion:

L'éclairage de la clôture sera réalisé avec 37 lampes à ballon fluorescent de 250 W, 13500 lm fixées sur des candélabres à crosse.

IV-7-Détermination de la puissance d'éclairage extérieur:

Par un calcul analogue à celui du paragraphe IV-6, on déduit le nombre nécessaire de lampes pour l'éclairage de chaque allée, ainsi on obtient la puissance d'éclairage extérieur.

Par un calcul analogue à celui du paragraphe III.3-6, on déduit l'éclairement sur chaque trottoir.

Les résultats sont donnés dans le tableau 6.

Tableau 6

Allée	l [m]	h [m]	e [m]	f_{uc}	V	Φ_1 [lm]	Φ_0 [lm]	E_0 [lx]	f_{ut}	f_{utr}	E_{ot}	E_{otr}	N [lampes]	P [w]
Clôture	7	8	28	0,27	0,855	12735,5	13500	15,9	/	/	/	/	37	9250
A	7	8	28	0,27	0,855	12735,5	13500	15,9	0,06	0,04	14,46	9,64	9	2250
B	6	8	28	0,24	0,855	12280,7	13500	16,49	0,06	0,05	14,46	12,05	6	1500
C	6	8	28	0,24	0,855	12280,7	13500	16,49	0,06	0,05	14,46	12,05	1	250
D	6	8	28	0,24	0,855	12280,7	13500	16,49	0,06	0,05	14,46	12,05	5	1250
E	6	8	28	0,24	0,855	12280,7	13500	16,49	0,06	0,05	14,46	12,05	9	2250
F	6	8	28	0,24	0,855	12280,7	13500	16,49	0,06	0,05	14,46	12,05	1	250
G	6	8	28	0,24	0,855	12280,7	13500	16,49	0,06	0,05	14,46	12,05	2	500

La largeur des trottoirs est de 2m

N total	P totale
70	17500

DEUXIEME PARTIE:

INSTALLATION DE FORCE MOTRICE

INTRODUCTION:

Dans cette partie du projet, on se propose de concevoir la distribution d'énergie électrique depuis le poste de transformation jusqu'aux récepteurs.

On déterminera la puissance du transformateur ainsi que les dispositifs de protection permettant d'assurer la sécurité des personnes et des biens.

I-RESEAU ELECTRIQUE DE DISTRIBUTION:

I-1-Schémas de distribution:

I-1-1.Distribution radiale(figure 2)

Elle est conseillée systématiquement pour toute installation industrielle basse tension et pour une installation où il existe un grand nombre de recepteurs.

Avantages:

- Emploi rationnel de cuivre
- Pas de surabondance des circuits de protection
- Plusieurs étages possibles de protection(selectivité)
- Entretien facile
- Faibles courants de court-circuit
- Frais de réalisation moindres

Inconvénients:

- Un défaut au niveau(A) affecte les circuits(B) et(C)
- Nécessité de tableaux de distribution volumineux

I-1-2.Distribution en peigne(figure 3)

Elle est souvent utilisée pour des installations de faible puissance où il y'a un nombre restreint de recepteurs (installation domestique par exemple).

Les recepteurs sont alimentés directement du tableau principal de distribution.

Avantages:

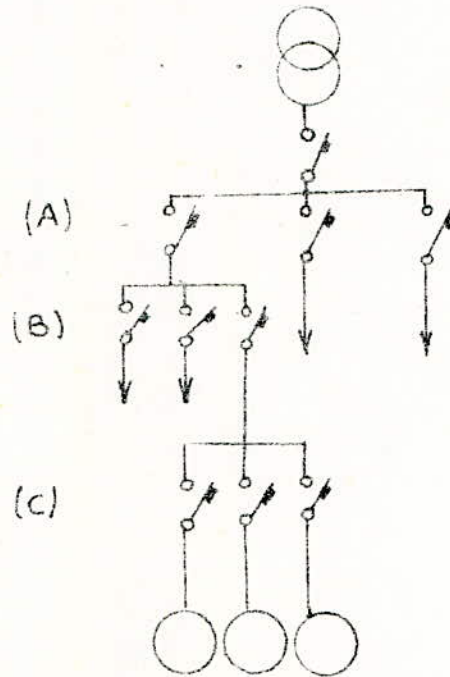
Sur défaut (autre que A) on coupe seulement un seul circuit

Inconvénients:

- Surabondance de cuivre et multiplicité des circuits
- Les courants de court-circuit sont élevés donc les caractéristiques de l'appareillage de protection au niveau(B) doivent être élevés.

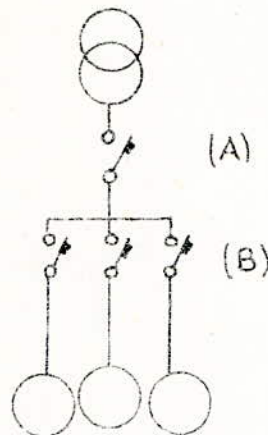
Schémas de distribution

Fig.2 : Distribution radiale



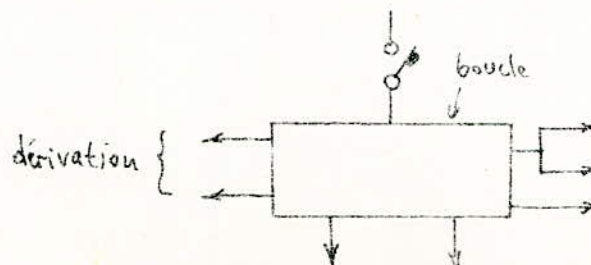
(A): départs principaux
(B): " Secondaires
(C): circuits terminaux
d'utilisation.

Fig.3 : Distribution en peigne :



(A): départ général
(B): circuits d'utilisation.

Fig.4 : Distribution en boucle



I-1-3. Distribution en boucle: (figure 4)

Ce mode de distribution n'est pratiquement pas utilisé .

Avantages:

- Réduction des pertes ohmiques
- Un seul dispositif de protection par boucle

Inconvénients:

- Connexions spéciales aux dérivations
- Chaque dérivation peut alimenter au maximum deux circuits d'utilisation
- Exige un entretien difficile

D'après la norme NFC 15-100 , toute installation électrique doit être convenablement divisée en plusieurs circuits afin de limiter les courants de court-circuit d'une part et d'autre part en cas de défaut sur une partie du réseau, seul le circuit correspondant est mis hors service.

I-2-Choix du mode de distribution:

On a opté pour une distribution radiale à cause du grand nombre de recepteurs d'une part et de la grandeur des ateliers d'autre part (économie de cuivre).

I-3-Application de la distribution radiale:

D'après le plan d'implantation des machines et dans le but de réduire les longueurs de cables, nous avons affecté chaque groupe de machines d'un même atelier à un secteur où sera installé un tableau secondaire à partir duquel chaque machine est alimentée. Un coffret de commande sera prévu à proximité de chaque machine. Chaque tableau secondaire d'un même atelier sera alimenté à partir d'un tableau général situé à l'intérieur de l'atelier.

Les machines sont ainsi réparties en ateliers et secteurs où sont installés les tableaux secondaires (TS).

Toutes les machines sont alimentées en triphasé.

Le courant donné qui correspond à l'éclairage est le courant de ligne c'est à dire qu'on a un groupe de lampes alimenté en triphasé.

Atelier de métallurgie:(TG1)

Secteur A(TS1) :

5 moteurs de 5 CV - 4 moteurs de 10 CV

Secteur B(TS2):

10 meules de 7 A

Secteur C(TS3):

4 moteurs de 10 CV

Secteur D(TS4):

7 postes de soudure de 16 A

Secteur E(TS5):

8 postes de soudure de 16 A

Secteur F(TS6):

2 moteurs de 10 CV - 7 postes de soudure de 16 A

Secteur G(TS7):

8 postes de soudure de 16 A

Eclairage intérieur 80 reglettes (26 A au total)

alimenté directement à partir du tableau général(TG1)

Atelier de menuiserie(TG2):

Secteur H(TS8)

6 moteurs de 6 CV - 2 moteurs de 10 CV

Secteur I(TS9):

7 moteurs de 6 CV

Secteur J(TS10):

1 chauffage de 32 A - 3 moteurs de 6 CV -

2 moteurs de 10 CV

Eclairage intérieur(30 A au total)- 1 presse

de 160 A - 1 moteur de 60 CV sont alimentés directement

à partir du tableau général(TG2)

Atelier de montage (TG3):

Secteur K(TS11):

10 meules de 7 A

Secteur L(TS12):

10 postes de soudure de 16 A

Eclairage intérieur(60 réglettes de 100 W) alimenté

directement à partir du tableau général(TG3)

Bloc administratif(TG4):

Eclairage extérieur (17,5 KW) - Alimentation diverses (60 KVA) sont alimentés directement à partir du tableau général(TG4).

I-4-Schéma général:

Le schéma général de la distribution est donné par la figure 5.

II-CALCUL DES PUISSANCES:

II-1-Calcul de la puissance de chaque receptrur:

La puissance de chaque receptrur est calculée en tenant compte du facteur de puissance lorsqu'on connaît le courant de ligne et du rendement dans le cas où on connaît la puissance utile selon les relations:

$$P = U I \sqrt{3} \cos \varphi$$

$$P = \frac{P_u}{\eta}$$

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

Les résultats sont donnés dans le tableau 7.

II-2-Calcul de la puissance totale:

Pour calculer la puissance totale, on doit tenir compte du facteur d'utilisation et de simultanéité.

II-2-1-Facteur d'utilisation K_u :

Le facteur d'utilisation tient compte du fait que certains receptrurs ne travaillent pas toujours à leur régime nominal.

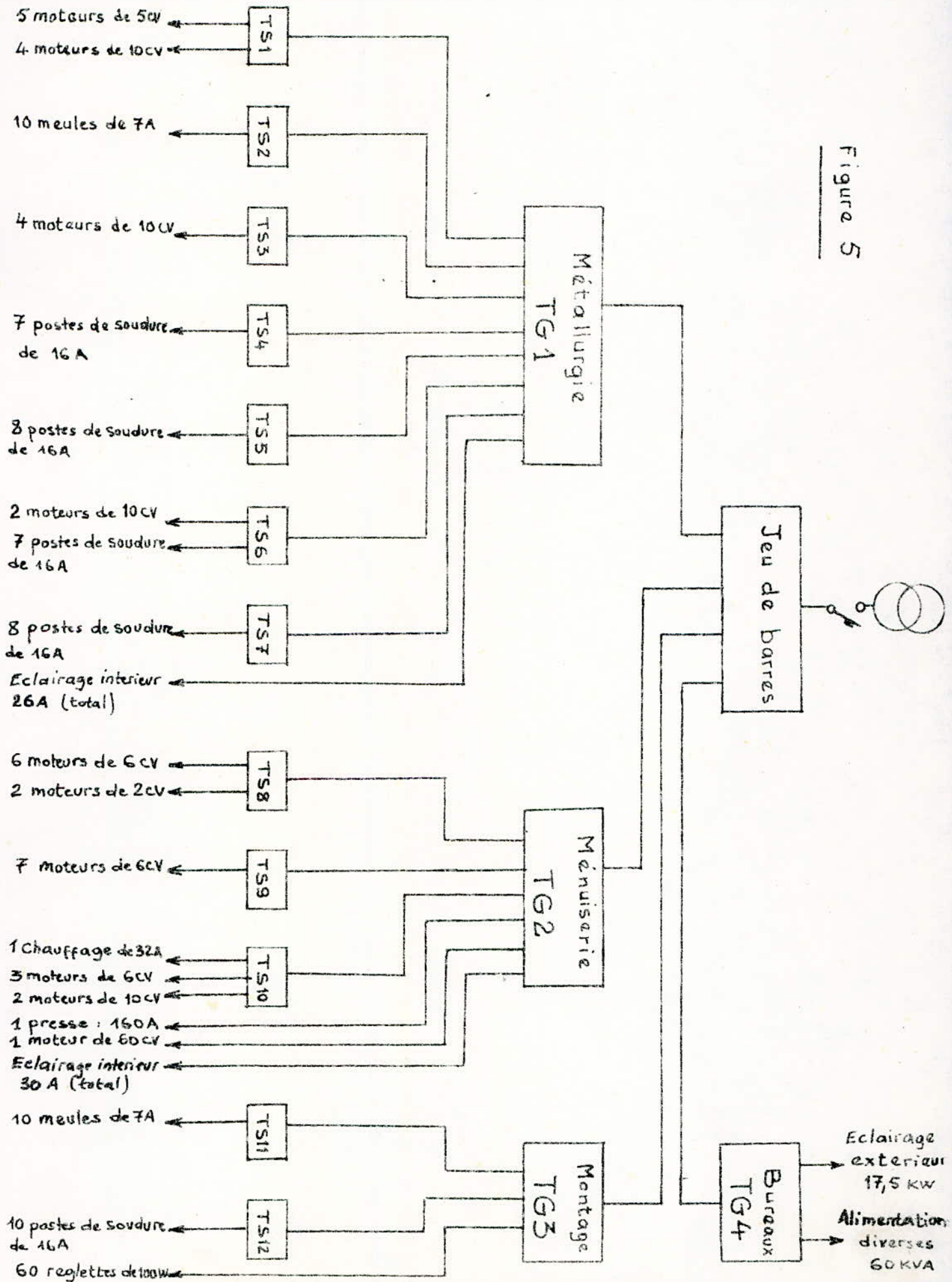
II-2-2-Facteur de simultanéité K_s

Le facteur de simultanéité tient compte du fait que tous les appareils ne fonctionnent pas en même temps et que tous les moteurs ne démarrent pas simultanément.

La détermination de ces deux facteurs nécessite la connaissance détaillée de l'installation et l'expérience des conditions d'exploitation

Ces facteurs (conformes à la norme NFC 15-100) sont donnés par les tableaux suivants pour des coffrets divisionnaires, terminaux.

Figure 5



Type d'utilisation	Facteur d'utilisation
Utilisation industrielle (récepteurs à moteur)	0,75
Eclairage, chauffage	1
Type d'utilisation	Facteur de simultanéité
Eclairage, chauffage électrique, conditionnement d'air de pièce chauffe-eau	1
Prises de courant (N:nombre de prises de courant alimentées par le même circuit)	$0,1 + \frac{0,9}{N}$
Appareils de cuisson	0,7
Ascenseurs et monte-charge:	
pour le moteur le plus puissant	1
pour le moteur suivant	0,75
pour les autres	0,6

Le facteur de simultanéité est aussi donné pour des tableaux généraux et secondaires si les conditions de charge ne sont pas connues (norme NFC-63-410).

Nombre de circuits	Facteur de simultanéité
2 et 3	0,9
4 et 5	0,8
6 et 9	0,7
10 et plus	0,6

II-2-3- Méthode de calcul:

-On calcule la puissance par récepteur en tenant compte du facteur d'utilisation.

$$P_i = P_i \cdot K_u$$

P_i : puissance du récepteur considéré

K_u : facteur d'utilisation du récepteur

P_i : puissance du receptrer considéré.

K_u : facteur d'utilisation du receptrer considéré.

-On calcule la puissance au niveau de chaque tableau second-

-daire en tenant compte du facteur de simultanéité:

$$P_{TSJ} = K_{sTSJ} \cdot \sum P_1$$

P_{TSJ} : puissance au niveau du tableau secondaire (TSJ).

K_{sTSJ} : facteur de simultanéité au niveau de (TSJ).

P_1 : puissance de chaque dérivation de (TSJ) calculée.

en tenant compte du facteur de simultanéité d'utilisation.

-Le même calcul est valable pour les tableaux généraux.

II-2-4-Application:

Les puissances actives et réactives sont calculées au tableau 7 d'après la méthode exposée au paragraphe II-2-3.

II-3-Détermination de la puissance du transformateur:

On obtient une puissance active totale $P = 317,31$ KW et un facteur de puissance global $\cos\phi = 0,77$ (voir fig. 6).

On déduit la puissance apparente du transformateur à installer:

$$\bar{S} = \frac{P}{\cos\phi} = \frac{317,31}{0,77} = 412,09 \text{ KVA}$$

On choisit un transformateur de 500 KVA qui donne une marge de puissance de 17,58% en plus de la puissance nécessaire pour une éventuelle extension.

Le transformateur qui répond à notre installation est le transformateur de 500 KVA, R30 Trafo-Union (voir schéma).

