

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

FILIERE D'INGENIEUR EN
ELECTROTECHNIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET :

ETUDE DES RESEAUX
A HAUTE ET BASSE TENSION
ALIMENTANT UNE CITE

PROPOSE PAR :

W MIKHALAK

Docteur ès - sciences

REALISE PAR :

A. HAMRANI

R. BOUDISSA

-oOo-



EDICACES

-oOo-

A la mémoire de mon père

A ma mère

A mes frères et soeurs

A toute ma famille

A tous mes amis .

AHCENE.

A la mémoire de mon père

A sa mère

A mon frère et sa femme

A tous mes amis (es).

B.RABAH.

-oooooooooooo- R E M E R C I E M E N T -oooooooooooo-

- NOUS TENONS A REMERCIER NOTRE PROMOTEUR MR.
W. MIKHALAK POUR SES PRECIEUX CONSEILS AINSI QUE MR. KOUGHLI
POUR SON AIDE EN DOCUMENTATION .--

- NOUS TENONS AUSSI A REMERCIER TOUTS LES
PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUE A NOTRE FORMATION .--

- NOUS REMERCIONS EGALEMENT TOUTES LES PERSONNES
QUI ONT COLLABORE DE PRES OU DE LOIN A L'ELABORATION DE CET
OUVRAGE , EN PARTICULIER MR. LAISSAOUI AREZKI POUR L'AIDE
QU'IL NOUS A APPORTEE EN DACTYLOGRAPHIANT CE PRESENT OUVRAGE .--

o-o

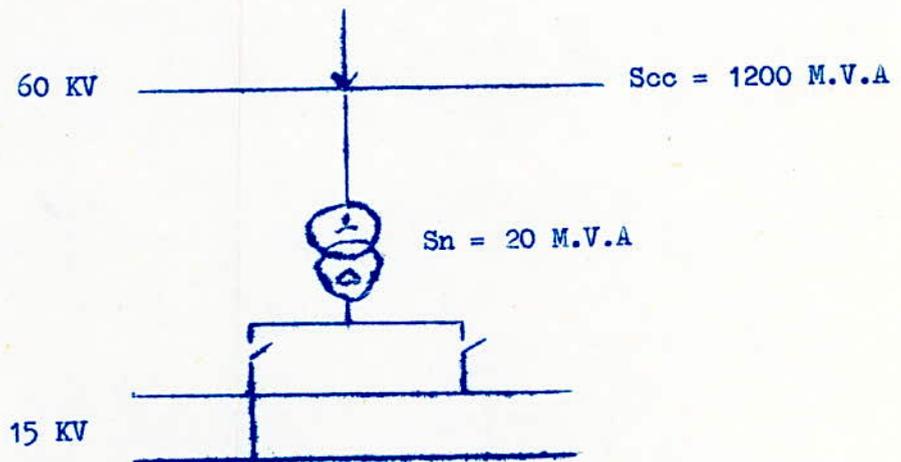


Notre projet consiste à l'étude des réseaux à haute tension et basse tension alimentant une cité. La cité est composée d'établissements à caractère domestique, d'établissements publics (magasin, école) et l'éclairage extérieur.

N.B : / On s'intéresse dans notre étude à la cité n° I (voir plan)

1 - Point d'alimentation :

L'alimentation de la cité se fera à partir d'un poste de transformation H.T de 20 M.V.A, tout en tenant compte de la cité n° II.



2 - Tension d'alimentation :

La tension d'alimentation est de :

15 KV pour le réseau H.T.

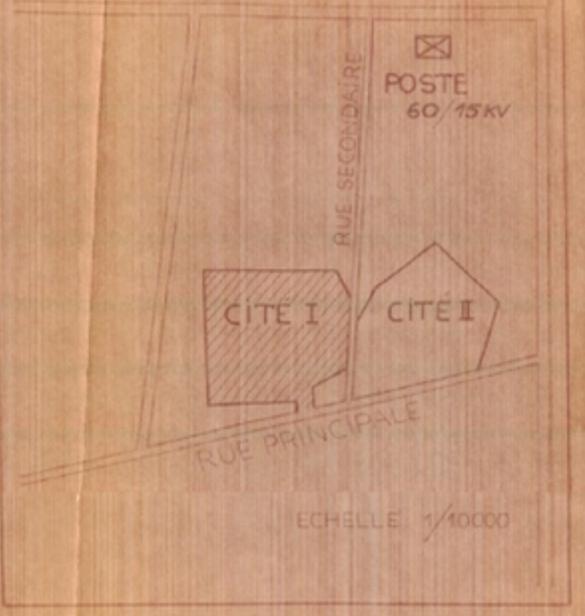
380 V pour le réseau B.T.

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
 المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

PLAN DE LA CITÉ I



LOCALISATION DU POINT D'ALIMENTATION



LÉGENDE

NATURE	NUMERO	ETAGE
LOGEMENTS	5-9-13	4
LOGEMENTS	6-7-8-14-17	6
LOGEMENTS	10-11-12-16	3
ECOLE		3
MAGASIN		1

ECHELLE 1/1000



I^{ER} **P**ARTIE

/ETERMINATION **/**ES **/**HARGES

1 - INTRODUCTION :

La puissance consommée est la base de tout le projet. Elle permet de déterminer la configuration d'alimentation et les paramètres de tous les éléments de réseau, à savoir : le transformateur, les lignes, l'appareillage etc....-

2 - DEFINITION :

2.1- PUISSANCE INSTALLEE :

La puissance installée est la somme des puissances de tous les récepteurs, éclairage compris. Cette puissance est beaucoup plus élevée que la puissance réellement consommée.

2.2- PUISSANCE CONSOMMEE :

La puissance consommée est la puissance de pointe réellement consommée. Elle dépend du fonctionnement de chaque récepteur pris individuellement et de tous les récepteurs pris ensemble, d'où la notion de coefficient d'utilisation maximale et de coefficient de simultanéité.-

2.2.1- COEFFICIENT D'UTILISATION MAXIMALE :

Le régime de fonctionnement d'un récepteur peut être tel que la puissance consommée soit inférieure à la puissance nominale installée, d'où la notion de coefficient d'utilisation maximale affecté à chaque type de récepteur.

Tableau I : Coefficient d'utilisation en fonction du type d'utilisation

TYPE D'UTILISATION	COEFFICIENT D'UTILISATION (K _u)
Récepteurs à moteurs	0,75
Eclairage, chauffage	1

2.2.2- COEFFICIENT DE SIMULTANEITE:

La variation du régime de fonctionnement d'un récepteur dans le temps entraîne la non superposition des pointes de consommation maximale d'un groupe de récepteurs, d'où la notion de coefficient de simultanéité. En d'autres termes il exprime avec quelle probabilité, un certain nombre de récepteurs fonctionneraient en même temps.

Tableau 2 : Facteur de simultanéité en fonction du type d'utilisation :

TYPE D'UTILISATION	FACTEUR DE SIMULTANEITE (KS)
Eclairage, chauffage électrique, conditionnement d'air de pièce, chauffe-eau	1
Prise de courant (soit N = Nombre de prise)	$0,1 + \frac{0,9}{N}$
Appareil de cuisson	0,7
<u>Ascenseurs et monte charge</u>	
Moteur le plus puissant	1
Moteur suivant	0,75
Les autres	0,6

Tableau 3 : COEFFICIENT DE SIMULTANEITE EN FONCTION DU NOMBRE D'ABONNES :

NOMBRE D'ABONNES	COEFFICIENT DE SIMULTANEITE (KS)
2 à 4	1
5 à 9	0,78
10 à 14	0,63
15 à 19	0,53
20 à 24	0,49
25 à 29	0,46
30 à 34	0,44
35 à 39	0,42
40 à 49	0,41
50 et au-dessus	0,40

N.B /: Ce tableau est utilisable pour un immeuble avec abonnés domestiques alimentés en triphasé 4 fils 220/380 V.
Dans le cas d'abonnés utilisant le chauffage électrique, le coefficient conseillé est de 0,8 quelque soit le nombre d'abonnés.

Tableau 4 : COEFFICIENT DE SIMULTANEITE EN FONCTION DU NOMBRE DE CIRCUITS AU NIVEAU DU POSTE :

NOMBRE DE CIRCUIT	COEFFICIENT DE SIMULTANEITE (KS)
2 et 3	0,9
4 et 5	0,8
6 et 9	0,7
10 et plus	0,6

3 - EVALUATION DE LA PUISSANCE DES ETABLISSEMENTS A CARACTERE DOMESTIQUE :

3.1- PUISSANCE CONSOMMEE AU NIVEAU DU TABLEAU DE DISTRIBUTION D'UN APPARTEMENT (ABONNE)

Soit un récepteur d'indice "i" de puissance "pi" affecté d'un coefficient d'utilisation K_{ui} , sa puissance d'utilisation est :

$$p_{ui} = p_i \times K_{ui}$$

Soit KS_1 le coefficient de simultanéité au niveau du tableau de distribution de l'appartement, la puissance consommée sera donc :

$$p_{ap} = \left(\sum_{i=1}^n p_{ui} \right) \times KS_1$$

3.1.1 - DETERMINATION DE LA PUISSANCE
CONSOMMEE AU NIVEAU DU TABLEAU DE DISTRIBUTION D'UN
APPARTEMENT /:

Differents récepteurs d'un appartement	Puissance Nominale p_i (W)	Coefficient d'utilisation K_{ui}	Puissance Σp_i d'utilisation p_{pi} (W)	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée par abonné pap (KW)
Télévision	200	1	200	0,6	3,6
Réfrigérateur	250	1	250		
Machine à laver	2500	0,75	1875		
Machine à coudre	250	0,75	187,5		
Moulin à café	140	1	140		
Fer à repasser	750	1	750		
Ventilateur	100	1	100		
Séchoir	600	1	600		
Aspirateur	400	0,75	300		
Eclairage	1600	1	1600		
	$\Sigma p_i = 6,79 \text{ KW}$		$\Sigma p_{pi} = 6 \text{ KW}$		

N.B /: La puissance due à l'éclairage d'un appartement est déterminée comme suit :

$$p = 23 \text{ W} / \text{M}^2 \text{ pour une habitation selon A.F.E}$$

la surface habitable d'un appartement vaut:

$$S = 70 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } p = 1600 \text{ W} .$$

3.1.2 - PUISSANCE A PREVOIR AU NIVEAU DU
TABLEAU DE DISTRIBUTION D'UN APPARTEMENT :

Tenant compte de l'augmentation future de consommation d'énergie (20 % environ) la puissance consommée au niveau d'un appartement devient alors :

$$p = \text{pap} \times K$$

$$\text{avec : pap} = 3,6 \text{ KW}$$

$$K = 1,2$$

On trouve :

$$p = 4,32 \text{ KW} .$$

3.2 - PUISSANCE CONSOMMEE AU NIVEAU DU TABLEAU DE DISTRIBUTION D'UNE CAGE :

Les bâtiments de 10 étages possèdent chacun une pompe et un ascenseur par cage.
Ceux de 6 étages sont dépourvus de pompe.
Ceux de 4 étages ne possèdent ni pompe ni ascenseur.

N.B / : La puissance nominale de l'ascenseur

$p_n = 10 \text{ KW}$. Celle de la pompe $p_p = 5 \text{ KW}$

3.2.1 - AU NIVEAU DE LA COLONE MONTANTE:

La puissance au niveau de la colonne d'indice

"j" est :

$$P_{colj} = (P \times n_j) \times K_{S_2}$$

n_j = nombre d'abonnés dans la colonne j.

P = puissance consommée au niveau de l'appartement tenant compte de la réserve.

K_{S_2} = coefficient de simultanéité en fonction du nombre d'abonnés (tableau 3).

3.2.2. - AU NIVEAU DE LA CAGE :

La puissance consommée au niveau de la

cage "j" est :

$$P_{cage j} = P_{col j} + P_{ua} + P_{pp}$$

P_{ua} = puissance d'utilisation de l'ascenseur

P_{pp} = Puissance d'utilisation de la pompe

3.3 - PUISSANCE CONSOMMEE AU NIVEAU DU POSTE DE TRANSFORMATION B.T. :

La puissance consommée au niveau d'un poste tient compte des cages alimentées en cas d'avarie d'un autre poste.
La puissance consommée des cages alimentées en cas d'avarie est de la forme de :

$$P_{av} = \left(\sum_{j=1}^m P_{cage j} \right) \cdot K_{Sm}$$

K_{Sm} = Coefficient de simultanéité correspondant à m circuits (tableau 4)

La puissance consommée au niveau du tableau général du poste B.T. est de la forme:

$$P_c = \left[\left(\sum_{j=1}^n P_{cage\ j} \right) + P_{av} \right] \times K_{Sn} + 1$$

K_{Sn+1} = coefficient de simultanéité correspondant à $n + 1$ circuits (voir tableau 4).

4 - EVALUATION DE LA PUISSANCE DE L'ECLAIRAGE EXTERIEUR :

4.1 - CHOIX DU TYPE DE LAMPE :

On choisit des lampes à ballon fluorescent du fait de leur très grande durée de vie (8000 h), de leur résistance aux chocs et aux intempéries et de leur lumière assez plaisante.-

Tableau 5 : Caractéristiques des lampes à ballon fluorescent:

CARACTERISTIQUES	UNITES	LAMPES				
		80 W	125 W	250 W	400 W	700 W
FLUX	lm	3800	6200	13500	23000	40000
EFFICACITE LUMINEUSE	lm/W	48	50	54	58	57
DUREE DE VIE MOYENNE	h	8000	8000	8000	8000	8000

4.2 - METHODE DE CALCUL DE L'ECLAIRAGE EXTERIEUR :

On utilisera une méthode empirique.

Tableau 6 : HAUTEUR DU FEU SUIVANT LE TYPE D'IMPLANTATION :

TYPE D'IMPLANTATION	HAUTEUR DU FEU
UNILATERALE	$h > 1$
QUINCONCE	$1,2 h \leq 1 \leq 1,6 h$
BILATERALE EN VIS A VIS	$1,5 h \leq 1 \leq 2,4 h$
AXIALE	$0,8 h > 1$

l : largeur de la chaussée à éclairer.

h : hauteur du feu.

Tableau 7 : ESPACEMENT ENTRE CANDELABRES SUIVANT LA NATURE DE LA VOIE :

NATURE DE LA VOIE	e/h
VOIES PRINCIPALES DES GRANDES VILLES	3 à 3,5
VOIES URBAINES MOYENNES	3,5 à 4
VOIES SECONDAIRES, ALLEES RESIDENTIELLES ET VOIES DE DESSERTE	4 à 5
ROUTES SECONDAIRES	5 à 7

e = espacement entre candélabres.

CALCUL DU FLUX INITIAL :

$$F_u = \frac{E \times l \times e}{V \times K_u}$$

V : Facteur de vieillissement.

K_u : Facteur d'utilisation.

E : Eclairage recommandée (en lux).

l : Largeur de la rue (en m).

e : Espacement entre candélabre (en m).

V = V_{la} x V_{lu}.

V_{la} : Facteur de vieillissement de la lampe.

V_{lu} : Facteur de vieillissement du luminaire.

Tableau 8 : FACTEUR D'UTILISATION EN FONCTION DE $\frac{l}{h}$:

l/h K _u	0,2	0,3	0,35	0,4
K_u l/h	0,5	1	1,5	2

Tableau 9: FACTEUR DE VIEILLISSEMENT DE LA LAMPE V_{la} EN FONCTION DU TYPE DE LAMPE/:

TYPE DE LAMPE	V _{la}
A BALLON FLUORESCENT	0,90
A VAPEUR DE SODIUM A H.P	0,90
TUBES FLUORESCENT	0,85
A INCANDESCENCE	0,90

Tableau 10 : FACTEUR DE VIEILLISSEMENT DU LUMINAIRE EN FONCTION DE L'ATMOSPHERE.

ATMOSPHERE	LUMINAIRE	
	SANS BASQUE	AVEC VASQUE
POLUEE	0,65	0,70
NON POLUEE	0,90	0,95

Tableau 11 : ECLAIREMENT EN FONCTION DE LA NATURE DE LA VOIE.

NATURE DE LA VOIE	ECLAIREMENT EN LUX
VOIE PUBLIQUES ET ROUTES	1 à 10
PLACES	10 à 30
TERRAIN DE SPORT	40 à 200
LIEUX DE CHARGEMENT ET DE DECHARGEMENT	10 à 20

4.2.1 - EXEMPLE DE CALCUL DE L'ECLAIRAGE

EXTERIEUR :

Soit une allée de largeur $l = 5$ m

On fait une implantation unilatérale.

La hauteur du feu : $h \geq l$ donc $h = 5$ m. Espacement entre candélabre:

$\frac{e}{h} = 5$, d'où $e = 25$ m. Le coefficient d'utilisation ; $\frac{l}{h} = 1$

D'après le tableau 8 on a $K_u = 0,3$.

Facteur de vieillissement de la lampe: $V_{la} = 0,90$ (voir tableau 9)

Facteur de vieillissement du luminaire: $V_{lu} = 0,95$ (voir tableau 10)

$V = V_{la} \times V_{lu} = 0,855$

Le flux unitaire : $\phi_u = \frac{l \times e \times E_{moy}}{V \cdot K_u}$

L'éclairage moyen $E_{moy} = 12$ lux (voir tableau 11)

$\phi_u = \frac{5 \times 25 \times 12}{0,855 \times 0,3} = 5847$ lm.

D'après le tableau 5, on choisit la puissance de la lampe correspondant au flux unitaire calculé ci-dessus : $\phi_u = 5847$ lm.

On trouve: 125 W.

Pour la projet d'éclairage extérieur, on se propose d'éclairer toutes les allées (ruelles et les allées tout autour des bâtiments), la cour de l'école, le parking du magasin.

Tableau de résultats :

NATURE DU TERRAIN	NOMBRE DE LAMPES N	PUISSANCE (KW)
ALLEES	160	20
COUR DE L'ECOLE	18	2,25
PARKING DU MAGASIN	18	2,25

N.B.: / L'éclairage du parking et de la cour est propre à leur établissements respectifs.-

5 - EVALUATION DE LA PUISSANCE DES ETABLISSEMENTS PUBLIQUES (MAGASIN, ECOLE):

5.1 - INTRODUCTION :

Les charges de l'école et du magasin sont dûes essentiellement à leurs éclairage. Pour le magasin, en plus de l'éclairage, il faut prévoir la climatisation et un grand réfrigérateur.

5.2 - METHODE DE CALCUL DE L'ECLAIRAGE DU MAGASIN ET DE L'ECOLE :

Faire un choix du niveau d'éclairage E donné par les règles d'usages (A.F.E.)

NATURE DU LOCAL	ECLAIREMENT RECOMMANDE (EN LUX)
MAGASIN	300
ECOLE	500
VESTIBULES, CORRIDORS, ASCENSEURS.	70
ESCALIERS	150
TOILETTE ET LAVABOS	100
BUREAUX	300

- Fixer le type de source (incandescence, fluorescence, ...) en fonction du caractère du local et du niveau d'éclairage à atteindre, en principe on n'aura recours à l'incandescence que si l'éclairage moyen peut-être inférieur à 150 lux. Dans tous les autres cas, s'il est nécessaire de disposer d'une lumière blanche, on utilisera des lampes fluorescentes, surtout si le nombre d'heures d'utilisation annuelle est élevé.

- Choisir le type d'éclairage. (direct, mixte, indirect...)

- Fixer la hauteur des appareils au dessus du plan utile (fixé à 0,8m au dessus du sol).

- Déduire de d (éclairage direct, semi-direct, mixte) et de h (semi-indirect, indirect) l'écartement L_{max} entre appareils.

$$L_{max} = 1,5 h \text{ ou } L_{max} = 1,5 d.$$

- Déterminer de l'indice du local et déduction du facteur d'utilisation connaissant les facteurs de réflexions des murs et du plafond.

$i = \frac{axb}{d(a+xb)}$ pour l'éclairage direct, semi-direct et mixte.

$i = \frac{3}{2} \frac{a \times b}{h(a+b)}$ pour l'éclairage semi-direct et indirect.

i = indice du local

a = longueur du local

b = largeur du local.

- Se fixer une valeur du facteur de dépréciation S avec $1,3 \leq S \leq 1,6$
 S est d'autant plus grand que l'installation sera plus exposée à l'empoussièrement et que les appareils seront plus difficiles à entretenir ?

- Calculer le flux total des lampes à installer par la formule

$$F_1 = \frac{E \times S \times S}{U} \quad (\text{en lumen}).$$

E = éclairement en lux

S = surface à éclairer en m^2 .

S = facteur de dépréciation.

U = facteur d'utilisation.

- Cas des lampes à fluorescence:

$$n_1 = \frac{F_1}{\phi u} \quad n_1 = \text{nombre de lampes utilisé.}$$

ϕu = flux unitaire du type de lampes choisi.

