

Ecole Polytechnique de Thies

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

Titre : CONCEPTION D'UN POSTE D'ARRIVÉE
D'UNE CAPACITÉ DE 100MVA ET
D'UN POSTE DE TRANSFORMATION

Auteur : Badou SISSOKO

Spécialité : Mécanique

Année : Juin 1980

je dédie cette étude

A mes chers parents

A monsieur et madame GUINDO

A tous mes frères et sœurs

A mes amis

. El Radj Malick MBAYE

. Mamadou Amar NDIAYE

A mes neveux

. Abdoulaye CISSE

. Houramet CISSE

A monsieur Mamadou Lamine NDIONGUE

A tous mes professeurs

monsieur GAGNE en particulier

Enfin à tous ceux qui me sont chers

REMERCIEMENTS

Nous présentons ici nos sincères remerciements à Monsieur Harvey GAGNE d'avoir bien voulu dirigé cette étude et de son entière disponibilité

Aux Messieurs Alioune DIOUF et Cheikhou CISSE Tous deux Ingénieurs en Génie Electrique respectivement à la SO. COEIM (société ouest africaine du ciment) et à la SENELEC (société sénégalaise de distribution d'énergie électrique) nous prions de bien recevoir l'expression de notre profonde gratitude.

SOMMAIRE De L'OUVRAGE

Réalisation du cahier de charge d'un poste d'arrivée d'une capacité d'environ 100 MVA et d'un poste de transformation en tenant compte

- des contraintes imposées par la SENELEC
- des besoins de l'usine SOCOIM prise comme modèle

L'ouvrage comprendra

- Etude des protections primaires, secondaires, contre les surtensions à fréquence industrielle et d'origine atmosphérique
- Etude des éléments de sécurité
- Comptage
- Description détaillée du matériel électrique utilisé
- Eléments de génie-civil requis
- Test de mise en service
- Cédula d'entretien
- Evaluation financière
- Des Plans
 - i Schémas unifilaire
 - ii Plan de mise à la terre
 - iii Plan des bâtiments

TABLE DES MATIERES

	pages
chapitre I	
INTRODUCTION	1
Symboles utilisés	3
Notations	4
 chapitre II	
DEVIS	6
 chapitre III	
TEST De MISE En SERVICE	12
 chapitre IV	
CEDULE D'ENTRETIEN	13
 chapitre V	
COMPTAGE	15
 chapitre VI	
PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS	

	pages
A Nature de la surtension	16
B Durée de propagation	17
C Vitesse de déplacement	17
D Fonctionnement d'un para foudre	18
E Dimensionnement d'un para foudre	20

chapitre VII

DIMENSIONNEMENT Des TRANSFORMATEURS

A Transformateurs T_1 et T_2	21
B Tableau récapitulatif des différents transformateurs de la sococim	23

chapitre VIII

DETERMINATION Du CALIBRE Des CABLES

24

chapitre IX

DETERMINATION Des IM- PEDANCES Des CABLES

	pages
chapitre <u>X</u>	
CALCUL Des IMPEDANCES Par UNITES Des TRANSFOR- MATEURS , MOTEURS , CABLES	39

chapitre <u>XI</u>	
DIMENSIONNEMENT Des Di- JONCTEURS et FUSIBLES	50

chapitre <u>XII</u>	
FACTEUR De PUISSANCE	71

chapitre <u>XIII</u>	
MISE a La TERRE	
A: Généralités	78
B Mise à la terre par tiges	81
D Détermination de la résistance de mise à la terre	83

chapitre <u>XIV</u>	
CONCLUSION	85

pages

ANNEXE

DESCRIPTION Des TESTS REQUIS

A	Rupture du diélectrique	88
B	Neutralisation	89
C	Tension de surface	89
D	Couleur	89
E	Tableau récapitulatif des différents états de l'huile des transformateurs en fonction des paramètres N.N et I.F.T	90

TABLEAU Des CONDUCTEURS

De MISE à La TERRE	91
--------------------	----

INTRODUCTION

L'une des énergies les plus utilisées aujourd'hui dans le monde est l'énergie électrique, elle est produite à partir des centrales que l'on peut classer actuellement en quatre catégories

- centrale hydro-électrique
- centrale thermo-électrique
- centrale marémotrice
- centrale atomique.

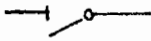

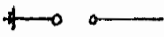
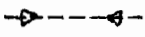




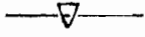


Ces dernières transforment l'énergie motrice, hydraulique, thermique, ou atomique qu'elles reçoivent en énergie électrique

Le SENEGAL compte actuellement deux grandes centrales thermo-électrique à turbo-alternateur à ces deux s'ajoutent des centrales à moteur-diesel

À la sortie des transformateurs des deux grandes centra. le courant électrique à haute tension 90 KV est dirigé sur un poste d'interconnexion. De ce poste d'interconnexion muni de transformateur abaisseur de tension partent des lignes de 90 KV et de 30 KV. Les lignes de 30 KV alimentent les postes de distribution, l'énergie électrique arrivera aux consommateurs en haute tension 90 KV (Taïba, exploitation minière) ou à partir des postes de distribution d'où la tension 30KV sera abaissée ou transmise directement.

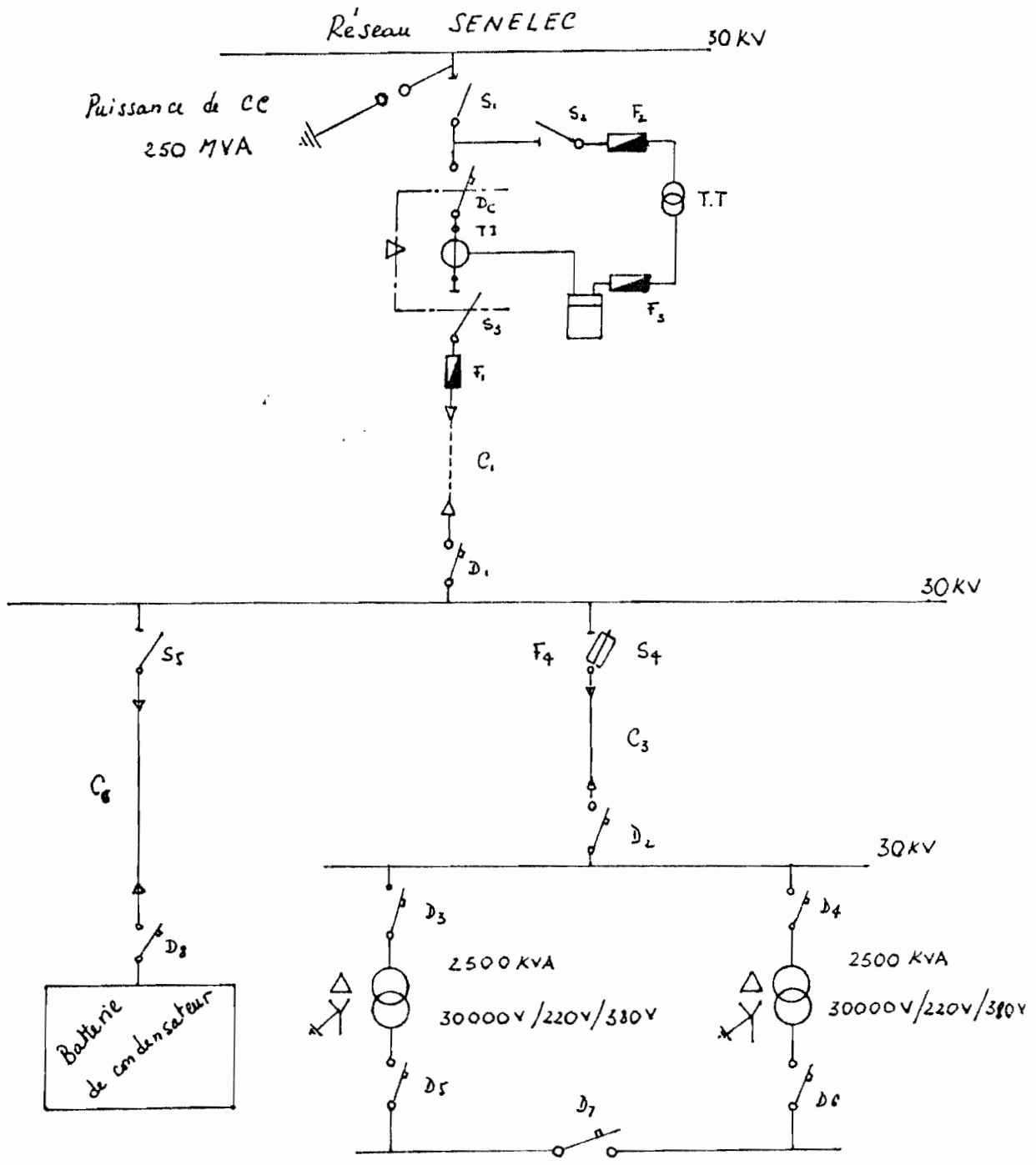
L'étude que nous allons faire va du poste de distribution à un poste de transformation de la SOCOIM et consiste à concevoir compte tenu des besoins de l'usine et des normes à respecter un poste de distribution et un poste de transformation répondant aux lois et règlements en vigueur

SYMBOLES UTILISES

<u>Symboles</u>	<u>Description</u>
	Sectionneur
	Disjoncteur
	Parafoudre
	Cable
	Tete de cable
	Fusible
	Transformateur
	Transformateur de courant
	Verrouillage
	Compteur
	Transformateur

NOTATIONS

A	Ampère-mètre	X	Réactance
B	Barre	X'	Réactance transitoire
C	Cable	X''	Réactance sous transitoire
D	Dijoncteur	WR	Watt-heure-mètre
F	Fusible	Z	Impédance
I _{ass}	Courant asymétrique	Z _c	Impédance p.u. Cable
I _e	Courant de coupure	Z _T	Impédance p.u. Transformateur
R	Résistance	Z _{M_T}	Impédance p.u. équivalentes des moteurs connectés au T
S	Sectionneur	Z _s	Impédance p.u. source
T	Transformateur	Ω _B	Ohm de Base
TI	Transformateur de courant	p.u.	Par unité
VAR.H	Var-heure-mètre		



Poste d'arrivée et de Transformation

Par: Badou Sissoko - 25.04.1980

DEVIS

Eléments	Caractéristiques	Nbre	Coût unitaire [F]	Coût cumulatif [F]
<u>Transformateurs</u>				
T	Puissance : 2,5 MVA Tension : 30.000V/220V/380V Impédance : 6,5% Connexion : Δ Y ₄	2	5.000.000 F	10.000.000 F
T.T	Puissance : 1,5 KVA Tension : 30000V/150V Courant secondaire 5Amp	1	1.500.000 F	1.500.000 F
TI	Transformation : 200A/5A Tension : 30.000V	1	1.000.000 F	1.000.000 F
<u>Cables</u>				
C ₁	Câble au butyle, 3âmes Longueur : 50 m Section : 95 mm ² Tension : 30.000V Impédance : 0,015 Ω	1	15000 ^F /m	750.000 F
			Total	13.250.000 F

			Report	13.250.000
C ₃	Câble au butyle, 3 âmes Longueur : 5 m Section : 25 mm ² Tension : 30.000 V Impédance : $5,31 \times 10^{-3} \Omega$	1	5000 F/m	25.000 F
C _c	Câble au butyle, 3 âmes Longueur : 5 m Section : 50 mm ² Tension : 30.000 V Impédance :	1	10 000 F/m	50.000 F
<u>Dijoncteurs</u>				
D ₁ et D ₂	I nominal : 195 Amp I asymétrique : 7700 Amp I coupure : 7700 Amp Tension : 30.000 V Type : à huile	2	1.500.000 F	3.000.000 F
			Total	16.325 000 F

			Report	46.825.000 F
D ₂	I nominal : 77 Amp			
	I asymétrique : 8450 Amp			
	I coupure : 5750 A	1	1.500.000 F	1.500.000 F
	Tension : 30.000 V			
	Type : à huile			
D ₃ et D ₄	I nominal : 40 Amp			
	I asymétrique : 8700 Amp			
	I coupure : 6100 Amp	2	1.500.000 F	3.000.000 F
	Tension : 30 000 V			
	Type : à huile			
D ₅ , D ₆ et D ₇	I nominal : 3800 Amp			
	I asymétriques : 82.400 Amp			
	I coupure : 52 300 Amp	3	2.000.000 F	6.000.000 F
	Tension : 380 V			
	Type : à huile			
			Total	26.825.000 F

			Report	28.825 000 F	
<u>Sectionneurs</u>	D ₁	Inominal : 205 Amp I asymétrique : 8890 Amp I coupure : 6720 Amp Tension : 30.000 V Type : à huile	1	1.500.000 F	1.500.000 F
	S ₁ , S ₂ et S ₃	Inominal : 195 Amp I asymétrique : 7700 Amp Tension : 30.000 V	3	1.000.000 F	3.000.000 F
	S ₄	Inominal : 77 Amp I asymétrique : 8500 Amp Tension : 30.000 V	1	1.000.000 F	1.000.000 F
	S ₅	Inominal : 204 Amp I asymétrique : 8890 Amp Tension : 30.000 V	1	1.000.000 F	1.000.000 F
				Total	33.325.000 F

			Report	33.325.000 F
<u>Fusibles</u>				
$F_1, F_2 \text{ et } F_3$	Inominal : 195 Amp I asymétrique : 7700 Amp Tension : 30.000 V	3	100.000 F	300.000 F
F_4	Inominal : 77 Amp I asymétrique : 8500 Amp Tension : 30.000 V	1	100.000 F	100.000 F
<u>Comptage</u>				
Wh	Watt heure metre Tension : 30.000 V	1	1.200.000 F	1.200.000 F
VARR	Var heure metre Tension : 30.000 V	1	1.200.000 F	1.200.000 F
^	Ampere metre Tension : 30.000 V	1	100.000 F	100.000 F
			Total	36.225.000 F

			Report	36.225.000 F
<u>batterie</u> <u>condensateurs</u>	Q = 4650 KVAR Tension 30.000 KV	-1	4.000.000	4.000.000
para foudre	BIL : 80.000 V Tension : 30.000 V	-1	1.500.000	1.500.000
			TOTAL	44.725.000 F

Note : Se référer au schéma unifilaire N° I
les coûts sont en francs C.F.A

TESTS De MISE En SERVICE

Tests et vérifications sont effectués avant la mise en service des installations en vue de s'assurer de la conformité des équipements à certaines normes. Ceux-ci comportent notamment

- Vérification de la résistance de mise à la terre
 - Contrôle de l'isolement des équipements haute tension
 - Vérification calibre fusible, réglage disjoncteur, relais et déclencheur
 - Equipements haute tension (non compris transformateurs) doivent être soumis à fréquence industrielle pendant une minute à un tension normalisée
 - Vérification de l'intensité du courant de sortie des transformateurs de courant
 - Vérification de la tension de sortie des transformateurs en vue d'un réglage éventuel
 - Vérification des caractéristiques de l'huile des transformateurs
 - Rigidité diélectrique
 - Acidité de l'huile etc.
 - Vérification des circuits de contrôle et de protection
 - Vérification et inspection des serrures de sécurité
- Note: Les instructions des fabricants des différents éléments doivent être respectés

CEDULE D'ENTRETIEN

Un entretien périodique des équipements électriques est nécessaire, un niveau de stock minimum de certains éléments est à respecter.