Tableau 7

Atelier	Secteur	Recepteurs	cos φ	η	P [kw/recepteur]	I [A/recepteur]	Q [kVAR/recepteur]
Métallurgie	A	5 moteurs de 5 cv	0,85	0,85	4,33	7,74	2,68
		4 moteurs de 10 cv	0,88	0,87	8,46	14,6	4,57
	B	10 meules	0,83	—	3,83	7	2,57
	C	4 moteurs de 10 cv	0,88	0,87	8,46	14,6	4,57
	D	7 Postes de soudure	0,5	—	5,26	16	9,11
	E	8 Postes de soudure	0,5	—	5,26	16	9,11
	F	2 moteurs de 10 cv	0,88	0,87	8,46	14,6	4,57
		7 Postes de soudure	0,5	—	5,26	16	9,11
	G	8 Postes de soudure	0,5	—	5,26	16	9,11
	Eclairage interieur	0,85	—	14,54 total	26 total	9,01 total	
Menuiserie	H	6 moteurs de 6 cv	0,87	0,86	5,13	8,96	2,9
		2 moteurs de 10 cv	0,88	0,87	8,46	14,6	4,57
	I	7 moteurs de 6 cv	0,87	0,86	5,13	8,96	2,9
	J	1 chauffage	1	—	21,06	32	0
		3 moteurs de 6 cv	0,87	0,86	5,13	8,96	2,9
		2 moteurs de 10 cv	0,88	0,87	8,46	14,6	4,57
		1 Presse	0,8	—	84,24	160	63,18
	1 moteur de 60 cv	0,91	0,91	48,53	81,03	22,11	
	Eclairage interieur	0,85	—	16,78 total	30 total	10,44 total	
Montage	K	10 meules	0,83	—	3,83	7	2,57
	L	10 Postes de soudure	0,5	—	5,26	16	9,11
		Eclairage interieur	0,85	—	6	10,72	3,72
Bureaux		Eclairage Extérieur	0,85	—	17,5 total	31,28	10,85
		Alimentations diverses	0,9	—	54 total	91,16	26,15

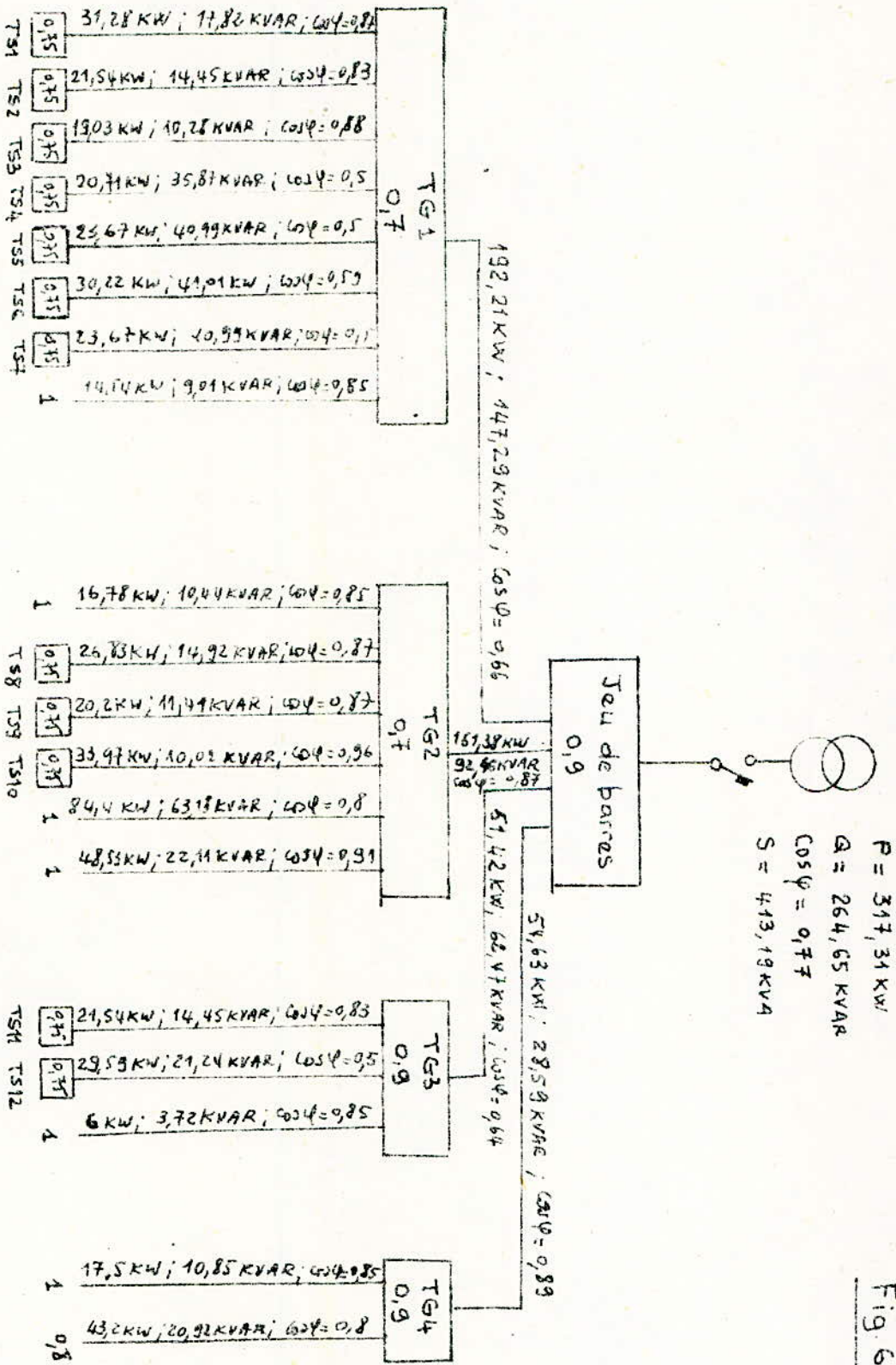


Fig 6

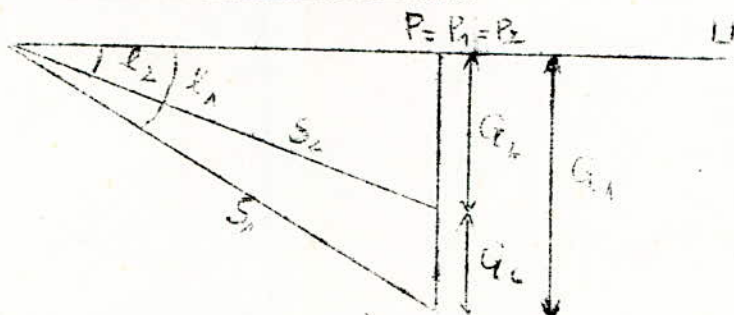
III-COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE:

Une installation électrique consomme trop d'énergie réactive lorsqu'elle dépasse 60% de l'énergie active ($\cos \varphi < 0,857$) dans ce cas les consommateurs sont pénalisés

Si le facteur de puissance est très faible, l'énergie réactive fournie par les sources est grande, ce qui entraîne une augmentation des pertes joules.

III-1-Puissance réactive nécessaire à la compensation:

Diagramme des puissances:



Soit une installation électrique de puissance apparente S_1 , de puissance active P_1 et de puissance réactive Q_1 , dont le diagramme est donné ci-dessus, on veut réduire l'énergie réactive de Q_1 à Q_2 , à P_1 constante, on cherche à déterminer la valeur de la puissance réactive Q_c nécessaire à la compensation on a :

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$$

$$Q_2 = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = f \cdot P_1$$

Cette compensation peut se faire soit par compensateur synchrone soit par condensateur.

III-2-Compensation par compensateur synchrone:

Ce procédé n'est applicable que pour les installations importantes où leur application est rentable. Ces machines peuvent fonctionner soit comme récepteurs d'énergie réactive soit comme générateurs de celle-ci.

Pour améliorer le facteur de puissance, le compensateur synchrone fonctionne en régime surexcité et fournit de l'énergie réactive au réseau.

Il peut aussi fonctionner en régime sous excité pour améliorer le facteur de puissance et dans ce cas il absorbe le surplus d'énergie réactive venant du réseau. Les compensateurs ~~asynchrones~~ sont des machines ne fournissant aucune puissance active.

III-3-Compensation par condensateur:

On utilise généralement des batteries de condensateurs en gradins de faible puissance dont le nombre mis sous ou hors tension dépendra de l'énergie réactive demandée

III-4-Avantages des batteries de condensateurs par rapport aux compensateurs synchrones:

- Elles sont formées d'éléments de même puissance.
- Marche sans usure
- Grande durée de fonctionnement
- Suppression de tous les frais d'entretien et de surveillance
- Montage facile.

III-5-Modes de compensation:

La compensation d'énergie réactive peut se faire à différents niveaux d'un réseau.

III-5.1-Compensation individuelle:(fig.7)

Cette compensation est techniquement idéale puisqu'elle produit l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée mais c'est une solution chère.

III-5.2-Compensation par secteur:(fig.8)

Cette compensation localise les condensateurs à proximité des consommateurs d'énergie réactive groupés par secteur. Cette compensation est réservée à des consommateurs de puissance élevée et à des ateliers fonctionnant à des régimes différents.

III-5.3-Compensation centrale:(fig.9)

Ce mode de compensation est économique par le fait que toute la puissance de compensation est concentrée en un point. Les condensateurs sont placés à un point central du réseau. L'énergie réactive est produite à ce point et est distribuée aux consommateurs. Ce mode de compensation est réservé aux réseaux à haute tension.

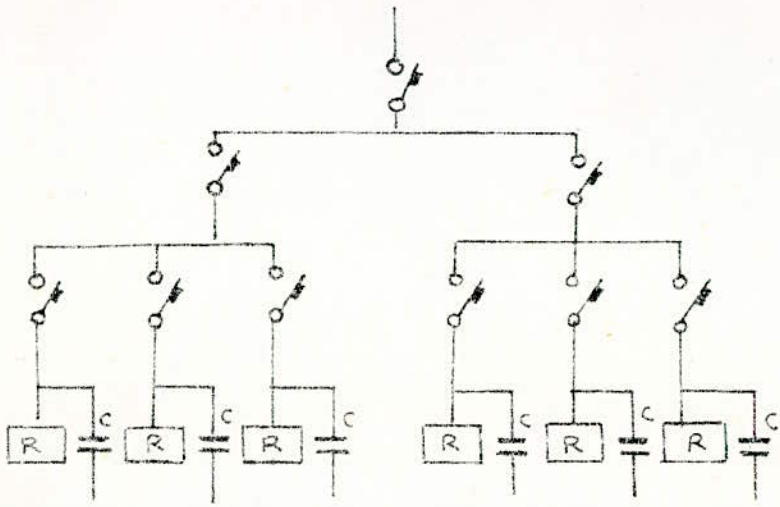


Figure 7

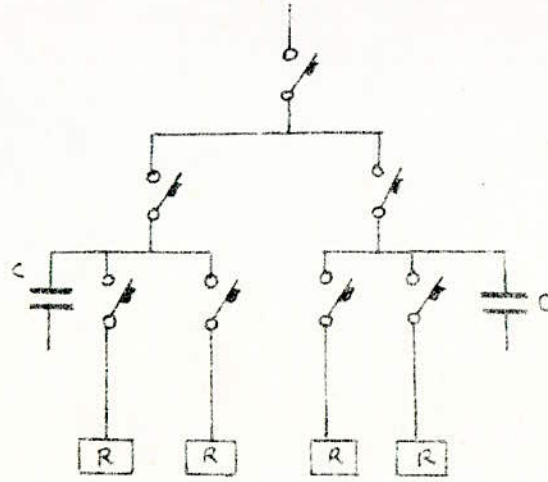


Figure 8

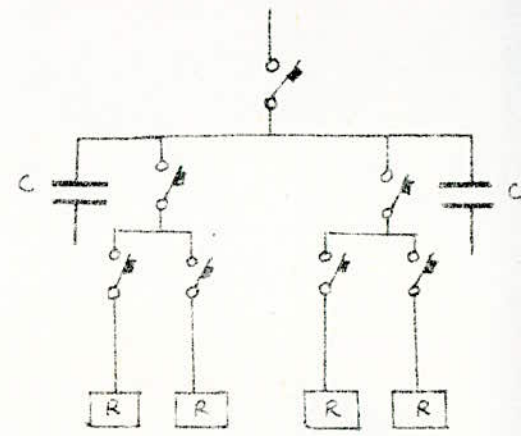


Figure 9

Modes de compensation.

R : Recepteur.

C : Batterie de Condensateurs.

Les inconvénients de cette compensation c'est que les installations avalées ne sont pas soulagées d'une part, et d'autre part l'augmentation de la tension du réseau lorsque celui-ci passe du fonctionnement en charge au fonctionnement à vide est aggravée par la surtension engendrée par la batterie de condensateur. Il y'a aussi risque de surcompensation par suite de variation de charge importante au niveau de l'installation compensée. En effet avec un facteur de puissance égal à l'unité, le circuit est mis en résonance, ce qui peut produire dans certaines de ses parties des effets de surtension dangereux lorsque les résistances ohmiques sont faibles.

III-6-Application:

On a opté pour une compensation par secteur avec des batteries de condensateurs. Cette compensation se fera au niveau de chaque atelier dont le facteur de puissance est inférieur à 0,86 ($\cos \varphi < 0,86$) c'est à dire l'atelier de métallurgie et de montage (voir fig. 6)

Compensation de l'atelier de métallurgie:

$$\begin{aligned} P &= 129,21 \text{ KW} & \cos \varphi &= 0,66 \\ \cos \varphi_1 &= 0,66 & \text{tg } \varphi_1 &= 1,138 \\ \cos \varphi_2 &= 0,86 & \text{tg } \varphi_2 &= 0,59 \\ f &= \text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2 = 1,138 - 0,59 = 0,548 \\ Q_c &= f \cdot P = 0,548 \times 129,21 = 70,80 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

Compensation de l'atelier de montage:

$$\begin{aligned} P &= 51,42 \text{ KW} & \cos \varphi &= 0,64 \\ \cos \varphi_1 &= 0,64 & \text{tg } \varphi_1 &= 1,2 \\ \cos \varphi_2 &= 0,86 & \text{tg } \varphi_2 &= 0,59 \\ f &= \text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2 = 1,2 - 0,59 = 0,61 \\ Q_c &= f \cdot P = 0,61 \times 51,42 = 31,36 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

On choisit des batteries de condensateurs du type Ecovar dont la puissance varie de 1,5 à 100 KVAR en 400 V. Elles ont l'avantage d'avoir des pertes faibles et un encombrement réduit.

IV-CALCUL DES SECTIONS DE CABLES:

IV-1-Choix du modèle de pose :

IV-1-1-Canalisations extérieures:

Les 4 câbles reliant les tableaux généraux des différents ateliers au poste de transformation (150 m en moyenne) seront enterrés. Ces câbles doivent être protégés contre la détérioration causée par le tassement des terres, le contact des corps durs, le choc des outils à main en cas de fouille ainsi que contre les actions chimiques causées par les éléments du sol. Les câbles doivent être enfouis à une profondeur minimale de 1 m car le terrain est accessible aux véhicules (transport de cabines). Il est conseillé de faire une tranchée la moins large possible, une largeur de 0,5 m est généralement suffisante (voir fig.10).

IV-1-2-Canalisations intérieures:

Les canalisations électriques à l'intérieur des ateliers seront réalisées en caniveaux d'usine non sablés (voir fig.11)

IV-1-3-Choix des câbles:

Les câbles satisfaisant les conditions de notre installation sont:

- du type HFGXX 1000 pour les canalisations enterrées (voir fig.12)

- du type U1000 RC2V pour les canalisations en caniveaux (voir fig.13)

IV-2-Méthode de calcul des sections de câbles:

On calculera les sections des câbles d'après les 4 critères suivants:

- Section imposée par l'échauffement du câble: S_j

- Section imposée par la chute de tension: S_z

- Section pouvant résister au court-circuit: S_c

- Section économique: S_e

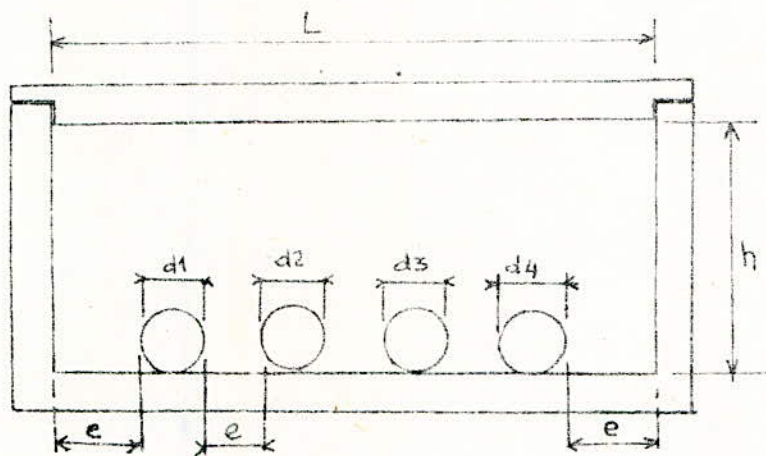
IV-2 Les sections S_j, S_z, S_c représentent les sections techniques.

IV-2-1-Détermination de la section S_j :

La température de l'âme d'un câble, en fonctionnement normal et permanent, ne doit pas dépasser la température maximale

Mode de pose des câbles

figure 11 : Caniveau d'usine non sablé



$e = 15 \text{ cm}$

d : diamètre du câble

figure 10 : câble enterré

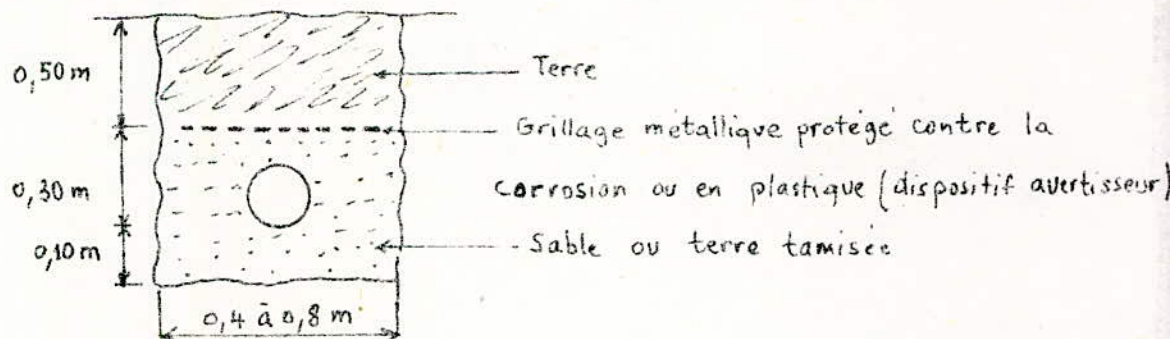
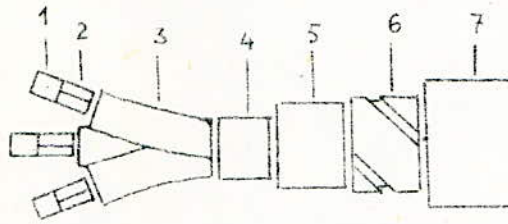


Figure 12



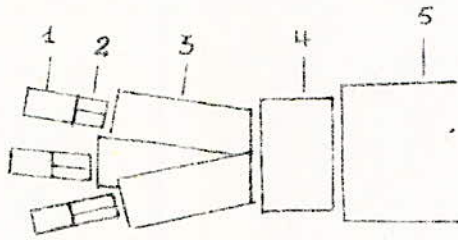
Câble HFG X 1000

- 1 : Ame rigide cuivre nu
- 2 : Ruban séparateur
- 3 : Isolation PRC
- 4 : ruban d'assemblage
- 5 : Gaine d'étanchéité PVC
- 6 : Armure : 2 feuillets acier
- 7 : Gaine PVC noir

Caracteristiques :

- Tension nominale 1000V
- Temperature maximale de l'âme : en permanence 85°C
en court-circuit 250°C
- Très bonne résistance mécanique (Chocs écrasements)
- Bonne étanchéité à l'humidité et à l'eau.
- Très bonne résistance aux agents chimiques.
- Souplesse médiocre.
- Rayon de courbure minimal à l'installation :
8 fois le diamètre extérieur du câble.