Connaissant le nombre de lampe par appareil, on déduit le nombre d'appareils. Dessiner en plan la répartition régulière des n appareils dans le local et vérifier que l'espacement qui en résulte satisfait à la condition d'uniformité :

$$\frac{1}{d} \text{ ou } \frac{1}{h} \leq 1,5$$

- Cas des lampes à incandescence :

Dessiner en plan l'installation en choisissant les plus grands espacements L ; longitudinaux et transversaux, compatibles avec les dimensions du local et inférieur ou égale à L_{max} . La distance des appareils extrêmes aux murs sera prise égale à $\frac{L}{2}$, déduire du dessin le nombre minimum n de lampes. Calculer le flux unitaire des lampes

$$\phi u = \frac{F_1}{n}$$

Choisir la lampe à incandescence de flux le plus rapproché. Si l'écart est trop grand on choisira la lampe de flux immédiatement inférieur à $\frac{F1}{n}$ et on augmentera en proportion inverse le nombre de foyer.

5.2.1 - EXEMPLE DE CALCUL :

Eclairage du magasin self-service:

longueur a = 50m.

largeur b = 24m.

hauteur h = 5m

- Selon A.F.E, l'éclairage recommandé E = 300 lux.

- Type de source : tubes fluorescents blanc brillant de luxe

T.L.M 65 de flux unitaire $\phi_u = 3250$ lm

- Type d'éclairage : direct - indirect.

- Fixation de la hauteur d des appareils au dessus du plan utile:

$$d = 5 - 0,8 - 0,12 = 4,08m$$

- Indice du local :

$$i = \frac{a \times b}{d(a + b)} = \frac{50 \times 24}{4,08(50+24)} = 3,97$$

- Valeur du facteur de dépréciation :

$$S = 1,4$$

- Flux total des lampes à installer :

$$F1 = \frac{E \times S \times S}{U}$$

rp = facteur de reflexion du plafond : 70 %

rm = facteur de reflexion des murs : 50 %

On tire d'après des tableaux le facteur d'utilisation U = 0,52

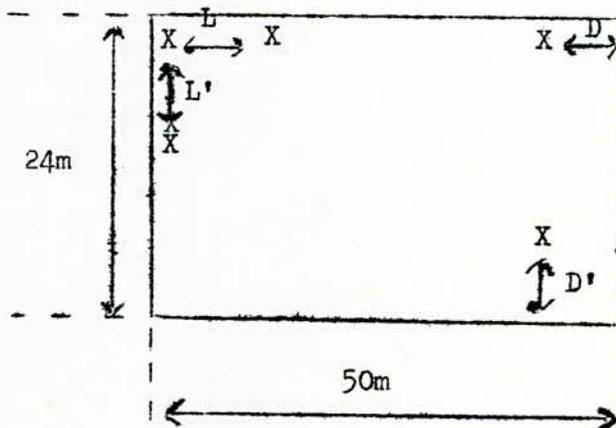
$$F1 = \frac{300 \times 50 \times 24 \times 1,4}{0,52} = 969230,76 \text{ lm}$$

- Nombre de lampe :

$$n1 = \frac{F1}{3250} = 298,2$$

$$n1 = 300 \text{ lampes}$$

nombre de duos : 150



sur la longueur: $L = 3,33 \text{ m}$ $D = \frac{L}{2} = 1,66 \text{ m}$
 sur la largeur : $L' = 2,4 \text{ m}$ $D' = \frac{L'}{2} = 1,2 \text{ m}$

- Condition d'uniformité :

$$\frac{L}{d} = 1,5 \quad d = 4,08 \text{ m}$$

d'où la puissance du magasin due à l'éclairage.

$$P = 300 \times 65 = 19500 \text{ W}$$

$$P = 19,5 \text{ KW}$$

N.B. /: On opère de la même manière pour l'école

On trouve :

$$P_E = 96 \text{ KW} \quad (P_E = P_a + P_b)$$

$$\text{Ecole a : } P_a = 51 \text{ KW}$$

$$\text{Ecole b : } P_b = 45 \text{ kw}$$

5.3 - PUISSANCE CONSOMMEE DU MAGASIN ET DE L'ECOLE:

DIFFERENTE CHARGES	PUISSANCE CONSOMMEE AU MAGASIN	PUISSANCE COSOMMEE A L'ECOLE (KW)	
		ECOLE a:	ECOLE b
ECLAIRAGE	19,5	51	45
CLIMATISEURS	21,12	/	/
PRISES DE COURANT	2,2	1,2	1
REFRIGERATEUR	5	/	/
ECLAIRAGE DE LA COUR	/	2,25	
ECLAIRAGE DU PARKING	2,25	/	/
	$\Sigma = 50,25$	Σ	$= 100,45$

en tenant compte d'une éventuelle extension de l'école (20 % environ, la puissance consommée sera donc: -pour l'école : $P_{\text{ecole}} = 120,1 \text{ KW}$.

-pour le magasin $P_{\text{magasin}} = 50,25 \text{ KW}$.

6 - SUPERFECIE DES DIFFERENTS ETABLISSEMENTS DE LA CITE ET BILAN

DES PUISSANCES :

ETABLISSEMENTS	REPERE	NOMBRE D'ETAGES	SURFACE D'UN ETAGE (m ²)
LOGEMENTS	1	10	610
	2	10	640
	3	10	740
	4	10	740
	5	4	2300
	6	6	1130
	7	6	1330
	8	6	1040
	9	4	1165
	10	10	760
	11	10	630
	12	10	630
	13	6	1460
	14	10	590
	15	4	900
	16	10	760
	17	6	1340
ECOLE a	/	3	585
ECOLE b	/	3	520
MAGASIN	/	/	1200

N.B : Pour la détermination du nombre d'abonnés par cage, on considère que :

- la surface habitable d'un appartement $S = 70 \text{ m}^2$
- 4 appartements par étage et par cage .

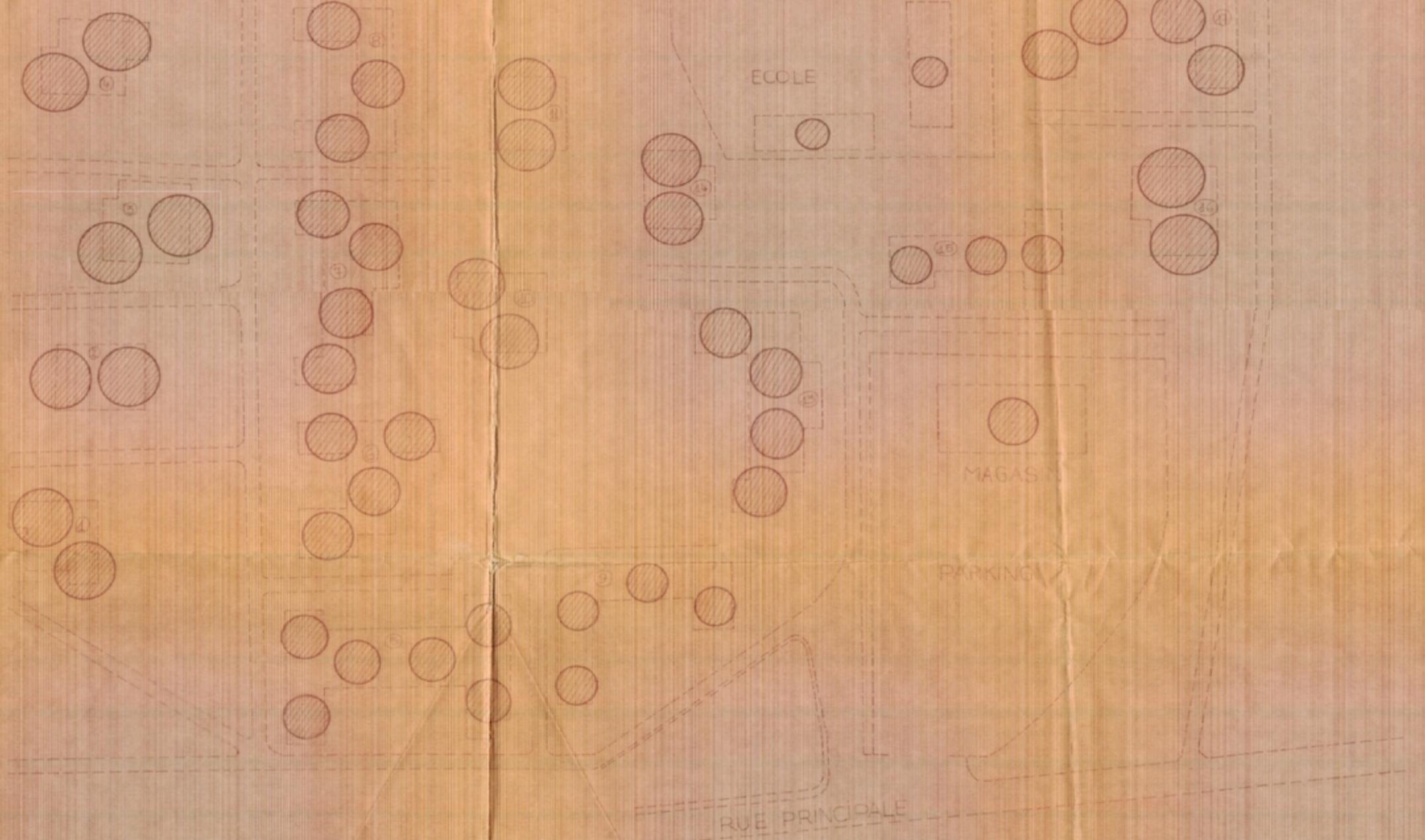
BILAN DES PUISSANCES

nature	N° du B ^t	Repère	nombre d'abonnés par Cage	Puissance d'utilisation au niveau d'une colonne (Kw)	coeff de simult Ks	Puissance Consommée au niveau d'une colonne (Kw)	Puissance consommée au niveau d'une colonne tenant compte d'une réserve P _{col} (Kw)	Puissance Consommée au niveau d'une cage P _{cage} (Kw)
logements	1	Cage a ₁	40	144	0,41	59,04	70,84	82,10
		Cage b ₁	40	144	0,41	59,04	70,84	78,35
	2	Cage a ₂	45	162	0,41	66,42	79,70	87,21
		Cage b ₂	45	162	0,41	66,42	79,7	90,96
	3	Cage a ₃	50	180	0,40	72	86,4	97,65
		Cage b ₃	50	180	0,40	72	86,4	93,9
	4	Cage a ₄	50	180	0,40	72	86,4	97,65
		Cage b ₄	50	180	0,40	72	86,4	93,9
	5	Cage c ₅	19	68,4	0,53	36,25	43,5	43,50
		Cage d ₅	19	68,4	0,53	36,25	43,5	43,50
		Cage e ₅	19	68,4	0,53	36,25	43,5	43,50
		Cage f ₅	19	68,4	0,53	36,25	43,5	43,50
		Cage g ₅	19	68,4	0,53	36,25	43,5	43,50
	6	Cage a ₆	24	86,4	0,49	42,33	50,79	58,31
		Cage b ₆	24	86,4	0,49	42,33	50,79	58,31
		Cage c ₆	24	86,4	0,49	42,33	50,79	58,31
		Cage d ₆	24	86,4	0,49	42,33	50,79	58,31
	7	Cage a ₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15
		Cage b ₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15
		Cage c ₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15
Cage d ₇		27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15	
8	Cage a ₈	28	100,8	0,46	46,36	55,63	63,15	
	Cage b ₈	28	100,8	0,46	46,36	55,63	63,15	
	Cage c ₈	28	100,8	0,46	46,36	55,63	63,15	
9	Cage a ₉	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
	Cage b ₉	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
	Cage c ₉	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
	Cage d ₉	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
10	Cage a ₁₀	50	180	0,40	72	86,4	97,65	
	Cage b ₁₀	50	180	0,40	72	86,4	93,9	
11	Cage a ₁₁	45	162	0,41	66,42	79,70	90,96	
	Cage b ₁₁	45	162	0,41	66,42	79,70	87,21	
12	Cage a ₁₂	45	162	0,41	66,42	79,7	90,96	
	Cage b ₁₂	45	162	0,41	66,42	79,7	87,21	
13	Cage a ₁₃	30	108	0,44	47,52	57,02	64,53	
	Cage b ₁₃	30	108	0,44	47,52	57,02	64,53	
	Cage c ₁₃	30	108	0,44	47,52	57,02	64,53	
	Cage d ₁₃	30	108	0,44	47,52	57,02	64,53	
14	Cage a ₁₄	40	144	0,41	59,04	70,84	82,1	
	Cage b ₁₄	40	144	0,41	59,04	70,84	78,35	
15	Cage a ₁₅	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
	Cage b ₁₅	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
	Cage c ₁₅	16	57,6	0,53	30,53	36,63	36,63	
16	Cage a ₁₆	50	180	0,40	72	86,4	97,65	
	Cage b ₁₆	50	180	0,40	72	86,4	93,9	
17	Cage a ₁₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15	
	Cage b ₁₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15	
	Cage c ₁₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15	
	Cage d ₁₇	27	97,2	0,46	44,71	53,65	61,15	
établissements publics	Magasin						50,25	
	Ecole						120,10	
	éclairage-ext						20 Kw	

Cage X_j: Cage d'indice (a, m, f) liée au bâtiment d'indice j (1, m, 17)

PLAN DE RÉPARTITION DES CHARGES

مستند الوطنية للدراس الهندسية
 المكتبة
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE



LEGENDE

	CHARGE
ÉCHELLE	PUISSANCE RAYON DE CHARGE
	1 m ² → 6,7 w 1/2000

III^{EME} PARTIE

ETUDE DU RESEAU BASSE -

TENSION

CHAPITRE I : DISTRIBUTION D'ENERGIE ELECTRIQUE :

1 - INTRODUCTION:

Les installations électriques sont classées en différentes catégories, suivant l'importance et le degré nécessaire de continuité de leur alimentation en énergie électrique.

- Une installation électrique est de 1ère catégorie, si elle supporte une interruption d'énergie électrique durant quelques minutes.

- Une installation électrique est de 2ème catégorie, si elle supporte une interruption d'énergie électrique durant un jour.

- Une installation électrique est de 3ème catégorie, si elle supporte une interruption d'énergie électrique durant quelques jours.

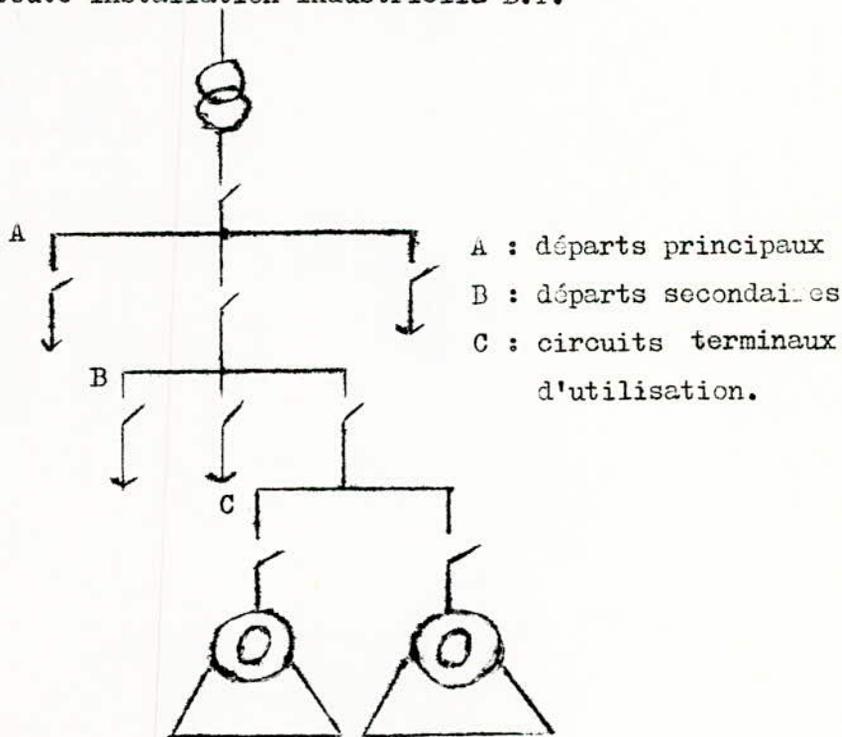
N.B : - La cité est classée dans la 2ème catégorie, car elle ne supporte pas une interruption d'énergie électrique de plus d'un jour.

- Le bâtiment et la cage sont classés dans la 3ème catégorie car le bâtiment peut-être dépourvu d'électricité de plus d'un jour, la cage encore plus longtemps.

2 - DIFFERENTS MODES DE DISTRIBUTION /

2.1 - DISTRIBUTION RADIALE :

En général la distribution radiale est utilisée dans toute installation industrielle B.T.



Avantages :

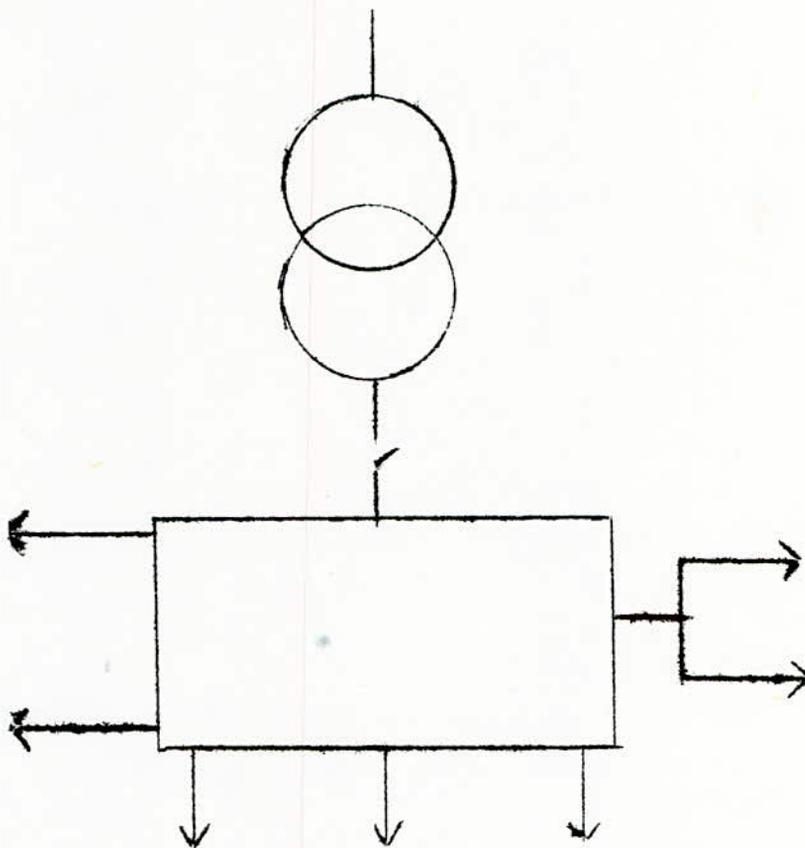
- entretient facile.
- moindre frais de réalisation.
- plusieurs étages de protection.
- faibles courants de C.C.

Inconvénients :

- un défaut au niveau A affecte les circuits B et C.

2.2 - DISTRIBUTION EN BOUCLE :

La distribution en boucle est rarement utilisée.



Avantages :

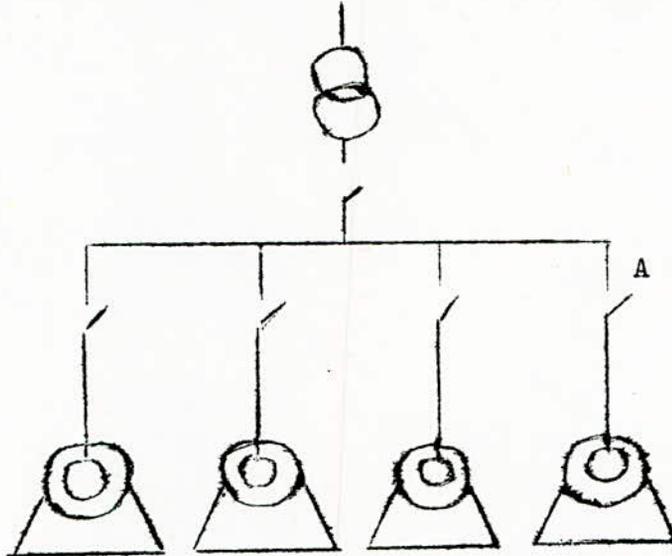
- Réduction des pertes ohmiques.
- Un dispositif de protection par boucle.

Inconvénients :

- Connexions spéciales aux dérivations.
- Chaque dérivation peut au maximum alimenter 2 circuits d'utilisation.
- Répartition difficile des intensités optimales.

2.3 - DISTRIBUTION EN PEIGNE /:

La distribution en peigne est surtout utilisée pour les installations domestiques.