Au cours de l'entretien les caractéristiques de l'huile des transformateurs doivent être relevées et conservées en vue d'avoir des données statistiques sur la vie de ces derniers

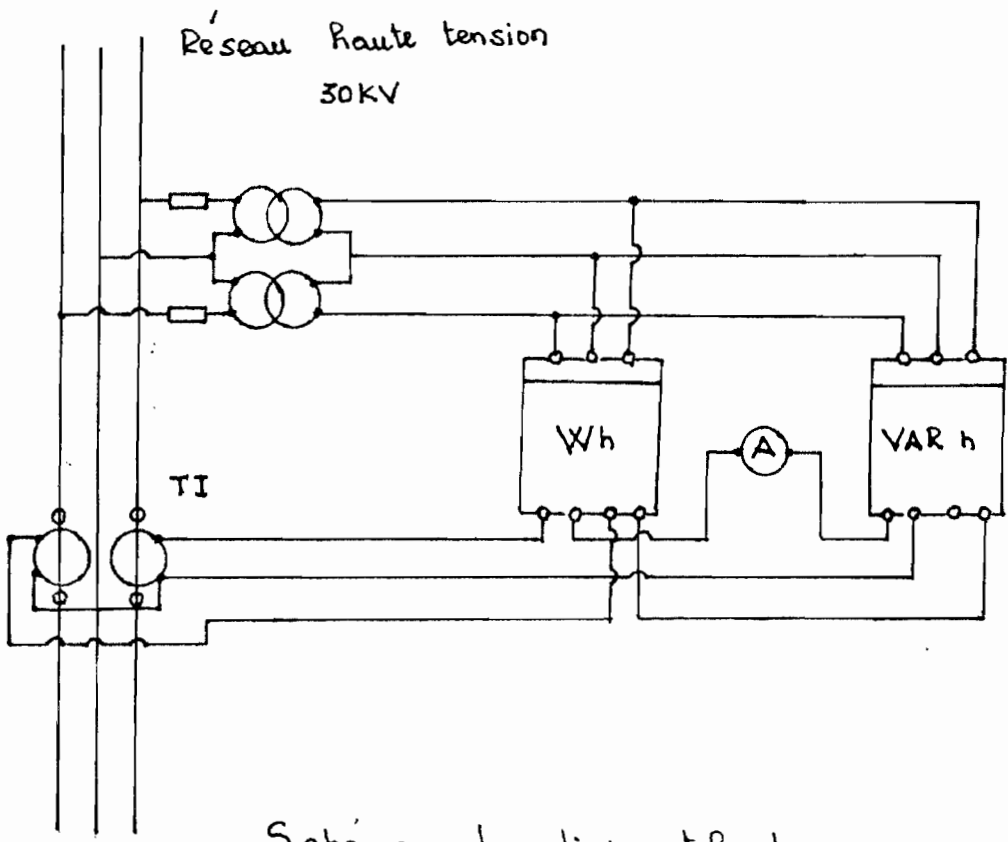
a) Entretien

- changer les fusibles F. après court-circuit provenant du réseau
 - changer toute série de fusibles F en cas de fonte d'un ou plusieurs éléments
 - Vérifier périodiquement à chaque fois que l'occasion se présente si les disjoncteurs fonctionnent normalement (pas de résistance à l'ouverture) vérifier conformément aux indications du fabricant
 - Vérifier chaque année l'huile des transformateurs (voir Annexe)
- Test requis pour l'huile des transformateurs
- 1° Rupture diélectrique
 - 2° Neutralisation
 - 3° Tension de surface etc..

- Vérifier l'huile des disjoncteurs conformément aux indications des fabricants et aux règles en vigueur
 - Vérifier chaque année les équipements de protection des transformateurs suivants
 - relais thermique
 - jauge de pression
 - jauge d'huile
 - Vérifier la mise à la terre
 - Vérifier et nettoyer les isolateurs
 - Vérifier les serrures de sécurité
 - Vérifier et serrer les connexions
- b) Stock requis

Se référer aux indications des différents fabricants du matériel électrique installé

COMPTAGE



Schema du dispositif de comptage

- Note :
- Wh : compteur d'énergie active (watt heure mètre)
 - VAR h : compteur d'énergie réactive (var heure mètre)
 - A : Ampere mètre

PROTECTION Des SYSTEMES De PUISSANCE CONTRE LES SURTENSIONS D'ORIGINE ATMOSPHERIQUE

Les plus importantes surtensions auxquelles les systèmes de puissance sont assujettis sont celles causées par la foudre. Limiter ces surtensions à l'aide d'éléments de protection adéquats est nécessaire si l'on veut éviter des dommages.

A) Nature de la surtension

La foudre par rapport à la terre représente une décharge d'un condensateur fortement chargé.

La charge initiale est estimée à 1 milliard de volts et le courant de décharge à 200.000 Amperes.

Forme de l'onde

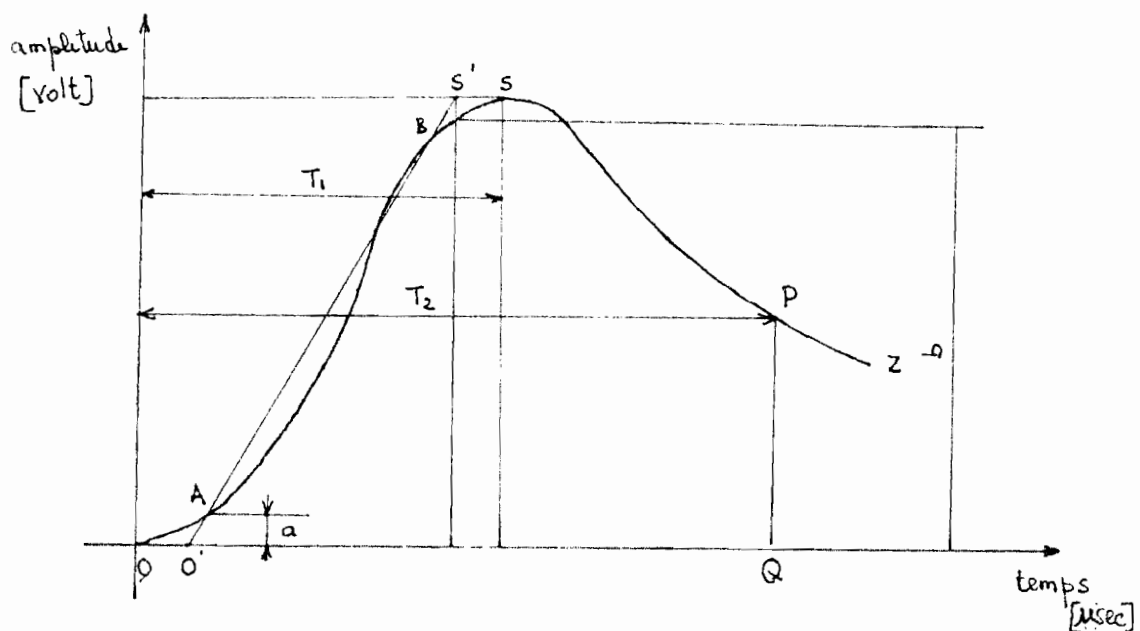


fig ① Forme d'onde propagée sur une ligne de transmission par la foudre

$$a = \frac{1}{10} \text{ u crête}$$

$$b = \frac{9}{10} \text{ u crête}$$

$$QP = \frac{1}{2} \text{ u crête}$$

OS = Front d'onde

SZ = Queue d'onde

OM' = Durée conventionnelle du front d'onde

O'A = Durée conventionnelle de la demi amplitude

OM = T = Durée du front d'onde

B) Durée de Propagation

Bien que la surtension causée par la foudre soit élevée, sa durée est très courte, elle est mesurée en micro-seconde. La tension atteint son maximum entre 1 et 10 μsec et décroît lentement pour atteindre 50% de sa valeur maximale entre 20 et 150 μsec

C) Vitesse de Déplacement

La surtension produite par les décharges d'origine atmosphérique n'apparaît pas instantanément à tous les points d'une ligne de transmission. Cependant l'intensité et la forme de l'onde reste à peu près les mêmes pour tous les points d'une ligne de transmission uniforme mais sont simplement déphasées. Négligeant toutes les résistances on peut montrer que l'onde voyage le long des conducteurs (ligne de transmission) à la vitesse suivante:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

L: inductance en Henry pour chaque foot de ligne

C: capacitance en farad pour chaque foot de ligne

2) Fonctionnement d'un parafoudre

Les systèmes de puissance sont sujet quelque fois à des surtensions provenant de sources différentes et de durée plus ou moins longue il est donc nécessaire aux équipements de puissance de pouvoir supporter pour un certain temps ces tensions

Pour satisfaire ces exigences les systèmes de puissance subissent différent test dont "l'essai à l'onde de choc" pour vérifier si les éléments d'isolation vont résister à des tensions très élevées et de courte durée (Impulse Test)

En général on fait ce test en appliquant une onde de choc de valeur maximale donnée pendant un temps relativement court et de valeur maximale à laquelle peut résister l'équipement électrique est appelé B.I.L (Basic Impulse Isolation Level)

La foudre produit une surtension entre les lignes de transmission et la terre. Le parafoudre limite cette surtension en faisant écouler une partie vers la terre une fois que celle-ci dépasse une certaine valeur généralement le plus petit B.I.L des équipements susceptible de voir la surtension le B.I.L est ainsi la tension d'amorçage des parafoudres.

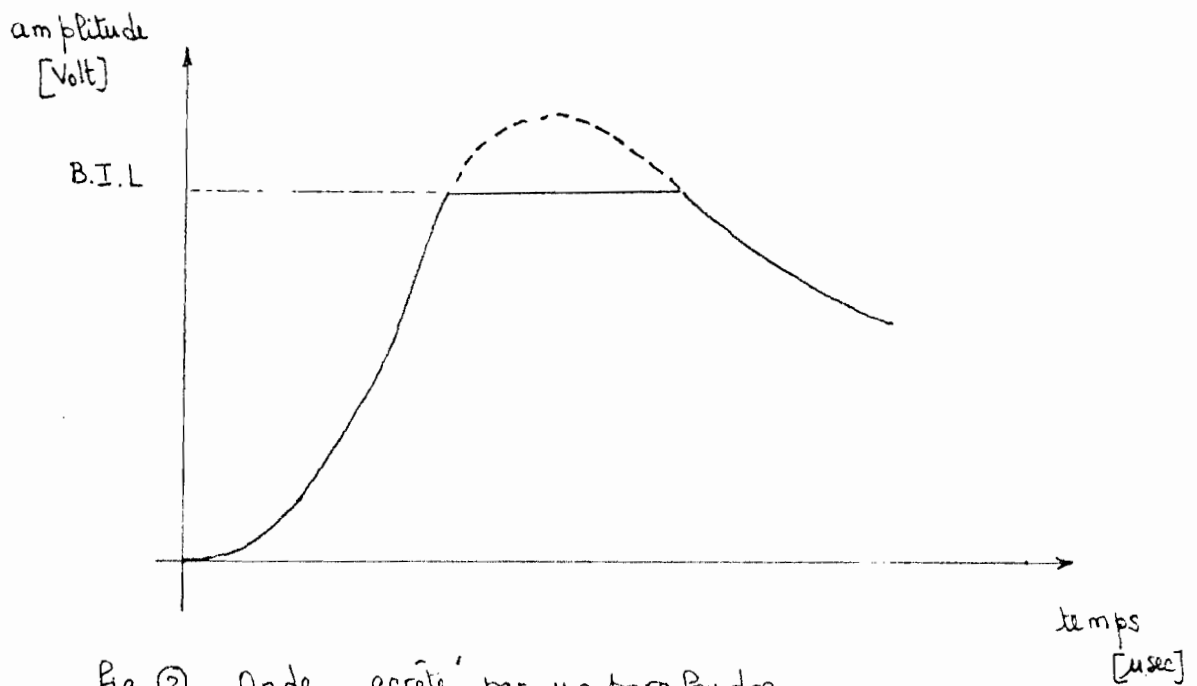


fig ② Onde écrêté' par un parafoudre

Dépendant des équipements électrique à protéger les parafoudres écartent l'onde voir fig ② ci-dessus en faisant écouler automatiquement vers la terre une bonne partie de l'onde de surtension dès que son amplitude atteint la tension d'amorçage

Un parafoudre fonctionne dès que la tension dépasse un seuil dangereux, il cesse de fonctionner quand les conditions normales sont retrouvées, enfin il est caractérisé par un grand pouvoir de décharge de façon à réduire l'amplitude de la perturbation.