Figure 13



câble U 1000 R02V

- 1 : Ame rigide cuivre nu
- 2 : Ruban séparateur
- 3 : Isolation PRC
- 4 : Gaine de bourrage
- 5 : Gaine PVC noir

Caracteristiques :

- Tension nominale 1000V
- Temperature maximale de l'âme: 85°C en permanence
250°C en court-circuit
- Rayon de courbure minimal à l'installation \approx 6 fois
le diamètre extérieur du câble
- bonne résistance mécanique (chocs, écrasements)
- bonne étanchéité à l'humidité et à l'eau.
- bonne résistance aux agents chimiques
- Souplesse : passable.

et permanent, ne doit pas dépasser la température maximale acceptable par les matériaux qui le constituent.

Pour déterminer la section S_j :

-on calcule l'intensité normale I à transporter

-on calcule le facteur de correction K à appliquer à l'intensité I à transporter

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

K_1 : facteur de correction de température.

K_2 : facteur de correction du mode d'appose (à appliquer uniquement pour les câbles posés à l'air libre).

K_3 : facteur de correction de proximité utilisé lorsque d'autres câbles sont posés à proximité de celui dont on veut déterminer la section

K_4 : facteur de correction pour des câbles enterrés dans des sols de résistance thermique différente de $100^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$.

Ces facteurs sont donnés dans les tableaux 9.1-9.2-9.3-9.4

--On calcule l'intensité fictive $\frac{I}{K}$.

La section S_j est donnée en fonction de $\frac{I}{K}$ et du type de câbles aux tableaux 10.1 et 10.2.

IV-2-2-Détermination de la section S_z :

On détermine la section des câbles permettant pour un réseau, dont le facteur de puissance est $\cos \phi$, d'assurer le transport du courant I par un conducteur de longueur L sans dépasser la valeur limite de la chute de tension U permise.

-On calcule l'impédance Z_{\max} du câble à utiliser :

$$Z_{\max} = \frac{U_{\text{admissible}}}{1,732 \cdot I \cdot L} \quad (\text{pour un câble triphasé})$$

$$Z_{\max} = \frac{U_{\text{admissible}}}{2 \cdot I \cdot L} \quad (\text{pour un câble monophasé})$$

-On cherche dans le tableau 11 la section S_z dont l'impédance pour $\cos \phi$ retenu est égale ou immédiatement inférieure à la valeur trouvée

Facteurs de correction

Tableau 9.1

Câbles enterrés	
Temperature °C	K1 isolation PRC
10	1,07
15	1,04
20	1
25	0,96
30	0,92
35	0,88
Câbles à l'air libre	
10	1,17
15	1,13
20	1,09
25	1,04
30	1
35	0,95
40	0,91
45	0,85
50	0,80
60	0,67
70	0,52

Tableau 9.2

mode de pose	K2 pour câbles multipolaires posés à l'air libre
Caniveaux ouverts ou fermés	0,9
en conduits dans un caniveau ouvert ou fermé	0,8

Tableau 9.3

Nombre de câbles	enterrés					en caniveau d'usine				
	2	3	4	6	≥9	1	2	3	6	9
K3	0,85	0,78	0,72	0,62	0,55	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84

Tableau 9.4

Resistivité thermique du terrain [°C·cm/w]	K4 pour câbles enterrés
85	1,05
100	1
120	0,94
150	0,86
200	0,76
250	0,70
300	0,66

Tableau 10 : Section due à l'échauffement S_j
Câble enterré HFG X 1000

Section S_j	$\frac{I}{K}$	Impédance [V/A/km] $\cos \varphi = 0,8$	Prix [DA/km]
4 x 16	111	2,03	21274
4 x 25	141	1,32	32251
4 x 35	170	0,97	42833
3 x 50 + 35	204	0,75	54296
3 x 70 + 50	252	0,55	77505
3 x 95 + 50	302	0,43	97300
3 x 120 + 70	345	0,36	122995
3 x 150 + 70	386	0,31	144341
3 x 185 + 70	435	0,27	167860
3 x 240 + 70	604	0,23	-

Section due à l'échauffement S_j
Pour câble U1000 R02V en caniveau d'usine

Section S_j	$\frac{I}{K}$	Impédance [V/A/km] $\cos \varphi = 0,8$	Prix [DA/km]
4 x 1,5	22	20,4	3061
4 x 2,5	30	12,4	3943
4 x 4	40	7,8	5247
4 x 6	53	5,3	8082
4 x 10	71	3,18	11569
4 x 16	96	2,03	16932
4 x 25	127	1,31	26318
4 x 35	157	0,97	35458
4 x 50	196	0,74	48952
4 x 70	242	0,54	71610
4 x 95	293	0,41	95395
4 x 120	339	0,34	117804
4 x 150	390	0,295	144989
4 x 185	444	0,25	177953

Tableau 11 : IMPEDANCES DES CABLES BT

câbles non armés (âme en cuivre)

Impédance [V/A/km] Cos $\psi = 0,3$	Impédance [V/A/km] Cos $\psi = 0,5$	Impédance [V/A/km] Cos $\psi = 0,8$	Section [mm ²]
4,4	7,2	11,5	1,5
2,7	4,4	6,9	2,5
1,7	2,8	4,4	4
1,17	1,9	2,9	6
0,72	1,14	1,7	10
0,49	0,75	1,13	16
0,33	0,5	0,73	25
0,27	0,39	0,54	35
0,22	0,3	0,4	50
0,18	0,235	0,3	70
0,15	0,19	0,23	95
0,14	0,165	0,19	120
0,124	0,15	0,17	150

câbles armés (âme en cuivre)

4,4	7,2	11,5	1,5
2,7	4,4	6,9	2,5
1,7	2,8	4,4	4
1,19	1,9	2,96	6
0,743	1,16	1,78	10
0,501	0,765	1,15	16
0,349	0,512	0,743	25
0,275	0,39	0,551	35
0,226	0,309	0,421	50
0,183	0,239	0,309	70
0,155	0,192	0,237	95
0,141	0,169	0,2	120
0,13	0,152	0,172	150
0,122	0,138	0,15	185

IV-2-3-Détermination de la section S_c :

La section due aux surcharges et aux court-circuits est donnée par la formule suivante:

$$S_c = \frac{I_{cc}}{K \sqrt{\frac{\theta_c - \theta}{t}}}$$

$I_{cc} (A)$
 θ_c et θ ($^{\circ}C$)
 $t (s)$

I_c : intensité de surcharge par conducteur (court-circuit).

θ : température de l'âme du câble avant la surcharge, on prend généralement la température maximale admissible à l'âme.

θ_c : température admissible à la fin de la surcharge

t : durée de la surcharge

I_{cc} et t dépendent du réseau et de ses dispositifs de protection.

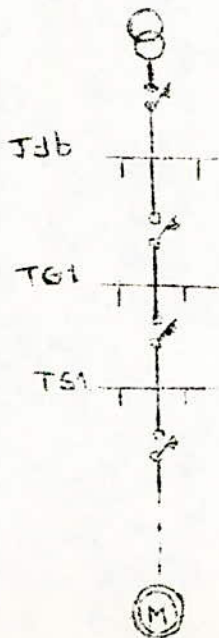
$K = 11$ pour une âme en cuivre

$K = 7,4$ pour une âme en aluminium

Après avoir calculé S_j et S_z , on prend la plus grande et on calcule I_{cc} avec la méthode ci-dessous:

IV-2-3-1-Calcul des résistances et réactances de chaque partie de l'installation:

Soit le schéma suivant:



Réseau amont:

R_1 négligeable

$$X_1 = \frac{\dot{U}^2}{P_{cc}}$$

$U(V)$: tension à vide du transformateur (composée)

P_{cc} (KVA): puissance de court-circuit du réseau en
amont du transformateur

X_1 (m Ω): réactance du réseau amont

Transformateur:

R_2 négligeable

$$X_2 = \frac{U^2 \cdot U_{cc}}{P_n \cdot 100}$$

$U(v)$: tension à vide du transformateur (composée)

P_n (KVA): puissance nominale du transformateur

U_{cc} (en %): puissance de court-circuit du transfor-
-mateur

X_2 (m Ω): réactance du transformateur

Câbles:

$$R_3 = \frac{\rho \cdot l}{s}$$

l (m)

s (mm²)

R_3 (m Ω)

$\rho = 27$ (pour le cuivre)

$X_3 = 0,071$ (pour câbles triphasés)

$X_{3,unip} = 0,151$ (pour câbles unipolaires)

l (m)

X_3 (m Ω)

Barres:

$$R_4 = \frac{\rho \cdot l}{s}$$

$X_4 = 0,151$

$l(m)$
 $S(mm^2)$
 $R_4(m\Omega)$
 $X_4(m\Omega)$
 $= 21(\text{pour une \u00e2me en cuivre})$

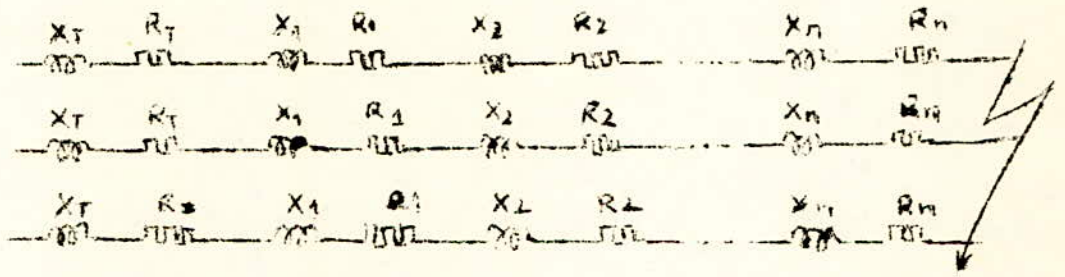
Disjoncteurs:

Rapide	R_5 n\u00e9gligeable	X_5 n\u00e9gligeable
Selectif	R_5 n\u00e9gligeable	$X_5 = 0,15$ par p\u00f4le

Les formules pr\u00e9c\u00e9dentes sont applicables dans tous les tron\u00e7ons (du transformateur jusqu'au l'utilisation)

IV-2-3-2-Valeur du courant de court-circuit en un point de l'installation(d\u00e9faut triphas\u00e9)

Sch\u00e9ma:



-On calcule la somme des r\u00e9sistances situ\u00e9es en amont du point de court-circuit:

$$R_t = R_T + R_1 + R_2 + \dots$$

-On calcule la somme des r\u00e9actances situ\u00e9es en amont du point de court-circuit:

$$X_t = X_T + X_1 + X_2 + \dots$$

-La valeur du courant de court-circuit triphas\u00e9 au point consid\u00e9r\u00e9 est:

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{R_t^2 + X_t^2}}$$

U: tension \u00e0 vide (compos\u00e9e)

IV-2-3-3-Cas du défaut monophasé:

Schéma:



-On calcule la somme des résistances situées en amont du point de court-circuit:

$$R_t = R_T + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{N1} + R_{N2} + \dots + R_{Nn}$$

-On calcule par analogie la somme des réactances:

$$X_t = X_T + X_1 + X_2 + \dots + X_n + X_{N1} + X_{N2} + \dots + X_{Nn}$$

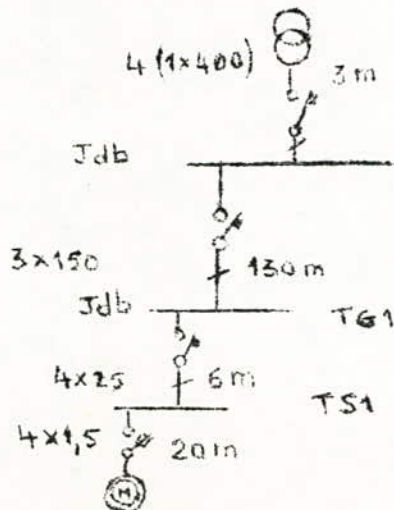
-La valeur du courant de court-circuit monophasé au point considéré est:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{R_t^2 + X_t^2}}$$

V: tension à vide du transformateur(simple)

IV-2-3-4-Application:exemple de calcul de courant de court-circuit triphasé:

Schéma:



Calcul du courant de court-circuit triphasé au point A

-Puissance de court-circuit du réseau en amont du transformateur: 400 MVA

-Puissance nominale du transformateur: 500 KVA

On calcule la résistance et la réactance de chaque tronçon (transformateur, câbles, barres, réseau amont)

	L(m)	S(mm ²)	R(mΩ)	X(mΩ)
Réseau amont			≈ 0	0,4
Transformateur			≈ 0	12,8
Câble: transfo-barres	3	4(1x400)	0,20	0,15
Barres	1,5	4x400	0,078	0,225
Câble: barres-TG1	130	3x150+70	23,4	9,1
Barres	1,5	4x150	0,21	0,225
Câble: TG1-TS1	6	4x25	6,48	0,42
Barres	1,5	4x25	1,26	0,225
TS1-Moteur de 5 CV	20	4x1,5	360	1,4

On utilise des disjoncteurs rapides donc on néglige leur résistance et leur réactance dans le calcul.

Somme des réactances des barres:

$$X_{b_i} = 0,225 + 0,225 + 0,225 = 0,675 \text{ m}\Omega$$

Somme des réactances des câbles:

$$\begin{aligned} X_{c_j} &= 0,4 + 12,8 + 0,15 + 9,1 + 0,42 + 1,4 \\ &= 24,27 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

Somme des résistances des barres:

$$R_{b_i} = 0,078 + 0,21 + 1,26 = 1,548 \text{ m}\Omega$$

Somme des résistances des câbles:

$$R_{c_j} = 0,2 + 23,4 + 6,48 + 360 = 390,08 \text{ m}\Omega$$

Impédance de court-circuit:

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum X_{c_j} + \sum X_{b_i})^2 + (\sum R_{c_j} + \sum R_{b_i})^2}$$

On remarque que la somme des réactances des barres est négligeable devant la somme des réactances des câbles. Il en est de même pour les résistances

$$\frac{X_{b_i}}{X_{c_j}} = \frac{0,675}{24,27} = 2,78\%$$

$$\frac{R_{b_i}}{R_{c_j}} = \frac{1,548}{390,08} = 0,39\%$$

$$\text{donc } Z_{cc} = (24,27)^2 + (390,08)^2 = 390,83 \text{ m}\Omega$$

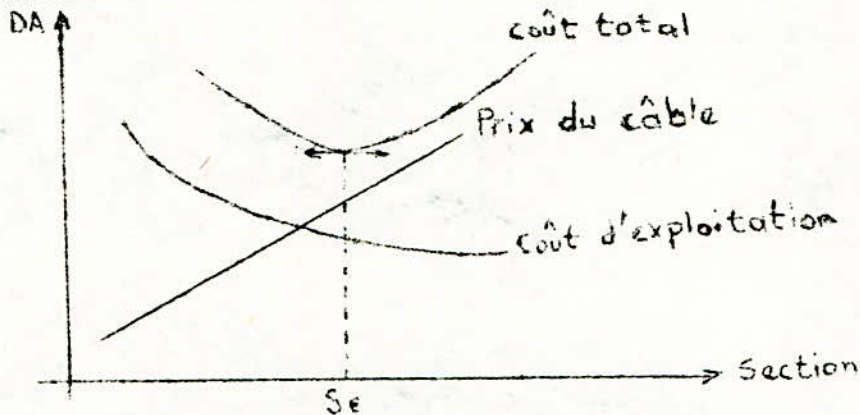
Courant de court-circuit)

$$I_{cc} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{390,83}} = 0,591 \text{ KA}$$

Dans tous les calculs de courant de court-circuit, on a négligé l'impédance des barres.

IV-2-4-Détermination de la section S_e :

La section économique est la section pour laquelle le coût d'exploitation tenant compte de l'amortissement du prix d'achat du câble et des pertes par effet joule est minimale.



La section économique est donnée par la formule:

$$S_e = I \cdot \sqrt{\frac{e \cdot n \cdot \rho \cdot H \cdot 10^{-3}}{A \cdot G}}$$

e : prix de l'énergie électrique en DA/KWh .

n : nombre de conducteurs actifs de la liaison.