Avantages :

- Sur un défaut en A, coupure d'un seul circuit.
- Meilleure répartition des charges.

Inconvénients :

- Frais de réalisation élevés.
- les caractéristiques de l'appareillage de protection (niveau A) doivent être élevées.-

3 - CHOIX DU MODE DE DISTRIBUTION :

Le choix du schéma d'alimentation se fera selon les critères suivants :

Chute de tension :

La chute de tension dans les conducteurs depuis la source jusqu'au dernier récepteur ne doit pas dépasser 5 % .

Fiabilité d'alimentation :

- La cité ne supporte pas une interruption d'énergie électrique de plus d'un jour.

- Le bâtiment peut supporter une interruption d'énergie électrique de plus d'un jour.

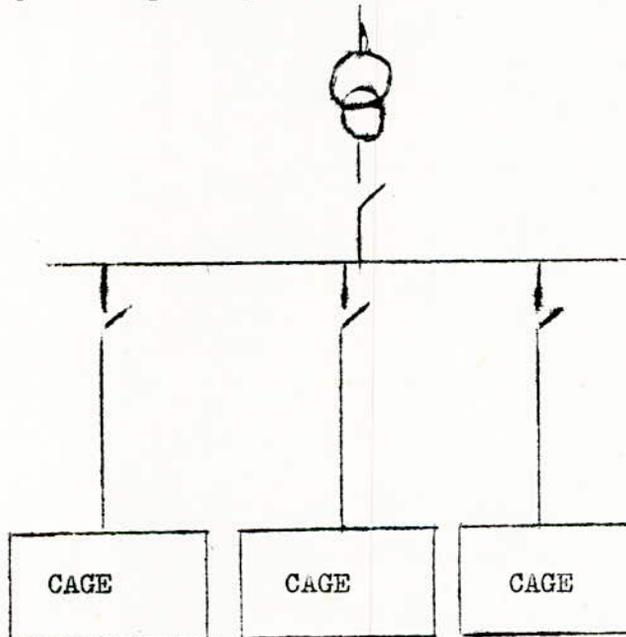
La cage peut supporter une interruption d'énergie électrique encore plus longtemps (quelques jours).

Economie :

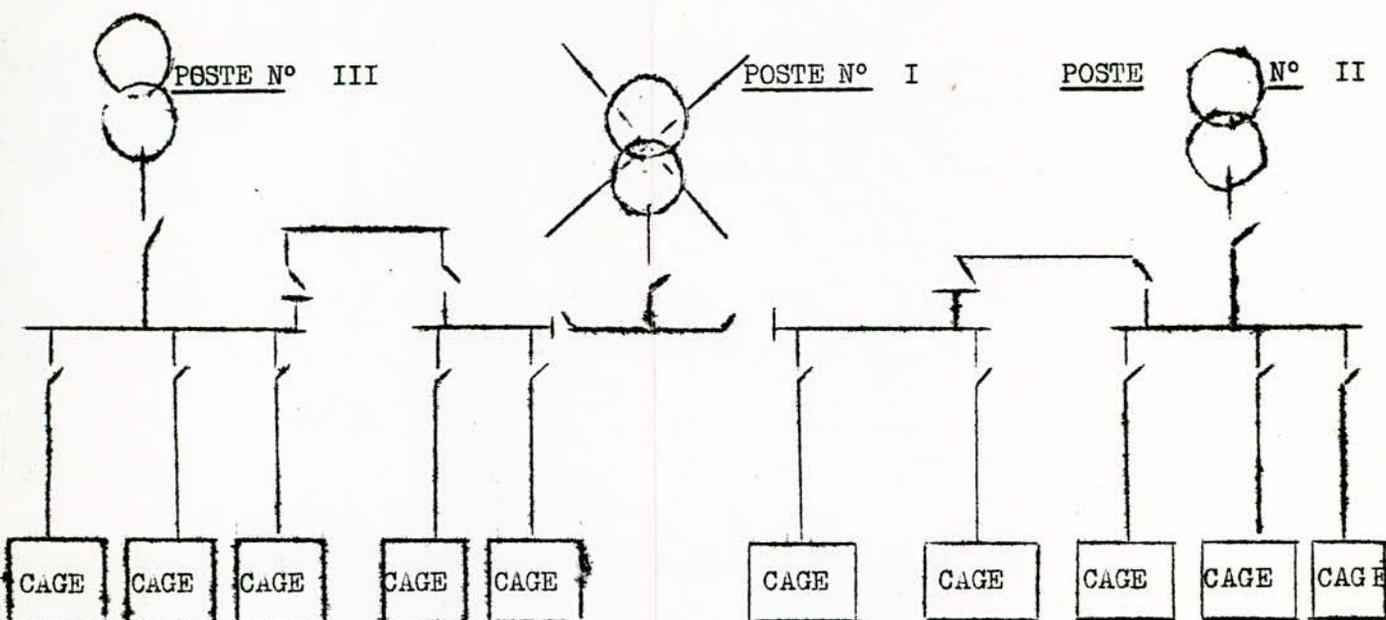
Par manque de données économiques, on ne pouvait prétendre à un meilleur choix d'alimentation. Mais on a analysé l'équipement électrique en choisissant les variantes avec des transformateurs de 630 K.V.A., de 500 K.V.A., et de 400 K.V.A.

3.1 - METHODE APPLIQUEE :

- Les postes seront équipés d'un seul transformateur.
- Etenant compte de la fiabilité d'alimentation, on adoptera la distribution en peigne. On aura ainsi un départ pour chaque cage.



On fera un géctionnement de jeu de barre de telle sorte que si un transformateur tombe en panne, les cages alimentées par clui-çi seront réalimentées de 2 points différents. L'interruption d'alimentation en énergie électrique ne dure que le temps nécessaire pour faire les différentes commutations des circuits d'alimentation.



Si le transformateur n° I tombe en panne, les cages alimentées par celui-ci seront réalimentées des postes n° II et n° III .

Pour cela, on prévoit $\frac{2}{3}$ de la charge du transformateur pour le fonctionnement normal et $\frac{1}{3}$ de la charge en cas d'avarie.

4 - COMPENSATION :

Du fait que notre installation ne consomme pas d'énergie réactive, le facteur de puissance ($\cos \varphi$) est voisin de l'unité: ce qui nécessite pas une compensation.

5 - RESULTATS :

V A R I A N T E 			
N ° DU POSTE	BATIMENTS ALIMENTES EN CAS NORMAL	PUISSANCE CONSOMMEE AU NIVEAU DU POSTE TENANT COMPTE DU CAS D'AVARIE.(K.V.A.)	PUISSANCE DU TRANSFORMA- TEUR (K.V.A)
I	2 + 3 + 4	593,7	630
II	1 + 6 + 7 + 10	620	630
III	8 + 11 + 12 + 14 + éclairage extérieur	611,4	630
IV	9 + 13 + 5	577,7	630
V	15 + 16 + 17 + école + magasin	587,6	630

V A R I A N T E



N° DU POSTE	BATIMENT ALIMENTES EN CAS NORMAL	PUISSANCE CONSOMME AU NIVEAU DU POSTE TENANT COMPTE DU CAS D'AVARIE (K.V.A)	PUISSANCE DU TRANSFORMATEUR
I	1 + 2 + 3	559,1	630
II	6 + 5 + 9	532,6	630
III	7 + 10 + 11	608,1	630
IV	4 + 8 + 12	567,1	630
V	13 + 14 + 15 + magasin + éclairage extérieur	492,4	500
VI	16 + 17 + école	532	630

V A R I A N T E



N° DU POSTE	BATIMENTS ALIMENTES EN CAS NORMAL	PUISSANCE CONSOMMEE AU NIVEAU DU POSTE TENANT COMPTE DU CAS D'AVARIE (K.V.A)	PUISSANCE DU TRANSFORMATEUR (K.V.A)
I	1 + 2	427,5	500
II	3 + 4	422	500
III	7 + 8	424,6	500
IV	11 + 12	423	500
V	6 + 10	419,2	500
VI	5 + 9	356,5	400
VII	13 + 14 + éclairage extérieur	427,7	500
VIII	ecole + 15 + magasin	333,5	400
IX	16 + 17	383,2	400

CHAPITRE II : CALCUL DES CABLES :

1 - INTRODUCTION :

Pour le bon fonctionnement de l'installation, la section du cable sera choisie en tenant compte de toutes les contraintes auxquelles est soumis l'installation, à savoir :

- Les conditions d'échauffement durant le régime normal.
- Les conditions d'échauffement lors des court-circuits.
- La chute de tension maximale admissible.
- Les conditions économiques, le prix de revient.

2 - CRITERES DU CHOIX DE LA SECTION D'UN CABLE :

2.1 - ECHAUFFEMENT NORMAL :

La section choisie selon ce critère sera de telle sorte que le cable ne subisse pas un échauffement exagéré en fonctionnement normal.

La température de l'ame du conducteur doit rester inférieure ou égale à la température maximale acceptable de l'isolation constituant le cable choisi.-

Tableau 12 : TEMPERATURE MAXIMALE ADMISSIBLE A L'AME DES CABLES EN FONCTIONNEMENT NORMAL :

NATURE DE L'ISOLATION DU CABLE	TEMPERATURE ADMISSIBLE
A papier imprégné, à matière visqueuse	65 °C
A papier imprégné de matière nonmigrante	65 °C
A isolation de caoutchouc vulcanisé	60 °C
A isolation de p.v.c	75 °C
isolé au butyl et au p;r.c	75 °C

2.2 - ECHAUFFEMENT LORS DES COURT-CIRCUITS :

Un conducteur est soumis à de très fortes intensités lors d'un c.c. La section due à l'échauffement lors d'un c.c. tient compte de la nature de protection (disjoncteur, fusible) tel que un c.c. se produisant au point le plus éloigné du circuit coupé en un temps inférieur à celui qui porte la température de l'ame à une valeur dangereuse.-

2.3 - CHUTE DE TENSION :

La chute de tension dans les conducteurs, depuis la source jusqu'au dernier récepteur est fixée selon la norme NFC 15.100 à :

5 % pour l'éclairage.

8 % pour la force motrice.

Connaissant la chute de tension admissible dans le tronçon de longueur l , le courant qui traverse, le $\cos \varphi$, on détermine la section du conducteur.

en monophasé : $S = \frac{2 \cdot l}{\rho \cdot U} I \cos \varphi$

$$\text{en triphasé : } S = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot \Delta U}{\cos \phi}$$

N.B. Pour les lignes de distribution d'énergie à basse-tension c'est le plus souvent la considération de la chute de tension qui détermine la section .

2.4 - SECTION ECONOMIQUE :

La section économique est la section pour laquelle le cout d'exploitation tenant compte de l'amortissement du prix d'achat du cable et des pertes par effet joule soit minimal.

3 - CHOIX DE LA SECTION DU CABLE :

Connaissant le courant de la ligne, on choisit la section du cable en fonction du mode de pose, du type d'isolant, du mode de branchement et de la protection de la ligne. (voir tableau 13).

4 - CHOIX ET MODE DE POSE DES CABLES :

Pour notre installation, on utilise le cable isolé au caoutchouc (U₁₀₀₀SC12N) et le cable isolé au polyéthylène réticulé (U₁₀₀₀R12N), pour les canalisations extérieures, les cables sont enterrés et doivent être protégés contre le tassement des terres, le contact des corps durs, les chocs en cas de fouille et ainsi contre la corrosion chimique causée par les éléments du sol.

Pour la colonne montante, les cables sont fixés aux parois. On introduit ces cables dans des conduits les protégeant contre les chocs mécaniques.

TABLAU 13 :

SECTION DES CONDUCTEURS

I (A)	conducteurs isolés pose sous conduit ou sous moulure				Conducteurs enterrés								Conducteurs fixés aux parois							
	Exemples: U 500V U 1000 CN U 5000V				isolés au caoutchouc vinyle, papier imprégné				isolés au polyéthylène téréphtalé				isolés au caoutchouc vinyle, papier imprégné				isolés au polyéthylène téréphtalé			
					Exemples U 500V GPFV U 1000 SC12N				Exemples: U 1000 RI2N U 1000 R02V U 1000 RG PPFV				Exemples: U 500V GGV U 500V GPFV U 1000 SC12N				Exemples: U 1000 RI2N U 1000 R02V U 1000 RG PPFV			
	P.P.N. P.P. P.N.		P.P.P.N. P.P.P.		P.P.N. P.P. P.N.		P.P.P.N. P.P.P.		P.P.N. P.P. P.N.		P.P.P.N. P.P.P.		P.P.N. P.P. P.N.		P.P.P.N. P.P.P.		P.P.N. P.P. P.N.		P.P.P.N. P.P.P.	
D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	
6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
12	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
14	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
16	1,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
18	2,5	4	2,5	4	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	4	2,5	4	1,5	2,5	1,5	2,5
20	2,5	4	2,5	4	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	4	2,5	4	1,5	2,5	1,5	2,5
22	4	6	4	6	1,5	2,5	2,5	4	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	4	4	6	1,5	2,5	2,5	4
24	4	6	4	6	1,5	2,5	2,5	4	1,5	2,5	1,5	2,5	2,5	4	4	6	1,5	2,5	2,5	4
26	4	6	4	10	2,5	4	2,5	4	1,5	4	2,5	4	4	6	4	6	2,5	4	2,5	4
28	4	6	6	10	2,5	4	2,5	4	2,5	4	2,5	4	4	6	4	6	2,5	4	2,5	4
30	4	6	6	10	2,5	4	4	4	2,5	4	2,5	4	4	6	4	6	2,5	4	4	4
35	6	10	6	16	4	6	4	6	2,5	4	4	6	6	10	6	10	4	6	4	6
40	10	10	10	16	4	6	6	6	4	4	4	6	6	10	10	10	4	6	6	6
50	10	16	16	16	6	10	6	10	4	6	6	10	10	16	10	16	6	10	6	10
60	16	25	16	25	10	10	10	16	6	10	10	10	16	16	16	25	10	10	10	16
70	16	35	25	35	10	16	16	25	10	16	10	16	16	25	16	35	10	16	16	25
80	25	35	25	35	16	16	16	25	10	16	16	16	25	25	25	35	16	16	16	25
90	25	50	35	70	16	25	16	35	16	25	16	25	25	35	25	50	16	25	16	35
100	35	50	35	70	16	25	25	35	16	25	16	25	25	35	35	50	16	25	25	35
110	35	70	50	95	25	35	25	50	16	35	25	35	35	70	35	70	25	35	25	50
120	50	70	70	95	25	35	35	50	25	35	25	35	35	70	50	70	25	35	35	50
130	50	95	70	120	25	50	35	70	25	50	25	50	50	95	50	95	25	50	35	70
140	70	95	70	120	35	50	35	70	25	50	35	50	50	95	70	95	35	50	35	70
150	70	95	70	120	35	50	50	70	25	50	35	50	70	95	70	95	35	50	50	70
160	70	95	95	120	35	50	50	70	35	50	35	50	70	95	70	95	35	50	50	70
180	95	150	95	185	50	95	70	95	35	70	50	95	70	120	95	150	50	95	70	95
200	95	150	120	185	70	95	70	95	50	70	70	95	95	120	95	150	70	95	70	95
220	120	240	150	240	70	120	95	150	70	95	70	120	95	185	120	240	70	120	95	150
240	150	240	150	240	70	120	95	150	70	95	70	120	120	185	150	240	70	120	95	150
280	185	300	240		95	150	120	185	70	120	95	150	150	240	185	300	95	150	120	185
320	240		300		120	240	150	300	95	185	120	240	185		240		120	240	150	300
360	240		300		150	240	185	300	120	185	150	240	240		240		150	240	185	300
400	360				185	240	240	300	150	185	185	240	240		300		185	240	240	300
500					240		300		185	300	240						240		300	

5 - VERIFICATION A L'ECHAUFFEMENT LORS D'UN COURT-CIRCUIT :

Lors d'un court-circuit se produisant sur un cable, il faut que la température de l'ame du cuivre ne soit pas portée à une valeur dangereuse.

CABLE ISOLE AU CAOUTCHOUC (JUSQU'A 1 KV.)	
TEMPERATURE ADMISSIBLE PERMANENTE	60°C
TEMPERATURE LIMITE LORS DU COURT-CIRCUIT	130°C
DENSITE DE COURANT ADMISSIBLE DURANT 1 S	110 A/mm ²

La condition pour la vérification à l'échauffement est :

$$I_{eq.th.} = I_{adm} \sqrt{\frac{1}{t}}$$

$$I_{adm} = J \times S$$

I_{adm} = courant admissible durant 1 s.

J = densité de courant admissible durant 1 s.

S = section du cable en mm²

t = temps de coupure du disjoncteur en s.

$$I_{eq.th.} = K_c \cdot I_p$$

$I_{eq.th.}$ = courant équivalent thermiquement.

K_c = constante qui dépend de t et de $\frac{I_p}{I_n}$

voir graphe $K_c = f\left(t, \frac{I_p}{I_n}\right)$.

I_p = courant de court-circuit initial.

On prend t = 0,1 s. sur le graphe $K_c = 1,25$.

Fig 4: $K_c = f(t, I_p/I_n)$

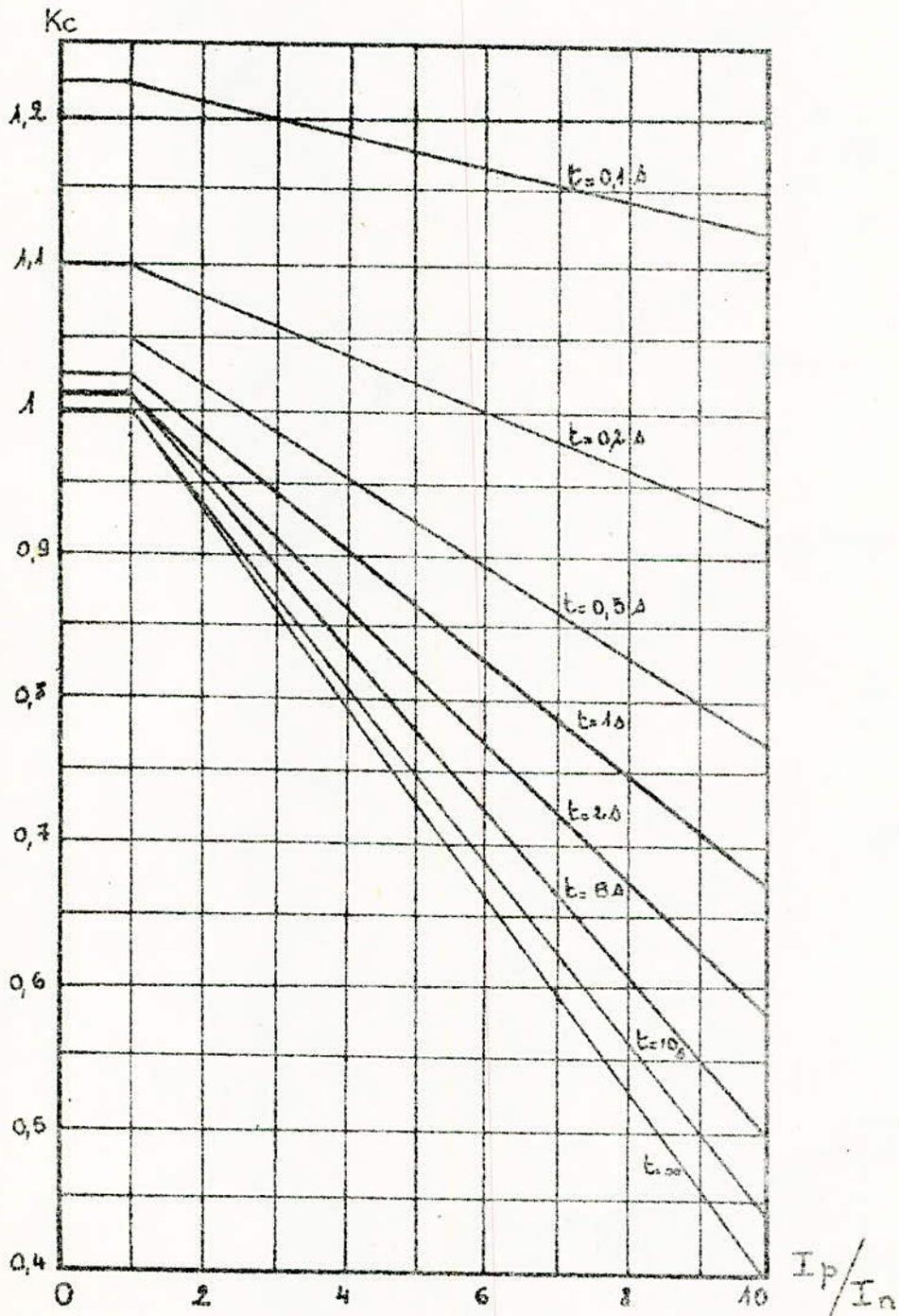


Tableau de la résistance d'un cable en cuivre à la température 20°C:

SECTION DU CONDUCTEUR (mm ²)	RESISTANCE R (Ω /Km)
1,5	12,97
2,5	7,78
4	4,86
6	3,24
10	1,95
16	1,22
25	0,778
35	0,556
50	0,389
70	0,278
95	0,205
120	0,162
150	0,130
185	0,105
240	0,081
300	0,0648
400	0,0486

CHAPITRE III : PROTECTION :

1 - INTRODUCTION :

Toute installation électrique peut-être le siège de perturbations dues à des causes imprévisibles (coup de foudre, surcharge, court-circuits,.....) qui peuvent être dangereuses pour les personnes et pour le matériel. Ainsi des mesures de protection sont prises pour l'élimination de ces défauts.-

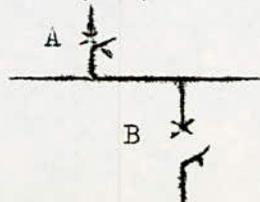
2 - PROTECTION DU MATERIEL :

La protection du matériel consiste à prévoir des dispositifs permettant l'élimination d'un défaut survenant sur un circuit de l'installation. Cette protection est réalisée par la fusion d'un fusible ou l'ouverture automatique d'un disjoncteur.