La protection contre les surtensions d'origine atmosphérique est généralement assurée au SENEGAL par des éclateurs

Les éclateurs qui sont constitués sous leur forme la plus simple par deux électrodes placées vis à vis dans l'air libre présent.

tent les inconvénients suivants

Ils ne limitent et n'interrompent pas en amplitude le courant de suite à fréquence industrielle, ce qui tend à prolonger la décharge atmosphérique et provoquer de grand dommage sur l'appareillage (Isolateurs, Disjoncteurs, Câbles, Transformateurs)

e) Dimensionnement des Parafoudres

Les parafoudres doivent être en mesure d'écrêter l'onde d'origine atmosphérique lorsqu'elle dépasse la B.I.L à plus petit des éléments qu'elle est susceptible d'atteindre

Eléments	B.I.L [kv]
Disjoncteurs, Interrupteur 30 kv	150
Transformateur T ₃	90

Choix parafoudres

Tension nominale 30KV

B.I.L 80KV

Note: 1 foot = 30,48cm

transformateur T₃ (voir schéma unifilaire SOCOIM)

DIMENSIONNEMENT Des TRANSFORMATEURS

a) Transformateurs T₁ et T₂

T₁: puissance connectée

$$[900 + (2 \times 350) + (2 \times 100) + (4 \times 50)] \text{ HP} = 2000 \text{ HP}$$

T₂: puissance connectée

$$[700 + (3 \times 350) + (2 \times 100) + (2 \times 20) + 10] \text{ HP} = 2000 \text{ HP}$$

Moteurs connectés (moteur synchrone FP=1 et moteur induction)

Tableau de correspondance entre HP et KVA

Type de moteurs	correspondance entre HP et KVA
moteur Induction moteur Synchrone FP=0.8	1 HP → 1 KVA
moteur Synchrone F.P=1	1 HP → 0,8 KVA

KVA correspondant:

transformateur T₁

$$[(0,8 \times 900) + (2 \times 350) + (2 \times 100) + (4 \times 50)] \text{ KVA} = 1820 \text{ KVA}$$

transformateur T_2

$$[(0,8 \times 700) + (3 \times 350) + (2 \times 100) + (2 \times 20) + 10] \text{ KVA} = 1860 \text{ KVA}$$

Choix de transformateurs T_1 et T_2

puissance : 2,5 MVA

Tension : 30.000 V / 220 V / 580 V

impédance : 6,5%

Note : Les transformateurs T_1 et T_2 ont leurs puissances connectées sensiblement égales. nous avons choisi T_1 identique à T_2 avec une puissance de l'ordre de 35% supérieur à la puissance connectée en vue de faire face à une éventuelle augmentation des charges connectées

B) Liste des différents transformateurs de la SOCOCIH

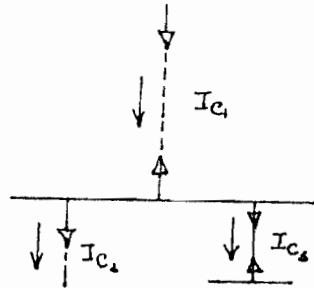
Transformateur	Puissance [KVA]	Impédance %	rapport de Transformation [Volt/Volt]
T ₁ et T ₂	2500	6,5	30000 / 220 / 380
T ₃ et T ₄	1000	6,5	30000 / 220 / 380
T ₅	2000	6,5	30000 / 220 / 380
T ₆	2000	6,5	30000 / 6600
T ₇	400	5,0	6600 / 220 / 380
T ₈	315	5,0	6600 / 220 / 380
T ₉	630	5,5	6600 / 220 / 380
T ₁₀	16	1,5	6600 / 220 / 380
T ₁₁	100	1,8	6600 / 220 / 380

Note: voir schéma unifilaire SOCOCIH

DETERMINATION DU CALIBRE DES CABLES

Cable C₁

Calcul de l'intensité du courant nominal



$$I_{c_1} = I_{c_2} + I_{c_3}$$

$$KVA(T_1) = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{c_3} \cdot 30KV}{2}$$

$$I_{c_3} = \frac{2 \times KVA(T_1)}{\sqrt{3} \times 30KV}$$

$$= \frac{2 \times 2000 KVA}{\sqrt{3} \times 30KV}$$

$$= 76.98 \text{ Ampères}$$

$$I_{c_2} = I_{PT_3} + I_{PT_4} + I_{PT_5} + I_{PT_6}$$

$$= \frac{2 \times KVA(T_3)}{\sqrt{3} \times 30KV} + \frac{2 \times KVA(T_5)}{\sqrt{3} \times 30KV}$$

$$= \frac{2 \times 1000 KVA}{\sqrt{3} \times 30KV} + \frac{2 \times 2000 KVA}{\sqrt{3} \times 30KV}$$

$$= 115,47 \text{ Ampères}$$

$$I_c = 115,47 + 76,98$$

$$= 192,45 \text{ Amperes}$$

Facteurs de correction

a) Facteur de surcharge : $F_s = 1,25$

b) Facteur de pose : $F_p = 0,86$

Cablot enterré (Terrain : calcaire)

Intensité du courant nominal de design : I_d

$$I_d = \frac{192,5 \times F_s}{F_p}$$

$$= \frac{192,5 \times 1,25}{0,86}$$

$$= 280 \text{ Amperes}$$

Choix câble normalisé

Câble en cuivre

Isolation au butyle

$I_N = 280 \text{ Amperes}$

Section = 95 mm^2

Tension = 30 kV

Cable C₂

$$I_{e2} = 115,47 \text{ Amperes}$$

Facteurs de correction

a) Facteur de surcharge : $F_s = 1,25$

b) Facteur de Pose : $F_p = 0,86$

Cable enterre' (Terrain : Calcaire)

Intensité du courant nominal de design : I_d

$$I_d = \frac{115,47 \times F_s}{F_p}$$

$$= \frac{115,47 \times 1,25}{0,86}$$

$$= 167,83 \text{ Amperes}$$

Choix cable normalise'

Cable en cuivre

Isolation au butyle

$$I_N = 170 \text{ Amperes}$$

$$\text{Section} = 35 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tension} = 30 \text{ KV}$$

Cable C_s

$$I_{c_s} = 76,98 \text{ Amperes}$$

Facteurs de correction

a) Facteur de surcharge : $F_s = 1,25$

b) Facteur de pose : $F_p = 0,88$

Cable enterre' (Terrain : calcaire)

Intensité' du courant nominal de design : I_d

$$I_d = \frac{76,98 \times F_s}{F_p}$$

$$= \frac{76,98 \times 1,25}{0,88}$$

$$= 112 \text{ Amperes}$$

Choix cable normalisé

Cable en cuivre

Isolation au butyle

$$I_N = 141 \text{ Amperes}$$

$$\text{Section} = 25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tension} = 30 \text{ KV}$$

Cable C₄

$$I_{c4} = I_{sec T_6}$$

$$KVA_{T_6} = \sqrt{3} \times 6.6 \text{ KV} \times I_{c4}$$

$$I_{c4} = \frac{KVA_{T_6}}{\sqrt{3} \times 6.6 \text{ KV}}$$

$$= \frac{2000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 6.6 \text{ KV}}$$

$$= 175 \text{ Ampères}$$

Facteurs de correction

a) Facteur de surcharge : $F_s = 1.25$

b) Facteur de pose : $F_p = 0.86$

Cable enterré (Terrain calcaire)

Intensité du courant nominal de design : I_d

$$I_d = \frac{175 \times F_s}{F_p}$$

$$= \frac{175 \times 1.25}{0.86}$$

$$= 254 \text{ Ampères}$$

Choix câble normalisé

Cable en cuivre

Isolation au butyle

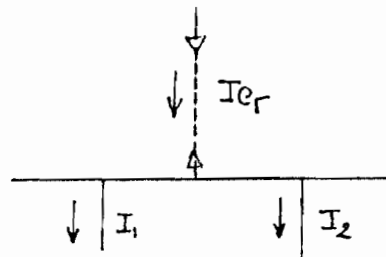
$$I_N = 302 \text{ Ampères}$$

$$\text{Section} = 95 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tension} = 6.6 \text{ KV}$$

Cable C_r

Calcul de l'intensité du courant nominal



$$I_{c4} = I_1 + I_2 + 25\% I_1$$

$$= \frac{900 + 360 \text{ KVA}}{6.6 \times \sqrt{3} \text{ KV}} + \frac{900 \text{ KVA}}{4 \times 6.6 \times \sqrt{3} \text{ KV}}$$

$$= 129 \text{ Ampères}$$

Facteurs de correction

a) Facteur de surcharge : $F_s = 1.25$

b) Facteur de pose : $F_p = 0.86$

Cable enterré (Terrain : Calcaire)

Intensité du courant nominal de design : I_d

$$I_d = \frac{129 \times F_s}{F_p}$$

$$I_d = \frac{129 \times 1.25}{0.85}$$
$$= 187.5 \text{ Ampères}$$

Choix câble normalisé

Câble en cuivre

Isolation au butyle

$I_N = 204 \text{ Ampères}$

Section = 50 mm^2

Tension = 0.6 KV

Dimensionnement du câble des condensateurs

Cable C₆

Capacité de l'intensité du courant nominal

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \theta_2$$

$$I = \frac{Q}{\sqrt{3} U \sin \theta_2}$$

$$= \frac{4650}{\sqrt{3} \times 30 \times \sin 38.74^\circ} \cdot \frac{\text{KVAR}}{\text{KV}}$$

$$= 143 \text{ Amperes}$$

Facteurs de correction

a) Facteur de surcharge : $F_s = 1,25$

b) Facteur de pose : $F_p = 1$

(pose à l'air libre)

Intensité du courant nominal de design: I_d

$$I_d = 143 \times F_s \times F_p$$

$$= 143 \times 1,25 \times 1$$

$$= 178,7 \text{ Amperes}$$

$$\approx 180 \text{ Amperes}$$

Choix câble normalisé

Câble en cuivre

Isolation au butyle

$I_N = 204$ Ampères

Section = 50 mm^2

Tension = 30 kV

DETERMINATION Des IMPEDANCES Des CABLES

Cable C₁

Longueur = 50 m

Section = 95 mm²

Cable en cuivre pour section 95 mm², Longueur 305 m et fréquence 60 Hz

R = 0,0814 Ω

X = 0,0463 Ω

Z = R + jX₁, avec X₁ pour une fréquence de 50 Hz

X₀ = 2π f₀ l pour 60 Hz ①

X₁ = 2π f₁ l pour 50 Hz ②

Les équations ① et ② donnent

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{2\pi f_1 l}{2\pi f_0 l} X_0 \\ &= \frac{f_1}{f_0} X_0 \\ &= \frac{50 \times 0,0463}{60} \\ &= 0,038 \Omega \end{aligned}$$

Impédance du cable C₁ pour 305 m

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{0,0814^2 + 0,038^2} \\ &= 0,090 \Omega \end{aligned}$$

Impédance du cable C₁ pour 50 m

$$\begin{aligned} Z &= 0,090 \times \frac{50}{305} \\ &= 0,015 \Omega \end{aligned}$$

Cable C₂

$$\text{Longueur} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Section} = 35 \text{ mm}^2$$

Cable en cuivre pour section 35 mm^2 , Longueur 305 m et fréquence 60 Hz

$$R = 0,202 \ \Omega$$

$$X_0 = 0,0524 \ \Omega$$

$$Z = R + jX_1 \text{ avec } X_1 \text{ pour une fréquence de } 50 \text{ Hz}$$

$$X_0 = 2\pi f_0 l \text{ pour } 60 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$X_1 = 2\pi f_1 l \text{ pour } 50 \text{ Hz} \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) donnent

$$X_1 = \frac{2\pi f_1 l}{2\pi f_0 l} X_0$$

$$= \frac{f_1}{f_0} X_0$$

$$= \frac{5}{6} \cdot 0,0524$$

$$= 0,0437$$

Impédance du cable C₂ pour 305 m longueur

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$= \sqrt{0,202^2 + 0,0437^2}$$

$$= 0,207 \ \Omega$$

Impédance du cable C₂ pour 10 m de longueur

$$Z = 0,207 \ \Omega \times \frac{10}{305}$$

$$= 6,8 \times 10^{-3} \ \Omega$$

Cable C_3

$$\underline{\text{Longueur}} = 5 \text{ m}$$

$$\underline{\text{Section}} = 25 \text{ mm}^2$$

Cable en cuivre pour section 25 mm^2 , Longueur 305 m et fréquence 50 Hz

$$R = 0,321 \Omega$$

$$X_0 = 0,0568 \Omega$$

$$Z = R + jX_1 \text{ avec } X_1 \text{ pour une fréquence de } 50 \text{ Hz}$$

$$X_0 = 2\pi f_0 l \quad (1)$$

$$X_1 = 2\pi f_1 l \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) donnent

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{2\pi f_1 l}{2\pi f_0 l} X_0 \\ &= \frac{5}{6} X_0 \\ &= \frac{5}{6} \cdot 0,0568 \\ &= 0,0473 \Omega \end{aligned}$$

Impédance du cable C_3 pour 305 m de longueur

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{0,321^2 + 0,0473^2} \\ &= 0,324 \Omega \end{aligned}$$

Impédance du cable C_3 pour 5 m de longueur

$$\begin{aligned} Z &= 0,324 \Omega \times \frac{5}{305} \\ &= 5,31 \times 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

Cable C₄

$$\text{Longueur} = 50 \text{ m}$$

$$\text{Section} = 95 \text{ mm}^2$$

Cable en cuivre pour section 95 mm^2 , Longueur 305 m et fréquence 60 Hz

$$R = 0,0814 \ \Omega$$

$$X_0 = 0,0463 \ \Omega$$

$$Z = R + jX_1 \text{ avec } X_1 \text{ pour une fréquence de } 50 \text{ Hz}$$

$$X_0 = 2\pi f_0 l \quad \textcircled{1}$$

$$X_1 = 2\pi f_1 l \quad \textcircled{2}$$

Les équations ① et ② donnent

$$X_1 = \frac{2\pi f_1 l}{2\pi f_0 l} X_0$$

$$= \frac{5}{6} X_0$$

$$= \frac{5}{6} 0,0463$$

$$= 0,038 \ \Omega$$

Impédance du Cable C₄ pour 305 m de longueur

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{0,0814^2 + 0,038^2} \\ &= 0,090 \ \Omega \end{aligned}$$

Impédance du Cable C₄ pour 50 m de longueur

$$\begin{aligned} Z &= 0,090 \times \frac{50}{305} \\ &= 0,015 \ \Omega \end{aligned}$$

Cable C_r

$$\text{Longueur} = 25 \text{ m}$$

$$\text{Section} = 50 \text{ mm}^2$$

Cable en cuivre pour section 50 mm^2 , Longueur 305 m et fréquence 60 Hz

$$R = 0,128 \Omega$$

$$X_0 = 0,0486 \Omega$$

$$Z = R + jX_1 \quad \text{avec } X_1 \text{ pour une fréquence de } 50 \text{ Hz}$$

$$X_0 = 2\pi f_0 l \quad (1)$$

$$X_1 = 2\pi f_1 l \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) donnent

$$X_1 = \frac{2\pi f_1 l}{2\pi f_0 l} X_0$$

$$= \frac{5}{6} X_0$$

$$= \frac{5}{6} 0,0486$$

$$= 0,0405$$

Impédance du cable C_r pour 305 m de longueur

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$= \sqrt{0,128^2 + 0,0405^2}$$

$$= 0,134 \Omega$$

Impédance du cable C_r pour 25 m de longueur

$$Z = 0,134 \Omega \times \frac{25}{305}$$

$$= 0,0109 \Omega$$

Tableau récapitulatif des câbles.