ρ : résistivité du métal conducteur à la température de service.

H : nombre d'heures de service de la liaison électrique par année.

A : annuité d'amortissement du prix d'achat du câble

$$A = \frac{(1 + t)^N \cdot t}{(1 + t)^N - 1}$$

t : taux d'intérêt admis par les emprunts d'argent.

N : nombre d'années admis pour l'amortissement de la liaison électrique.

$$G = \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1}$$

P_1, P_2 : valeurs extrêmes du prix du câble choisi.
 S_1, S_2 : sections extrêmes correspondant à P_1, P_2 .

IV-3-Application: exemple de calcul de section de câble:

Soit à calculer le câble reliant le poste de transformation au tableau général TG_1 :

$$I = 297,45 \text{ A}$$
$$l = 130 \text{ m}$$

IV-3-1-Calcul de la section due à l'échauffement: S_j

- On choisit un câble enterré: HFG X 1000 (triphase)
- La température ambiante est de 20°C donc on a $K_1 = 1$ (voir tableau 9.1).
- Le câble est enterré donc K_2 n'intervient pas.
- Le câble est posé à proximité de 3 autres donc on a $K_3 = 0,72$ (voir tableau 9.3).
- La résistivité du sol est estimée à 100°C cm/W donc on a $K_4 = 1$ (voir tableau 9.4)

$$K = K_1 \times K_3 \times K_4 = 1 \times 0,72 \times 1 = 0,72$$

$$\frac{I}{K} = \frac{297,45}{0,72} = 413,12 \text{ A}$$

D'après le tableau 10.1 on a:

$$S_j = 3 \times 150 + 70 \text{ mm}^2$$

IV-3-2-Calcul de la section due à la chute de tension: S_z

-Après avoir déterminé la section S_j , on déduit l'impédance par unité de longueur $dz(V/A/Km)$ et on estime la chute de tension admissible

$$U = dz \cdot I \cdot L$$

Après avoir déterminé les 4 sections, on choisit la plus grande et on recalculera la chute de tension.

$$U_{adm} = 4\%$$

-Calcul de Z_{max} :

$$Z_{max} = \frac{U_{admissible}}{1,732 \cdot I.L} = \frac{4 \times 3,8}{1,732 \times 297,45 \times 0,13}$$

$$Z_{max} = 0,226 \Omega/Km$$

D'après le tableau 11 (câbles armés), pour $\cos \phi = 0,8$ l'impédance immédiatement inférieure à la valeur trouvée est $Z = 0,19$ qui donne une section $S_z = 120 \text{ mm}^2$

IV-3-3-Calcul de la section due au court-circuit: S_c

$$S_c = \frac{I_{cc}}{K \sqrt{\frac{\theta_c - \theta}{t}}}$$

$$X_t = 0,4 + 12,8 + 0,15 + 9,1 = 22,45 \text{ m}\Omega$$

$$R_t = 0,20 + 23,4 = 23,6 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_t^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(22,45)^2 + (23,6)^2}}$$

$$I_{cc} = 7,09 \text{ KA}$$

$$K = 11 \text{ (âme en cuivre)}$$

$$t = 1 \text{ s (temps de surcharge)}$$

$$\theta_c = 250^\circ\text{C (câble isolé au PRC)}$$

$$\theta = 85^\circ\text{C (câble isolé au PRC)}$$

$$\text{d'où } S_c = \frac{7090}{11 \sqrt{\frac{250-85}{1}}} = 50,177 \text{ mm}^2$$

Le courant de court-circuit I_{cc} est calculé en choisissant la plus grande valeur de (S_j, S_z) .

IV-3-4-Calcul de la section économique: S_e

$$S_e = I \sqrt{\frac{e \cdot n \cdot \rho \cdot H \cdot 10^{-3}}{A \cdot G}}$$

$I = 297,45 \text{ A}$

$e = 0,21 \text{ DA/Km}^2\text{h}$

$n = 3$ (nombre de conducteurs actifs)

$\rho = 17,24 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{Km}$

$\rho_{85^\circ\text{C}} = \rho_{20^\circ\text{C}} (1 + \alpha \Delta\theta)$ avec $\alpha = 3,93 \cdot 10^{-3}$

$= 17,24 [1 + 3,93 \cdot 10^{-3} (85 - 20)]$

$= 21,64 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{Km}$

$H = 2200$ heures de service de la liaison

$$A = \frac{(1 + t)^N \cdot t}{(1 + t)^N - 1}$$

$t = 10\%$ (taux d'intérêt admis par les emprunts d'argent)

$N = 5$ ans (nombre d'années admis pour l'amortissement technique de la liaison électrique)

$$A = \frac{(1 + 0,1)^5 \times 0,1}{(1 + 0,1)^5 - 1} = 0,264$$

$$G = \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1} = \frac{167860 - 54296}{240 - 50} = 597,70 \text{ DA/Km/mm}^2$$

d'où $S_e = 297,45 \sqrt{\frac{0,21 \times 3 \times 21,64 \times 2200 \times 10^{-3}}{0,264 \times 597,7}}$

$S_e = 129,68 \text{ mm}^2$

Conclusion:

On choisit un câble triphasé du type HFG X 1000 de section
 $S = 3 \times 150 + 70 \text{ mm}^2$.

Calcul de la chute de tension:

Pour une section de 150 mm^2 , le tableau 11 donne l'impédance par unité de longueur $dz = 0,31 \text{ V/A/Km}$. On déduit la chute de tension:

$$U = dz \cdot I \cdot L = 0,31 \times 297,45 \times 0,13 = 11,98 \text{ V}$$

ce qui correspond à 3,15%.

Les calculs des sections des câbles figurent au tableau 12. Pour les circuits terminaux (tableaux secondaires-utilisations) le calcul a été fait pour le récepteur le plus loin et ceci dans le but de considérer la plus grande chute de tension. Ainsi la section étant calculée pour le récepteur le plus loin, pour les récepteurs de même puissance et de même nature la section reste la même et la chute est plus faible. Pour chaque récepteur, il faut vérifier que:

- $\Delta U_T \leq 8\%$ pour les circuits de force motrice
- $\Delta U_T \leq 6\%$ pour les circuits d'éclairage

(ΔU_T étant la somme des chutes de tension depuis le transformateur jusqu'à l'utilisation)

Les valeurs de ΔU_T sont représentées dans la figure 14:

V-REGIME DU NEUTRE:

V-1-Différents régimes du neutre:

Il existe 5 régimes du neutre:

- Neutre non mis à la terre ou neutre isolé
- Neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance
- Neutre mis directement à la terre
- Mise au neutre par système 4 fils TNA
- Mise au neutre par système 5 fils TNB

V-1-1-Neutre non mis à la terre ou neutre isolé:(fig.15)

Le neutre physique d'une telle installation est isolé de la terre. Le potentiel du neutre est en théorie au potentiel de la terre en absence de défaut, à la tension simple en de défaut à la terre sur une phase et il ne circule aucun courant de défaut. En réalité la présence des capacités de ligne permet un échange d'énergie entre la phase en défaut et les phases saines, et le courant de défaut i qui apparait est d'autant plus important que les capacités sont élevées donc que le réseau est étendu.

V-1-2-Neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance:
(fig.16)

Le neutre physique d'une telle installation est relié à la terre par une impédance Z . Le potentiel du neutre est au potentiel de la terre en l'absence de défaut.

Lorsqu'un défaut apparait entre une phase et la terre, le courant de défaut se divise en deux:

-Une partie i' chemine par les capacités comme en neutre isolé

-l'autre partie i'' revient à la source par l'impédance Z .

Le courant de défaut est donc plus important qu'en neutre isolé mais la montée en potentiel du neutre est limitée e par la valeur de l'impédance Z .

REGIMES DU NEUTRE

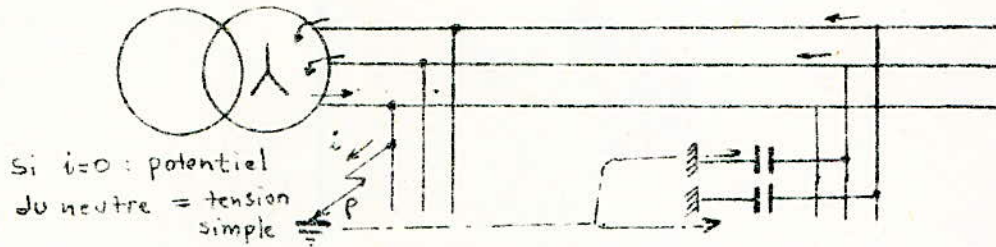


Fig.15

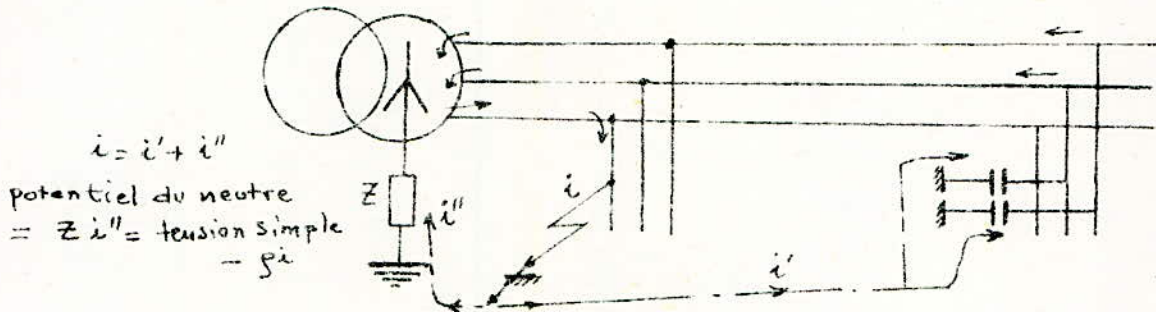


Fig 16

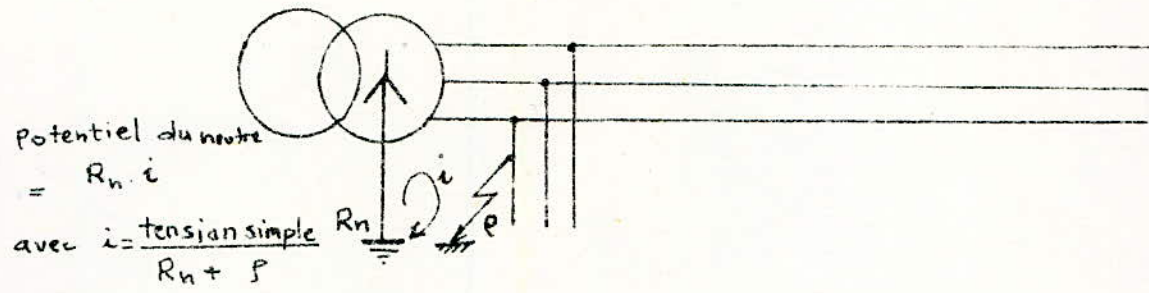


fig 17

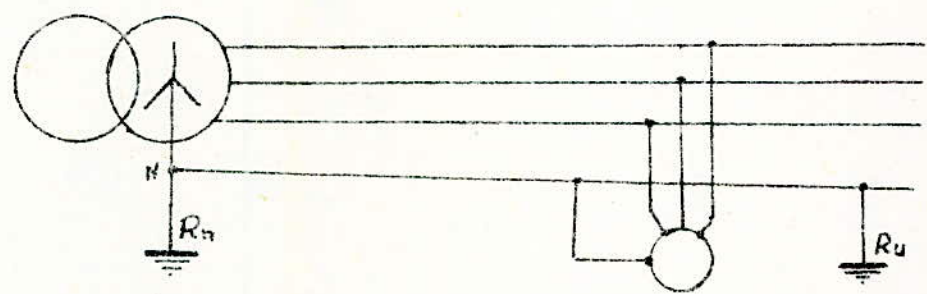


Fig.18

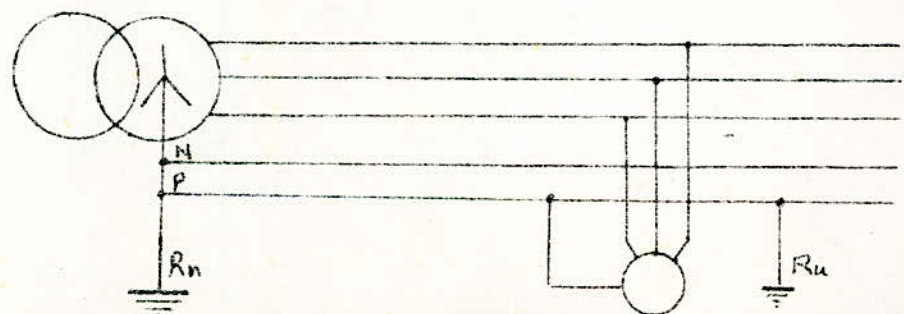


Fig.19

Si on veut éviter que le potentiel du neutre prenne des trop élevées, on choisit une faible valeur de Z . Mais dans ce cas le courant de défaut peut être très important. Il est donc nécessaire de choisir un compromis entre faible et forte impédance (de l'ordre de 1500 Ω)

V-1-3-Neutre mis directement à la terre: (fig.17)

Le neutre est relié à la terre par une prise de terre qui est toujours faible (quelques ohms) et son potentiel reste, toujours voisin de celui de la terre. Dans ce régime, en cas de défaut, les capacités de lignes n'ont pratiquement aucune importance devant la faible impédance de boucle rencontrée par un courant de défaut limité uniquement par la résistance de terre du neutre R_n et celle du défaut. Ce courant est important et la puissance dissipée dans la résistance de terre est élevée. C'est pour cette raison que la prise de terre doit être fréquemment vérifiée. En effet un échauffement important provoque une augmentation de la résistance de terre par "cuisson" et le neutre risque de se trouver relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance élevée sans que l'exploitant en soit averti.

V-1-4-Mise au neutre par système 4 fils TNA: (fig.18)

Dans ce système qui est dérivé du système avec neutre relié directement à la terre, les masses métalliques au lieu d'être reliées directement à un conducteur de protection, sont raccordées au conducteur neutre par l'intermédiaire duquel elles sont mises à terre. Ce système peut être utilisé dans la mesure où on est certain de la continuité du conducteur neutre. Il est conçu de telle façon que tout défaut survenant à l'intérieur d'une machine conduise à un court-circuit phase-neutre, ce défaut étant éliminé par les dispositifs de protection (relais à maximum de courant ou fusibles).

V-1-5-Mise au neutre par système 5 fils TMB:(fig.19)

Ce dispositif est destiné à pallier les inconvénients que pourrait présenter le précédent lorsque la section des conducteurs actifs est faible (risque de coupure), ou dans le cas d'alimentation de machines mobiles (câbles souples). On ajoute donc un conducteur de protection P, tout en gardant les avantages de la protection contre tout défaut par des relais à maximum de courant ou par fusibles.

V-2-Recommandations relatives au choix du régime du neutre:

Les abonnés du réseau B.T n'ont pas le choix du régime du neutre et doivent s'accomoder du régime imposé par le distributeur. Il s'agit d'un neutre distribué avec la mise à terre directe. Les abonnés doivent donc prévoir leurs systèmes de protection en conséquence.

Quant aux abonnés des réseaux moyenne tension, propriétaires de leur poste de transformation, ils ont un choix à effectuer en fonction de plusieurs critères possibles:

- Si le réseau est perturbé et sujet à des surtensions fréquentes, il est préférable de fixer le potentiel du neutre par une mise à la terre directe à moins que la nécessité de service ne s'y oppose.
- Si le réseau est peu perturbé, si la continuité de service l'exige, si une coupure inopinée est dangereuse, on peut choisir un régime de neutre isolé ou mis à la terre par une forte impédance.
- Si l'installation se trouve dans un local à atmosphère dangereuse, il est nécessaire de limiter le plus possible le courant de défaut. On choisit donc un régime de neutre isolé ou mis à terre par une forte impédance.
- S'il s'agit d'un réseau très étendu pour lequel les capacités de ligne sont très importantes, il est inutile de parler de neutre isolé.

Le courant de défaut est de toutes les manières important et le régime du neutre est indifférent. Mais comme de plus il est susceptible d'être perturbé par des surtensions, il est préférable de choisir un régime de neutre à la terre.

-Si le personnel d'entretien est peu qualifié ou inexistant, tout défaut doit être éliminé automatiquement. On choisit donc un régime de mise à la terre ou de mise au neutre.

Aucun régime de neutre ne peut être présenté comme étant le meilleur, ils ont chacun leur intérêt.

V-3-Application:

Dans le cas de notre installation, on choisit la mise au neutre par système 5 fils TNB. Ceci nous permet de raccorder les masses métalliques au conducteur neutre qui est mis directement à terre et d'assurer la continuité de service du neutre.

VI-PROTECTION DES CIRCUITS:

Toute installation électrique peut être le siège d'un certain nombre d'incidents mécaniques ou électriques. Afin d'éviter que ceux-ci entraînent sa détérioration, il est indispensable de protéger pour assurer une bonne sécurité des personnes et des biens. C'est le rôle des disjoncteurs, des relais de protection et des sectionneurs porte-fusibles. Ces surintensités se présentent sous deux formes principales:

-les surcharges ou surintensités s'établissant lentement par suite de l'accroissement exagéré du nombre et de la puissance des récepteurs branchés sur un réseau.

-Les court-circuits ou surintensités brusques provenant d'un contact accidentel entre des conducteurs portés à des potentiels différents.

La protection des circuits est obligatoire à tout changement de section, de mode de pose, de la nature ou de la constitution du câble.