2.1 - DISPOSITIF DE PROTECTION:

Les dispositifs de protection doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- Haute sensibilité : qui caractérise la capacité de réagir sur les petits changements, par exemple sur les changements du courant de fuite ou de tension qui lui correspond.
- Petits temps de déclenchement : qui diminue considérablement le danger d'électrocution.
- Sûreté de fonctionnement : qui caractérise la capacité du dispositif de protection de travailler sans panne dans tous les cas nécessaires.
- Sélectivité : qui caractérise la capacité du dispositif de protection de débrancher seulement la partie en défaut du réseau. On distingue 2 types de sélectivité :
- Sélectivité ampéremétrique: Elle repose sur le réglage des déclencheurs magnétiques des disjoncteurs. Elle est assurée si le seuil de déclenchement (I_{rA}) du disjoncteur amont est supérieur au seuil de déclenchement (I_{rB}) du disjoncteur aval .



$$I_{rA} > I_{rB}$$

La sélectivité chromométrique :

On utilise des disjoncteurs possédant une minuterie retardant le déclenchement sur court-circuit.

Le temps de déclanchement du disjoncteur se trouvant en amont est supérieur à celui se trouvant en aval.

2.1.1 - PROTECTION PAR DISJONCTEUR :

La protection par disjoncteur est

efficace : si on a ,

$$\begin{array}{l} I_{rt} = (1,05 + 1,2) I_b \\ I_{rt} \leq I_z \\ p.d.c \gg I_{cc} \text{ (Triphasé)} \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{contre les surcharges} \\ \text{contre les court -} \\ \text{circuits.} \end{array} \right\}$$

I_b = courant de service du circuit protégé.

I_{rt} = courant de réglage du déclencheur thermique.

I_z = courant admissible dans le cable.

p.d.c = pouvoir de coupure.

2.1.2 - PROTECTION PAR FUSIBLE :

Soit I_s le courant suffisant pour que

la protection agisse. On a alors :

$I_s = 2,5 I_n$ pour un fusible sans retard

$I_s = (3,5 + 5) I_n$ pour un fusible avec retard

La protection par fusible est efficace si on a :

$I_{cc} \text{ (monophasé)} \gg I_s$

$p.d.c \gg I_{cc} \text{ (triphasé)}$

$I_z \gg I_n \gg I_b$

I_n = courant nominal du fusible.

I_z = courant admissible dans le cable.

I_b = courant de service du circuit protégé.

2.2 - CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUITS :

Le calcul des courants des court-circuits en un point de l'installation nécessite la connaissance de la somme des réactances en amont de ce point : $X_t = X_1 + X_2 + \dots$ et de la somme des résistances en amont de ce point : $R_t = R_1 + R_2 \dots$
On a alors :

$$I_{cc} \text{ (triphasé)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_t^2}} \quad (\text{en K.A.})$$

$$I_{cc} \text{ (monophasé)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2R_t - R_1)^2 + (2X_t - X_1)^2}} \quad (\text{en K.A.})$$

U : tension entre phase en charge (V)
 R_t , X_t (m Ω)

N.B : La réactance en amont du transformateur B.T est nulle ($X_1 = 0$) car Pcc est supposée infini.

2.2.1 - COURANT DU COURT-CIRCUIT AU SECONDAIRE DU TRANSFORMATEUR B.T :

$$I_{cc} = \frac{I_n}{U_{cc}}$$

I_{cc} en A

I_n = intensité nominale en A

U_{cc} tension de court-circuit en %

C'est une formule approchée ou il n'est pas tenu compte de l'impédance du réseau en amont du transformateur.

$$I_n = \frac{S_n}{U \sqrt{3}} \quad S_n = \text{puissance du transformateur en V.A}$$

U = tension secondaire à vide en V

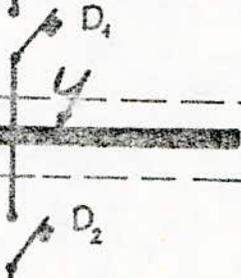
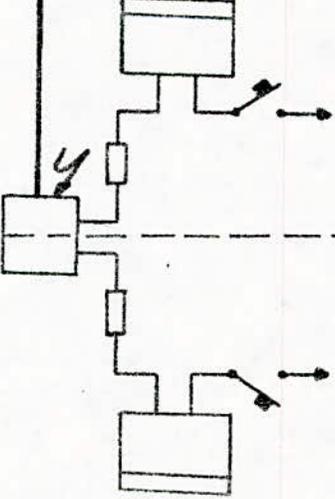
I_n = intensité nominale en A

Pour le transformateur de 500 K.V.A :

$$I_n = \frac{500 \cdot 10^3}{400 \sqrt{3}} = 721,7 \text{ A}$$

$$I_{cc} = \frac{721,7 \times 100}{4} = 18 \text{ K.A} \quad U_{cc} = 4 \%$$

Calcul des résistances et des réactances

	Résistances <small>(mΩ)</small>	Réactances (mΩ)
	$R_1 \approx 0$	$X_1 = 0$ (Pcc supposée infinie)
	$R_2 \approx 0$	$X_2 = \frac{U_{bo}^2}{S_n} U_{cc}$
	$R_3 \approx 0$	$X_3 \approx 0$ (Disjoncteur rapide) $X_3 = 0,15/\text{pôle}$ (Disj sélectif)
TG 	$R_4 = \rho \frac{l}{S}$	$X_4 = 0,15 l$
	$R_5 \approx 0$	$X_5 = 0$ (Disj. Rapide.)
	$R_6 = \rho \frac{l}{S}$	$X_6 = 0,08 l$
Cage 		
		
Colonne 	$R_7 = \rho \frac{l}{S}$	$X_7 = 0,08 l$

U_{bo} : tension Secondaire B.T en V ; S_n : Puissance nominale du transfo. en V.A .

U_{cc} : tension de Court.circuit en(%), ρ : Résistivité du Cuivre ($1,8 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

$\rho_{cc} = 27 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, S : Section du Cable (mm^2), l : sa longueur(m)

Pour le transformateur de 630 K.V.A :

$$I_n = \frac{630 \cdot 10^3}{400 \sqrt{3}} = 909,3 \text{ A}$$

$$I_{cc} = \frac{909,3 \times 100}{4} = 22,7 \text{ K.A} \quad U_{cc} = 4 \%$$

N.B : C'est le défaut triphasé qui est examiné, il correspond en règle générale à l'intensité du courant court-circuit la plus élevée

3 - PROTECTION DES PERSONNES :

Dans les installations électriques, les personnes sont exposées à l'électrocution. Pour éviter les contacts directs et les contacts indirects on doit :

- Isoler les parties de l'installation se trouvant normalement sous tension.
- Mettre des obstacles qui rendent impossible de toucher des parties sous tension.
- Installer les parties sous tension dans les lieux où à la hauteur qui les rendent inaccessibles.
- Installer les appareils de protection dans les compartiments isolés
- Mise à terre des masses métalliques.

3.1 - DIFFERENTS REGIMES DE NEUTRE :

Il existe trois régimes de neutre :

- Mise à la terre ou régime T.T
- Mise au neutre ou régime T.N
- Neutre isolé ou régime I.T

3.1.1 - REGIME T.T : (neutre à la terre, masses à la terre).

Le courant de défaut se referme par la boucle comprenant les prises de terre du neutre et des masses.

Un dispositif de coupure (différentiel) doit couper l'alimentation dès que la tension de défaut est supérieure à U_l .

U_l : tension de sécurité.

Dans ce régime on a une coupure au premier défaut d'isolement.

SCHEMAS DES REGIMES DE NEUTRE

schéma T.T

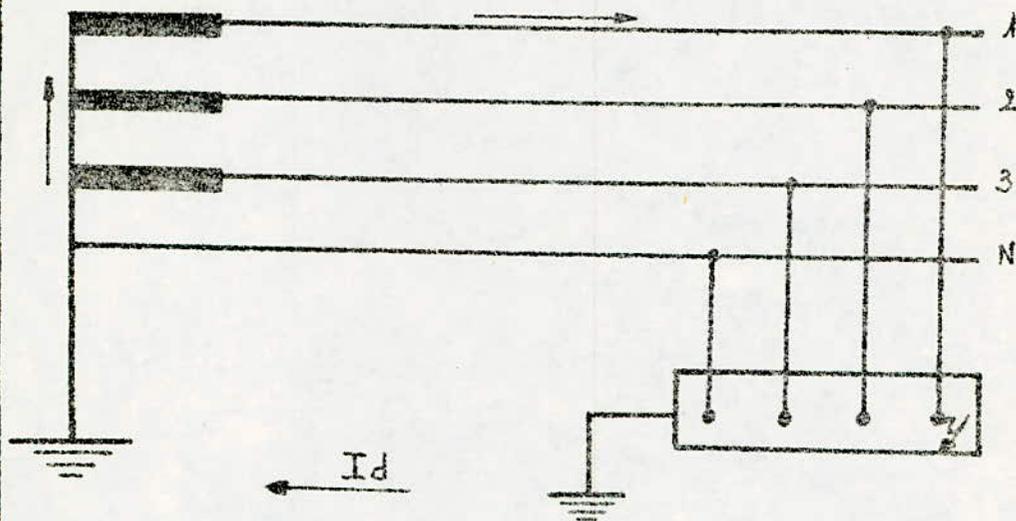


schéma T.N

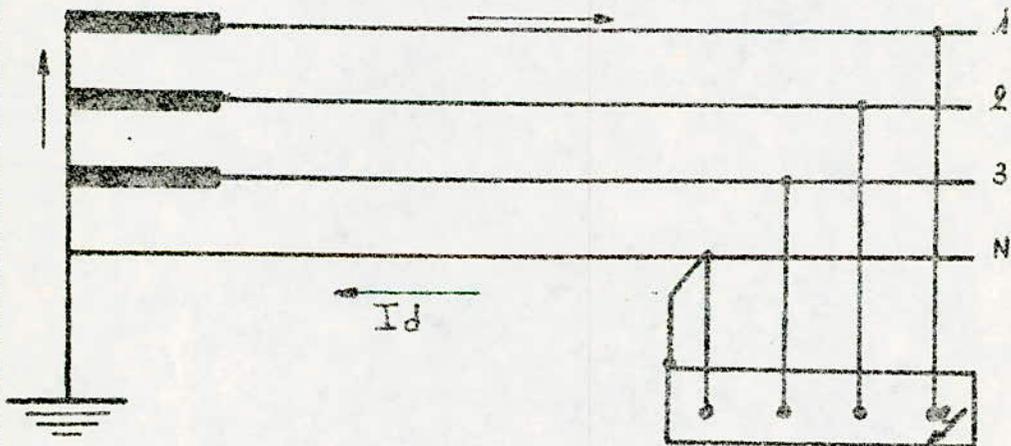
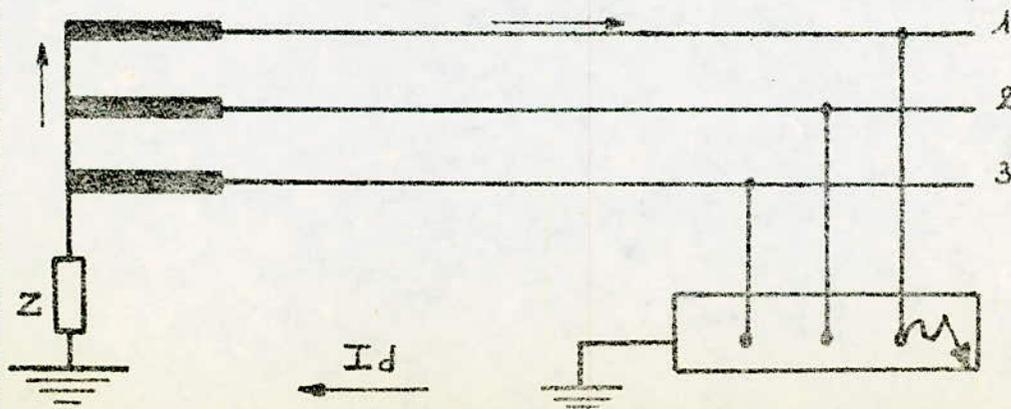


schéma I.T



3.1.2 - REGIME EN T.N :

(neutre à la terre, masses au neutre)

Le courant de défaut se referme par le conducteur neutre et devient un courant de court-circuit monophasé.

Ce régime exige l'installation d'un dispositif de protection contre les surintensités. On a une coupure au premier défaut d'isolement.

3.1.3 - REGIME I.T :

(neutre isolé ou impédant, masses à terre)

Le courant de premier défaut est limité à une valeur telle qu'il n'en résulte pas de tension de contact dangereuse. Ce régime exige :

- Le dispositif de protection ne fonctionne pas au premier défaut si le courant de défaut n'est pas dangereux.
- Un contrôleur permanent d'isolement qui doit signaler l'apparition de chaque défaut.
- Le fonctionnement du dispositif de protection au deuxième défaut.

3.2 - CHOIX DU REGIME DU NEUTRE :

On choisit le régime T.N. du fait que les dispositifs de protections contre les surintensités assurent de même la protection des personnes.

3.3 - PRISE DE TERRE :

Une prise de terre assure la protection contre les contacts indirects. Elle constitue une dérivation pour un courant traversant par accident le corps humain. La protection est efficace que si la résistance de la prise de terre est aussi faible que possible (inférieure à celle du circuit corps-terre).

3.3.1 - EVALUATION DES
RESISTANCES DE PRISE DE
TERRE DANS LES CAS USUELS:

- Cas d'un conducteur en tranchée horizontale :

La résistance est donnée approximativement par :

$$R = \frac{2 \rho}{L} (\Omega)$$

ρ : résistivité du sol ($\Omega \cdot m$)

L : longueur du conducteur horizontal (m)

- Cas d'un piquet vertical :

Approximativement on a :

$$R = \frac{\rho}{L} \quad (\Omega)$$

L: longueur du piquet vertical (m)

ρ ($\Omega \cdot m$)

- Cas d'une plaque mince enterrée :

Approximativement on a :

$$R = 0,8 \frac{\rho}{P} \quad (\Omega)$$

($\Omega \cdot m$)

P: périmètre de la plaque (m)

N.B : Du fait qu'on ne connaît pas la résistivité du terrain, on ne calcul pas la résistance de la prise de terre.-

CHAPITRE IV : RESULTATS ET CHOIX DE LA VARIANTE :

1 - METHODE APPLIQUEE :

Tous les résultats (sélection du câble, chute de tension, les courants de court-circuit) sont reportés sur un tableau pour chaque variante.

Pour pouvoir faire une comparaison entre les différentes variantes (A,B,C) on propose d'évaluer :

- la longueur total du câble pour chaque section utilisée et pour chaque variante.
- le pouvoir de coupure (p.d.c) des dispositifs de protection pour chaque variante.

N.B : Nature des disjoncteurs :

F ₇₀	—————	p.d.c = 3 K.A	
F ₁₀₀	—————	p.d.c = 7,5 K.A	
R ₁₂₅	—————	p.d.c = 10 K.A	sous une tension
C ₂₅₀	—————	p.d.c = 18 K.A	de 380 V.

2 - CHOIX DE LA VARIANTE :

D'après le tableau de comparaison, on élimine la variante C (9 postes) qui est défavorisée par rapport aux variantes B et C .

Entre les variantes B et A on a :

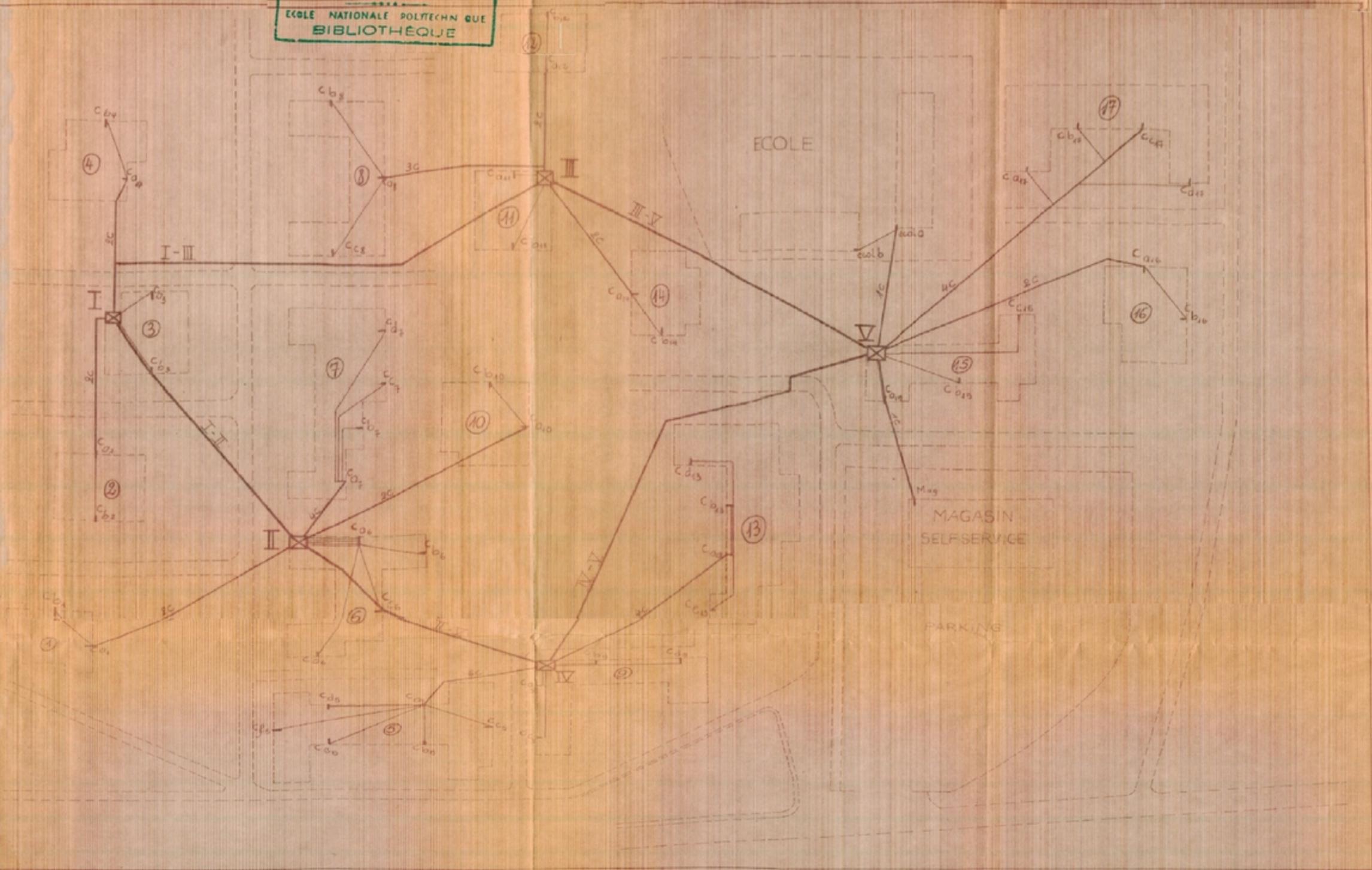
- * 1 Km de câble de plus pour la variante A.
- * Le p.d.c des dispositifs de protection est à peu près le même pour les deux variantes.
- * 1 poste de 500 K.V.A de plus pour la variante B .

2.1 - CONCLUSION :

On choisit la variante A car elle parait la plus souple dans l'exploitation .