Cable	Longueur [m]	Section [mm ²]	Impédance [Ω]	Tension [kV]
C ₁	50	95	0,015	30
C ₂	10	35	$6,8 \times 10^{-3}$	30
C ₃	5	25	$5,31 \times 10^{-3}$	30
C ₄	50	95	0,015	6,6
C ₅	25	50	0,0109	6,6

Note : Les câbles sont en cuivre
avec isolation au butyle

CALCUL Des IMPEDANCES Par UNITES
Des TRANSFORMATEURS, MOTEURS, CABLES

Valeur de Base

$KVA_B : 2500$

$KV_B : 6,6 \text{ et } 30$

Impédance par unités

$$Z_{p.u} = Z_{\text{élément}} \times \frac{KVA_B}{KVA \text{ élément}}$$

Source de Puissance (réseau)

$$\begin{aligned} Z_{p.u} &= 1 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{250 \times 10^3 \text{ KVA}} \\ &= 0,01 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Transformateurs

$$\begin{aligned} T_1 \text{ et } T_2 \quad Z_{p.u} &= 0,065 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{2500 \text{ KVA}} \\ &= 0,065 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_3 \text{ et } T_4 \quad Z_{p.u} &= 0,065 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{1000 \text{ KVA}} \\ &= 0,16 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_5 \text{ et } T_5 \quad Z_{p.u} &= 0,065 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{2000 \text{ KVA}} \\ &= 0,08 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_7 \quad Z_{p.u} &= 0.05 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{400 \text{ KVA}} \\ &= 0.31 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_8 \quad Z_{p.u} &= 0.05 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{315 \text{ KVA}} \\ &= 0.4 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_9 \quad Z_{p.u} &= 0.055 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{630 \text{ KVA}} \\ &= 0.22 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteurs connectés aux différents transformateurs

HP Transf	900	700	350	250	100	50	20	10
T ₁	1		2		2	4		
T ₂		1	3		2		2	1
T ₃			1	2		3		
T ₄		1		1		1		
T ₅	1	1		1		2	3	
T ₆	1		1					
T ₇					2	3	2	
T ₈						6		1
T ₉			1		2		1	1

Note: le tableau ci-dessus nous donne pour chaque transformateur le nombre de moteurs connectés et leur puissance en H.P (horse - power)

Caractéristiques des différents moteurs

Puissance	Type	FP	X'	X''	KVA/HP
900	Synch	1	0.15	0.23	~ 1
700	Synch	1	0.15	0.23	~ 1
350	Synch	1	0.15	0.23	~ 1
250	Ind	0.8	0.15	0.17	1
100	Ind	0.8	0.15	0.17	1
50	Ind	0.8	0.15	0.17	1
20	Ind	0.8	0.15	0.17	1
10	Ind	0.8	0.15	0.17	1

Note : le tableau ci dessus donne pour chaque moteur

- le facteur de Puissance FP.
- la réactance transitoire X'
- la réactance sous transitoire X''

Impédance par unité des Moteurs

Moteur 900 HP (Synch)

a) Impédance transitoire

$$\begin{aligned} Z'_{p.u} &= 0.15 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{900 \text{ KVA}} \\ &= 0.41 \text{ p.u} \end{aligned}$$

b) Impédance sous transitoire

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0.23 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{900 \text{ KVA}} \\ &= 0.64 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 700 HP (Synch)

a) Impédance transitoire

$$\begin{aligned} Z'_{p.u} &= 0.15 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{700 \text{ KVA}} \\ &= 0.53 \text{ p.u} \end{aligned}$$

b) Impédance sous transitoire

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0.23 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{700} \\ &= 0.82 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 350 HP (Synch)

a) Impédance transitoire

$$\begin{aligned} Z'_{p.u} &= 0.15 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{350 \text{ KVA}} \\ &= 1.07 \text{ p.u} \end{aligned}$$

b) Impédance sous transitoire

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0,23 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{350 \text{ KVA}} \\ &= 1,64 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 250 HP (Ind)

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0,17 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{250 \text{ KVA}} \\ &= 1,7 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 100 HP (Ind)

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0,17 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{100 \text{ KVA}} \\ &= 4,25 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 50 HP (Ind)

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0,17 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{50 \text{ KVA}} \\ &= 8,5 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 20 HP (Ind)

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0,17 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{20 \text{ KVA}} \\ &= 21,25 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Moteur 10 HP (Ind)

$$\begin{aligned} Z''_{p.u} &= 0,17 \times \frac{2500 \text{ KVA}}{10 \text{ KVA}} \\ &= 42,5 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Impédance sous transitoire par unités
des moteurs de même puissance groupés

HP Trans	900	700	350	250	100	50	20	10
T ₁	0,64		0,82		2,12	2,12		
T ₂		0,82	0,55		2,12		10,62	42,5
T ₃			1,64	0,85		2,8		
T ₄		0,82		1,7		8,5		
T ₅	0,64	0,82		1,7		4,25	3,08	
T ₆	0,64		1,64					
T ₇					2,12	2,80	10,62	
T ₈						1,41		42,5
T ₉			1,64		2,12		21,25	42,5

Note : pour des moteurs identiques en parallèle

$$X'' = \frac{\text{KVA de Base}}{\text{KVA moteur}} \times \frac{X'' \text{ moteur}}{\text{nombre de moteurs}}$$

Impédance transitoire p.u
de Moteurs identiques groupés

HP Transf	900	700	350
T ₁	0.150		0.075
T ₂		0.150	0.050
T ₃			0.150
T ₄		0.150	
T ₅	0.150	0.150	
T ₆	0.150		0.150
T ₇			
T ₈			
T ₉			0.150

Impédance équivalente
des moteurs connectés p.u

Imped Transfo	X' _{eq}	X'' _{eq}
T ₁	0.050	0.268
T ₂	0.037	0.275
T ₃	0.150	0.466
T ₄	0.150	0.579
T ₅	0.075	0.266
T ₆	0.075	0.288
T ₇		1.083
T ₈		1.365
T ₉	0.150	0.531

Calcul des Impédances Equivalentes

Exemple de Calcul

Transformateur T.

a) Impédance sous transitoire équivalente X''_{eq}

Moteurs connectés	X''	$1/X''$
1 moteur 900 HP	0,64	1,56
2 moteurs 350 HP	0,82	1,22
2 moteurs 100 HP	2,12	0,47
4 moteurs 50 HP	2,12	0,47

$$1/X''_{eq} = 3,72$$

$$X''_{eq} = \frac{1}{3,72}$$

$$= 0,268 \text{ p.u.}$$

b) Impédance transitoire équivalente X'_{eq}

Moteurs connectés	X'	$1/X'$
1 moteur 900 HP	0,150	6,66
2 moteurs 350 HP	0,075	13,33

$$1/X'_{eq} = 19,99$$

$$X'_{eq} = \frac{1}{19,99}$$

$$= 0,05 \text{ p.u.}$$

Cable C₃Impedance par unite

$$Z_{pu} = \frac{5.31 \times 10^{-3}}{360}$$

$$= 1.475 \times 10^{-5}$$

Cable C₄Impedance par unite

$$Z_{pu} = \frac{0.015}{14.4}$$

$$= 1.04 \times 10^{-3}$$

Cable C₅Impedance par unite

$$Z_{pu} = \frac{0.0109}{14.4}$$

$$= 7.57 \times 10^{-4}$$

Calcul des Impédances par unité des Câbles

$$\underline{\text{Impédance par unité câble}} = \frac{Z_{\text{câble}} (\Omega)}{O_{\text{Rm de Base}}}$$

$$O_{\text{Rm de Base}} (\Omega_B) = \frac{1000 \text{ KV}^2}{\text{KVA}_B}$$

a) Pour 30KV

$$\begin{aligned} (\Omega_B) &= \frac{1000 \times 30^2}{2500} \\ &= 360 \Omega \end{aligned}$$

b) Pour 6,6KV

$$\begin{aligned} (\Omega_B) &= \frac{1000 \times 6,6^2}{2500} \\ &= 14,4 \Omega \end{aligned}$$

Câble C₁

Impédance par unité

$$\begin{aligned} Z_{p.u} &= \frac{0,015}{360} \\ &= 4,16 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

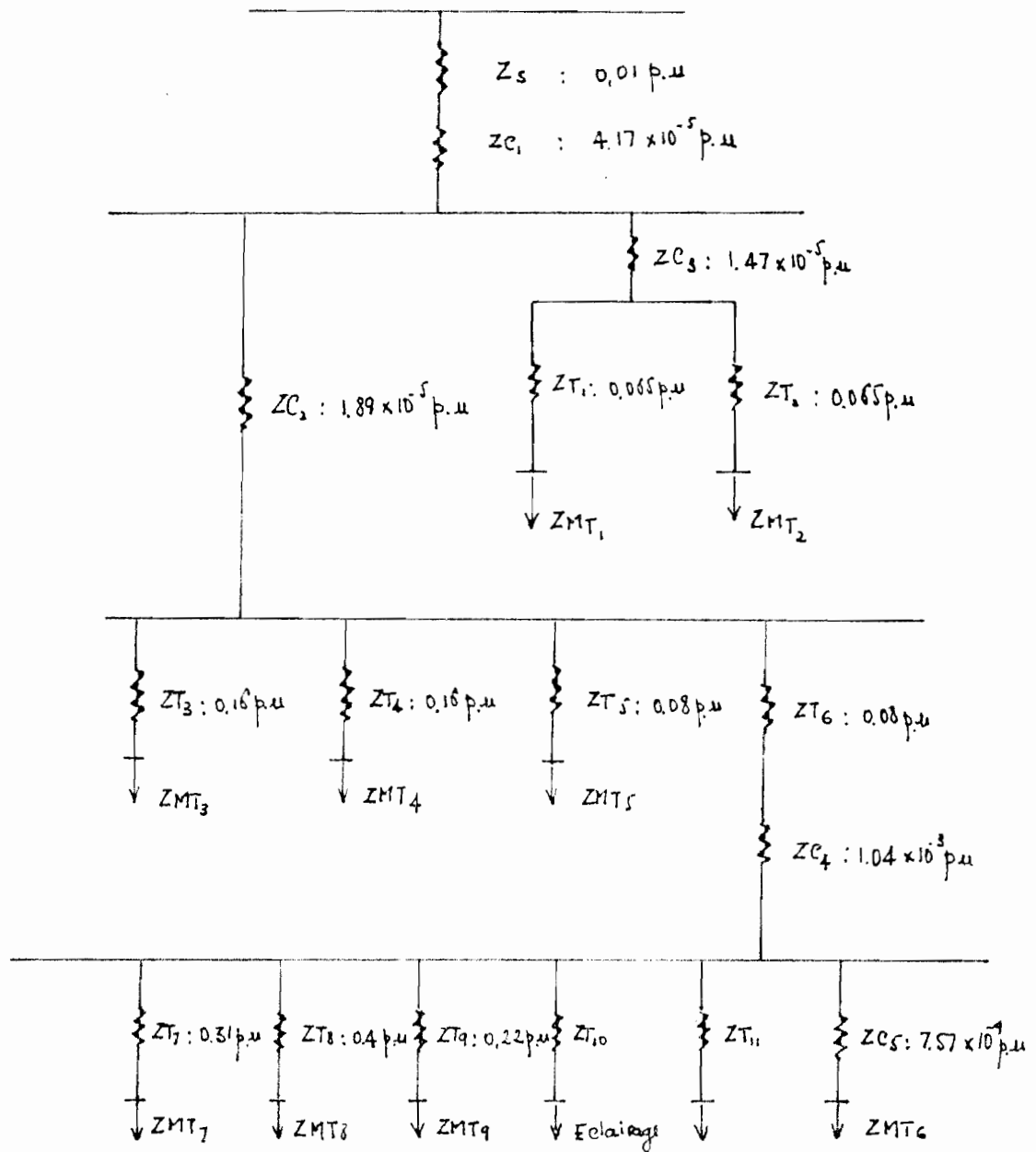
Câble C₂

Impédance par unité

$$\begin{aligned} Z_{p.u} &= \frac{6,8 \times 10^{-3}}{360} \\ &= 1,88 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

DIMENSIONNEMENT Des DIJONCTEURS et FUSIBLES

Diagramme des Impédances



Etudes des courants de court circuit

La distribution électrique d'une usine doit être faite pour alimenter les charges de façon sûre et sécuritaire afin d'éviter les court circuit qui sont souvent causés par

- Les rongeurs
- Les connexions mal faites
- Les montés en tension
- Le vieillissement de l'isolation
- L'humidité, La poussière contaminent etc

Vue la diversité de ces sources de court circuit il est donc nécessaire d'avoir des appareils adéquats capable d'interrompre ce courant de faute parmi ces appareils on note : les disjoncteurs et les fusibles.