VI-1-Protection contre les surcharges:

Les relais thermiques sont des relais à maximum de courant destinés à protéger une installation (le plus souvent un moteur) contre les surcharges progressives de longue durée (pouvant provoquer la détérioration des isolants) et contre les court-circuits limités (pouvant rompre les conducteurs).

Principe de fonctionnement

Une bilame formée de deux métaux se déforme sous l'effet de l'augmentation de la température engendrée par la surintensité. Cette déformation provoque l'ouverture du circuit par l'intermédiaire d'un système mécanique.

VI-2-Protection contre les court-circuits:

Les relais magnétiques et les fusibles protègent les circuits contre les court-circuits. Les relais magnéto-thermiques protègent les circuits contre les surcharges et les court-circuits.

VI-2-1-Relais magnétique:

Sous l'effet d'une surintensité, l'induction magnétique à l'intérieur d'une bobine augmente, la force exercée sur le noyau est suffisante pour qu'il soit attiré et vient ouvrir un interrupteur.

VI-2-2-Coupe-circuits à fusibles:

Ces appareils sont employés pour assurer la protection des circuits d'éclairage, de chauffage et de petite force motrice. Dès que la puissance devient plus importante on préfère utiliser des disjoncteurs qui permettent une protection plus sensible et une mise en marche plus rapide après fonctionnement.

Avantages des fusibles:

- Prix de revient peu élevé
- Fonctionnement sûr dû à l'absence de tout mécanisme complexe et délicat
- Facilité d'installation

Inconvénients des fusibles:

- Pas de temporisation réglage
- Dans les circuits triphasés, la fusion peut être simultanée: quelques fois un seul coupe-circuit fonctionne, ce qui conduit à des déséquilibres dans les canalisations et provoque la marche en monophasé des récepteurs.

VI-2-3-Relais magnéto-thermiques:

Ils sont formés par l'association d'un relais thermique et d'un relais magnétique. La bilame n'intervient que pour les surcharges inférieures à l'intensité de fonctionnement du relais magnétique.

VI-3-Sélectivité:

Un courant traverse généralement plusieurs appareils de protection en série. Ces appareils sont calculés en fonction des différents circuits à protéger.

Il y'a bonne sélectivité lorsque seul l'appareil protégeant le circuit en défaut fonctionne. La continuité de distribution est directement liée à la sélectivité des protections.

VI-4-Pouvoir de coupure:

Le pouvoir de coupure d'un appareil est la plus grande intensité de courant que cette appareil est susceptible de couper sous une tension de rétablissement donnée et dans des conditions spécifiées sans détériorations ni manifestations extérieures excessives.

VI-5-Choix des disjoncteurs:

On choisit un disjoncteur avec:

- Un calibre approprié à l'intensité nominale
- Un pouvoir de coupure égal ou supérieur à l'intensité de court-circuit.

VI-6-Choix des fusibles:

Les fusibles employés pour la protection des moteurs contre les court-circuits seront dimensionnés en fonction du courant de démarrage et du temps de réponse (fusion)

$$I_f \geq \frac{I_d}{\alpha}$$

$$\alpha = 2,5 \text{ à } 3,2$$

$$I_d = (5 \text{ à } 7) I_n$$

VI-7-Applications:

Les circuits principaux seront protégés par des disjoncteurs magnéto-thermiques. Les circuits terminaux seront protégés par des sectionneurs porte-fusibles et des relais thermiques. Les disjoncteurs sont dimensionnés en fonction de leur courant nominal qui doit au moins être égal au courant qui le traverse et de leur pouvoir de coupure qui doit au moins être égal au courant de court-circuit. La méthode de calcul des courants de court-circuit a été exposée au chapitre IV.

Les disjoncteurs utilisés sont des disjoncteurs du type Merlin Gerin .Ils sont munis de déclencheurs thermiques réglables de $(0,75 \text{ à } 1) I_n$ et de déclencheurs magnétiques réglables de $(5 \text{ à } 10) I_n$.

Les fusibles sont dimensionnés pour $I_d = 5 I_n$ (démarrage rapide) et pour $\alpha = 3,2$ (fusible lent).

Les résultats sont donnés dans le tableau 13.

VI-8-Choix des armoires:

On a opté pour l'armoire P_6 du type Merlin Gerin qui est construite pour des puissances moyennes. Elle peut recevoir un courant $I_n \leq 2000 \text{ A}$. L'armoire P_6 est une solution simple et économique à l'ensemble des problèmes posés par la distribution B.T. Elle est divisée en 6 ou 7 modules.

Elle est caractérisée par:

- Le raccordement des câbles se fait en face avant, son implantation se fait le long d'un mur.
- Elle possède de nombreuses variantes d'accès aux commandes des appareils (plastrons fixes, portes pleines, portes percées pour le passage des commandes---)
- Une manutention aisée grâce à ses dimensions réduites et son faible poids.

Elle existe en 5 modèles de largeur utile 500 et 700 mm (sans les cadres), de profondeur 350, 475 et 725 mm et une seule hauteur 2000 mm

Avec plus de précisions, on aurait dû faire un calcul d'encombrement c'est à dire déterminer le volume occupé par les appareils et l'espacement entre eux.

VII-PROTECTIONS DES PERSONNES:

Dans les installations électriques, le personnel est exposé à des dangers qui peuvent conduire à l'électrocution.

VII-1-Contacts directs et indirects:

VII-1-1-Contact direct:

C'est un contact du corps humain avec un conducteur actif ou une masse métallique non liée à la terre et mis en contact accidentel avec un conducteur actif.

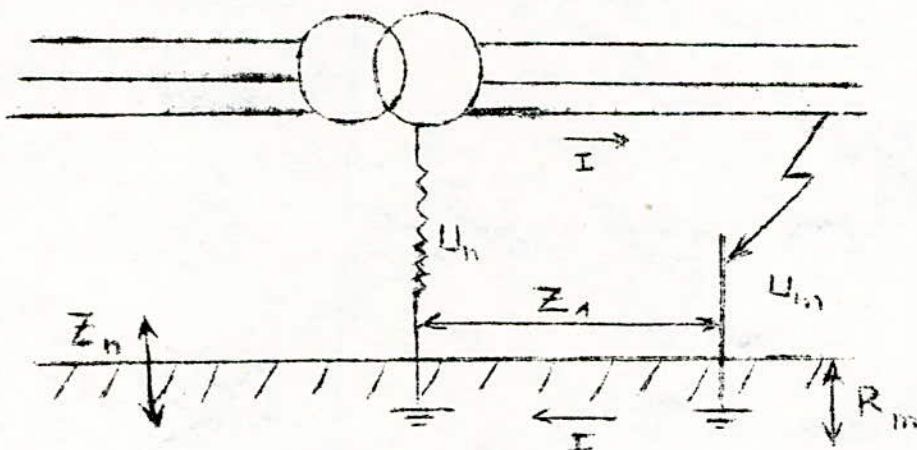
VII-1-2-Contact indirect:

C'est un contact du corps humain avec une masse métallique mise accidentellement sous tension par suite d'un défaut d'isolement.

VII-2-Calcul du courant et des tensions lors d'un défaut d'isolement:

Cas d'un défaut franc entre phase et terre:

schéma:



Z_1 : impédance entre le lieu de mise à la terre du neutre jusqu'au siège du défaut.

R_m : résistance de la mise à la terre locale par laquelle le courant de défaut s'écoule.

Z_n : impédance de la mise à la terre du neutre

Le courant de défaut est:

$$I = \frac{U}{R_m + Z_1 + Z_n}$$

La tension prise par la masse est:

$$U_m = U \cdot \frac{R_m}{R_m + Z_1 + Z_n}$$

La tension prise par le point neutre est:

$$U_n = U \cdot \frac{Z_n}{R_m + Z_1 + Z_n}$$

3 cas sont considérés en pratique:

1^{er} cas: $R_m \gg Z_n$ et $Z_n \gg Z_1$

$$I = \frac{U}{R_m}$$

$$U_m = U$$

$$U_n = U \cdot \frac{Z_n}{R_m}$$

-Le courant de défaut est ~~inversement~~ proportionnel à la résistance de la terre des masses locale.

-La masse est portée pratiquement à la tension de phase.

2^{eme} cas: $Z_n \gg R_m$ et $R_m \gg Z_1$

$$I = \frac{U}{Z_n}$$

$$U_m = U \cdot \frac{R_m}{Z_n}$$

$$U_n = U$$

-Le courant de défaut est pratiquement indépendant de la résistance de la terre des masses locale.

-La terre des masses est portée à une tension proportionnelle à sa résistance de terre.

-Le point neutre monte pratiquement à la tension de phase.

3^{ème} cas: $Z_1 \gg Z_n$ et $Z_1 \gg R_m$

$$I = \frac{U}{Z_1}$$

$$U_m = U \cdot \frac{R_m}{Z_1}$$

$$U_n = U \cdot \frac{Z_n}{Z_1}$$

le cas

C'est du court-circuit franc avec des terres très peu résistantes, du neutre et de la masse locale.

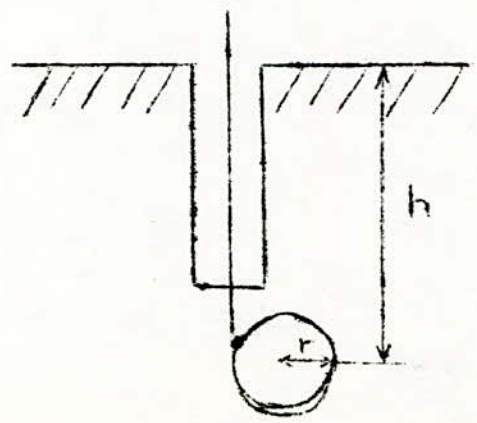
VII-3-Notion de mise à la terre:

La mise à la terre d'un organe consiste en la liaison de cet organe au moyen d'un conducteur métallique de section suffisante avec une prise de terre ou "terre" constituée par une électrode métallique de formes diverses (plaque, tube, grillage, etc ---) enfoncée dans le sol à une profondeur convenable.

La grandeur caractérisant essentiellement une prise de terre est sa résistance qui dépend de la nature du sol c'est à dire de sa résistivité. La résistivité varie suivant les saisons c'est à dire dépend de la température. Les sols humides sont conducteurs, par contre les sols contenant des sables et des cailloux sont isolants.

VII-4-Evaluation des résistances de prises de terre dans les cas usuels:

VII-4-1-Cas d'une plaque mince enterrée:



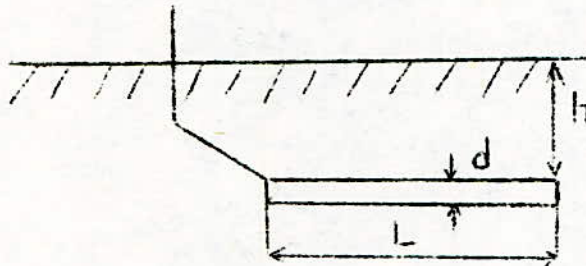
$$R = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{2,5h + r} \right)$$

ρ résistivité du sol en $\Omega \cdot m$
r et h en m.

Si $h > \frac{\pi r}{2}$ on a:

$$R = 0,8 \frac{\rho}{2,5\pi r}$$

VII-4-2-Cas d'un conducteur en tranchée horizontale:



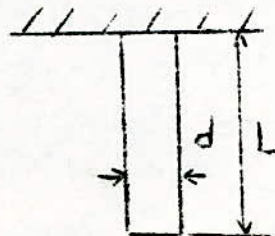
$$R = 0,366 \frac{\rho}{L} \log \frac{9L^2}{16dh}$$

Si $L \gg d$ et $L \approx 50h$ on a sensiblement:

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

ρ résistivité du sol en $\Omega \cdot m$
d, h, L en m.

VII-4-3-Cas d'une électrode cylindrique verticale:



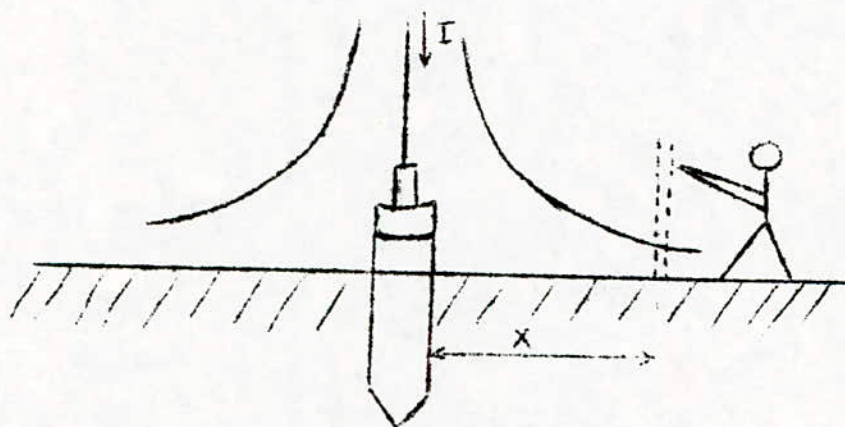
$$R = 0,366 \frac{\rho}{L} \log \frac{3L}{d}$$

Si $L = 200d$ on a sensiblement: $R = \frac{\rho}{L}$

VII-5-Exécution pratique d'une prise de terre:

Les prises de terre sont réalisées soit avec un piquet, soit avec une plaque enfoncés verticalement à une profondeur suffisante pour que cette électrode atteigne un sol humide. Il est mauvais de placer des plaques horizontales car elles peuvent être en mauvais contact avec le sol. Il faut vérifier périodiquement la connexion d'une prise de terre, pour cela on construit un regard de visite abritant la tête du piquet. Les prises de terre doivent être protégées contre la corrosion. Elles doivent être installées en dehors des endroits passagers.

VII-6-Zone de protection autour d'une prise de terre:

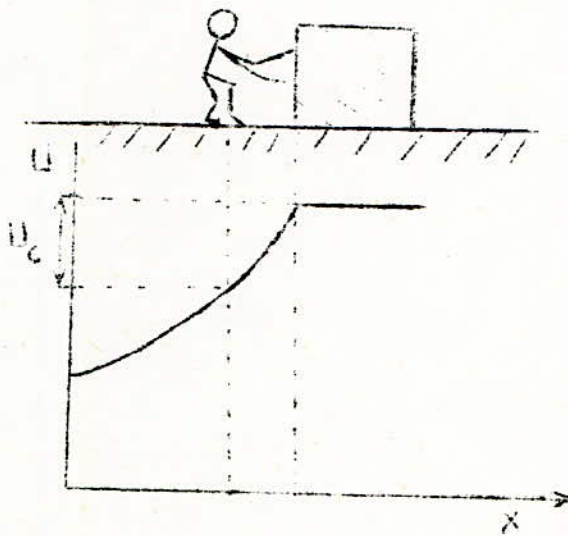


Si une personne pénètre dans la zone d'un piquet de terre en se dirigeant vers le centre, ses pieds se trouveront à des potentiels différents: elle sera soumise à une tension qu'on appelle la tension de pas. Il est donc très important d'assurer que cette tension ne peut pas atteindre une valeur dangereuse. On peut admettre une longueur limite de 1 m.

VII-7-Tension de contact de main à pieds:

Les contacts les plus dangereux pour les personnes pendant une montée en tension des masses d'une installation sont les contacts de main à pieds avec une structure conductrice.

(voir le schéma représentant la variation de la tension de contact en fonction de la distance d'approche).



La courbe ci-dessus représente le potentiel du sol U et la tension de contact U_c près d'une structure écoulant un courant.

VII-8- Applications:

- Pour assurer la sécurité des personnes il faut que:
- toutes les masses métalliques doivent être reliées à la terre, c'est la solution la plus fréquente et la moins coûteuse pour la protection contre les contacts indirects.
 - Les masses simultanément accessibles doivent être reliées à la même prise de terre même s'elles appartiennent à des installations différentes.
 - La tension de contact doit être inférieure à 24 V dans les locaux conducteurs, à 50 V dans les autres.

TROISIEME PARTIE:

POSTE DE TRANSFORMATION

INTRODUCTION:

Dans cette partie du projet, on se propose d'étudier le poste de transformation MT/BT (30 KV/380 V) à partir duquel seront alimentés les différents ateliers.

Il se composera de deux parties:

- Partie MT réservée au distributeur
- Partie BT accessible au consommateur.

1-Choix du type de poste:

Les postes de transformation MT/BT alimentés par des réseaux aériens peuvent être classés en deux types:

- Les postes sur poteau désignés par "transformateur sur poteau"
- Les postes en cabine qui se présentent:
 - soit du type en cabine haute
 - soit du type en cabine basse alimentée par une liaison aérosouterraine en câble MT .

La limite du poste sur poteau est fixée à 100 KVA. Les postes en cabine sont généralement utilisés lorsque la puissance nécessaire dépasse celle du poste sur poteau (grand poids donc nécessité d'engins de levage dont ne possèdent pas généralement les unités d'exploitation).

Dans le cas de notre installation, la puissance du transformateur est de 500 KVA, le poste sera exécuté en maçonnerie du type cabine haute pour l'arrivée MT et d'un local destiné à recevoir le transformateur. Ce local contiendra les différents départs, les appareils de mesure et de comptage.

2-Description du poste:

L'installation côté moyenne tension comprend:

- 3 disques en verre cannelé destinés au passage des fils dans le poste
- 3 chaînes d'ancrage pour l'amarrage des conducteurs MT
- Un sectionneur tripolaire à commande mécanique (par levier)
- Un disjoncteur muni d'un relais à maximum de courant.

L'installation côté basse tension comprend un tableau en matière incombustible et non hydrophyle prévu pour plusieurs départs (4 dans notre cas) qui contiendra les appareils de mesure et de comptage (voir schéma).