CANALISATIONS ET LOCALISATION DES POSTES

الجامعة الوطنية للتكنولوجيا
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE



Légende

- ⊠ : Poste de distribution
- I-II : Cable liant le poste numéro I au poste II
- 2C : représente deux cables liant un poste au bâtiment alimenté par celui-ci
- C_{dj} : signifie cage d'indice $d(a, f)$ liée au bâtiment numéro j (a, f, j)

échelle : 1/1000

Tableau : COMPARAISON DES TROIS VARIANTES.

Cable U10005C12M	Variante A (5 Postes)		Variante B (6 Postes)		Variante C (9 Postes)	
	Longueur totale du Cable (m)	Dispositifs de protection (nombre)	Longueur totale du Cable (m)	Dispositifs de protection nombre	Longueur totale du Cable (m)	Dispositifs de protection (nombre)
25	352	1 F70 22 F100 11 R125 18 C250	872	4 F70 19 F100 9 R125 20 C250	702	4 F70 19 F100 9 R125 20 C250
35	1438		1183		1283	
50	1546		611		551	
70	1225		1210		890	
95	610		610		605	
	$\Sigma = 5,2 \text{ KM.}$		$\Sigma = 4,5 \text{ KM.}$		$\Sigma = 4 \text{ KM.}$	

III ^{EME} **P**ARTIE

-oOo- **E**TUDE **D**U **R**ÉSEAU **M**OYENNE -oOo-

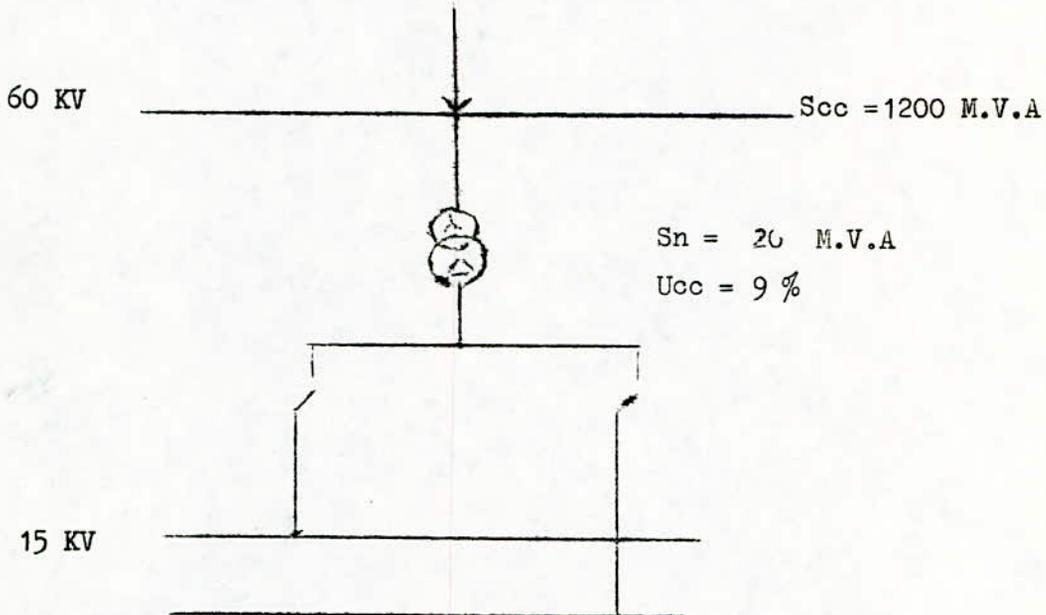
-oOo- **T**ENSION -oOo-

CHAPITRE I : DISTRIBUTION D'ENERGIE ELECTRIQUE :

1 - INTRODUCTION :

L'alimentation de tous les postes M.T/B.T se fera à partir d'un poste de livraison H.T/M.T se trouvant à proximité de la cité .

Données du poste :

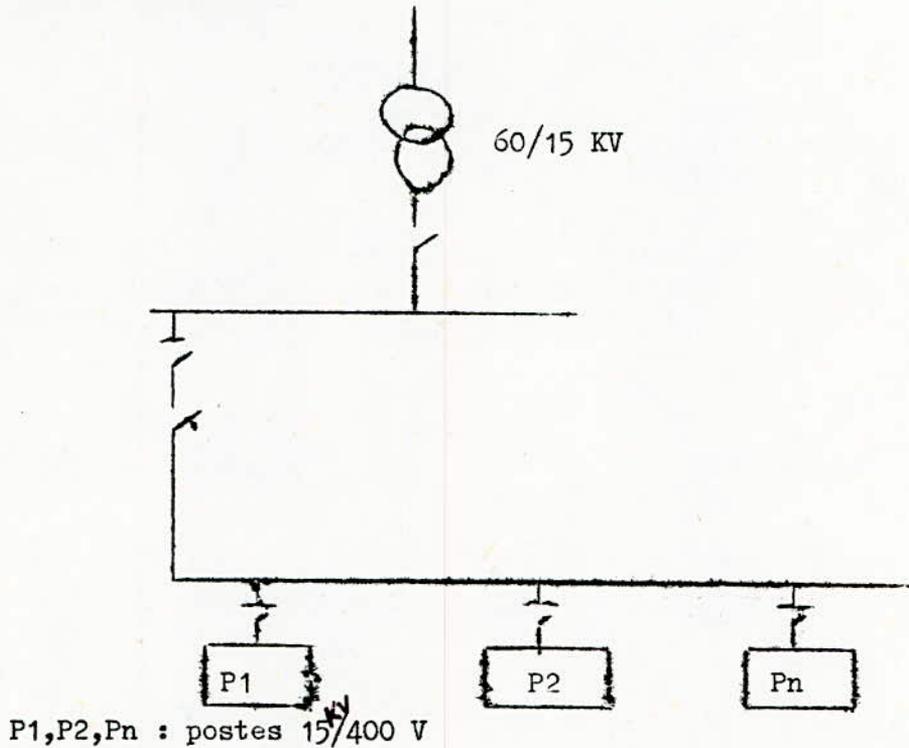


2 - DIFFERENTS MODES DE DISTRIBUTION :

2.1 - DISTRIBUTION EN ANTENNE(OU SIMPLE DERIVATION):

C'est le système de distribution le plus simple. Un seul câble alimente les postes qui sont branchés en dérivation sur lui. Toute réparation sur le câble oblige, dans la majorité des cas, à priver de courant tous les postes pendant la durée de l'intervention .

Schéma de principe :



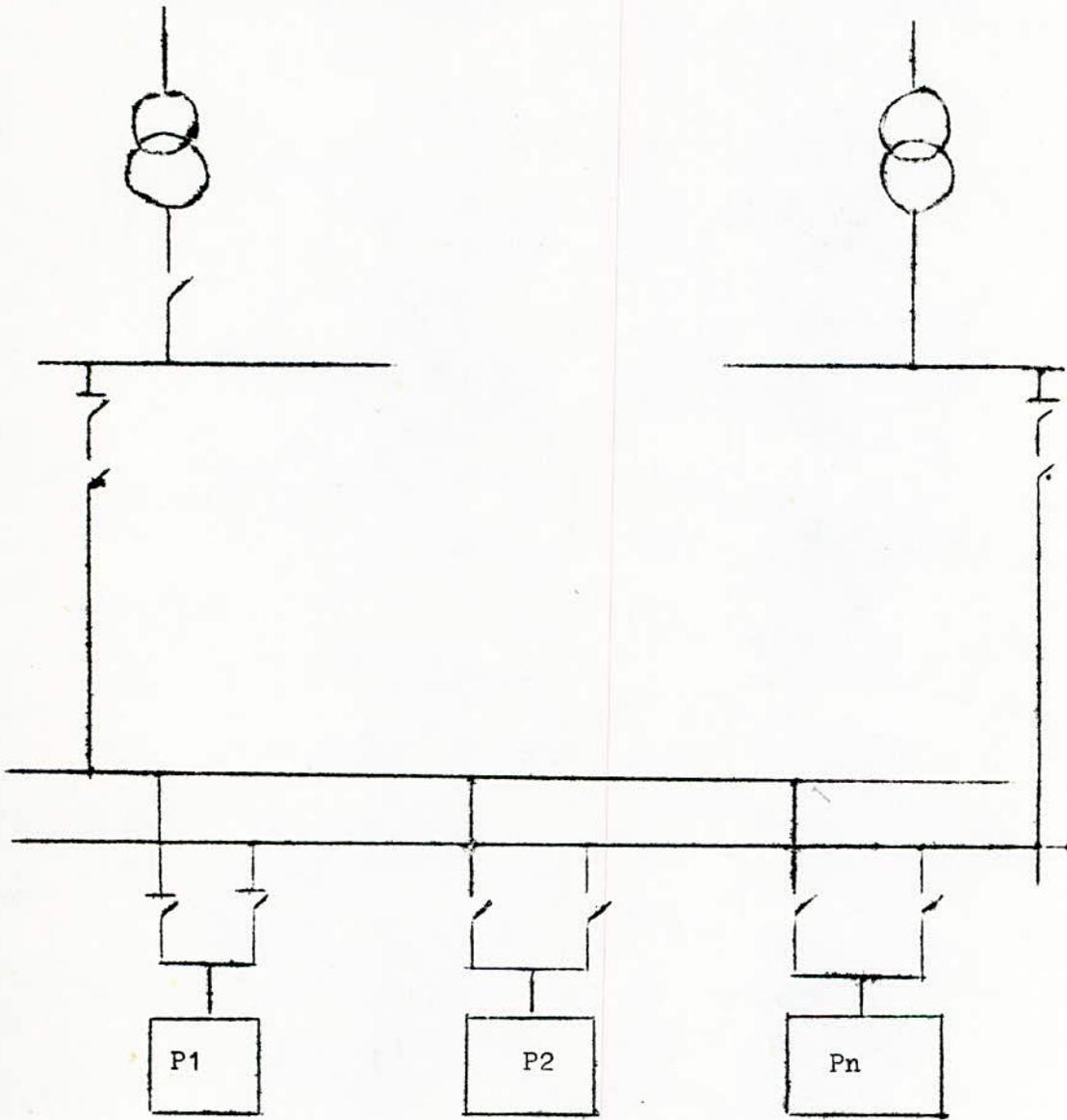
2.2 - DISTRIBUTION EN DOUBLE

DERIVATION :

C'est le système de distribution offrant la plus grande continuité de service. Chaque poste est raccordé à deux cables issus généralement de deux sources différentes.

L'un des cable alimente normalement le poste, l'autre étant en réserve. La permutation de l'un sur l'autre peut être réalisée automatiquement.

Schéma de principe :

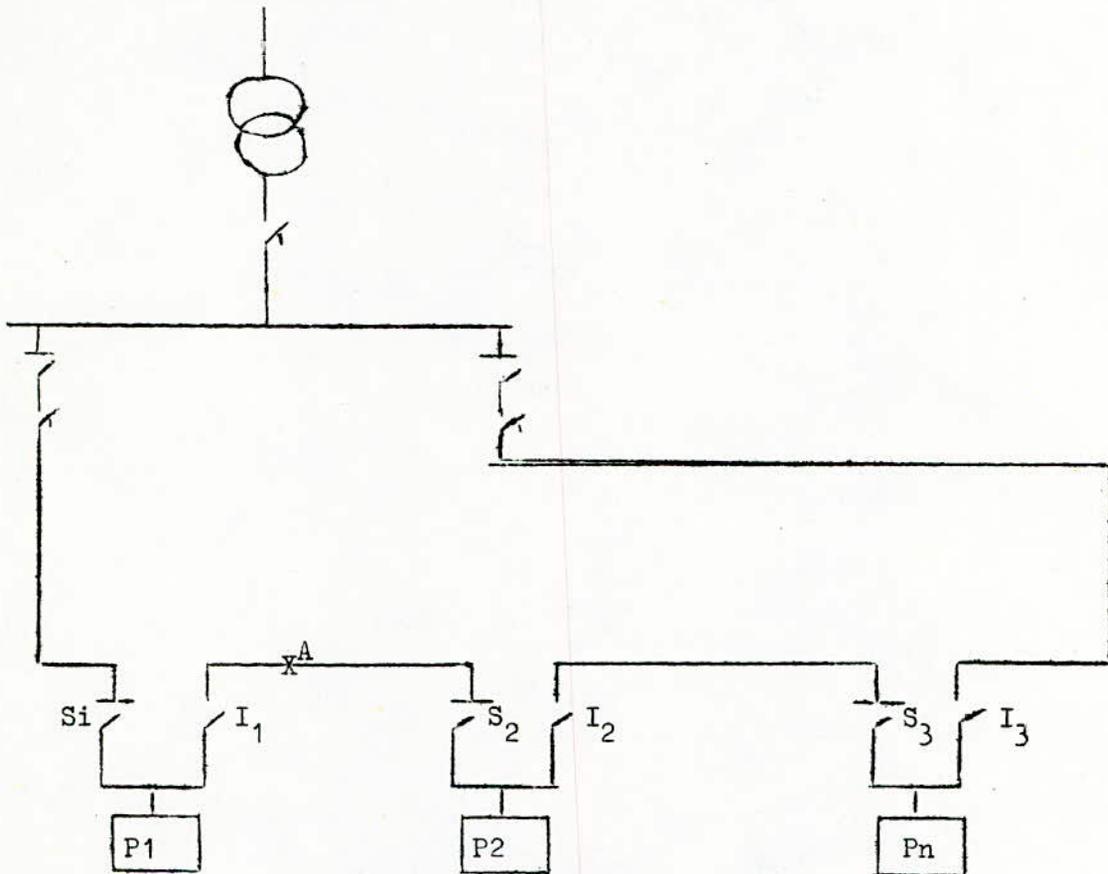


P1, P2, Pn : postes 15/400 V.

2.3- DISTRIBUTION EN BOUCLE(OU EN COUPURE D'ARTERE) :

C'est le système de distribution le plus répandu. Chaque poste est alimenté par deux cables issus d'une même source d'énergie, l'ensemble des deux cables formant une boucle. Ce système permet d'effectuer un travail sur un cable (au point A par exemple) tout en continuant à alimenter tous les postes : Pour ça on coupe le courant dans la boucle par l'interrupteur I1 et on isole le tronçon par le sectionneur S2.

Schéma de principe :



3- CHOIX DU MODE DE DISTRIBUTION :

Le schéma d'alimentation M.T se fera en boucle, car elle assure une bonne continuité de service. Elle permet une réparation sur un cable tout en continuant à alimenter tous les postes. Notre distribution tiendra compte de la cité II se trouvant à côté de notre cité I. Pour cela on bouclera tous les postes de la cité I et II, et on ouvrira notre boucle au milieu.

N.B : La cité II à la même superficie que la cité I . On considère que les deux cités ont la même charge.

CHAPITRE II : CALCUL DU CABLE :

1. CHOIX ET MODE DE POSE DU CABLE :

L'alimentation M.T se fera avec un cable en cuivre isolé au papier imprégné à champ électrique radial.
Mode de pose : enterré.

2. CHOIX DE LA SECTION DU CABLE :

Connaissant le courant circulant dans le cable, on détermine la section du cable d'après le tableau 15.
La puissance consommée au niveau du point d'alimentation vaut :

$$S_n = 2990,4 \times K_S$$

K_S = coefficient de simultanéité (voir tableau 4)

$$K_S = 0,8$$

$$\text{d'où : } S_n = 2392,32 \text{ K.V.A}$$

$$S_n = 2,4 \text{ M.V.A}$$

Comme on prévoit la boucle pour l'alimentation de la 2ème cité, la puissance consommée au niveau du point d'alimentation sera donc :

$$S_n = (2 \times 2990,4) \times K_S$$

K_S = coefficient de simultanéité.

$$K_S = 0,6$$

$$\text{d'où : } S_n = 3588,5 \text{ K.V.A}$$

$$S_n = 3,6 \text{ M.V.A}$$

Le courant circulant dans le cable est donc :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_0}$$

$$I_n = \frac{3,6 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15} = 138,6 \text{ A}$$

D'après le tableau 14 on choisit la section du cable , soit :

$$S = 70 \text{ mm}^2 \quad (\text{ température } 25 \text{ }^\circ\text{C} \text{ ambiante})$$

Tableau 14: SECTION DES CONDUCTEURS

Conducteur enterré (15Kv) isolé au papier imprégné		
Section (mm ²)	Température: 15°C ambiante Courant admissible I ₀ (A)	Température: 25°C ambiante Courant admissible I ₀ (A)
16	90	65
25	115	85
35	140	105
50	170	130
70	210	160
95	250	195
120	285	225
150	320	260
185	360	295
240	420	350
300	475	400
400	560	485

3- LONGUEUR MOYENNE DE LA BOUCLE :

REFERES	LONGUEUR (m)
Poste H.T / au poste B.T n° III	1000
Poste B.T n° III au poste B.T n° I	200
Poste B.T n° I au poste B.T n° II	150
Poste B.T n° II au poste B.T n° IV	150
Poste B.T n° IV au poste B.T n° V	200
	$\Sigma_{\text{moyen}} = 2 \text{ Km}$

En tenant compte de la 2^{ème} cité, la longueur moyenne de la boucle sera donc :

$$L = 2 \Sigma_{\text{moyen}}$$

soit :

$$L = 4 \text{ Km.}$$

3.1 - CHUTE DE TENSION :

La résistance du câble

$R = 0,278 \Omega/\text{Km}$, du point d'alimentation au dernier poste B.T la longueur moyenne $L_1 = 3 \text{ Km}$.

donc : $R = 0,834 \Omega$

La réactance du câble : $X = 0,13 \Omega / \text{Km}$ (d'après fig.1).

$$X = 0,39 \Omega$$

L'impédance du câble : $\hat{Z} = R + j X$

$$Z = 0,92 \Omega$$

D'où la chute de tension :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot ZI = \sqrt{3} \cdot X 0,92 \times 138,6$$

$$\Delta U = 220,8 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 1,47 \%$$

La chute admissible est de 6 %

4 - TABLEAU RECAPITULATIF :

CONDUCTEUR ENTERRE 15 KV ISOLE AU PAPIER
IMPREGNE

COURANT NOMINAL (A)	SECTION DU CABLE (mm ²)	LONGUEUR DU CABLE (BOUCLE) (Km)	CHUTE DE TENSION (%)
138,6	70	4	1,47

CHAPITRE III : PROTECTION :

1 - CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT :

1.1 - COURANT DE COURT-CIRCUIT TRIPHASE :

Le courant initial de C.C est

donné par :

$$I_p = m I_{pd} \text{ avec } m = 1$$

$$I_{pd} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_d}$$

Z_d = impédance direct .

Le courant d'enclenchement qui est le courant maximum est :

$$I_{\max} = K_{\max} \sqrt{2} I_p$$

K_{\max} est donné en fonction de $\frac{R_{cc}}{X_{cc}}$ (voir graphe)

Le courant de déclenchement qui est le courant de coupure est :

$$I_{coup} = K_{coup} \cdot I_p$$

K_{coup} est donné en fonction de $\frac{I_p}{I_n}$ et du temps de coupure du dispositif de protection (voir graphe).

1.2 - COURANT DE COURT-CIRCUIT MONOPHASE:

Le courant initial de C.C est

donné par :

$$I_p = m I_{pd} \text{ avec } m = 3$$

$$I_{pd} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} Z_d + Z_i + Z_o} \quad \begin{array}{l} U_n = \text{tension nominale du} \\ \text{réseau H.T.} \end{array}$$

Z_d : impédance direct .