On calculera le courant de court circuit pour prévoir l'intensité du courant de faute disponible à un endroit spécifique du réseau afin de choisir les appareils ayant le pouvoir de coupure requis

Pour le calcul du courant de court-circuit les hypothèses suivantes sont faites

- Apport maximum de courant du réseau
- Tous les générateurs s'il en existe en marche
- Charge maximum sur le réseau (tous les moteurs en marche)

- Disjoncteurs de liaison ferme
- Faute triphasé sur le réseau

Note : avec ces hypothèses nous obtenons la pire situation pour le réseau

Dimensionnement des Disjoncteurs

Disjoncteur Dc

Intensité du courant nominal

$$I_N = \bar{I}_c = 192,5 \text{ Ampères}$$

Intensité du courant momentané

$$I_M = \frac{I_B}{0,01}$$

$$I_B = \frac{2500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 30 \text{ kV}}$$

$$= 48,1 \text{ Ampères}$$

$$I_M = \frac{48,1}{0,01}$$

$$= 4810 \text{ Ampères}$$

Intensité du courant asymétrique

$$I_{ass} = 1,6 I_M$$

$$= 1,6 \times 4810$$

$$= 7696 \text{ Ampères}$$

$$\approx 7700 \text{ Ampères}$$

Intensité du courant de coupure

$$I_e = I_{as} = 7696 \text{ Ampères} \\ \approx 7700 \text{ Ampères}$$

Dijoncteur D_e

$$\begin{aligned} \text{Tension} &= 30 \text{KV} \\ \text{Courant nominal} &= 192.5 \text{ Ampères} \\ \text{Courant asymétrique} &= 7700 \text{ Ampères} \\ \text{Courant de coupure} &= 7700 \text{ Ampères} \end{aligned}$$

Dijoncteur D_iIntensité du courant nominal

$$I_N = I_{e1} = 192.5 \text{ Ampères}$$

Intensité du courant momentané

$$\begin{aligned} I_M &= \frac{I_B}{Z_s + Z_{e1}} \\ &= \frac{48,1}{0,01 + 5 \times 10^{-5}} \\ &= 4790 \text{ Ampères} \end{aligned}$$

Intensité du courant asymétrique

$$\begin{aligned}
 I_{as} &= 1,6 I_M \\
 &= 1,6 \times 4790 \\
 &= 7664 \\
 &\approx 7700 \text{ Ampères}
 \end{aligned}$$

Intensité du courant de coupure

$$I_c = I_{as} = 7700 \text{ Ampères}$$

Dijoncteur D₁

$$\begin{aligned}
 \text{Tension} &= 30 \text{KV} \\
 \text{Courant nominal} &= 192,5 \text{ Ampères} \\
 \text{Courant asymétrique} &= 7700 \text{ Ampères} \\
 \text{Courant de coupure} &= 7700 \text{ Ampères}
 \end{aligned}$$

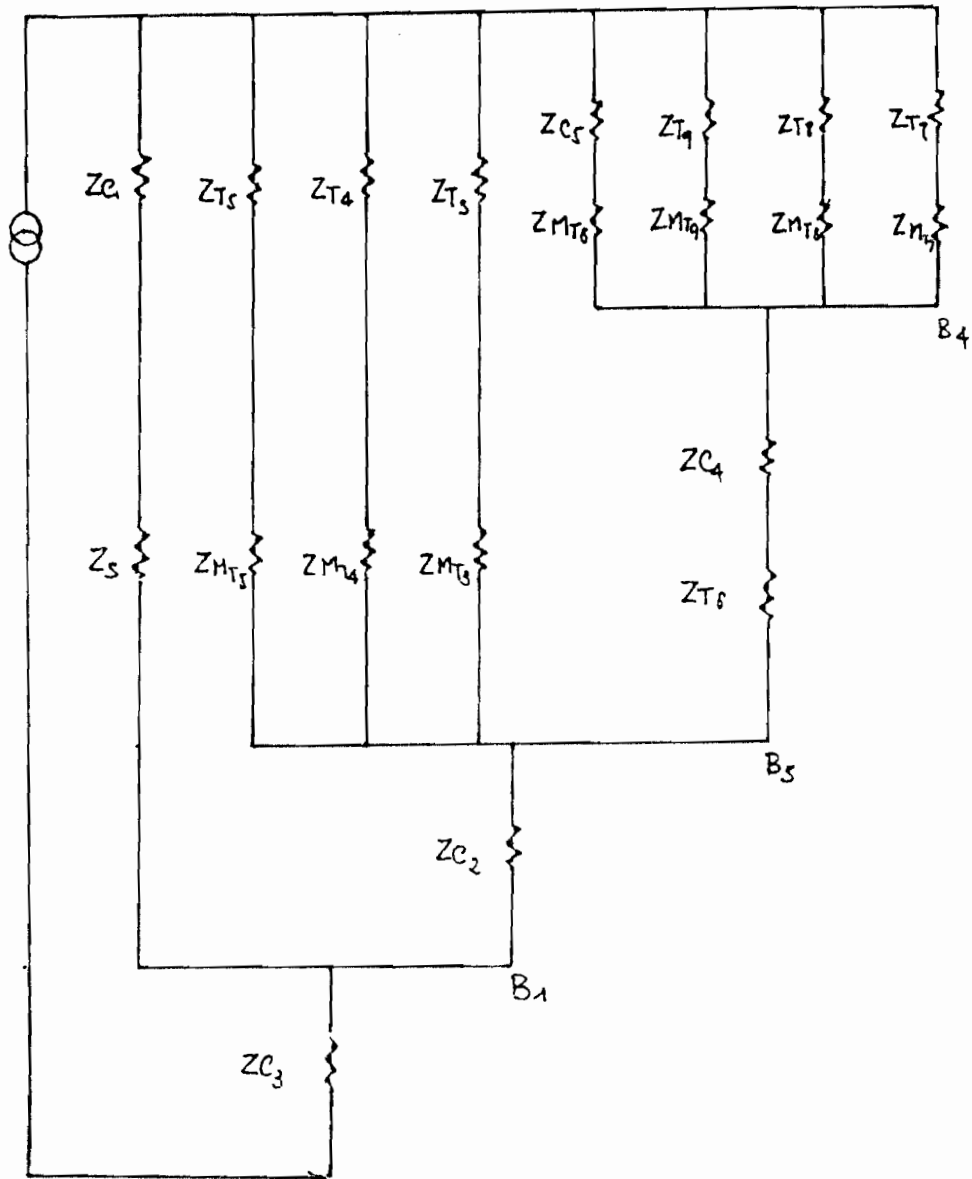
Dijoncteur D_2

Intensité du courant nominal

$$I_N = I_{e3} = 77 \text{ Ampères}$$

Intensité du courant momentané

- Diagramme d'impédance



Impédance Equivalente

<u>Branche</u>	<u>$1/X''$</u>
$ZC_5 + ZMT_6$	$(7,57 \times 10^{-4} + 0,266)^{-1} = 3,74$
$ZT_9 + ZMT_9$	$(0,22 + 0,531)^{-1} = 1,33$
$ZT_8 + ZMT_8$	$(0,4 + 1,365)^{-1} = 0,56$
$ZT_7 + ZMT_7$	$(0,31 + 1,083)^{-1} = 0,72$
	<u>Total</u> 6,35

$$X_1'' = \frac{1}{6,35} = 0,16 \text{ p.u.}$$

$ZC_4 + ZT_6 + X_1''$	$(1,04 \times 10^{-3} + 0,08 + 0,16)^{-1} = 4,15$
$ZT_3 + ZMT_3$	$(0,16 + 0,466)^{-1} = 1,60$
$ZT_4 + ZMT_4$	$(0,16 + 0,519)^{-1} = 1,47$
$ZT_5 + ZMT_5$	$(0,08 + 0,266)^{-1} = 2,89$
	<u>Total</u> 10,11

$$X_2'' = \frac{1}{10,11} = 0,099 \text{ p.u.}$$

$ZC_2 + X_2''$	$(1,88 \times 10^{-5} + 0,099)^{-1} = 10,09$
$ZC_1 + Z_s$	$(4,16 \times 10^{-5} + 0,01)^{-1} = 99,58$
	<u>Total</u> 109,67

$$X_3'' = \frac{1}{109,67} = 9,12 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$\begin{aligned}
 X''_{EQ,1} &= ZC_s + X''_s \\
 &= 1,48 \times 10^{-5} + 9,12 \times 10^{-3} \\
 &= 9,13 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

Intensité du courant momentané

$$I_M = \frac{I_B}{X''_{EQ,1}}$$

$$= \frac{48,1}{9,13 \times 10^{-3}}$$

5268 Amperes

Intensité du courant asymétrique

$$I_{as} = 1,6 I_M$$

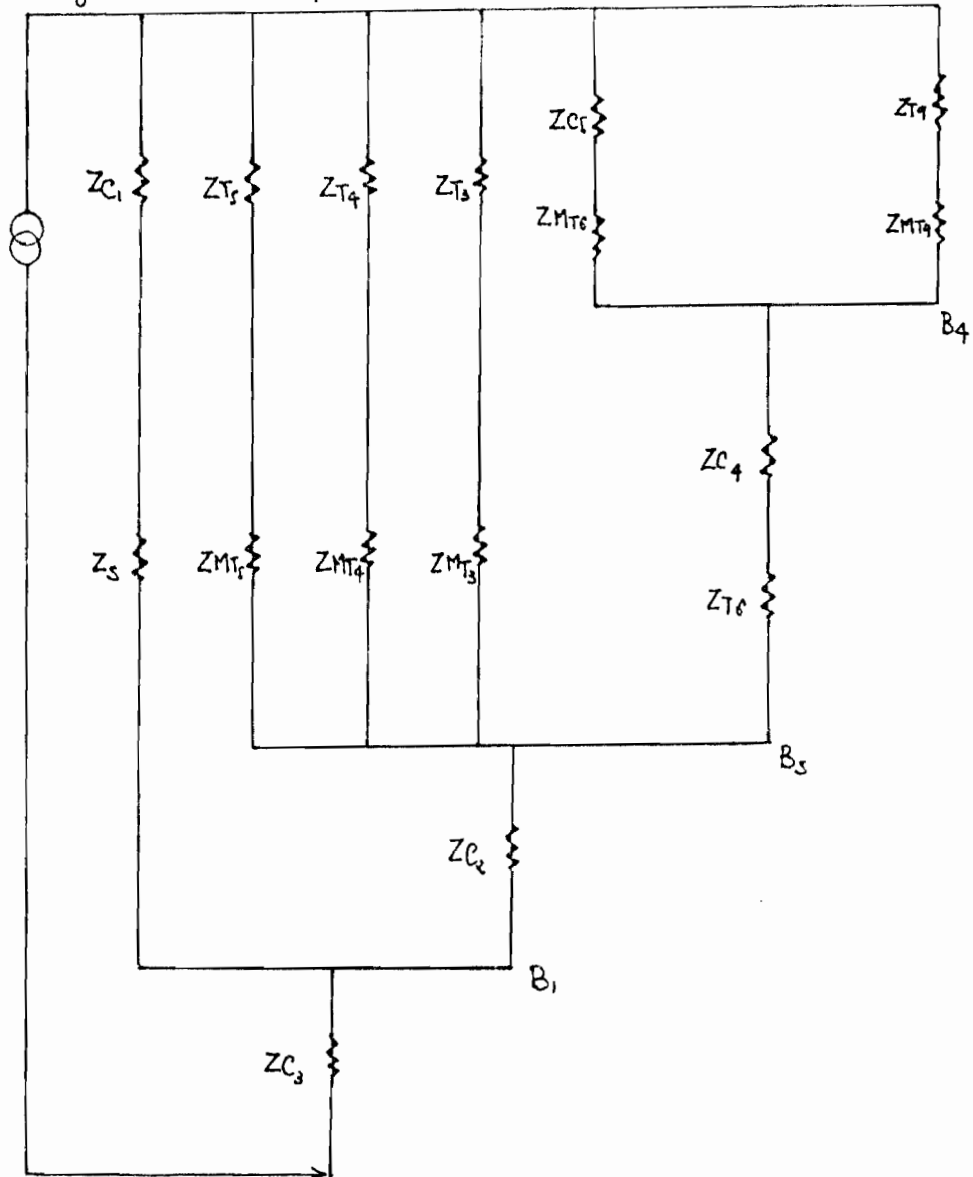
$$= 1,6 \times 5268$$

$$= 8428 \text{ Amperes}$$

$$\approx 8450 \text{ Amperes}$$

Calcul de l'intensité du courant de coupure.

- Diagramme d'Impédance



Impedance Equivalente

<u>Branche</u>	<u>$1/X'$</u>
$Z_{T9} + Z_{MT9}$	$(0,22 + 0,150)^{-1} = 2,70$
$Z_{C5} + Z_{MT6}$	$(7,57 \times 10^{-9} + 0,266)^{-1} = \underline{3,74}$
Total	$= 6,44$

$$X'_1 = \frac{1}{6,44} = 0,15 \text{ p.u.}$$

$Z_{C4} + Z_{T6} + X'_1$	$(1,04 \times 10^3 + 0,08 + 0,15)^{-1} = 4,33$
$Z_{T3} + Z_{MT3}$	$(0,16 + 0,15)^{-1} = 3,22$
$Z_{T4} + Z_{MT4}$	$(0,16 + 0,15)^{-1} = 3,22$
$Z_{T5} + Z_{MT5}$	$(0,08 + 0,075)^{-1} = \underline{6,45}$
Total	$17,22$

$$X'_2 = \frac{1}{17,22} = 0,06 \text{ p.u.}$$

$Z_{C2} + X'_2$	$(1,88 \times 10^5 + 0,06)^{-1} = 16,66$
$Z_3 + Z_{C1}$	$(0,01 + 4,16 \times 10^5)^{-1} = \underline{99,60}$
Total	$116,26$

$$X'_3 = \frac{1}{116,26} = 8,36 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$\begin{aligned} X'_{EQ1} &= Z_{C3} + X'_3 \\ &= 1,44 \times 10^{-7} + 8,36 \times 10^{-3} \\ &= 8,37 \times 10^{-3} \text{ p.u.} \end{aligned}$$

Intensité du courant de coupure

$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{I_B}{X'_{EQ_1}} \\
 &= \frac{48,1}{8,37 \times 10^3} \\
 &= 5747 \text{ Ampères} \\
 &\approx 5750 \text{ Ampères}
 \end{aligned}$$

Dijoncteur D₂

Tension	=	30KV
Courant Nominal	=	77 Ampères
Courant assymétrique	=	8450 Ampères
Courant de coupure	=	5750 Ampères