3-Mise à la terre des pièces métalliques et du conducteur neutre:

Les pièces métalliques qui doivent être mises à la terre sont reliées entre elles par un circuit de terre.

Les prises de terre doivent être distinctes on aura:

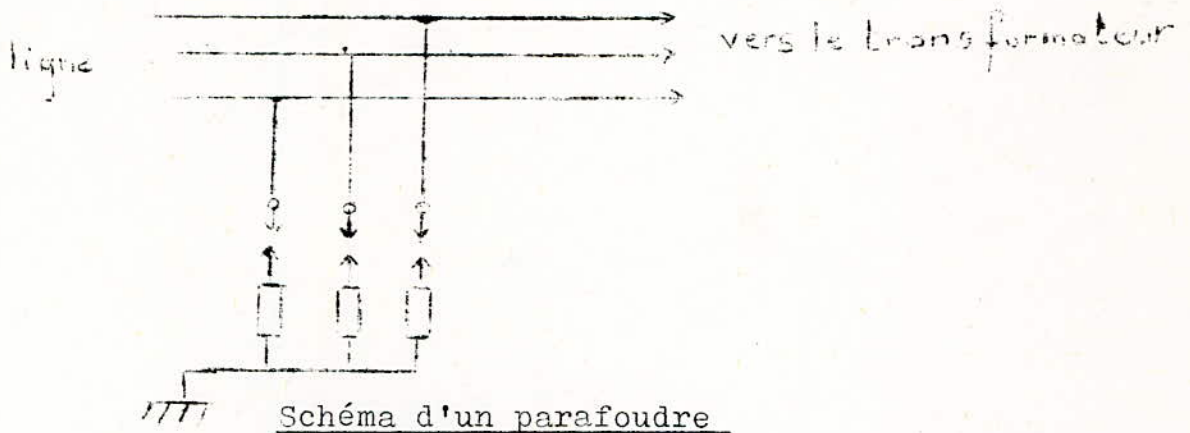
- Une prise de terre pour les pièces métalliques(masses des appareils, du transformateur, etc...)
- Une prise de terre pour le neutre du secondaire.

La mise à terre du neutre se fera en dehors du poste.

4-Protection du poste de transformation:

Sous l'influence du champ électrique terrestre, des charges statiques prennent naissance sur les lignes aériennes dont elles élèvent le potentiel par rapport à la terre.

Lorsque la foudre tombe dans le voisinage d'une ligne, une onde mobile prend naissance et élève brusquement le potentiel des conducteurs. Les coups de foudre directs provoquent sur les isolateurs des arcs à la terre pouvant entraîner l'ouverture des disjoncteurs et des phénomènes très dangereux pour les transformateurs. La protection des réseaux dont la tension est comprise entre 5,5 et 30 KV se fait au moyen d'un parafoudre à résistances.



5-Choix du transformateur:

Il dépend du nombre de phases, de la fréquence, de la puissance.

$$S_n = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

U: tension à vide du secondaire

I: courant secondaire en pleine charge

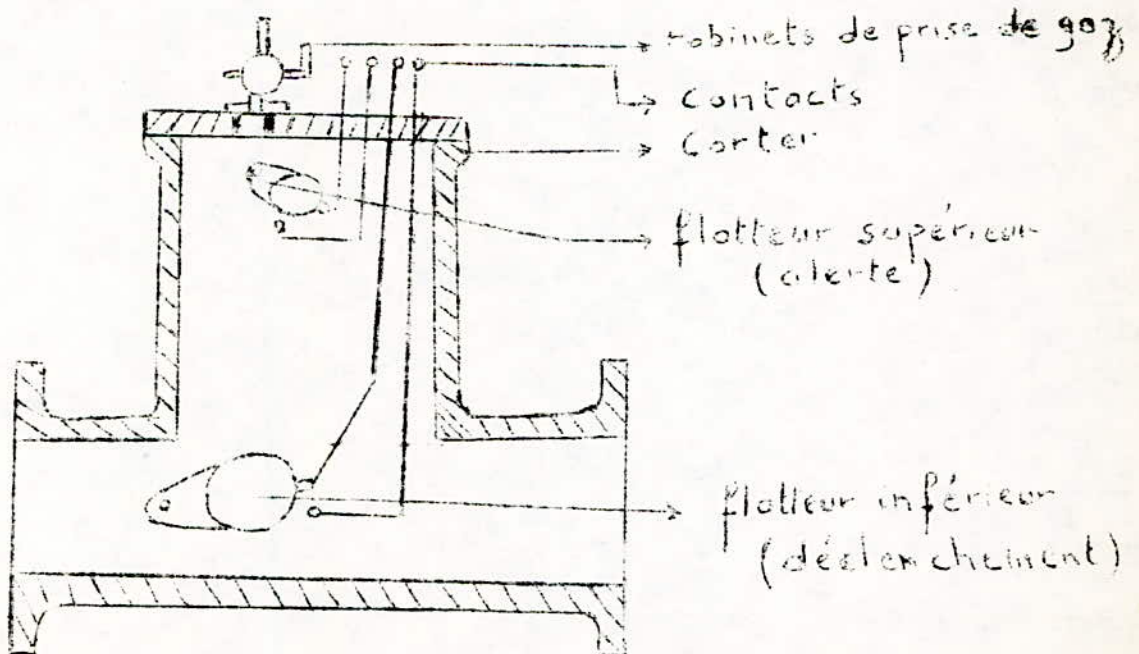
Dans le cas de notre installation, on choisit un transformateur de 500 KVA, 30 KV/380 V

Couplages normalisés:

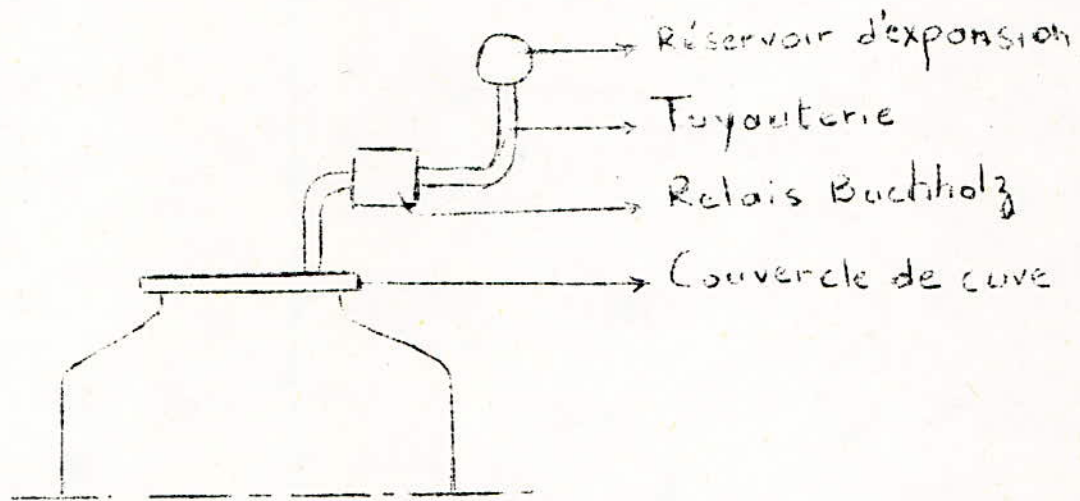
Puissance nominale (KVA)	Désignations	Symboles
$P \leq 160$	étoile-zigzag	$Y_n 11$
$P > 160$	triangle-étoile	$D_{Y_n} 11$

Dans notre cas, le transformateur est du type triangle-étoile. Il est protégé par un relais Buchholz.

Constitution du relais Buchholz:



Montage du relais Buchholz:



Fonctionnement du relais Buchholz:

Tout défaut intervenant dans le bobinage provoque la formation de gaz due à la décomposition des isolants solides et liquides sous l'action de la chaleur ou des étincelles électriques. Les bulles gazeuses formées ont tendance à s'accumuler dans la partie supérieure du carter et le niveau de l'huile s'abaisse. La poussée archimédienne s'exerçant sur le flotteur supérieur diminue et celui-ci en s'abaissant va fermer un contact. Généralement ce premier contact commande un circuit d'alarme. Le robinet permet de prélever du gaz en vue de son analyse chimique. S'il est incombustible, le transformateur peut rester en service.

La protection Buchholz est très efficace, même dans le cas d'un court-circuit entre spires voisines.

CONCLUSION:

La présente étude nous a permis d'analyser quelques problèmes concernant la distribution basse tension.

Les chutes de tension des câbles reliant le jeu de barres aux tableaux généraux des différents ateliers sont grandes, ceci est dû à l'éloignement du poste de transformation dont l'implantation se trouve à proximité d'une ligne aérienne. Dans le calcul des sections de câbles, on a estimé la résistivité thermique du sol, la durée de surcharge et le nombre d'heures de fonctionnement de chaque tronçon.

Les calculs des courants de court-circuit ont été faits seulement dans le cas du court-circuit triphasé en supposant qu'il représente le cas le plus défavorable.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	
Première partie:Éclairage extérieur de l'usine	
Introduction	1
I-NOTIONS D'ECLAIRAGE	
I-1-Grandeurs et unités photométriques	2
I-2-Sources lumineuses	4
I-3-Rendement d'une source lumineuse	5
II-INSTALLATION D'ECLAIRAGE EXTERIEUR	
II-1-Supports et luminaires	6
II-2-Implantation des appareils:technique de l'éclairage	6
II-3-Choix des luminaires	8
III-CALCUL DE L'ECLAIRAGE EXTERIEUR PAR LA METHODE DU FACTEUR D'UTILISATION	
III-1-Facteur d'utilisation	9
III-2-Facteur de vieillissement	9
III-3-Marche à suivre pour le calcul d'éclairage extérieur	10
IV-APPLICATION	
IV-1-Choix des luminaires	14
IV-2-Choix de l'implantation des candélabres	14
IV-3-Choix des supports	14
IV-4-Choix du type de lampe	14
IV-5-Fixation des supports	15
IV-6-Exemple	15
IV-7-Détermination de la puissance d'éclairage extérieur	17
Deuxième partie:Installation de force motrice	
Introduction	18
I-RESEAU ELECTRIQUE DE DISTRIBUTION	
I-1-Schémas de distribution	19
I-2-Choix du mode de distribution	20
I-3-Application de la distribution radiale	20
I-4-Schéma général	22

II-CALCUL DES PUISSANCES	
II-1-Calcul de la puissance de chaque récepteur ..	22
II-2-Calcul de la puissance totale	22
II-3-Détermination de la puissance du transfor- -mateur	24
III-COMPENSATION DE L'ENERGIE REACTIVE	
III-1-Puissance réactive nécessaire à la compensa- -tion	25
III-2-Compensation par compensateur synchrone	25
III-3-Compensation par condensateur	26
III-4-Avantages des batteries de condensateurs par rapport aux compensateurs synchrones ...	26
III-5-Modes de compensation	26
III-6-Application	27
IV-CALCUL DES SECTIONS DE CABLES	
IV-1-Choix du mode de pose	28
IV-2-Méthode de calcul des sections de câbles	28
IV-3-Application:exemple de calcul de section de câble	37
V-REGIME DU NEUTRE	
V-1-Différents régimes du neutre	41
V-2-Recommandations relatives au choix du régime du neutre	43
V-3-Application	44
VI-PROTECTIONS DES CIRCUITS	
VI-1-Protctions contre les surcharges	45
VI-2-Protctions contre les court-circuits	45
VI-3-Sélectivité	46
VI-4-Pouvoir de coupure	47
VI-5-Choix des disjoncteurs	47
VI-6-Choix des fusibles	47
VI-7-Applications	47
VI-8-Choix des armoires	48

VII-PROTECTIONS DES PERSONNES	
VII-1-Contacts direct et indirect	49
VII-2-Calcul du courant et des tensions lors d'un défaut d'isolement	49
VII-3-Notion de mise à la terre	51
VII-4-Evaluation des résistances de prises de terre dans les cas usuels	51
VII-5-Exécution pratique d'une prise de terre ...	53
VII-6-Zone de protection autour d'une prise de terre	53
VII-7-Tension de contact de main à pieds	53
VII-8-Applications	54
Troisième partie:Poste de transformation	
Introduction	55
1-Choix du type de poste	56
2-Description du poste	56
3-Mise à la terre des pièces métalliques et du conducteur neutre	56
4-Protection du poste de transformation	57
5-Choix du transformateur	57
CONCLUSION	60

BIBLIOGRAPHIE

1. Livres:

- Technologie d'électricité tome 4
Applications de l'énergie électrique
Heiny, Naudy et Darées
- Recommandations relatives à l'éclairage extérieur
A.F.E. 4^e édition Janvier 1974
- Guidé de l'installation électrique
Merlin Gerin
- Technologie d'électricité tome 2
R. Merlet
- Technologie d'électricité tome 3
Technique de l'appareillage et ses applications
Heiny et Naudy
- Installations électriques à haute et basse tension
tome 1 et 2
A. Mauduit

2. Revues:

- Eclairage des bureaux et ateliers
EDF
- Les régimes du neutre dans les réseaux B.T. et M.T.
jusqu'à 20 KV.
Merlin Gerin
- Revue générale de l'électricité
RGE tome 81
- Prises de terre et circuits de terre
CATU Paris

3. Thèse de fin d'étude:

- Compensation de l'énergie réactive dans les installations
électriques industrielles.
A. Mimouni et A. Serrar

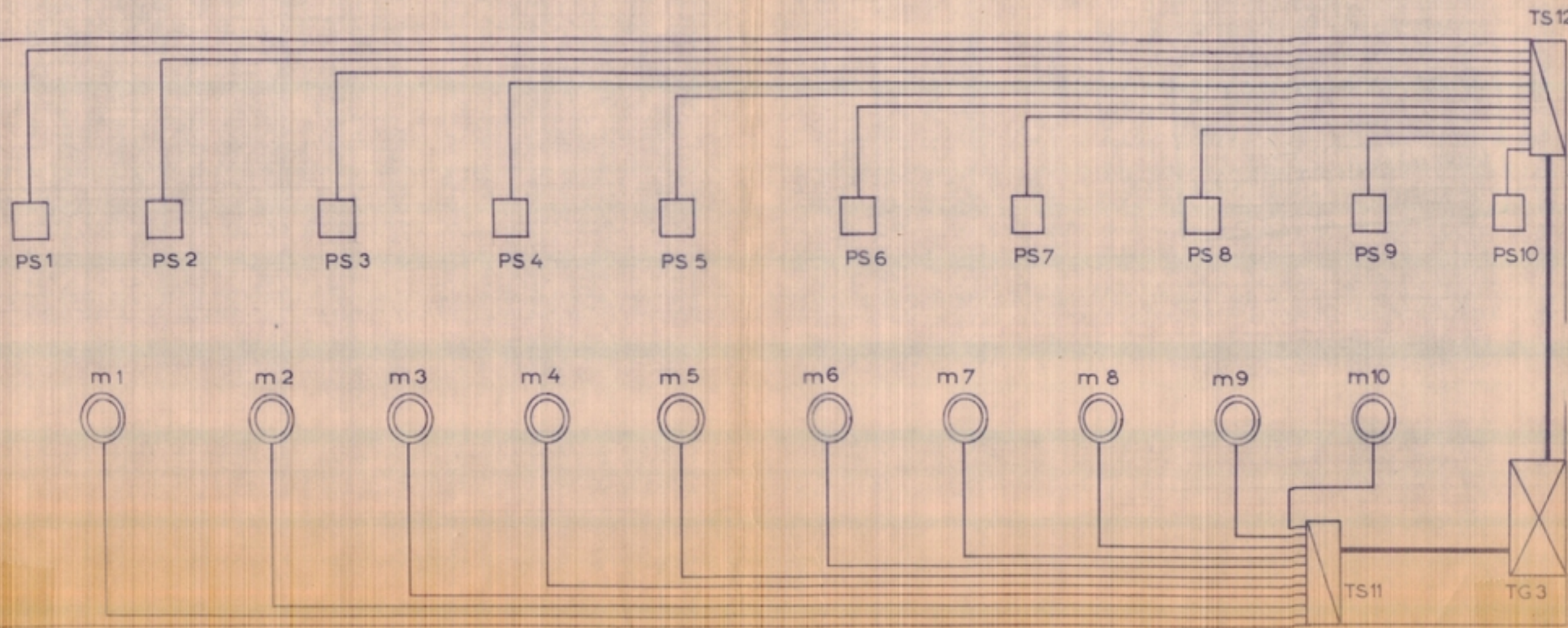
4.Catalogues:

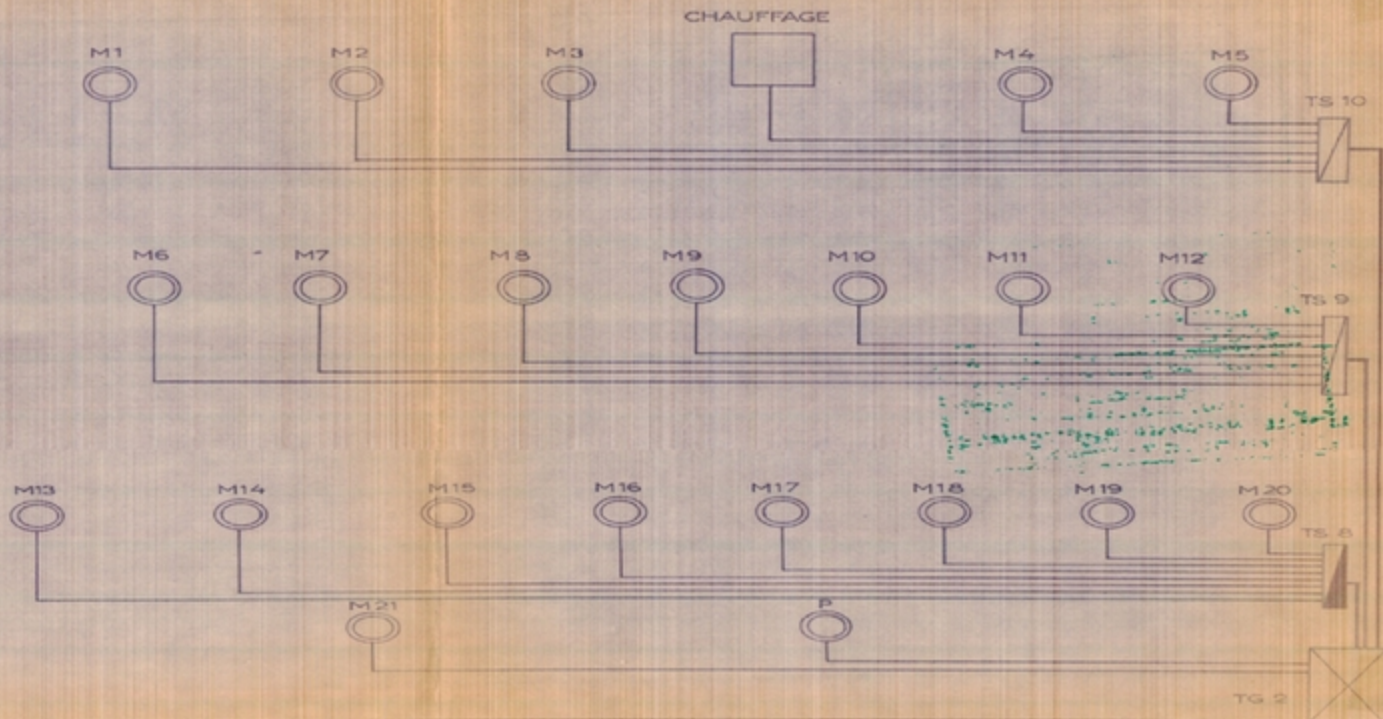
-Catalogues Merlin Gerin

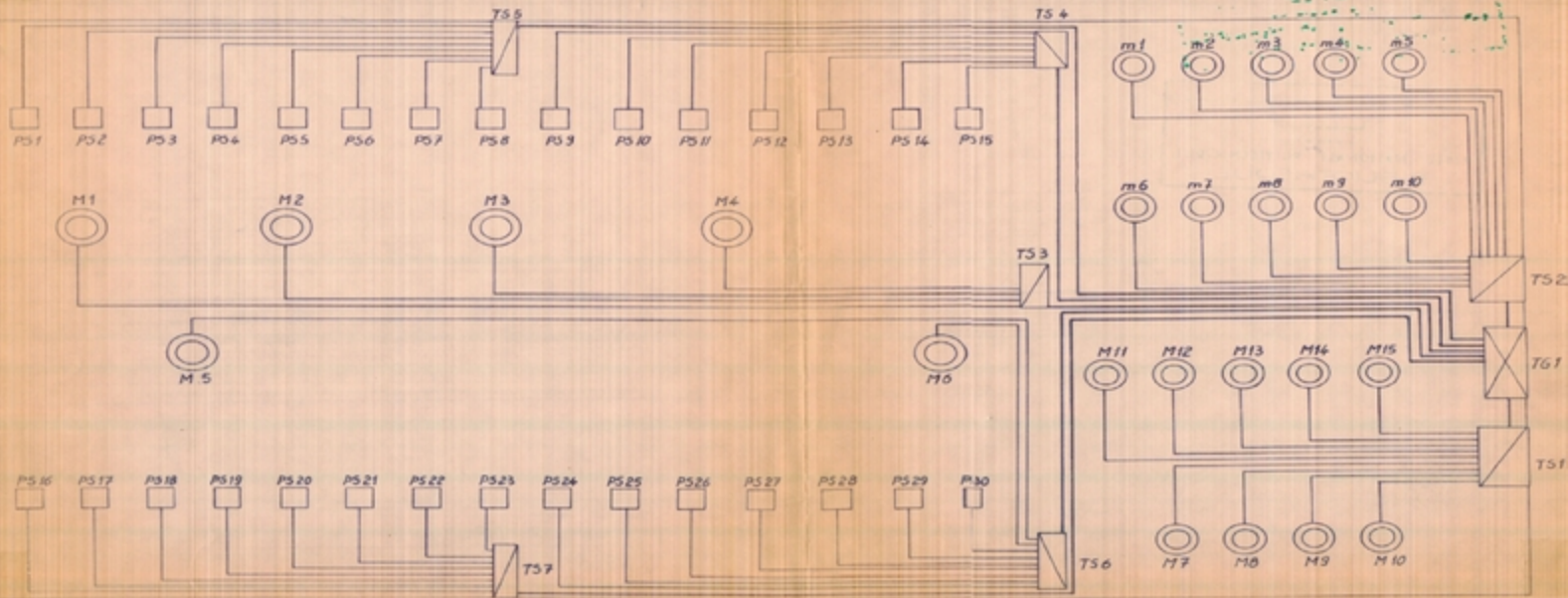
-Câbles et fils électriques

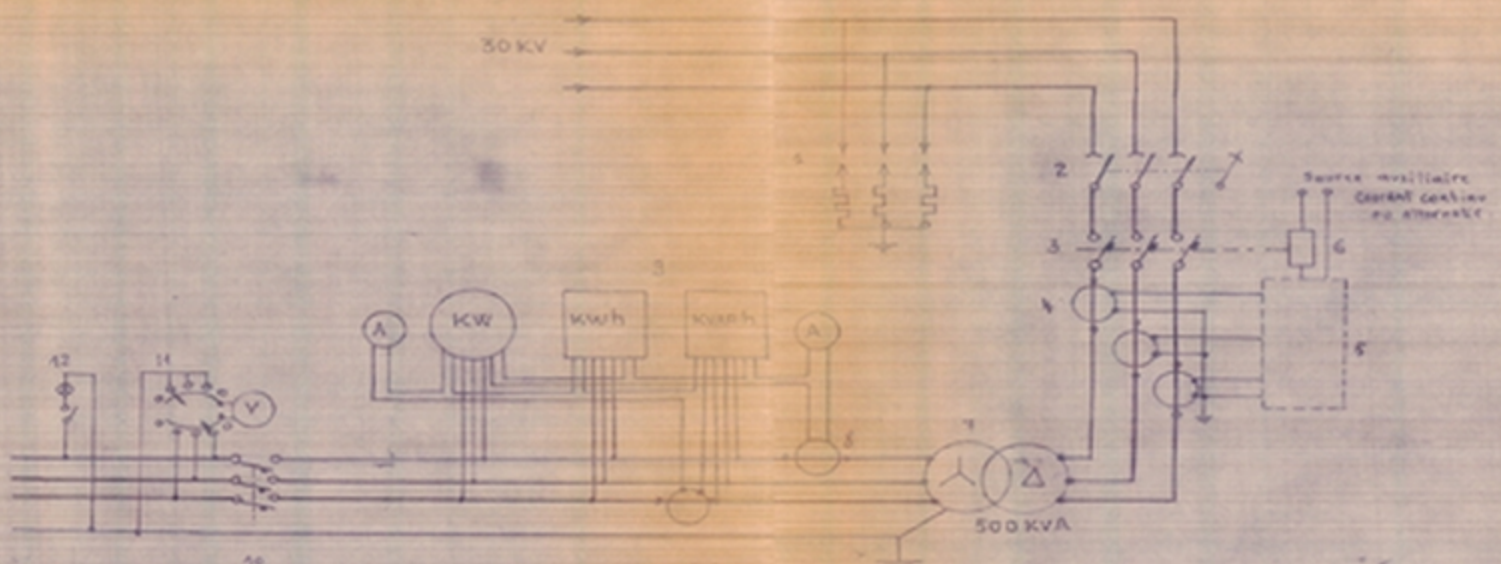
Appareillage

TREFIMETAUX 79

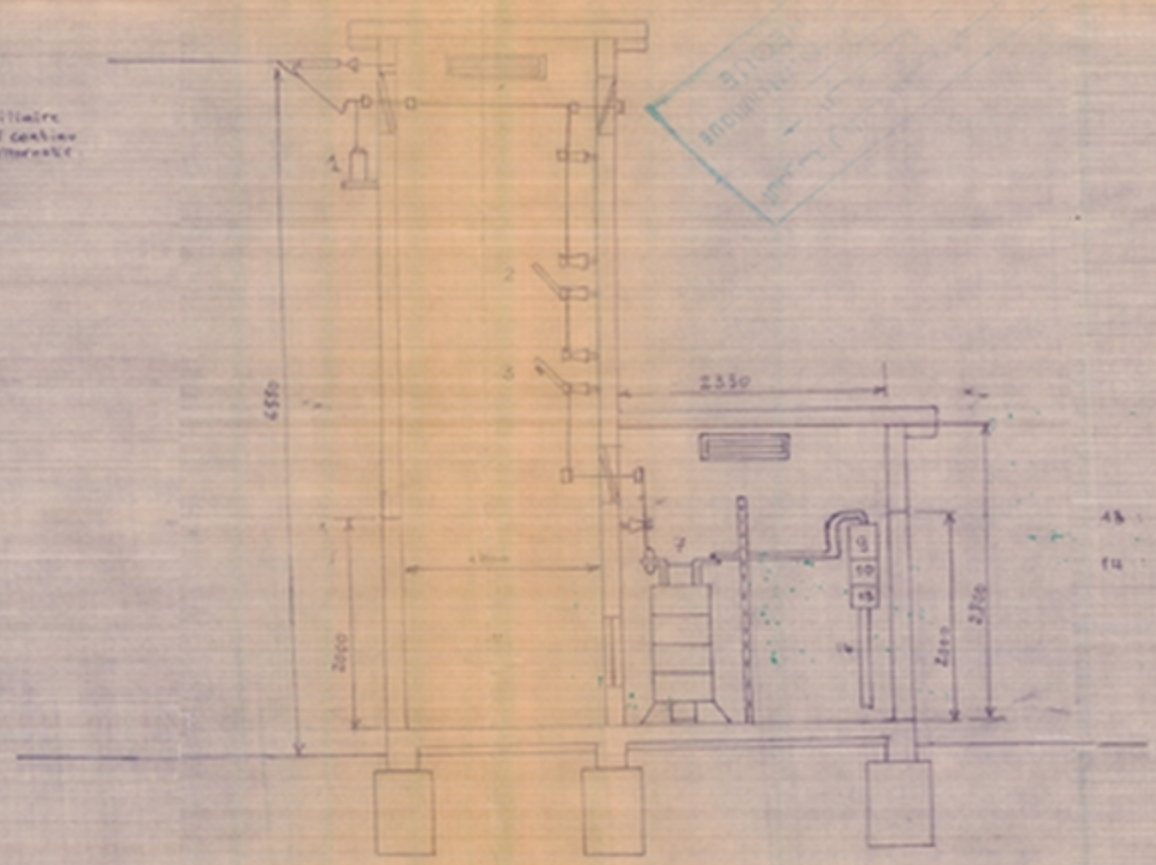




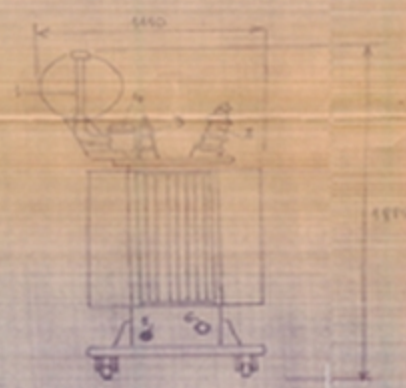




- 1 : Parafoudre
- 2 : Séparateur bipolaire à commande manuelle
- 3 : Interrupteur disjoncteur dans l'huile
- 4 : Transformateurs d'intensité
- 5 : Relais à maximum d'intensité
- 6 : Commande déclencheur
- 7 : Transformateur 30KV / 330V triangle avec 500KVA
- 8 : Transformateur d'intensité
- 9 : Tableau de mesure et de compte
- 10 : Disjoncteur électromagnétique
- 14 : Commutateur de vitesse
- 12 : Boite de signalisation



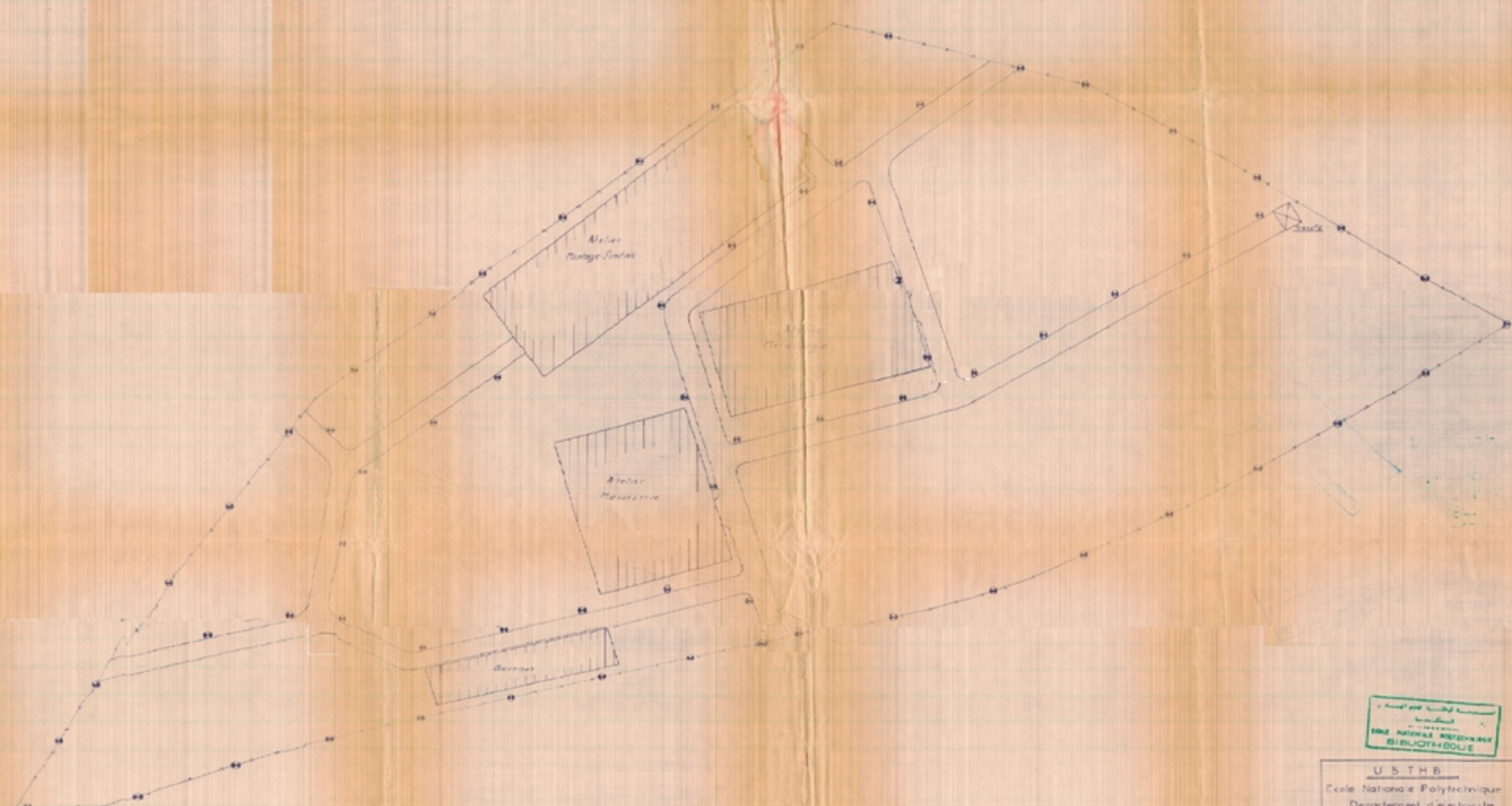
- 15 : Jeu de barres
- 14 : Départs vers ateliers (105, 106, 107, 108)



- 1 : Indicateur de niveau de liquide (huile)
- 2 : Borne de raccordement MV
- 3 : Borne de raccordement BT
- 4 : Relais Buchholz
- 5 : Dispositif de vidange des liquides
- 6 : Terre

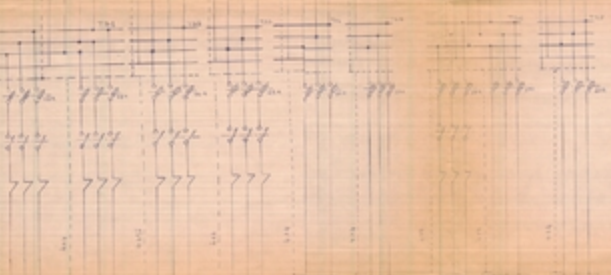
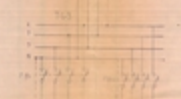
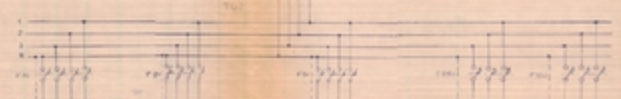
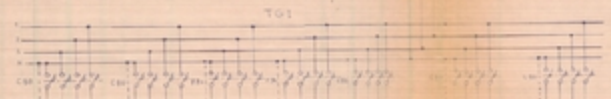
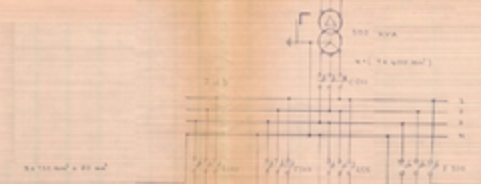
المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
الكتاب
Ecole Nationale Polytechnique
BIBLIOTHÈQUE