Z_i = " inverse

$$Z_d = Z_i$$

Z_o = " homopolaire

$$I_{coup} = K_{coup} \cdot I_p$$

$$I_{\max} = K_{\max} \sqrt{2} I_p$$

2 - METHODE DE DE CALCUL :

En amont du transformateur H.T on a :

$$Z_1 \approx X_1 = \frac{U'n^2}{S_{cc}}$$

Z_1 ramené au secondaire du transformateur (côté du court-circuit) est :

$$(Z_1)_{cc} = \frac{U'n^2}{S_{cc}} \left(\frac{15}{60} \right)^2 \quad U'n = 60 \text{ K.V}$$

L'impédance du transformateur H.T

$$Z_t \approx X_t = U_{cc} \times \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$U_{cc} = 9 \%$$

$$U_n = 15 \text{ KV}$$

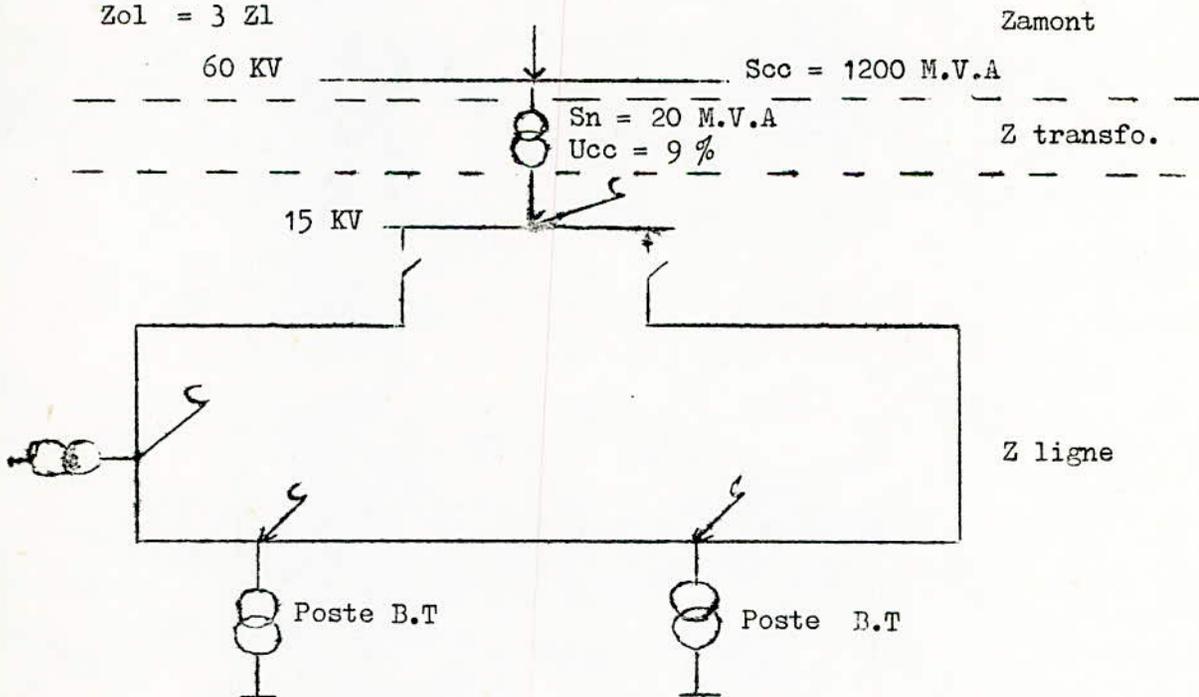
$$S_n = 20 \text{ M.V.A}$$

L'impédance homopolaire du transformateur H.T :

$$Z_{ot} = 0,85 Z_t$$

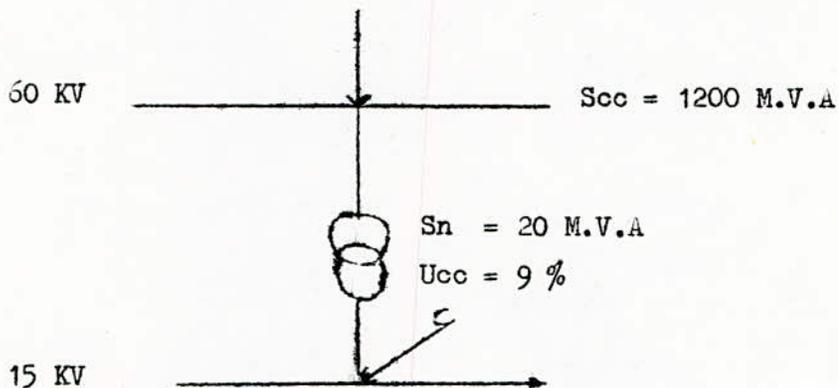
L'impédance homopolaire de la ligne :

$$Z_{ol} = 3 Z_l$$



2.1 - EXEMPLE DE CALCUL :

2.1.1 - AU JEU DE BARRE DU TRANSFORMATEUR H.T :



L'impédance amont du transformateur H.T :

$$(Z_1)_r = \frac{60^2}{1200} \times \left(\frac{15}{60}\right) = \frac{15^2}{1200}$$

$$(Z_1)_r = 0,1875 \Omega$$

L'impédance du transformateur H.T :

$$Z_t = 0,09 \times \frac{15^2}{20} = 1,0125 \Omega$$

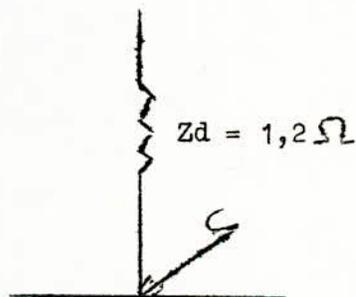
L'impédance homopolaire du transformateur H.T :

$$Z_{ot} = 0,85 \times 1,0125 = 0,86 \Omega$$

L'impédance direct :

$$Z_d = (Z_1)_r + Z_t = 0,1875 + 1,0125$$

$$Z_d = 1,2 \Omega$$



Court-circuit triphasé :

$$I_{pd} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_d} = \frac{1,1 \times 15}{\sqrt{3} \times 1,2} = 7,94 \text{ K.A}$$

$$I_p = I_{pd} = 7,94 \text{ K.A}$$

$$I_{max} = K_{max} \sqrt{2} \cdot I_p \text{ avec } K_{max} = 2 \left(\frac{R_{cc}}{X_{cc}} \approx 0 \right)$$

$$I_{max} = 2 \sqrt{2} \times 7,94 = 22,5 \text{ K.A}$$

$$I_{coup} = K_{coup} \times I_p = 7,94 \text{ K.A} \quad (K_{coup} \approx 1)$$

Court-circuit monophasé :

$$I_{pd} = \frac{1,1 \times 15}{\sqrt{3} (2 \times 1,2 + 0,86)} = 2,92 \text{ K.A}$$

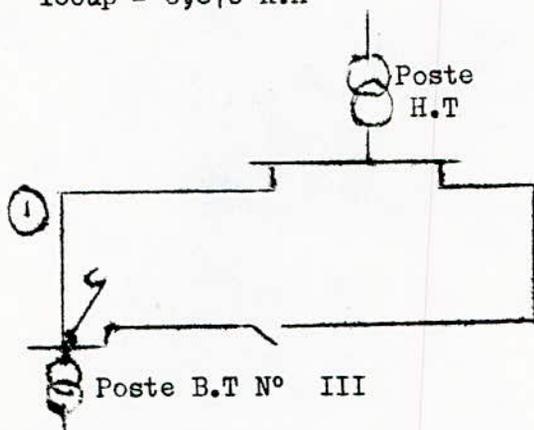
$$I_p = 3 \times 2,92 = 8,76 \text{ K.A}$$

$$I_{max} = K_{max} \sqrt{2} \cdot I_p = 2 \sqrt{2} \cdot 8,76$$

$$I_{max} = 24,8 \text{ K.A}$$

$$I_{coup} = K_{coup} \cdot I_p = I_p \quad (K_{coup} = 1)$$

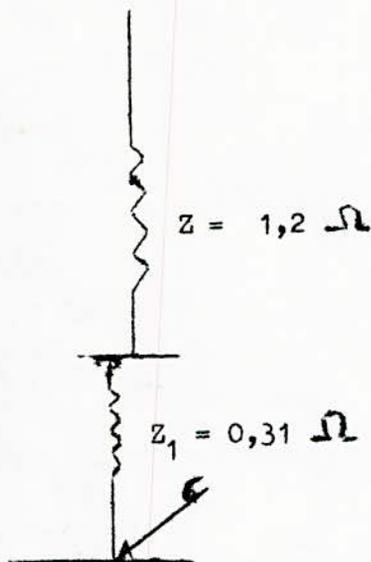
$$I_{coup} = 0,876 \text{ K.A}$$



2.1.1.- AU PRIMAIRE DU TRANSFORMATEUR B.T N° III :

- $L_1 = 1 \text{ Km}$
- $R_1 = 0,278 \Omega$
- $X_1 = 0,13 \Omega$
- $Z_1 = 0,31 \Omega$
- $Z_{10} = 0,93 \Omega$

Shéma équivalent :



L'impédance total direct :

$$Z_d = 1,2 + 0,31 = 1,51 \Omega$$

L'impédance homopolaire :

$$Z_o = 0,93 + 0,86 = 1,79 \Omega$$

Court-circuit triphasé :

$$I_{pd} = \frac{1,1 \times 15}{\sqrt{3} \times 1,51} = 6,31 \text{ K.A}$$

$$I_p = 6,31 \text{ K.A}$$

$$I_{max} = K_{max} \sqrt{2} \cdot I_p$$

$$K_{max} \text{ est fonction de } \frac{R_{cc}}{X_{cc}}$$

$$\frac{R_{cc}}{X_{cc}} = \frac{0,278}{0,13 + 1,2} = 0,21$$

d'après la figure 3 on détermine $K_{max} = 1,54$

$$I_{max} = 1,54 \sqrt{2} \times 6,31 = 13,8 \text{ K.A}$$

$$I_{max} = 13,8 \text{ K.A}$$

$$I_{coup} = K_{coup} \cdot I_p \quad (K_{coup} = 1)$$

$$I_{coup} = 6,7 \text{ K.A}$$

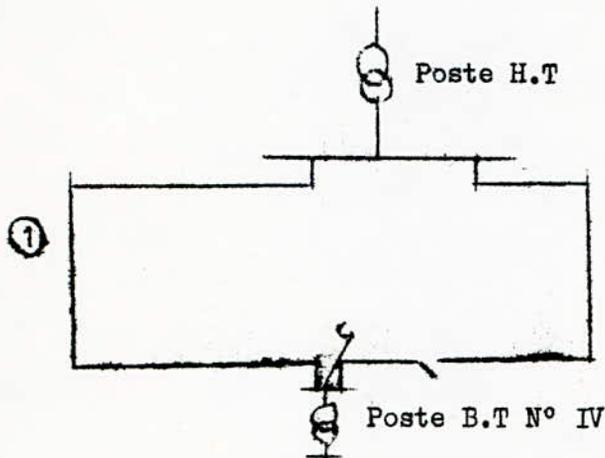
Court-circuit monophasé :

$$I_{pd} = \frac{1,1 \times 15}{\sqrt{3} (2 \times 1,51 + 1,79)} = 1,98 \text{ K.A}$$

$$I_p = 5,94 \text{ K.A}$$

$$I_{max} = 12,94 \text{ K.A}$$

$$I_{coup} = 5,94 \text{ K.A}$$



2.1.2 - AU PRIMAIRE DU
TRANSFORMATEUR B.T N° IV :

$$L_1 = 1,5 \text{ Km}$$

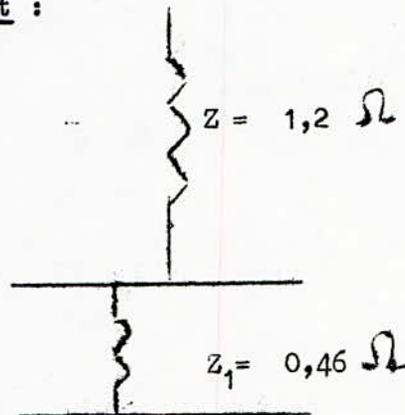
$$R_1 = 0,417 \ \Omega$$

$$X_1 = 0,195 \ \Omega$$

$$Z_1 = 0,46 \ \Omega$$

$$Z_{10} = 1,38 \ \Omega$$

Shéma équivalent :



L'impédance totale direct :

$$Z_d = 1,2 + 0,46 = 1,66 \ \Omega$$

L'impédance homopolaire :

$$Z_o = 1,38 + 0,86 = 2,24 \ \Omega$$

Court-circuit triphasé :

$$I_{pd} = \frac{1,1 \times 15}{\sqrt{3} \times 1,66} = 5,74 \text{ K.A}$$

$$I_p = 5,74 \text{ K.A}$$

$$\frac{R_{cc}}{X_{cc}} = \frac{0,417}{0,195 + 1,2} = 0,3$$

d'après la figure 3 on détermine $K_{max} = 1,4$

$$I_{max} = 11,4 \text{ K.A}$$

$$I_{coup} = 5,74 \text{ K.A}$$

Court-circuit monophasé :

$$I_{pd} = \frac{1,1 \times 15}{\sqrt{3} (2 \times 1,66 + 2,24)} = 1,71 \text{ K.A}$$

$$I_p = 3 \times 1,71 = 5,14 \text{ K.A}$$

$$I_{max} = 10,2 \text{ K.A}$$

$$I_{coup} = 5,14 \text{ K.A}$$

Réactances et capacités d'un

Fig 1 : cable à champ radial isolé au papier

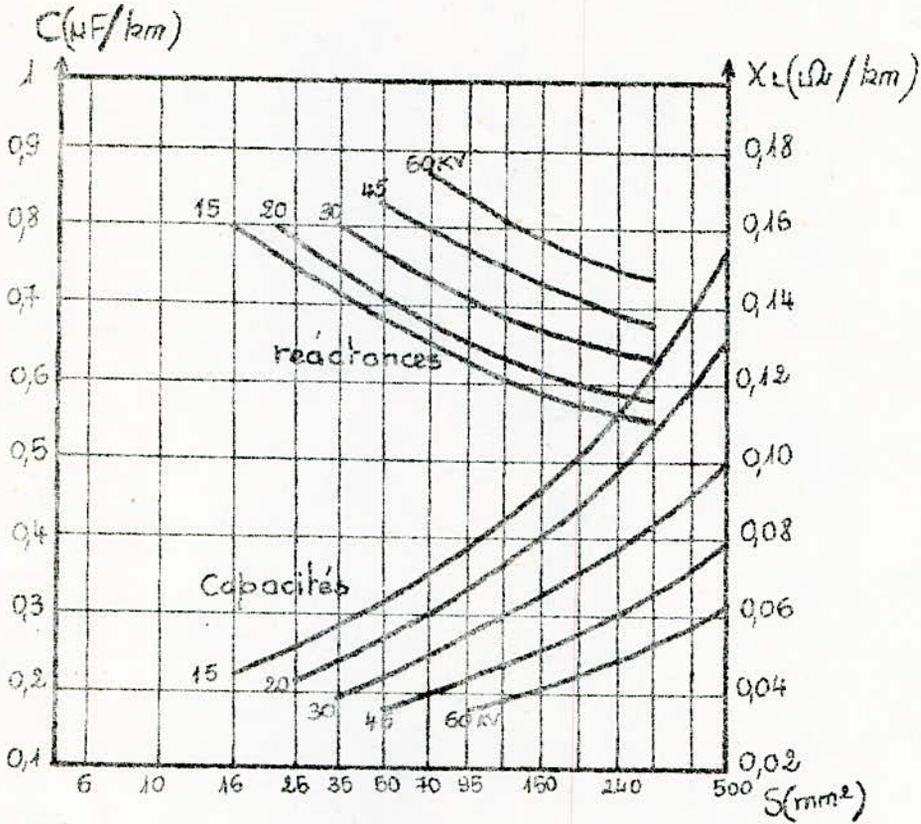


Fig 2 : $K_{coup} = f(t_{coup}, I_{pd} / \sum I_n)$

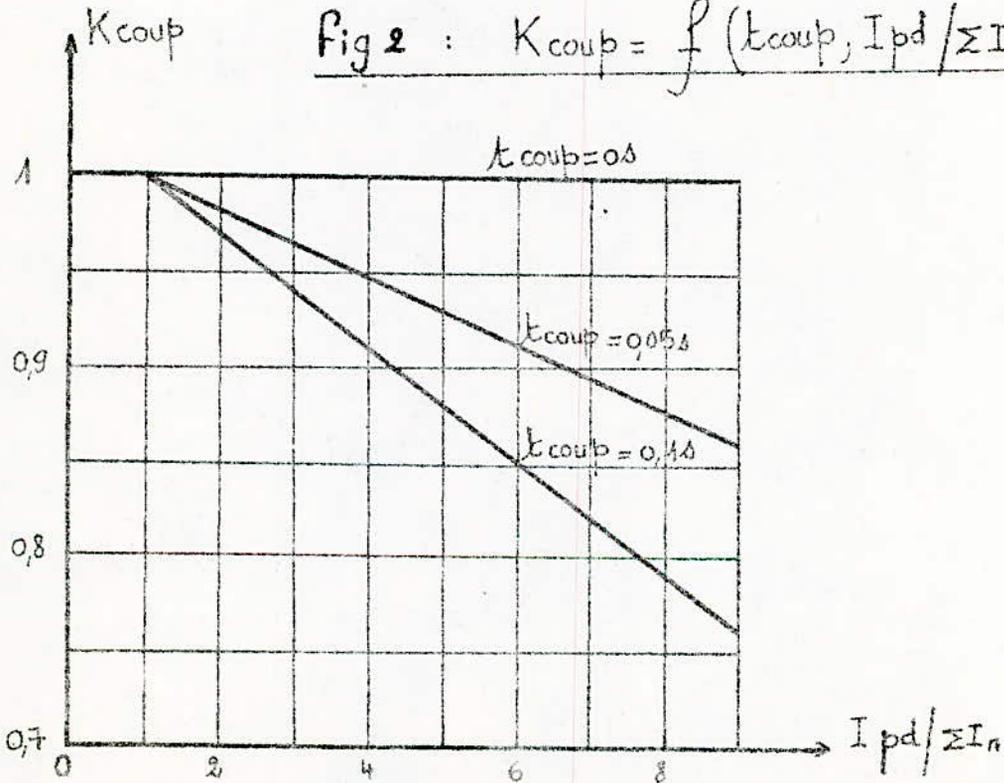
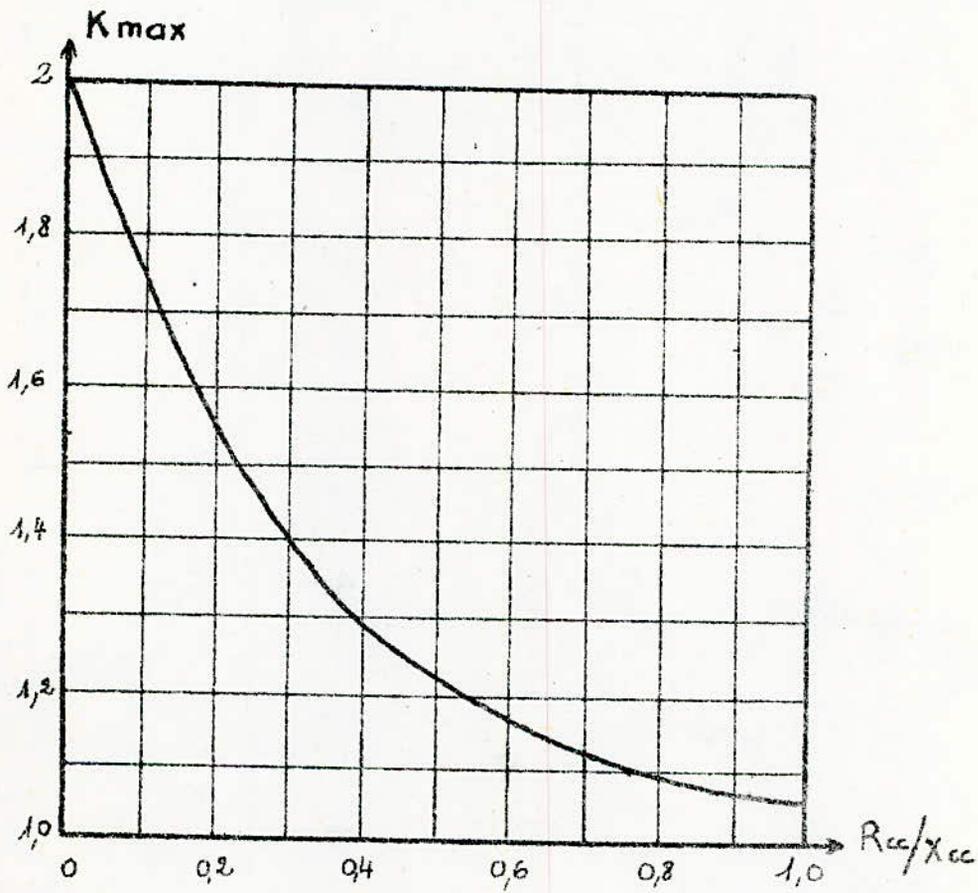


Fig 3: $K_{max} = f(R_{cc}/X_{cc})$



3 - VERIFICATION A L'ECHAUFFEMENT LORS D'UN COURT-CIRCUIT:

Pour un temps de coupure donné assez grand du disjoncteur, il faut que lors d'un court-circuit se produisant sur le cable, la température de l'ame du cuivre ne soit pas portée à une valeur dangereuse.

Pour cela on doit comparer le courant équivalent thermiquement au courant total admissible.

On a : $I_{\text{éq.th.}} = K_c \cdot I_p$

$I_{\text{éq.th.}}$ = courant équivalent thermiquement.

K_c = Constante qui dépend du temps de coupure du disjoncteur et de

$$\frac{I_p}{I_n}$$

I_n

I_p = Courant initial de court-circuit.