Dijoncteur D₃ et D₄

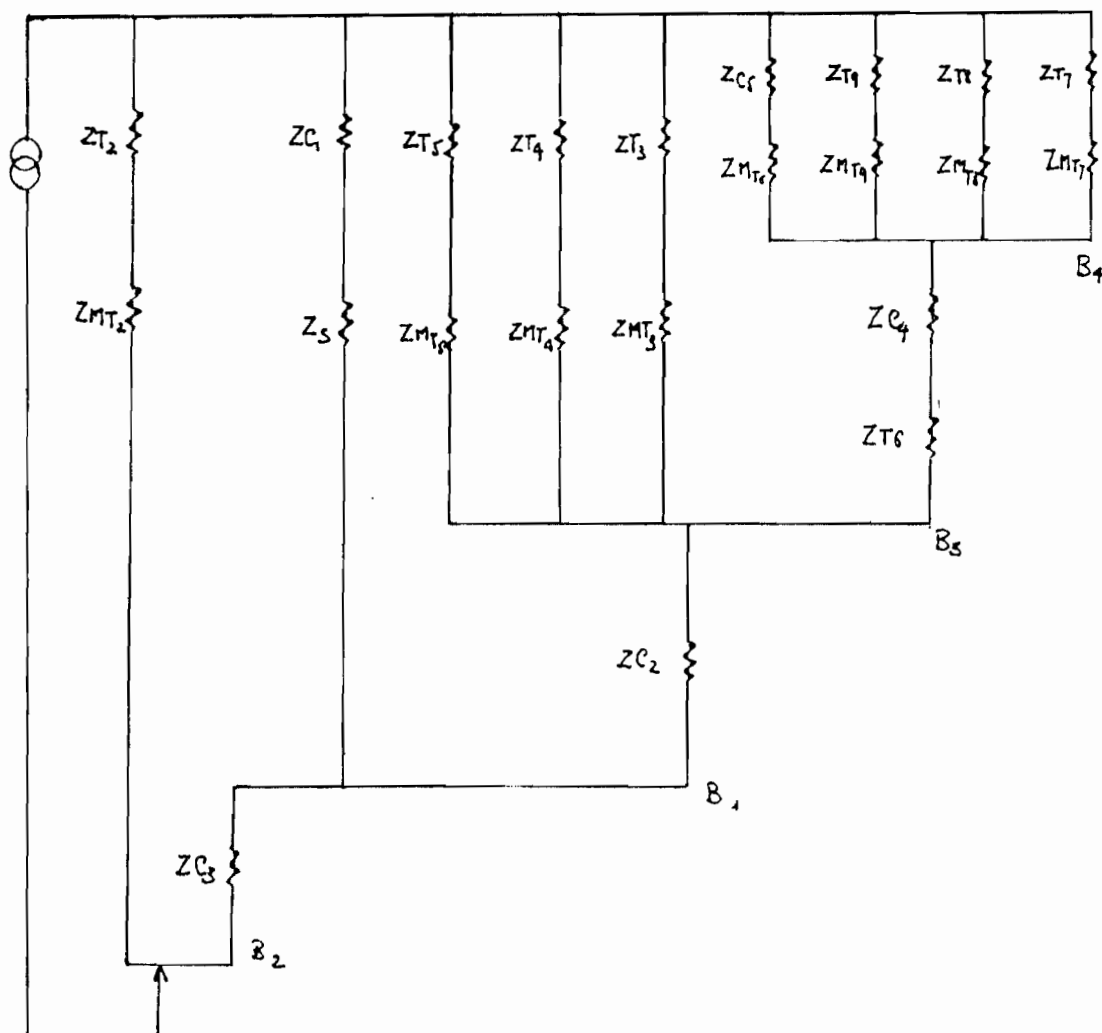
Intensité du courant nominal

$$I_N = \frac{2000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 30 \text{ KV}}$$

≈ 40 Amperes

Intensité du courant momentané

- Diagramme d'impédance



Impédance Equivalente

Branche	$1/X''$
$ZC_2 + X_2''$	$(1,88 \times 10^{-5} + 0,099)^{-1} = 10,09$
$Z_S + ZC_1$	$(0,01 + 4,16 \times 10^{-5})^{-1} = 99,60$
Total	109,69

$$X_4'' = \frac{1}{109,69} = 9,11 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$ZC_3 + X_4''$	$(1,47 \times 10^{-5} + 9,11 \times 10^{-3})^{-1} = 109,60$
$Z_{T_2} + Z_{MT_2}$	$(0,065 + 0,275)^{-1} = 2,94$
Total	112,54

$$X_{EQ_2}'' = \frac{1}{112,54} = 8,88 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

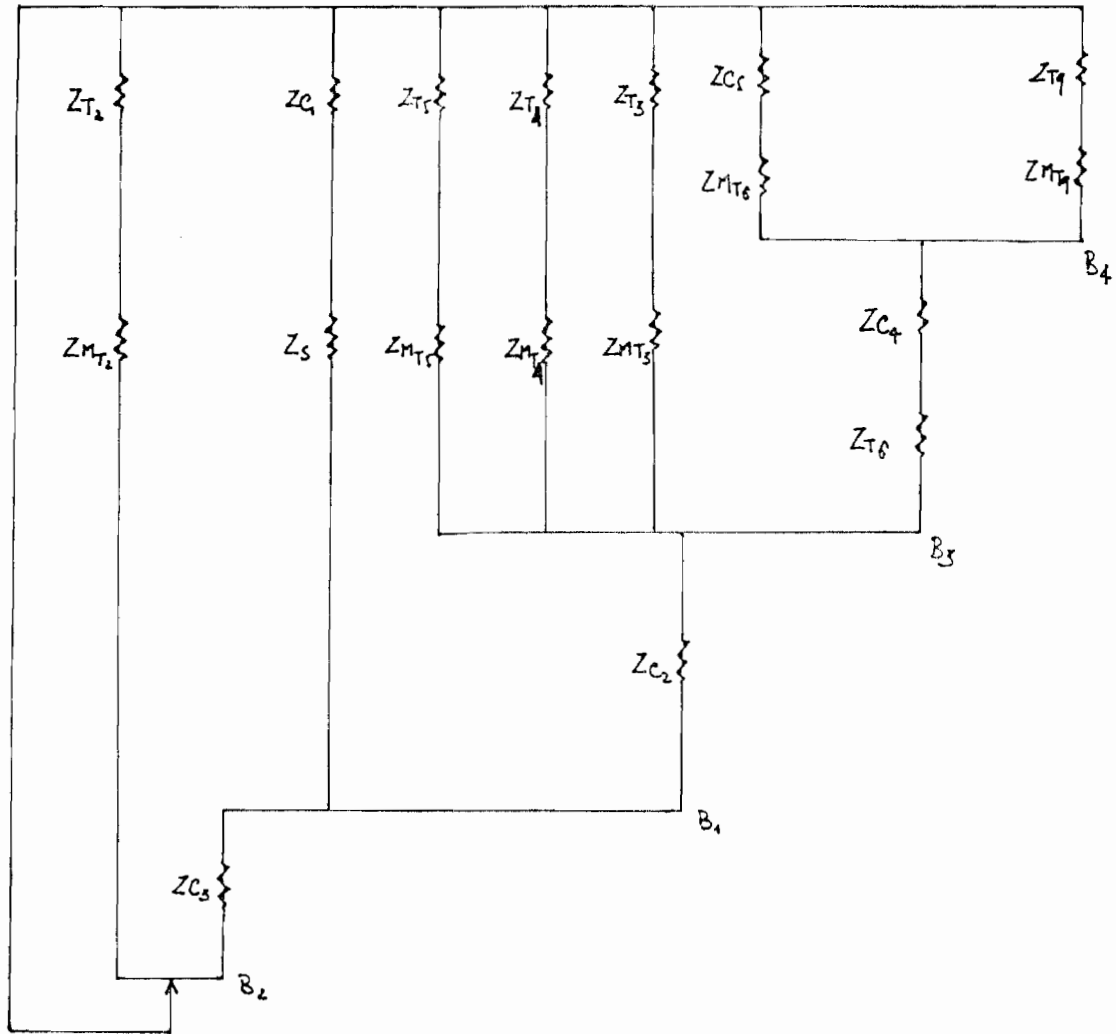
Intensité du courant momentané

$$\begin{aligned} I_M &= \frac{I_B}{X_{EQ_2}''} \\ &= \frac{48,1}{8,88 \times 10^{-3}} \\ &= 5416 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

Intensité du courant asymétrique

$$\begin{aligned} I_{as} &= 1,6 I_M \\ &= 1,6 \times 5416 \\ &\approx 8660 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

Intensité' du courant de coupure
- Diagramme d'Impédance



Impédance Equivalente

Branche	$1/X'$
$ZC_2 + X'_2$	$(1.88 \times 10^{-5} + 0.06)^{-1} = 16.60$
$Z_s + ZC_1$	$(0.01 + 4.16 \times 10^5) = 99.60$
Total	116.26
$X'_4 = \frac{1}{116.26} = 8.6 \times 10^{-3}$	

$$ZC_3 + X'_4$$

$$(1,47 \times 10^5 + 8,6 \times 10^3)^{-1} = 116,08$$

$$ZT_2 + ZMT_2$$

$$(0,065 + 0,037)^{-1} = 9,8$$

Total

$$125,88$$

$$X'_{EQ_2} = \frac{1}{125,88} = 7,94 \times 10^{-3}$$

Intensité du courant de coupure

$$I_c = \frac{I_B}{X'_{EQ_2}}$$

$$= \frac{4,81}{7,94 \times 10^{-3}}$$

$$= 6058 \text{ Amperes}$$

Dioncteurs D₃ et D₄

Tension

$$= 30KV$$

Courant nominal

$$= 40 \text{ Amperes}$$

Courant asymétrique

$$= 8000 \text{ Amperes}$$

Courant de coupure

$$= 6000 \text{ Amperes}$$

Dijoncteur D5 et D6

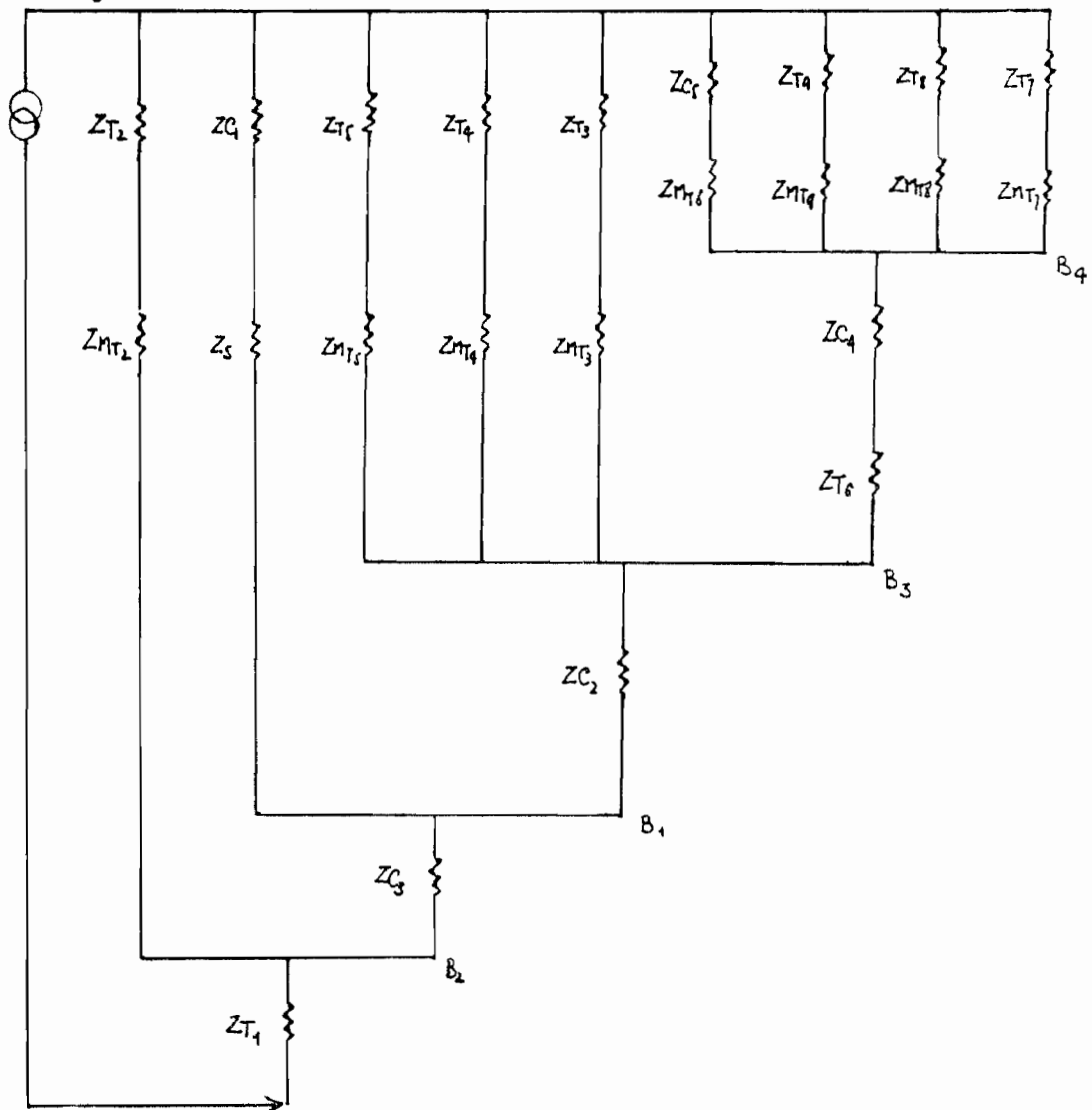
Intensité du courant nominal

$$I_N = \frac{2500 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0,38 \text{ KV}}$$

≈ 3799 Amperes

Intensité du courant momentané

- Diagramme d'Impédance



Impédance Equivalente

$$\begin{aligned}
 X''_{EQ_3} &= X''_{EQ_2} + Z_{T_1} \\
 &= 1,88 \times 10^{-3} + 0,065 \\
 &= 0,0738 \text{ p.u.}
 \end{aligned}$$