TAKKA
N237AR
1981
الكتاب



* Acquis par l'Institut National
 Supérieur
 des
**ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
 DE TECHNOLOGIE**
 BIBLIOTHÈQUE

U S T H B	
École Nationale Polytechnique Département d'électrotechnique	
PROJET DE FIN D'ÉTUDES IMPLANTATION DES LUMINAIRES	
NOM DE L'ÉLÈVE	ÉTAT DE L'AVANCEMENT
PLAN N°	ÉCHELLE
	1 : 500
	Juin 1964



1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

U.S.T.H.B
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 PROJET DE FIN D'ETUDES
 ALIMENTATION ELECTRIQUE D'UNE USINE DE FABRICATION DE CAPOTES

UNE BIENNE BIBLIOTHEQUE

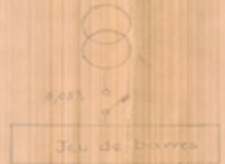
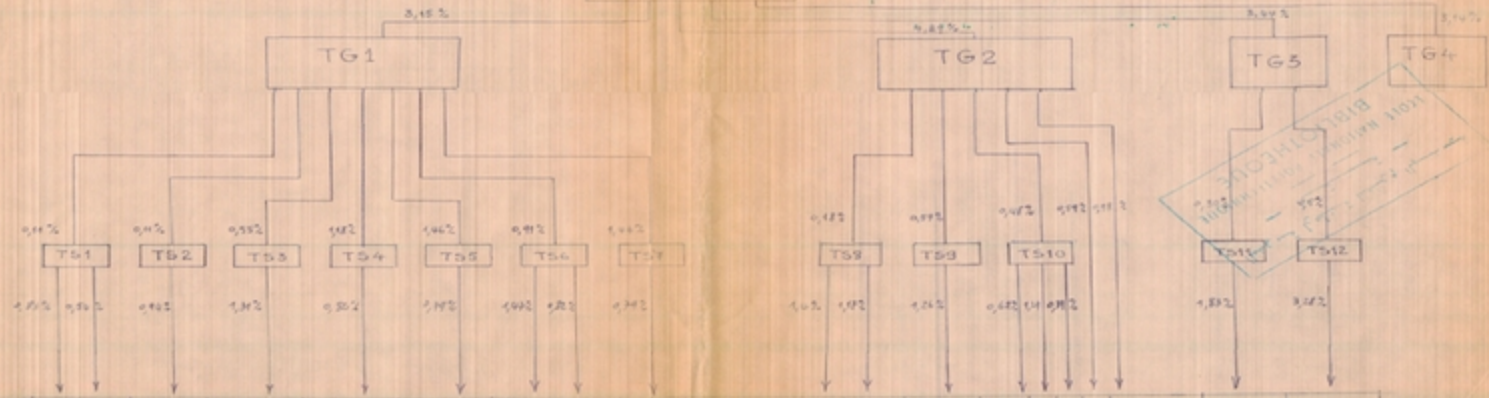


Figure 14

Chutes de tension en ligne pour chaque utilisation (résultats des calculs déposés au tableau)



Utilisation	Chute de Tension (%)
Moteurs de 5 CV	4,48
Moteurs de 10 CV	3,58
Moteurs	4,38
Moteurs de 10 CV	5,09
Boîtes de Serrures	5,23
Boîtes de Serrures	5,48
Moteurs de 5 CV	5,41
Boîtes de Serrures	6,46
Boîtes de Serrures	5,44
Moteurs de 10 CV	5,40
Moteurs de 10 CV	6,34
Moteurs de 10 CV	6,22
Chaudières	5,47
Moteurs de 10 CV	6,70
Moteurs de 10 CV	5,24
Fusibles	4,44
Moteurs de 10 CV	5,85
Moteurs	5,65
Boîtes de Serrures	7,3

Tableau 8

Atelier	K_u	P_2 (KW)	Q_2 (KVAR)	K_{ST5}	P_{T5} (KW)	Q_{T5} (KVAR)	K_{ST0}	P_{T0} (KW)	Q_{T0} (KVAR)	$\cos \varphi$	K_{STdb}	P (KW)	Q (KVAR)
Métallurgie													
5 moteurs de 5CV	0,75	16,24	10,05										
4 moteurs de 10CV	0,75	25,38	13,71	0,75	31,21	17,82							
10 meules de 7A	0,75	28,72	19,27	0,75	21,54	14,45							
4 moteurs de 10CV	0,75	25,38	13,71	0,75	19,03	10,28							
7 postes de soudure	0,75	27,61	47,83	0,75	20,71	35,87							
8 postes de soudure	0,75	31,56	54,66	0,75	23,67	40,99	0,7	129,21	147,92	0,66			
2 moteurs de 10CV	0,75	12,69	6,85										
7 postes de soudure	0,75	27,61	47,83	0,75	30,22	41,01							
8 postes de soudure	0,75	31,56	54,66	0,75	23,67	40,99							
Eclairage intérieur	1	14,54	9,01										
Mécanique													
6 moteurs de 6CV	0,75	23,08	13,05										
2 moteurs de 10CV	0,75	12,69	6,85	0,75	26,83	14,92							
7 moteurs de 6CV	0,75	26,93	15,22	0,75	20,2	11,41							
1 chauffage 32A	1	21,06	0				0,7	161,38	92,46	0,87	0,8	317,31	269,15
3 moteurs de 6CV	0,75	11,54	6,52	0,75	33,97	10,02							
2 moteurs de 10CV	0,75	12,69	6,85										
1 presse 160A	1	84,24	63,18										
1 moteur de 60CV	1	48,53	22,11										
Eclairage intérieur	1	16,78	10,44										
Montage													
10 meules de 7A	0,75	28,72	19,27	0,75	21,54	14,45	0,9	51,42	62,47	0,64			
10 postes de soudure	0,75	39,45	68,32	0,75	29,59	51,24							
Eclairage intérieur	1	6	3,72										
Bureaux													
Eclairage extérieur	1	17,5	10,85				0,9	54,63	28,59	0,89			
Alimentations diverses	0,8	43,2	20,92										

Tronçon	I (A)	L (m)	K1	K2	K3	K4	K	$\frac{I}{K}$	S_f (cm ²)	$\frac{\Delta U}{Z_{max}}$ (%)	Z _{max}	S_e (cm ²)	H (mm)	G	S_e (cm ²)	Z _{ec} (m)	Z _{cc} (m)	t (s)	S _c (cm ²)	S _{chem} (cm ²)	R ₀ (%)
T - Jdb	626,13	3	1	0,9	0,88	-	0,792	790,56	4x(1140)	0,1	0,1167	300	2300	230,00	44,38	15,34	18,811	1	121,20	44000	0,08
Jdb-T61	297,45	130	-	-	0,72	1	0,72	413,12	3x(1020)	4	0,226	120	2200	597,7	103,18	32,11	7,930	7	16,37	24000	2,10
Jdb-T62	281,93	187	-	-	-	1	-	591,83	3x(950)	4	0,166	150	-	597,7	103,18	32,11	8,305	1	18,74	30000	2,28
Jdb-T63	122,01	195	-	-	-	1	-	149,54	4x35	4	0,367	70	-	1150,42	38,36	11,13	2,511	0,5	16,42	30000	2,14
Jdb-T64	93,26	233	-	-	-	1	-	129,52	4x25	4	0,408	70	-	1150,42	38,36	11,13	2,431	0,5	12,18	30000	2,14
T61-TS1	54,51	6	-	0,9	-	-	0,9	60,56	4x10	0,5	3,35	6	1500	863,03	15,10	15,91	5,082	0,5	24,10	4x25	-
T61-TS2	38,43	5	-	-	-	-	-	43,81	4x6	0,5	5,56	4	-	-	11,38	15,91	4,481	0,5	14,21	4x10	0,11
T61-TS3	32,86	20	-	-	0,88	-	0,792	41,48	4x4	1,5	5	4	-	-	3,34	16,31	1,440	0,5	4,15	4x10	1,55
T61-TS4	62,93	35	-	-	-	-	-	78,45	4x10	2	1,93	10	-	-	11,38	10,91	1,904	0,5	4,15	4x10	1,18
T61-TS5	71,93	59	-	-	-	-	-	90,13	4x16	2	1,033	16	-	-	20,5	12,56	1,893	0,5	5,10	4x25	1,14
T61-TS6	77,82	34	-	-	-	-	-	91,25	4x16	1,5	1,243	16	-	-	22,11	14,51	2,201	0,5	11,14	4x25	0,51
T61-TS7	71,93	58	-	-	-	-	-	90,13	4x16	1,5	0,788	25	-	-	20,5	10,21	1,511	0,5	12,11	4x25	1,14
T62-TS8	46,86	7	-	-	-	-	-	59,14	4x6	0,5	3,34	6	-	-	13,35	10,41	1,507	0,5	14,35	4x25	0,18
T62-TS9	35,28	20	-	-	-	-	-	44,54	4x4	1,5	2,04	4	-	-	10,25	11,21	1,341	0,5	4,24	4x10	0,58
T62-TS10	53,76	34	-	-	-	-	-	61,81	4x10	1,5	1,7	10	-	-	15,32	12,21	1,82	0,5	5,22	4x10	0,41
T62-Pressa	160	19	-	-	0,9	-	0,72	181,53	4x50	1	0,72	35	1200	-	15,4	15,91	4,44	0,5	10,14	4x25	0,08
T62-R600	31,06	35	-	-	0,9	-	-	60,03	4x26	1	0,733	25	1200	-	23,03	22,92	4,44	0,5	10,14	4x25	0,08
T63-TS11	39,43	9	-	-	-	-	0,9	41,81	4x6	0,5	3,08	6	1500	-	11,31	10,91	1,91	0,5	4,10	4x10	0,30
T63-TS12	89,92	16	-	-	-	-	-	99,91	4x16	1	1,52	16	1500	-	25,61	16,20	2,101	0,5	6,21	4x25	0,5
TS1-M5CV	7,74	20	-	-	0,34	-	0,756	10,23	4x1,5	1	14,17	1,5	1200	-	1,16	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	2,28
TS1-M10V	14,6	13	-	-	0,34	-	-	19,01	4x1,5	1,5	12,52	1,5	-	-	3,7	10,91	1,10	0,5	2	4x1,5	0,54
TS2-M5CV	7	25	-	-	0,88	-	0,792	7,73	4x1,5	1	12,53	1,5	-	-	1,33	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS3-M10V	14,6	44	-	-	0,88	-	-	13,43	4x1,5	2	6,83	2,5	-	-	3,7	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS4-M5CV	16	25	-	-	0,85	-	0,765	20,9	4x1,5	2	10,96	1,5	-	-	4,06	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS5-M5CV	16	24	-	-	-	-	-	20,9	4x1,5	2	11,42	1,5	-	-	4,06	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS6-M5CV	14,6	49	-	-	-	-	-	19,01	4x1,5	2	6,13	4	-	-	3,7	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS6-M5CV	16	25	-	-	-	-	-	20,9	4x1,5	2	10,96	1,5	-	-	4,06	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS7-M5CV	16	24	-	-	-	-	-	20,9	4x1,5	2	11,42	1,5	-	-	4,06	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS8-M5CV	3,96	43	-	-	-	-	-	11,7	4x1,5	2	10,2	2,5	-	-	2,29	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	1,14
TS8-M5CV	14,6	39	-	-	-	-	-	19,01	4x1,5	2	7,70	2,5	-	-	3,7	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	1,14
TS9-M5CV	3,96	43	-	-	-	-	-	11,71	4x1,5	2	11,38	2,5	-	-	2,29	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	1,14
TS10-M5CV	3,96	44	-	-	-	-	-	11,71	4x1,5	2	11,73	2,5	-	-	2,29	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	1,14
TS10-Cheville	32	23	-	-	-	-	-	41,81	4x4	2	5,96	4	-	-	1,12	10,41	1,101	0,5	2,01	4x10	0,61
TS10-M5CV	14,6	13	-	-	-	-	-	19,01	4x1,5	1	11,55	1,5	-	-	3,7	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	0,51
TS11-M5CV	7	30	-	-	0,84	-	0,756	9,25	4x1,5	2	7,83	2,5	-	-	1,17	10,51	1,104	0,5	1,21	4x1,5	1,55
TS11-Plaque de soudure	16	100	-	-	0,84	-	-	21,16	4x1,5	2,5	2,75	3,42	-	-	4,06	11,20	1,204	0,5	1,21	4x1,5	1,14

Tableau 13

Circuit	In [A]	S [mm ²]	L [m]	R [mΩ]	X [mΩ]	R _T [mΩ]	X _T [mΩ]	Z _c [mΩ]	I _c [KA]	Protection Par disjoncteur		
										Type	Pouvoir de coupure [KA]	
Transformateur					0,4 amont 12,8 aval							
Tranfo - J.d.b	626,13	4x(12400)	3	0,20	0,15	0,20	13,35	13,35	17,299	C1250	50	
J.db - TG1	297,45	3x150+70	130	23,4	9,1	23,6	22,45	32,57	7,09	C500	30	
J.d.b - TG2	281,83	3x150+70	187	33,66	13,09	33,8	26,44	42,91	5,382	C500	30	
J.d.b - TG3	122,07	3x70+50	195	75,21	13,65	75,41	27	80,09	2,884	R125	12	
J.d.b - TG4	93,26	3x70+50	233	89,87	16,31	90,07	29,66	94,83	2,435	F100	10	
TG1 - TS1	54,51	4x25	6	6,48	0,42	30,08	22,87	37,79	6,111	C80	10	
TG1 - TS2	39,43	4x16	5	8,44	0,35	32,04	22,8	39,32	5,874	C80	10	
TG1 - TS3	32,86	4x10	20	54	1,4	77,6	23,85	81,18	2,845	F70	5	
TG1 - TS4	62,93	4x16	35	59,06	2,45	82,66	24,9	86,33	2,675	F70	5	
TG1 - TS5	71,93	4x25	59	63,72	4,13	87,32	26,58	91,28	2,530	C80	10	
TG1 - TS6	77,82	4x25	34	36,72	2,38	60,32	24,83	65,23	3,541	C80	10	
TG1 - TS7	71,93	4x25	38	62,64	4,06	86,24	26,51	90,22	2,559	C80	10	
TG2 - TS8	46,86	4x16	7	11,81	0,49	45,61	26,93	52,97	4,359	F70	5	
TG2 - TS9	35,28	4x10	20	54	1,4	87,8	27,84	92,11	2,507	F70	5	
TG2 - TS10	53,76	4x16	34	57,37	2,38	91,17	28,82	95,62	2,415	F70	5	
TG2 - Presse	160	4x50	19	10,26	1,33	44,06	27,77	52,08	4,434	C250	20	
TG2 - M60 CV	81,03	4x25	35	37,8	2,45	71,6	28,89	77,21	2,991	F100	10	
TG3 - TS11	39,43	4x10	9	24,3	0,63	99,71	27,63	103,47	2,232	F70	10	
TG3 - TS12	89,92	4x25	16	17,28	1,12	92,69	28,12	96,86	2,384	F100	10	
										Protection par cartouche fusible		
										$\frac{I_d}{\alpha}$	Calibre I (A)	Pouvoir de coupure [KA]
TS1 - M5CV	7,74	4x1,5	20	360	1,4	390,08	24,27	390,83	0,591	12,03	12	20
TS1 - M10CV	14,6	4x4	18	121,5	1,26	151,58	24,13	153,49	1,305	22,8	25	100
TS2 - meules	7	4x1,5	25	450	1,75	482,04	24,55	482,66	0,478	10,9	12	20
TS3 - M10CV	14,6	4x4	44	297	3,08	374,16	25,93	375,49	0,615	22,8	25	100
TS4 - P.S	16	4x4	25	168,75	1,75	251,41	26,65	252,82	0,913	—	20	20
TS5 - P.S	16	4x4	24	162	1,68	249,32	28,26	250,92	0,9204	—	20	20
TS6 - M10CV	14,6	4x4	49	330,75	3,43	391,07	28,26	392,09	0,589	22,8	25	100
TS6 - P.S	16	4x4	25	168,75	1,75	229,07	26,58	230,61	1,001	—	20	20
TS7 - P.S	16	4x4	24	162	1,68	248,24	28,19	249,84	0,924	—	20	20
TS8 - M6CV	8,96	4x2,5	48	518,4	3,36	564,01	31,29	564,88	0,408	14	16	20
TS8 - M10CV	14,6	4x4	39	263,25	2,73	308,86	29,66	310,28	0,744	22,8	25	100
TS9 - M6CV	8,96	4x2,5	43	464,4	3,01	552,2	30,85	553,06	0,417	14	16	20
TS10 - chauffage	32	4x10	23	62,1	1,61	153,27	30,43	156,26	1,478	—	40	100
TS10 - M6CV	8,96	4x2,5	44	475,2	3,08	566,37	31,9	567,27	0,407	14	16	20
TS10 - M10CV	14,6	4x4	13	87,75	0,91	178,92	29,73	181,37	1,273	22,8	25	100
TS11 - meules	7	4x2,5	80	864	5,6	963,71	33,23	964,28	0,239	10,9	12	20
TS12 - P.S	16	4x4	100	675	7	767,69	35,12	768,49	0,3005	—	20	20

Les dispositifs de protection choisis sont du type Merlin Gerin pour les disjoncteurs et du type EGRAND pour les cartouches fusibles.