$I_n = \infty$ (on considère qu'on est alimenté d'un grand nombre de source)

$$\frac{I_p}{I_n} \approx 0$$

I_n

Sur le graphe $K_c = f(t, \frac{I_p}{I_n})$ on tire :

I_n

$$K_c = 1,1 \text{ pour } t = 0,25 \text{ s.}$$

Le courant admissible pendant 1 s. est donné par :

$$I_{\text{adm}} = J_{\text{adm}} \times S$$

J_{adm} = densité de courant admissible durant 1s (A/mm^2)

S = section du cable (mm^2)

Pour que la température de l'ame du cuivre ne soit pas portée à une valeur dangereuse il faut que :

$$I_{\text{adm}}^2 \times R \times 1 \gg I_{\text{éq.th.}}^2 \times R \times t$$

$t = 0,25 \text{ s}$ (temps de coupure du disjoncteur)

C'est à dire :

$$I_{\text{éq.th.}} \ll I_{\text{adm}} \sqrt{\frac{1}{t}}$$

D'après le tableau (15) on tire la température admissible lors d'un court-circuit pour le cable en papier imprégné 15 KV.

$$\theta_a = 170 \text{ }^\circ\text{C}$$

D'après le tableau (16) on tire la densité de courant admissible durant 1 S en fonction de la température admissible avant le court-circuit (θ) et de θ_a

$$\theta = 50^\circ\text{C}$$

$$J_{adm} = 132 \text{ A/mm}^2$$

On aura donc :

$$I_{adm} = 132 \times 70 = 9240 \text{ A}$$

$$I_{\text{éq.th.}} = K_c \cdot I_p$$

$$K_c = 1,1 \text{ pour } t = 0,25 \text{ S}$$

$$I_p = 7,94 \text{ K.A}$$

$$I_{\text{éq.th.}} = 8734 \text{ A}$$

$$I_{\text{éq.th.}} \leq I_{adm} \sqrt{\frac{1}{t}}$$

$$8734 \leq 9240 \sqrt{\frac{1}{0,25}}$$

$$8,73 \text{ KA} \leq 18,5 \text{ KA}$$

Donc la section du cable est suffisante à l'échauffement lors d'un court-circuit.-

Tableau 16

Température limite lors d'un court-circuit en fonction de la nature du conducteur

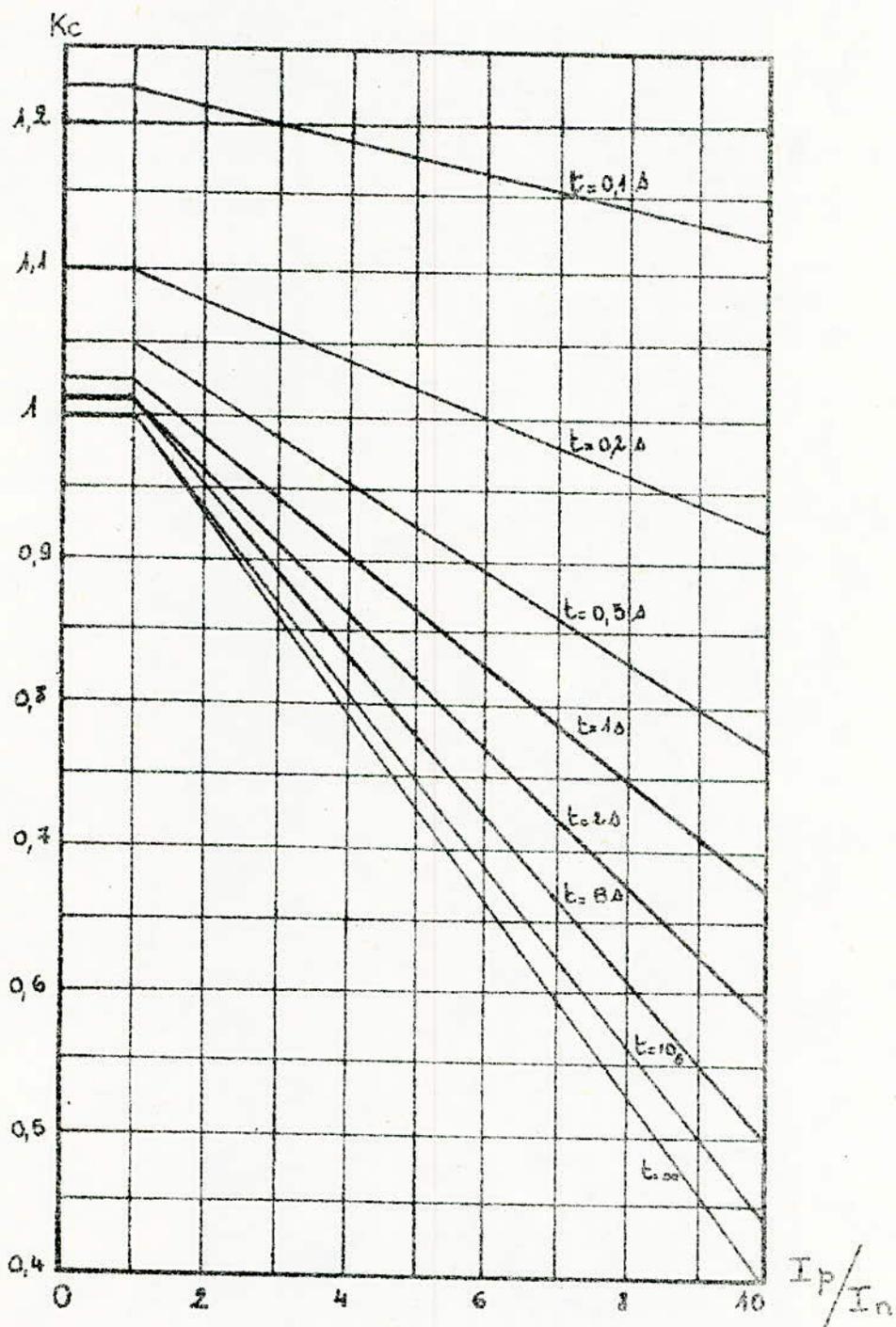
nature du conducteur	température limite (°C) lors d'un court-circuit
<i>Conducteur aérien</i>	
Cuivre	200
aluminium	150
Alliage d'aluminium	170
Aluminium - acier	200
Acier	250
<i>Cable au papier imprégné</i>	
jusqu'à 3 kv	200
" 6 kv	200
" 10 kv	200
" 15 kv	170
" 60 kv	150

Tableau 16

DENSITÉ ADMISSIBLE DES COURANTS DURANT UNE SECONDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'ÂME

température avant court-circuit (°C)	âme en cuivre.			
	température limite pendant le court-circuit (°C)			
	130	150	170	200
	Densité en A/mm ²			
5	144	153	161	173
10	141	150	158	170
15	137	146	155	167
20	133	143	152	164
25	130	140	149	161
30	126	136	145	158
35	122	135	142	155
40	118	129	139	152
45	114	125	135	149
50	110	122	132	146
55	106	118	129	143
60	103	115	126	140

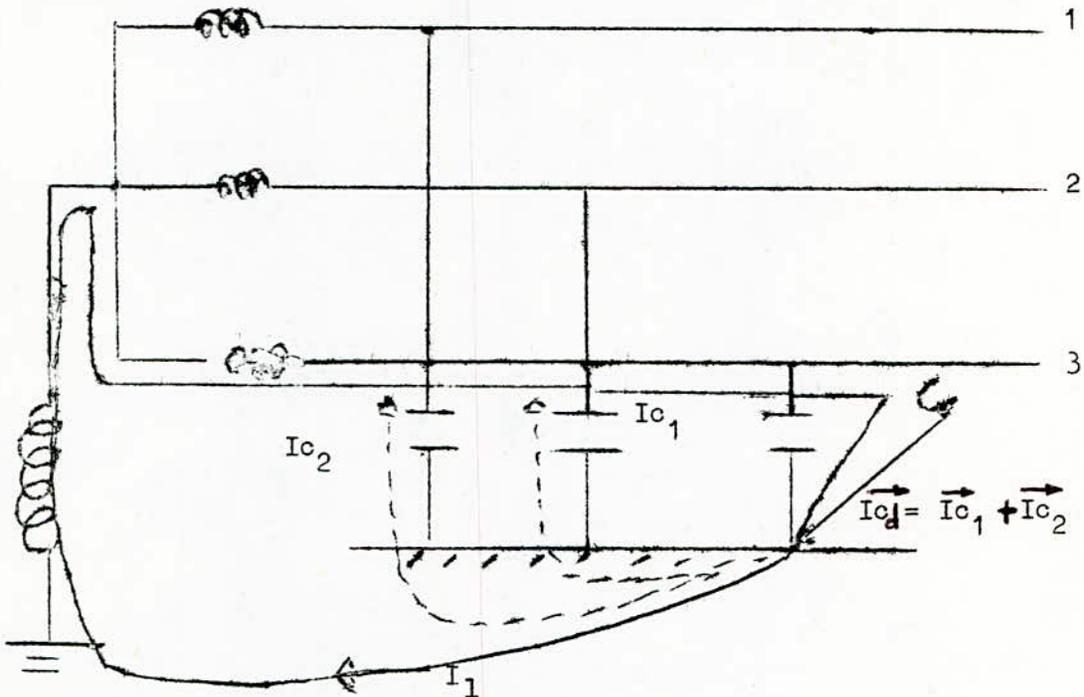
Fig 4: $K_c = f(t, I_p/I_n)$



4 - COMPENSATION :

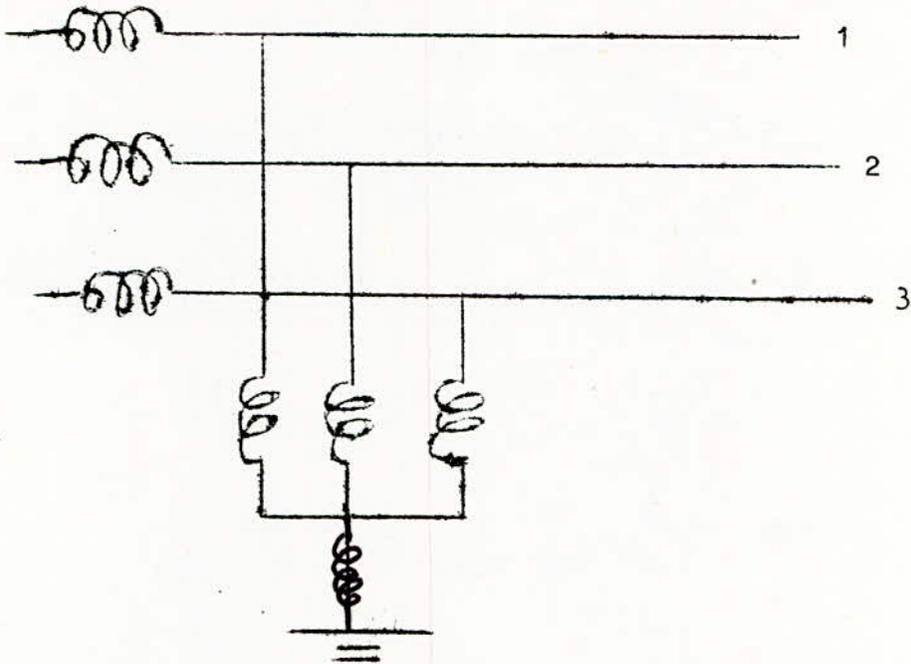
Le cable moyenne tension présente des capacités par rapport à la terre. Pour cela on doit compenser les courants capacitifs de court-circuits monophasés à l'aide de la bobine de Pertersen ou de Bauch.

Cas du neutre accessible :



Avec la mise à terre du neutre par la bobine de Pertersen on crée un courant inductif I_1 en sens inverse du courant capacitif de court-circuit et on arrive ainsi à l'extinction de l'arc de court-circuit.

Cas du neutre non accessible :



Dans le cas du neutre non accessible, on crée un neutre artificiel à l'aide de la bobine de Bauch.

3.1.- CALCUL DU COURANT CAPACITIF :

On a : $\vec{I}_{c_d} = \vec{I}_{c_1} + \vec{I}_{c_2}$

$$U \cdot \sqrt{3} = Z_c \cdot I_{c_d}$$

$$Z_c = \frac{1}{\epsilon \omega}$$

d'où : $I_{c_d} = \frac{\sqrt{3} U \epsilon \omega}{}$

D'après la figure n° 1 on détermine $C = 0,35 \text{ uF/Km}$.

la longueur du cable $L = 4 \text{ Km}$.

donc : $C = 1,4 \text{ uF}$

$$U = 15 \text{ K.V}$$

$$\omega = 2 \pi f = 100 \pi \text{ (} f = 50 \text{ Hz)}$$

$$I_{c_d} = \frac{\sqrt{3} \cdot 15 \cdot 10^3 \times 1,4 \cdot 10^{-6} \times 100 \pi}{}$$

$$I_{c_d} = 11,4 \text{ A} .$$

.....

d'où :

.....

$$I_{c_d} = 11,4 \text{ A} .$$

le courant capacitif n'est pas assez puissant pour entretenir l'arc de court-circuit, ce qui nécessite pas une compensation.

-oOo-

C O N C L U S I O N

G E N E R A L E

-oOo-

Cette étude n'est pas un projet technique où l'on analyse tous les détails rencontrés lors de l'étude d'une installation électrique, ce qui aurait pu faire l'objet d'un autre projet de fin d'étude.

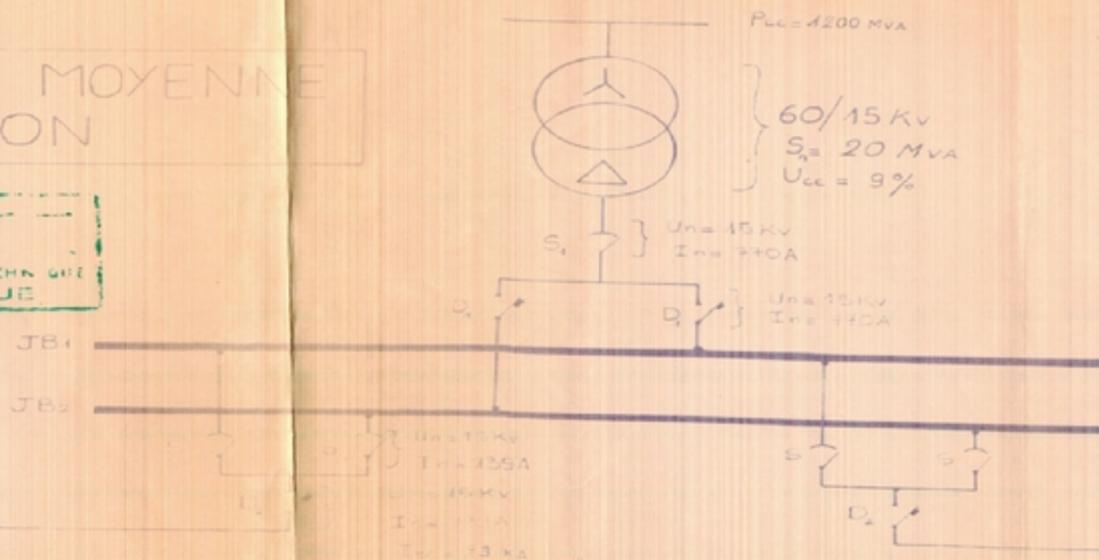
Le but de ce travail est un avant projet où on est censé faire une estimation des différentes charges de la cité tout en prévoyant l'augmentation future de consommation d'énergie électrique et en assurant une bonne continuité de service ($\frac{1}{3}$ de la charge est prévue dans le cas d'avarie).

Par manque de données économiques, notre étude a porté essentiellement sur l'analyse des critères du point de vue technique, à savoir : la fiabilité, la chute de tension, l'appareillage de protection.....

Cette présente étude nous a permis d'analyser les différents problèmes rencontrés lors de l'étude d'une installation électrique Haute Tension et Basse Tension et d'approfondir nos connaissances dans le domaine pratique pour une bonne réalisation d'une installation électrique.-

SCHEMA DU RESEAU MOYENNE TENSION

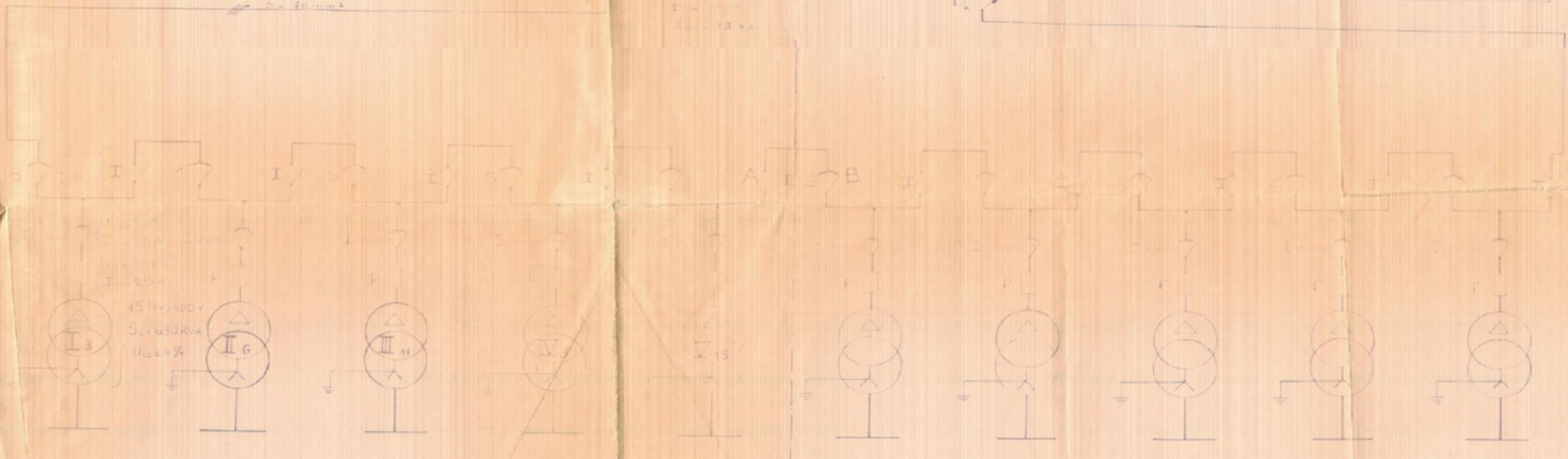
الجمهورية التونسية للعلوم والتقنية
 المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE



Légende

	Intersecteur sectionneur (Intersec)
	Coupe-circuit (F)
	Déjoncteur (D)
	Intersecteur (I)
	Sectionneur (S)

la boucle est ouverte aux points A et B en cas normal



CITE I

CITE II

VARIANTE A 6 POSTES

TABLEAU B₁: SECTIONS ET PROTECTION DES CONDUCTEURS

Liaisons	L (m)	I (A)	S (mm ²)	ΔU (%)	R _e (mΩ)	X _e (mΩ)	I _{cc} (KA)	I _{cc} tri (KA)	Dispositifs de Protection
I - Cage a ₁	65	132,7	70	/	35,1	16	3,7	3,4	C300 type 'a' 100A
I - Cage b ₁	85	148	50	1,2	45,3	17,6	3,2	4,4	R300 type 'a' 100A
I - Cage c ₁	30	132,5	70	0,48	14,6	13,2	3,2	1,95	C300 type 'a' 100A
I - Cage d ₁	20	132,2	70	/	7,7	13,4	3,5	1,5	C300 type 'a' 100A
I - Cage e ₁	35	142,4	70	/	12,5	13,6	3,2	1,45	C300 type 'a' 100A
I - Cage f ₁	60	142,4	70	1,14	25,4	16	3,4	3,2	C300 type 'a' 100A
II - Cage a ₂	30	142,4	70	/	32,4	13,8	3,4	1,3	F300 type 'a' 100A
II - Cage b ₂	30	142,4	70	/	22,7	13,2	3,1	1,45	F300 type 'a' 100A
II - Cage c ₂	37	142,4	70	/	24,3	13,2	3,1	1,75	F300 type 'a' 100A
II - Cage d ₂	55	142,4	70	/	29,2	13,2	3,1	3,1	F300 type 'a' 100A
II - Cage e ₂	60	142,4	70	/	19,7	13,2	3,1	3,3	F300 type 'a' 100A
II - Cage f ₂	15	142,4	70	1,61	31	16,8	3,4	3,6	F300 type 'a' 100A
II - Cage g ₂	50	142,4	70	/	23,2	13,2	3,2	3,3	F300 type 'a' 100A
II - Cage h ₂	80	142,4	70	/	64,7	17,2	1,7	3,4	F300 type 'a' 100A
II - Cage i ₂	30	142,4	70	/	11,2	13,2	3,2	1,4	F300 type 'a' 100A
II - Cage j ₂	40	142,4	70	/	14,4	13,2	3,2	1,7	F300 type 'a' 100A
II - Cage k ₂	35	142,4	70	/	17,8	13,6	3,2	1,4	F300 type 'a' 100A
II - Cage l ₂	60	142,4	70	/	19,8	13,6	3,2	1,3	F300 type 'a' 100A
II - Cage m ₂	60	142,4	70	/	24,2	13,6	3,2	1,3	F300 type 'a' 100A
II - Cage n ₂	90	142,4	70	1,14	37,3	13,8	3,1	2,3	F300 type 'a' 100A
III - Cage a ₃	20	142,4	70	/	10,8	12,4	6,6	13,3	C300 type 'a' 100A
III - Cage b ₃	35	142,4	70	/	13,2	12,4	6,2	12,2	C300 type 'a' 100A
III - Cage c ₃	30	142,4	70	/	10,0	12,4	6,4	1,2	F300 type 'a' 100A
III - Cage d ₃	40	142,4	70	/	13,2	12,4	6,2	1,3	F300 type 'a' 100A
III - Cage e ₃	50	142,4	70	/	17,2	12,4	6,0	3	C300 type 'a' 100A
III - Cage f ₃	75	142,4	70	1,22	32,3	13,3	3,3	6,1	C300 type 'a' 100A
III - Cage g ₃	50	142,4	70	/	14,2	12,2	6,2	3,1	C300 type 'a' 100A
III - Cage h ₃	85	142,4	70	1,34	34,8	13,6	3,2	3,3	C300 type 'a' 100A
IV - Cage a ₄	65	142,4	70	/	35,1	16	3,7	3,4	C300 type 'a' 100A
IV - Cage b ₄	30	142,4	70	1,30	44,7	13	3,3	5,6	C300 type 'a' 100A
IV - Cage c ₄	35	142,4	70	/	18,3	12,8	4,3	3,5	C300 type 'a' 100A
IV - Cage d ₄	50	142,4	70	/	38,6	14,8	3,6	5,3	C300 type 'a' 100A
IV - Cage e ₄	45	142,4	70	1,03	32,3	14,8	4,2	3,6	R300 type 'a' 100A
IV - Cage f ₄	90	142,4	70	/	34,4	13	4,4	5,6	C300 type 'a' 100A
V - Cage a ₅	125	142,4	70	3	102,2	20,8	2,4	11,2	C300 type 'a' 100A
V - Cage b ₅	30	142,4	70	/	24,4	12,8	3,3	1,3	R300 type 'a' 100A
V - Cage c ₅	30	142,4	70	/	23,2	12,8	3,2	1,3	R300 type 'a' 100A
V - Cage d ₅	45	142,4	70	/	29,1	11	3,3	1,3	R300 type 'a' 100A
V - Cage e ₅	80	142,4	70	1,17	44,7	12,7	3,2	3,4	R300 type 'a' 100A
V - Cage f ₅	55	142,4	70	/	31,2	11,8	3,2	3,2	C300 type 'a' 100A
V - Cage g ₅	40	142,4	70	1,4	34,8	13	3,6	3,3	R300 type 'a' 100A
V - Cage h ₅	45	142,4	70	/	43,6	11	2,4	4,3	F300 type 'a' 100A
V - Cage i ₅	40	142,4	70	/	31	12,4	1,3	3,6	F300 type 'a' 100A
V - Cage j ₅	12,5	142,4	70	2,83	133	23,2	0,3	1,6	F300 type 'a' 100A
V - ext-ext ₁	400	142,4	10	5,1	1000	19,4	0,1	0,2	F300 type 'a' 100A
V - ext-ext ₂	400	142,4	10	-	1000	19,4	0,1	0,2	F300 type 'a' 100A
V - Mogosin	60	142,4	70	1,1	34,8	11,2	1,3	3,3	F300 type 'a' 100A
V - Cage a ₁₀	60	142,4	70	/	38,1	13,6	3,3	4,3	C300 type 'a' 100A
V - Cage b ₁₀	85	142,4	70	1,46	34,8	13,6	3,2	3,3	C300 type 'a' 100A
V - Cage c ₁₀	20	142,4	70	/	10,8	12,4	6,6	13,3	C300 type 'a' 100A
V - Cage d ₁₀	35	142,4	70	/	13,2	12,4	6,2	12,2	C300 type 'a' 100A
V - Cage e ₁₀	50	142,4	70	/	17,2	12,4	6,0	13,3	C300 type 'a' 100A
V - Cage f ₁₀	100	142,4	70	3,02	64,7	13,8	1,7	3,4	F300 type 'a' 100A
V - Cage g ₁₀	30	142,4	70	0,48	14,6	13,2	3,2	1,95	C300 type 'a' 100A
Cage b ₁ -col	40	107,6	40	"	51,3	39,8	1,7	3,4	Resistor
Cage a ₂ -col	40	107,6	40	"	44,3	33	1,3	3,3	Resistor
Cage b ₂ -col	40	131,3	35	"	51	33,6	1,4	3,3	Resistor
Cage c ₂ -col	40	131,3	35	"	39,1	16,8	3,6	1,3	Resistor
Cage b ₂ -col	40	131,3	35	"	36,3	18,2	3,6	3,3	Resistor
Cage a ₂ -col	40	131,3	35	"	36,5	18,2	3,6	3,3	Resistor
Cage b ₂ -col	40	131,3	35	"	46	24,2	3,1	4,3	Resistor
Cage a ₂ -col	16	142,4	35	0,28	44,3	18,6	2,3	2,7	Resistor
Cage b ₂ -col	16	142,4	35	"	44,7	14,8	3,3	4,6	Resistor
Cage c ₂ -col	16	142,4	35	"	37,1	14,8	3,1	4,2	Resistor
Cage d ₂ -col	16	142,4	35	"	14,7	14,2	1,5	3	Resistor
Cage e ₂ -col	16	142,4	35	"	14,1	14,2	1,5	3,2	Resistor
Cage f ₂ -col	16	142,4	35	"	14,3	14,1	1,5	3,2	Resistor
Cage a ₃ -col	34	112,2	50	0,44	11,2	12,7	2	4	Resistor
Cage b ₃ -col	34	112,2	50	"	76,7	14,1	1,1	3,3	Resistor
Cage c ₃ -col	24	112,2	50	"	24,7	13,1	1,2	3,3	Resistor
Cage d ₃ -col	24	112,2	50	"	23,7	13,1	1,2	3,3	Resistor
Cage e ₃ -col	24	112,2	50	0,22	33,8	14,3	3,3	4,8	Resistor
Cage b ₃ -col	34	112,2	50	"	34,3	14,1	3,1	6,2	Resistor
Cage c ₃ -col	24	112,2	50	"	24,6	14,7	2	4	Resistor
Cage d ₃ -col	34	112,2	50	"	29,1	13,7	1,5	3	Resistor
Cage a ₃ -col	16	142,4	35	0,21	56,1	14,4	6,1	1,2	Resistor
Cage b ₃ -col	16	142,4	35	"	71,1	16,4	1,7	2,3	Resistor
Cage c ₃ -col	16	142,4	35	"	76,1	16,8	1,6	2,3	Resistor
Cage d ₃ -col	16	142,4	35	"	127,4	13,2	1,8	1,3	Resistor
Cage a ₄ -col	40	131,3	35	0,46	39,1	13	3,2	5,2	Resistor
Cage b ₄ -col	40	131,3	35	"	49,2	20,8	2,3	4,5	Resistor
Cage c ₄ -col	40	131,3	35	0,13	46,1	21,2	3,4	4,3	Resistor
Cage d ₄ -col	40	131,3	35	"	54,6	24	1,7	3,4	Resistor
Cage e ₄ -col	24	131,3	50	0,30	36,1	17,7	2,4	3,4	Resistor
Cage b ₄ -col	24	131,3	50	"	36,1	17,7	2,4	3,4	Resistor
Cage c ₄ -col	24	131,3	50	"	44,7	18,3	3,1	4,2	Resistor
Cage d ₄ -col	24	131,3	50	"	44,7	21,7	1,4	2,7	Resistor
Cage e ₄ -col	40	107,6	70	0,50	39,2	21	2,6	3,2	Resistor
Cage b ₄ -col	40	107,6	70	"	53,2	23,2	1,3	3,3	Resistor
Cage a ₅ -col	16	142,4	35	0,21	60,3	14,3	1,7	3,4	Resistor
Cage b ₅ -col	16	142,4	35	"	34,3	20,7	1,1	3,3	Resistor
Cage c ₅ -col	16	142,4	35	"	14,3	24,1	1,7	1,1	Resistor
Cage d ₅ -col	40	131,3	35	0,46	34,5	14,3	3,3	5,6	Resistor
Cage b ₅ -col	40	131,3	35	"	44,2	20,8	2,3	4,5	Resistor
Cage a ₆ -col	24	112,2	50	0,33	33,8	14,3	3,3	1,3	Resistor
Cage b ₆ -col	24	112,2	50	"	40	15,5	2,6	5,3	Resistor
Cage c ₆ -col	24	112,2	50	"	57,2	13,1	1,7	3,3	Resistor
Cage d ₆ -col	24	112,2	50	"	39,1	20,1	1,2	3,4	Resistor
Busbar-col	12	142,4	35	0,30	18,3	13,8	1,5	3,3	Resistor
Busbar-col	30	142,4	35	0,74	30,4	17,2	3,2	6,3	Resistor

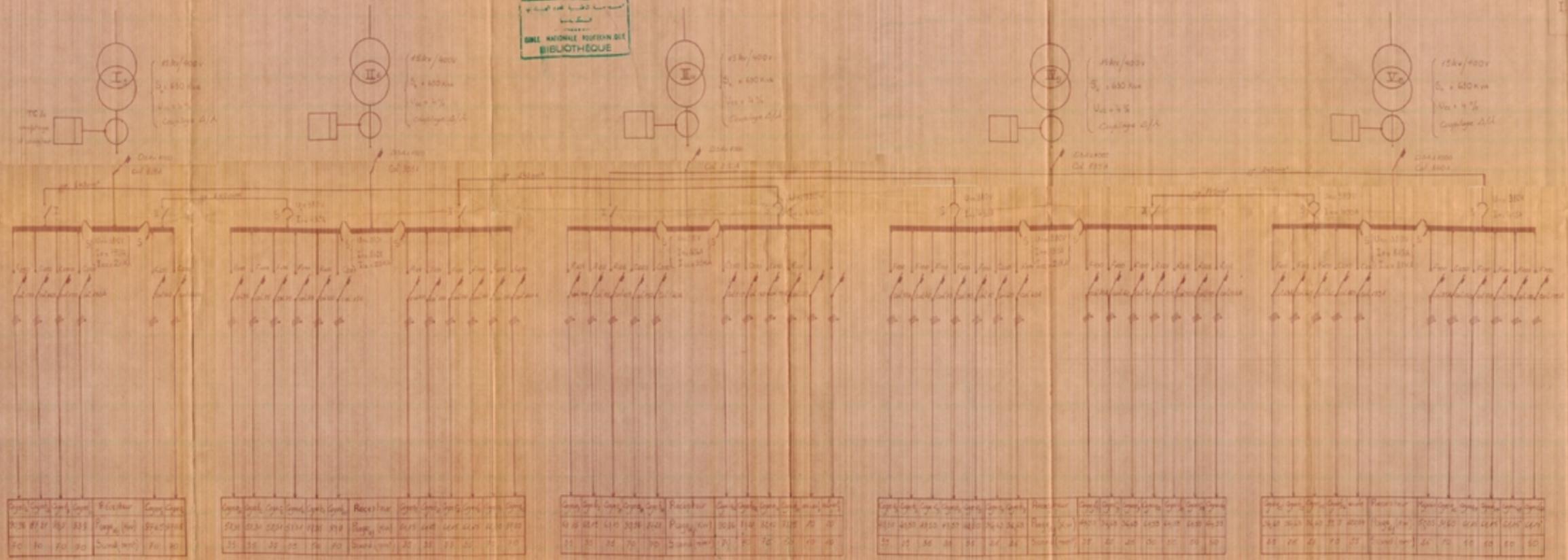
TABLEAU B₂: SECTION DES CONDUCTEURS DE LIAISON ENTRE POSTES EN CAS D'AVARIE

Liaisons	L (m)	I (A)	S (mm ²)	ΔU (%)
I - III	120	403	240	1,72
I - IV	140	350,8	150	3,76
II - II	135	350,6	150	3,76
II - V	110	314,3	185	3,3
III - IV	120	366,4	165	2,12
III - VI	260	322	220	3,23
V - VI	130	333,2	150	3,47

LÉGENDE

I - Cage d_j - Liaison entre poste numéro I et cage d'indice j
 d - Bâtiment ou bâtiment d'indice j
 Cage d_j-col - Liaison entre cage d_j et colonne correspondante

SCHEMA DU RESEAU BASSE TENSION VARIANTE A 5 POSTES



Légende

	Disjoncteur (DI)
	Secteur (S)
	Interrupteur (I)
I_{15}	Perte réseau I sur dans le bâtiment numéro 15

101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140

151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190

201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240

251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290

301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340

VARIANTE A5 POSTES

TAB. LEAU 1, SECTIONS ET PROTECTION DES CONDUCTEURS

Liaisons	L (m)	I (A)	S (mm ²)	ΔU (%)	Rt (mΩ)	Xt (mΩ)	Ic (kA)	Ia (kA)	Dispositifs de Protection
I - Cage a0	55	131,2	40	/	21,8	1,2	4,2	3,4	Casse-cable à 100kV
I - Cage b0	75	133,5	70	1,8	31,9	1,7	3,3	6,4	Casse-cable à 100kV
I - Cage c0	20	129,4	70	/	41	12,9	1,5	1,3	Casse-cable à 100kV
I - Cage b1	30	144,7	70	2,36	16,6	13,6	6,6	14,3	Casse-cable à 100kV
I - Cage c1	55	148,9	70	/	14,2	15,2	4,3	3,4	Casse-cable à 100kV
I - Cage b1	30	144,7	70	1,01	30,3	14,2	3,4	6,4	Casse-cable à 100kV
II - Cage a1	35	144,5	70	/	32,9	17,6	3,3	3,4	Casse-cable à 100kV
II - Cage b1	110	144	60	2,2	14,4	14,2	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
II - Cage c1	35	144,5	35	/	1,4	1,4	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
I - Cage a2	50	135	35	/	1,4	1,4	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
I - Cage a2	75	135,5	35	1,6	11,8	1,2	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
II - Cage a2	30	144,9	35	/	24,1	13,2	1,1	1,1	Résistance à 100kV
II - Cage b2	60	144,9	35	/	42,2	12,2	2,2	4,2	Casse-cable à 100kV
II - Cage c2	75	144,9	35	/	51,3	1,2	1,1	3,6	Casse-cable à 100kV
II - Cage d2	85	144,9	35	1,9	15,6	1,2	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
II - Cage e2	95	144,9	70	/	33,4	11,2	3,6	3,3	Casse-cable à 100kV
II - Cage f2	110	144,9	70	1,9	42,4	11,2	3,3	6,3	Casse-cable à 100kV
II - Cage g2	65	144,9	35	/	50,1	1,2	2,1	1,1	Résistance à 100kV
III - Cage a3	35	144,9	35	/	22	1,2	1,1	1,1	Résistance à 100kV
III - Cage b3	110	144,9	35	2,34	11,1	11,1	1,1	3,3	Casse-cable à 100kV
III - Cage c3	15	144,9	70	/	5,3	1,2	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
III - Cage d3	35	144,9	70	3,06	11,1	1,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
III - Cage e3	45	144,9	40	/	11,1	1,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
III - Cage f3	110	144,9	70	1,9	42,4	11,1	3,3	6,3	Casse-cable à 100kV
III - Cage g3	30	144,9	35	1,4	11,1	1,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
III - ext. ext1	400	13,6	10	6,1	1010	488	3,1	3,2	Fusee à 20kV
III - ext. ext2	400	13,6	10	-	1030	488	3,1	3,2	Fusee à 20kV
IV - Cage a4	65	66,1	35	/	42,4	15,3	3,4	4,2	Casse-cable à 100kV
IV - Cage b4	75	66,1	35	/	52,6	16,2	1,6	3,2	Casse-cable à 100kV
IV - Cage c4	85	66,1	35	/	62,8	17,2	1,6	3,2	Casse-cable à 100kV
IV - Cage d4	90	66,1	35	/	69,4	1,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
IV - Cage e4	115	66,1	35	1,82	11,1	1,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
IV - Cage f4	20	66,1	50	/	10,1	12,4	6,1	18,3	Casse-cable à 100kV
IV - Cage g4	30	66,1	50	/	38,4	14,2	3,1	4,2	Casse-cable à 100kV
IV - Cage h4	35	66,1	35	/	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
IV - Cage i4	40	66,1	35	/	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
IV - Cage j4	80	66,1	70	/	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
IV - Cage k4	155	66,1	50	/	52,7	11,1	1,1	3,1	Résistance à 100kV
IV - Cage l4	110	66,1	50	/	63,4	11,1	1,1	3,1	Résistance à 100kV
IV - Cage m4	120	66,1	50	1,38	64,8	10,4	1,1	3,2	Résistance à 100kV
V - Cage a5	30	55,7	35	/	42,4	13,2	3,1	6,3	Fusee à 60kV
V - Cage b5	35	55,7	35	/	57,2	13,2	2,1	3,5	Fusee à 60kV
V - Cage c5	45	55,7	35	1,33	40,2	1,1	1,1	3	Fusee à 60kV
V - Cage d5	110	148,4	70	/	42,4	19,6	4,5	6,7	Casse-cable à 100kV
V - Cage e5	135	148,4	70	4,38	54,1	21,6	1,1	3,8	Casse-cable à 100kV
V - Cage f5	100	92,9	50	/	5,4	11,1	1,1	3,1	Fusee à 60kV
V - Cage g5	135	92,9	50	/	63,5	20,8	1,1	3,4	Fusee à 60kV
V - Cage h5	120	92,9	50	/	72,9	21,6	1,1	3,1	Fusee à 60kV
V - Cage i5	155	92,9	50	4,11	14,1	21,6	1,1	3,3	Fusee à 60kV
V - Cage j5	60	161	35	1,34	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage k5	80	161	35	1,81	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage l5	110	161	35	2,46	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage m5	140	161	35	3,24	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage n5	170	161	35	4,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage o5	200	161	35	5,44	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage p5	230	161	35	6,87	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage q5	260	161	35	8,52	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage r5	290	161	35	10,39	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage s5	320	161	35	12,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage t5	350	161	35	14,79	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage u5	380	161	35	18,32	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage v5	410	161	35	22,07	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage w5	440	161	35	26,04	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage x5	470	161	35	30,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage y5	500	161	35	34,64	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage z5	530	161	35	39,27	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage aa5	560	161	35	44,12	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ab5	590	161	35	49,19	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ac5	620	161	35	54,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ad5	650	161	35	59,99	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ae5	680	161	35	65,72	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage af5	710	161	35	71,67	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ag5	740	161	35	77,84	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ah5	770	161	35	84,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ai5	800	161	35	90,84	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage aj5	830	161	35	97,67	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ak5	860	161	35	104,72	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage al5	890	161	35	111,99	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage am5	920	161	35	119,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage an5	950	161	35	127,19	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ao5	980	161	35	135,12	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ap5	1010	161	35	143,27	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage aq5	1040	161	35	151,64	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ar5	1070	161	35	160,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage as5	1100	161	35	169,04	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage at5	1130	161	35	178,07	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage au5	1160	161	35	187,32	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage av5	1190	161	35	196,79	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage aw5	1220	161	35	206,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ax5	1250	161	35	216,39	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ay5	1280	161	35	226,52	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage az5	1310	161	35	236,87	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ba5	1340	161	35	247,44	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bb5	1370	161	35	258,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bc5	1400	161	35	269,24	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bd5	1430	161	35	280,47	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage be5	1460	161	35	291,92	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bf5	1490	161	35	303,59	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bg5	1520	161	35	315,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bh5	1550	161	35	327,59	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bi5	1580	161	35	339,92	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bj5	1610	161	35	352,47	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bk5	1640	161	35	365,24	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bl5	1670	161	35	378,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bm5	1700	161	35	391,44	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bn5	1730	161	35	404,87	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bo5	1760	161	35	418,52	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bp5	1790	161	35	432,39	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bq5	1820	161	35	446,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage br5	1850	161	35	460,79	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bs5	1880	161	35	475,32	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bt5	1910	161	35	490,07	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bu5	1940	161	35	505,04	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bv5	1970	161	35	520,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bw5	2000	161	35	535,64	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bx5	2030	161	35	551,27	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage by5	2060	161	35	567,12	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage bz5	2090	161	35	583,19	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ca5	2120	161	35	599,48	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage cb5	2150	161	35	615,99	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage cc5	2180	161	35	632,72	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage cd5	2210	161	35	649,67	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ce5	2240	161	35	666,84	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage cf5	2270	161	35	684,23	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage cg5	2300	161	35	701,84	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ch5	2330	161	35	719,67	11,1	11,1	1,1	1,1	Casse-cable à 100kV
V - Cage ci5	2360	161	35	737,72	11,1				