Intensité' du courant momentané

$$I_M = \frac{I_B}{X''_{EQ_3}}$$

$$I_B = \frac{2500 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0,38 \text{ KV}}$$

$$= 3799 \text{ Amperes}$$

$$I_M = \frac{3799}{0,0738}$$

$$= 51477 \text{ Amperes}$$

Intensité' du courant asymétrique

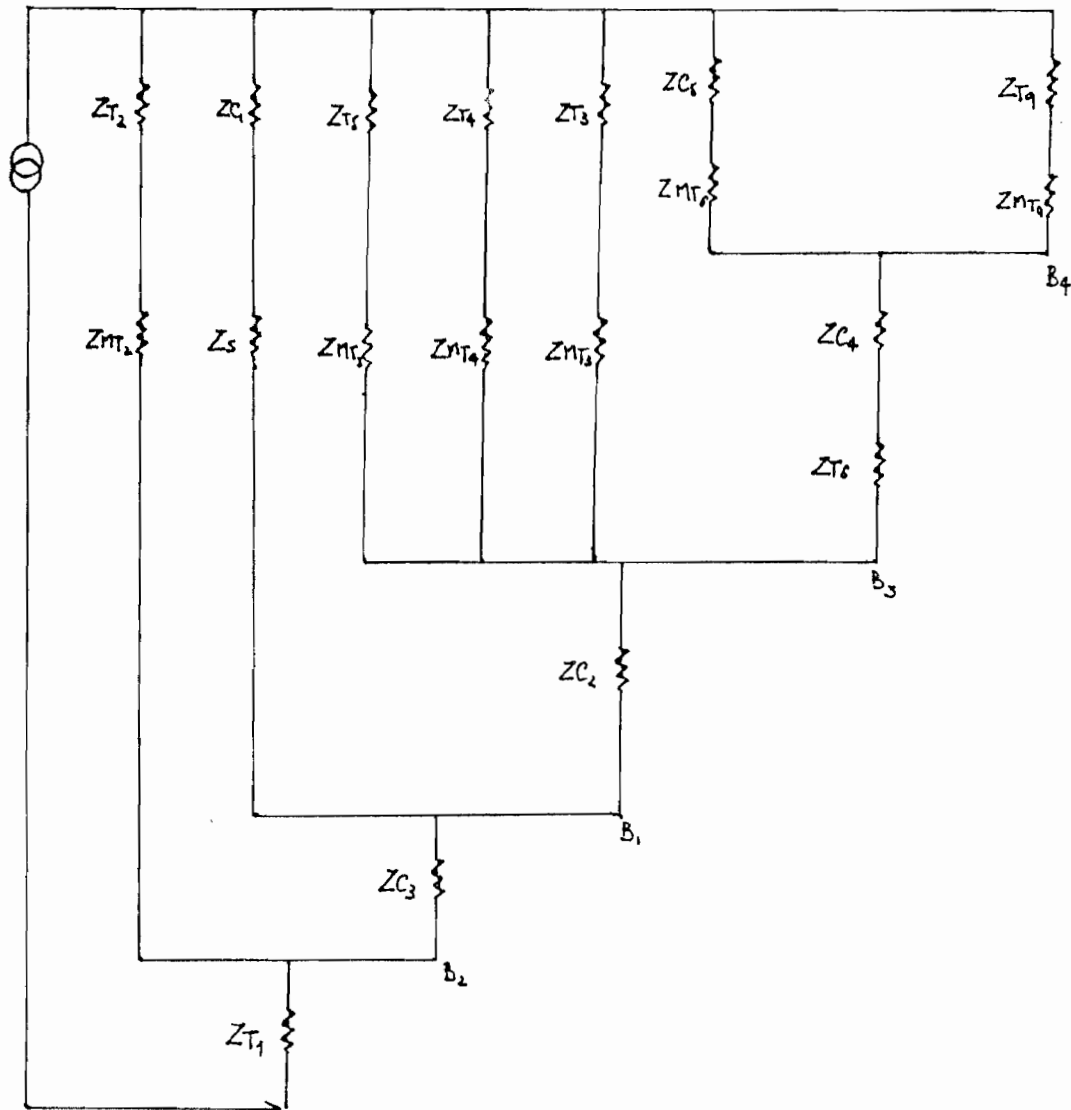
$$I_{as} = 1,6 I_M$$

$$= 1,6 \times 51477$$

$$= 82363$$

$$\approx 82400 \text{ Amperes}$$

Intensité du courant de coupure
- Diagramme d'Impédance



Impédance Equivalente

$$\begin{aligned}
 X'_{EQ3} &= X'_{EQ2} + Z_{T1} \\
 &= 7.94 \times 10^{-3} + 0.065 \\
 &= 0,0729
 \end{aligned}$$

Intensité du courant de coupure

$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{I_s}{X'_{EQ_s}} \\
 &= \frac{3799}{0,0727} \\
 &= 52256 \text{ Amperes}
 \end{aligned}$$

Dijoncteurs D_s et D_c

Tension	=	380V
Courant nominal	=	3800 Amperes
Courant asymétrique	=	82400 Amperes
Courant de coupure	=	52300 Amperes

Dimensionnement : sectionneur et disjoncteur
des condensateurs

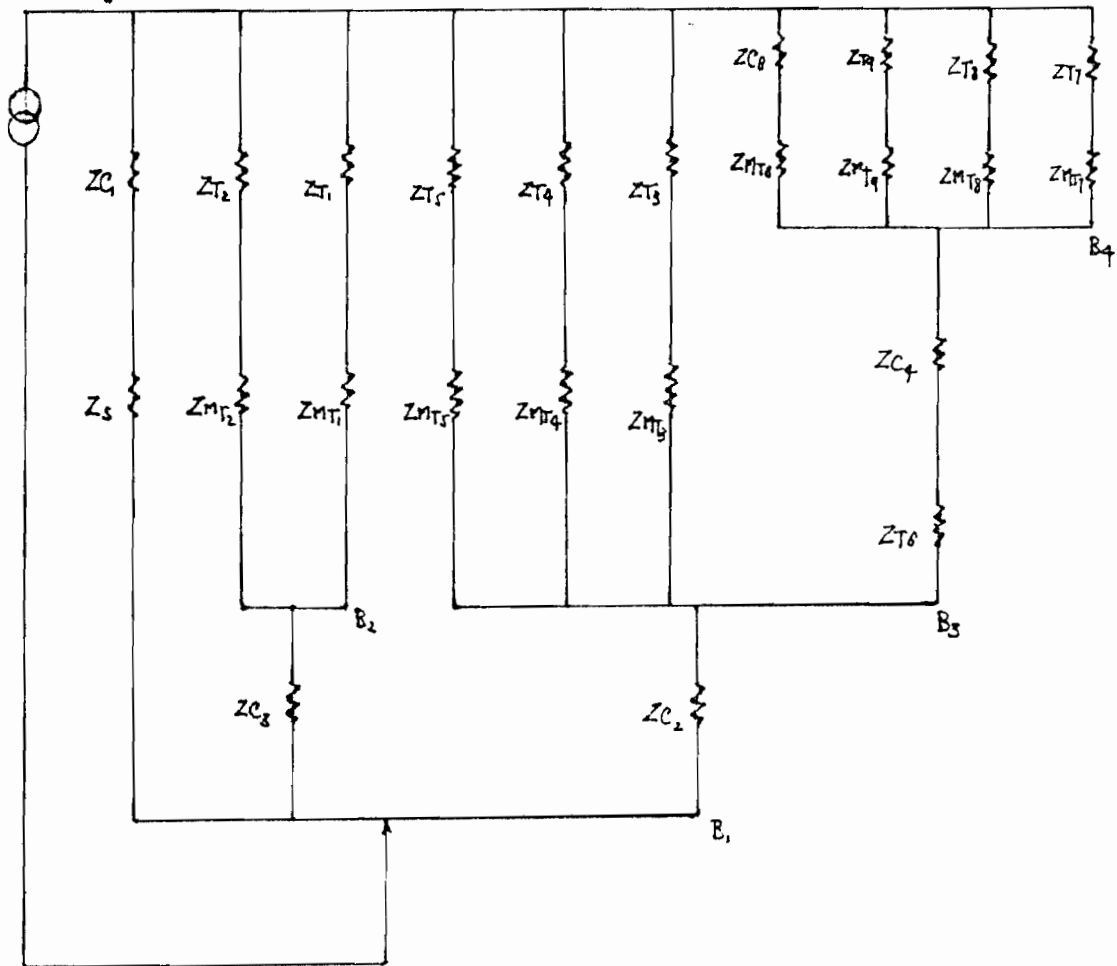
Disjoncteur D₃

Intensité du courant nominal

$$I_N = 204 \text{ Amperes}$$

Intensité du courant momentané

- Diagramme d'Impédance



Impédance Equivalente

<u>Branche</u>	<u>1/x''</u>
$Z_{T1} + Z_{MT1}$	$(0,065 + 0,268)^{-1} = 3,00$
$Z_{T2} + Z_{MT2}$	$(0,065 + 0,275)^{-1} = 2,94$
Total	5,94

$$X''_S = \frac{1}{5,94} = 0,17 \text{ p.u.}$$

$Z_{E3} + X''_S$	$(1,475 \times 10^{-5} + 0,17)^{-1} = 5,88$
X''_3	$(9,12 \times 10^{-3})^{-1} = 109,65$
Total	= 115,53

$$X''_{EQ} = \frac{1}{115,53} = 8,65 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

Intensité du courant momentané

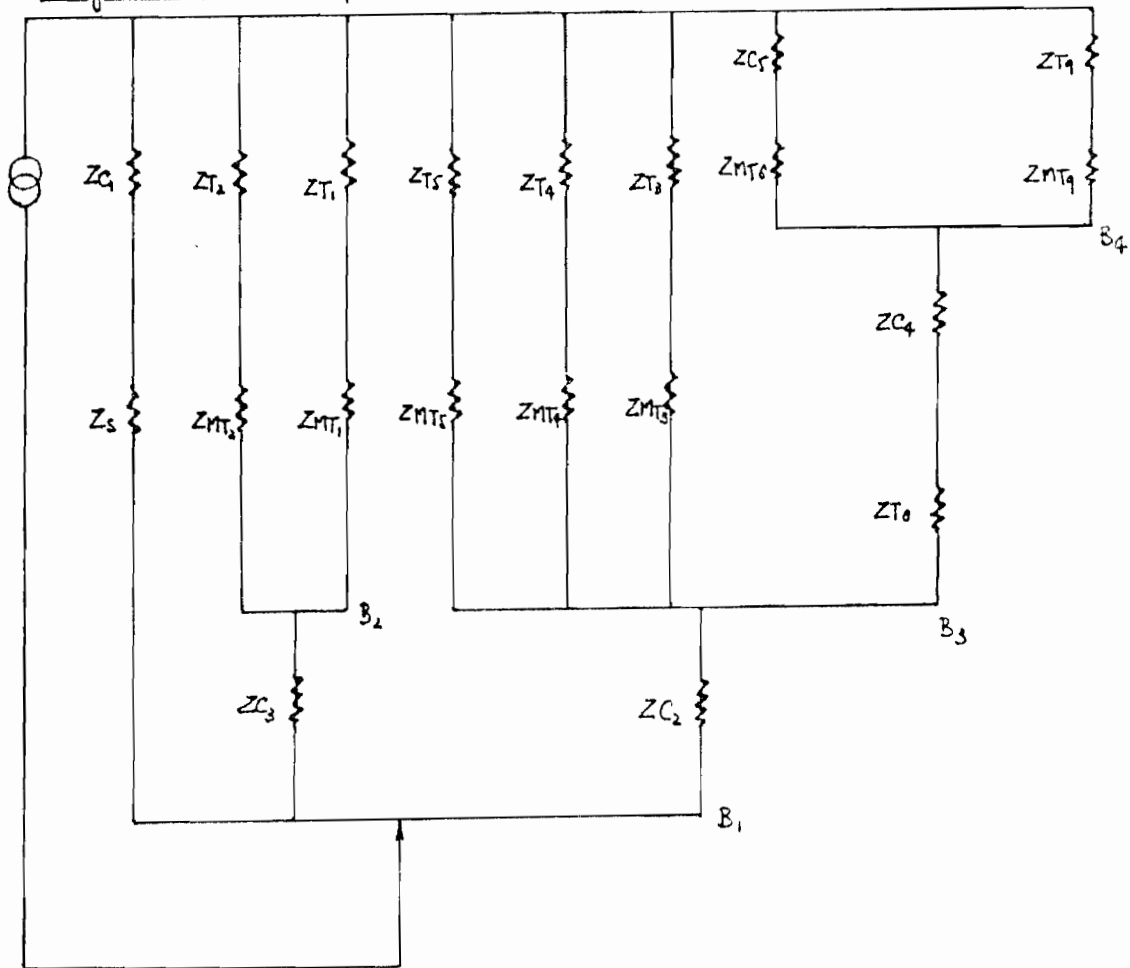
$$\begin{aligned} I_M &= \frac{I_B}{X''_{EQ}} \\ &= \frac{48,1}{8,65 \times 10^{-3}} \\ &= 5557 \text{ Ampères} \end{aligned}$$

Intensité du courant asymétrique

$$\begin{aligned} I_{ass} &= 1,6 \times 5557 \\ &\approx 8890 \text{ Ampères} \end{aligned}$$

Intensité du courant de coupure

- Diagramme des Impédances



Impédance Equivalente

<u>Branche</u>	<u>1/X'</u>
$Z_{T1} + Z_{MT1}$	$(0,065 + 0,050)^{-1} = 8,69$
$Z_{T2} + Z_{MT2}$	$(0,065 + 0,037)^{-1} = 9,80$
Total	18,49

$$X'_S = \frac{1}{18,49} = 0,054 \text{ p.u}$$

<u>Branche</u>	<u>1/X'</u>
$ZC_3 + X'_r$	$(1,475 \times 10^{-5} + 0,056)^{-1} = 19,99$
X'_3	$(8,38 \times 10^{-3})^{-1} = 119,49$
Total	139,48

$$X'_{EQ} = \frac{1}{139,48} = 7,16 \times 10^{-3}$$

Intensité du courant de coupure

$$I_c = \frac{I_B}{X'_{EQ}}$$

$$= \frac{48,1}{7,16 \times 10^{-3}}$$

$$\approx 6720 \text{ Amperes}$$

Sectionneur Sr

$$\text{Tension} = 30 \text{ KV}$$

$$\text{Courant nominal} = 204 \text{ Amperes}$$

$$\text{Courant asymétrique} = 8890 \text{ Amperes}$$

Dyoncteur D_r

$$\text{Tension} = 30 \text{ KV}$$

$$\text{Courant nominal} = 204 \text{ Amperes}$$

$$\text{Courant asymétrique} = 8890 \text{ Amperes}$$

$$\text{Courant de coupure} = 6720 \text{ Amperes}$$

Dimensionnement des Fusibles

Fusible F_1 et F_2

Intensité du courant nominal

$$I_N = I_c = 192,5 \text{ Ampères}$$

Intensité du courant momentané

$$I_M = \frac{I_B}{0,01}$$

$$= \frac{48,1}{0,01}$$

$$\approx 4800 \text{ Ampères}$$

$$I_{as} = 1,6 I_M$$

$$= 1,6 \times 4800$$

$$\approx 7700 \text{ Ampères}$$

Fusibles F_1 et F_2

$$\text{Tension} = 30 \text{KV}$$

$$\text{Courant nominal} = 192,5 \text{ Ampères}$$

$$\text{Courant asymétrique} = 7700 \text{ Ampères}$$

Note: Pour F_3 on peut prendre des fusibles identiques à F_1 et F_2

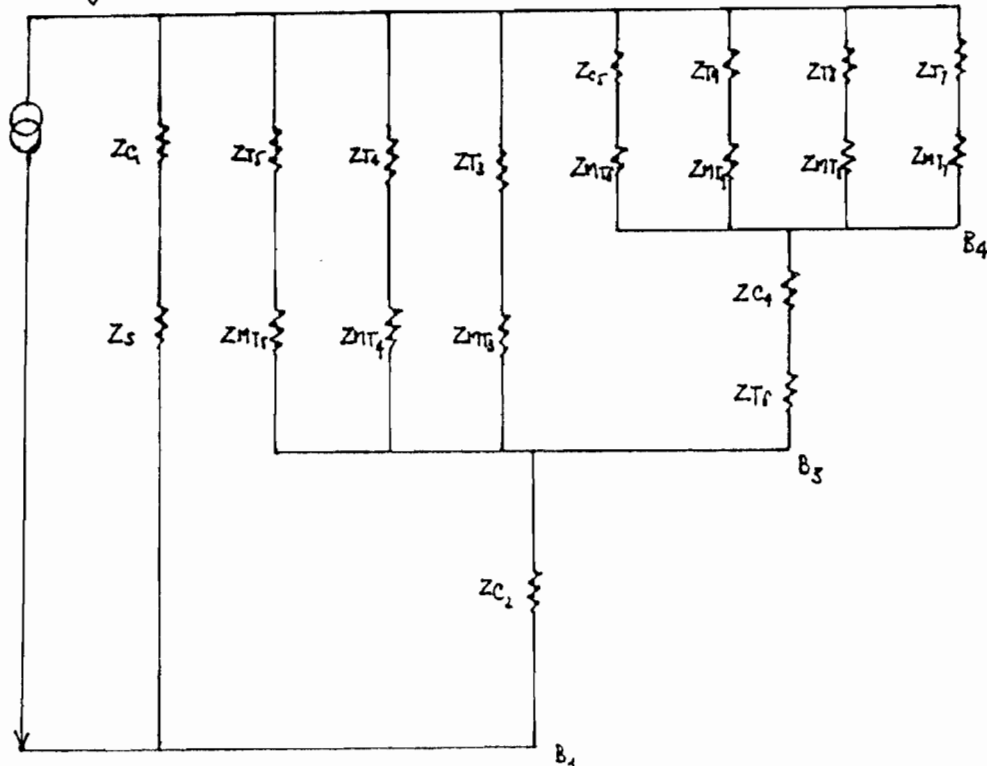
Fusible F₄

Intensité du courant nominal

$$I_N = I_{C_3} = 77 \text{ Amperes}$$

Intensité du courant momentané

- Diagramme d'Impédance



Impédance Equivalente

$$X''_{EQ} = X''_4 = 9,11 \times 10^{-3}$$

Intensité du courant asymétrique

$$I_{ass} = 1,6 \times \frac{48,1}{9,11 \times 10^{-3}} \approx 8500 \text{ Amperes}$$

Dimensionnement des Sectionneurs

Sectionneurs S_1, S_2 et S_3

Intensité du courant nominal

$$I_N = I_c = 192.5 \text{ Amperes}$$

Intensité du courant asymétrique

$$\begin{aligned} I_{as} &= 1.6 I_N \\ &= 1.6 \frac{48.1}{0.01} \\ &\approx 7700 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

Sectionneurs S_1, S_2, S_3

Tension	= 30KV
Courant nominal	= 192.5 Amperes
Courant asymétrique	= 7700 Amperes

Sectionneur S_4

même calcul que fusible F_4

Sectionneur F_4 , Fusible F_4

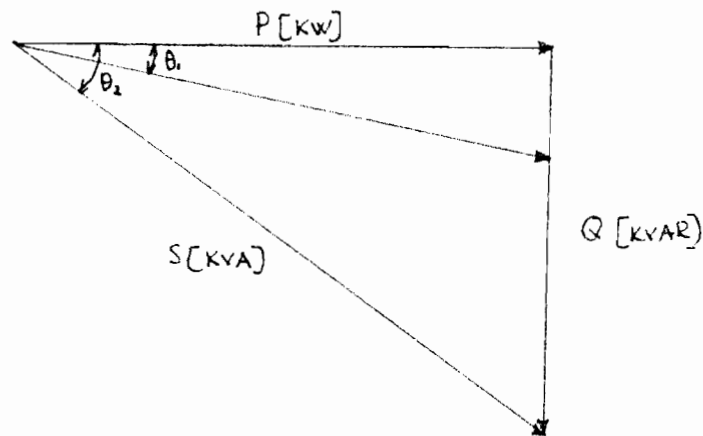
Tension	= 30KV
Courant nominal	= 77 Amperes
Courant asymétrique	= 8500 Amperes

FACTEUR DE PUISSANCE

Le facteur de puissance de l'usine Sococim : $\cos \theta_1 = 0,78$
 Nous nous proposons de la relever jusqu'à : $\cos \theta_2 = 0,98$
 à l'aide d'une batterie de condensateurs

Puissance des charges connectés $\approx 7750 \text{ kW}$

Diagramme de charge.



$$\text{KVAR} = \text{KW} \cdot \tan \theta$$

$$\text{Kvar pour le F.P d'origine} = \text{kw} \tan \theta_1$$

$$\text{Kvar pour le F.P amélioré} = \text{kw} \tan \theta_2$$

$$\text{Kvar requis pour relever le F.P. KW} (\tan \theta_2 - \tan \theta_1)$$

$$\text{Kvar requis} = 7750 (\tan 38,74 - \tan 11,49)$$

$$= 4650 \text{ KVAR}$$

choix : $\text{Kvar} = 4650 \text{ KVAR}$, Tension 30KV

MISE à la TERRE

A) Généralités

Rôle des mises à la terre

Les mises à la terre des systèmes de puissance et des différentes structures métalliques auxquelles ils sont reliés ou qui les supportent sont établies en vue de contribuer à la sécurité des personnes et à la protection du matériel à l'égard des surtensions à fréquence industrielle ou d'origine atmosphérique

Conditions auxquelles doivent satisfaire les prises de terre

D'une façon générale, il est souhaitable de réaliser une prise de terre de résistance aussi faible que possible. Toute augmentation de la résistance des prises de terre des masses augmente le potentiel auquel l'écoulement des courants de défauts est susceptible de porter momentanément ces masses

Méthodes de mise à la terre

Les mises à la terre des systèmes de puissance se font à l'aide de tiges spéciales ayant une résistance déterminée ou à l'aide d'une maille voir fig (1) et fig (2) pages suivantes

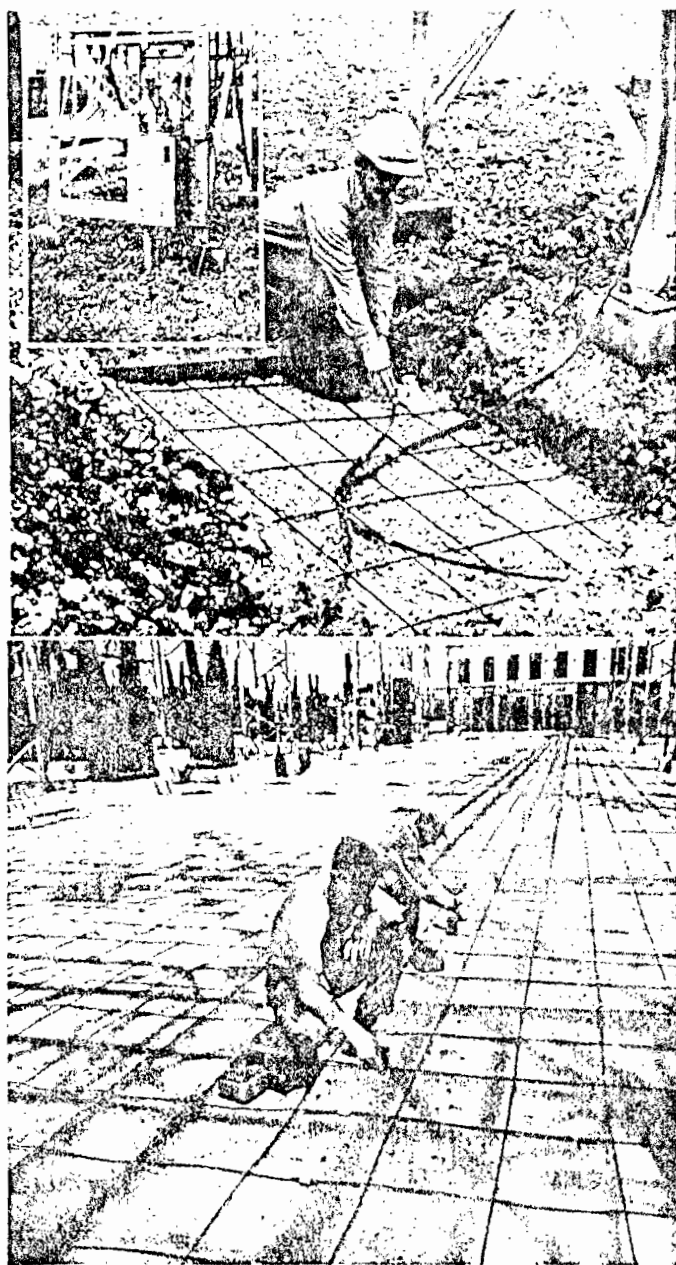


Fig ① Exemple de Mise à la Terre
au moyen d'une grille

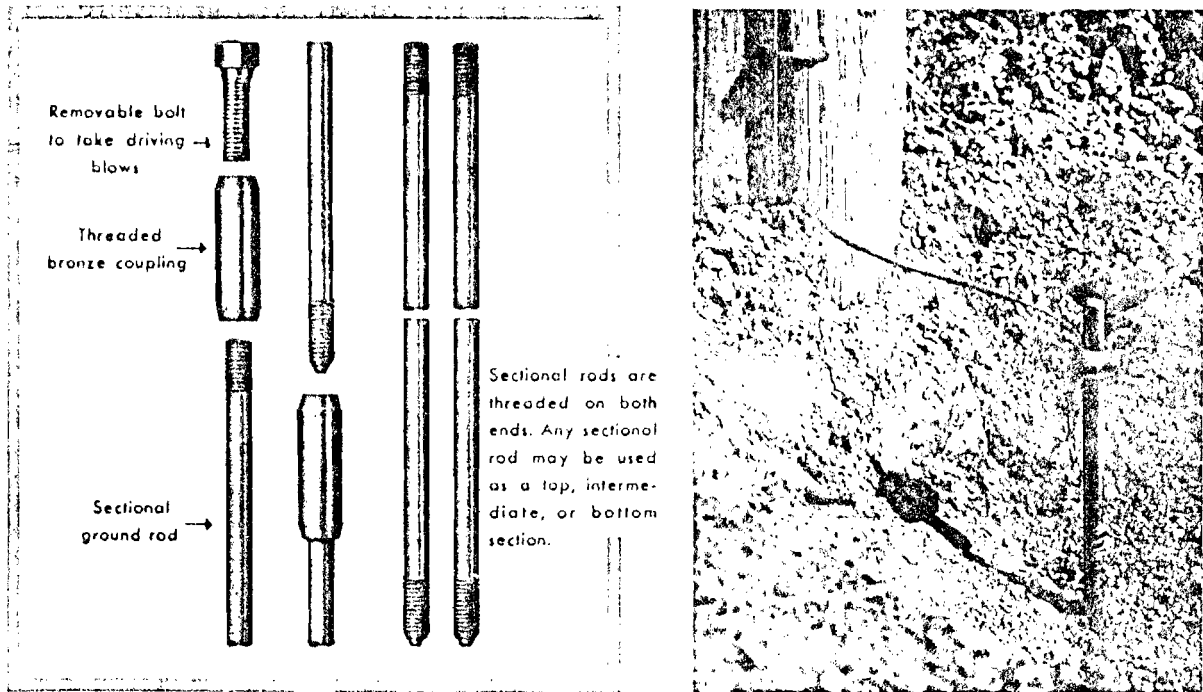


fig ② Exemple de Mise à la Terre
au moyen d'une tige

B)

Mises à la terre par tiges

B) Diminution de la résistance d'une tige en fonction de la profondeur de pénétration et de la nature du sol

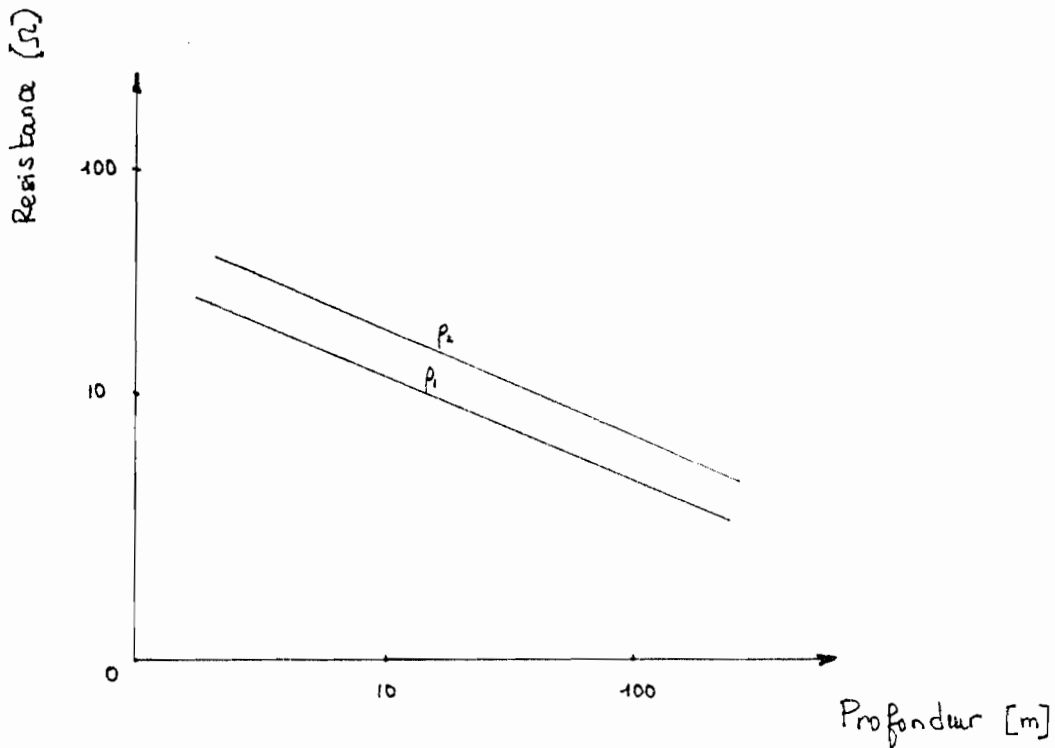


fig ③ Diminution de la résistance d'une tige en fonction de la profondeur pour un terrain uniforme de résistivité donnée

Note : ρ représente la résistivité du sol en ohm cm^3

L'échelle est logarithmique

Les courbes sont des représentations graphiques de l'équation suivante :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right)$$

R : Résistance en ohm de la tige

L : Longueur de la tige en cm

r : Rayon de la tige en cm

ρ : résistivité du sol en ohm.cm³

c) Diminution de la résistance en fonction du nombre de tiges et de l'écartement entre les tiges

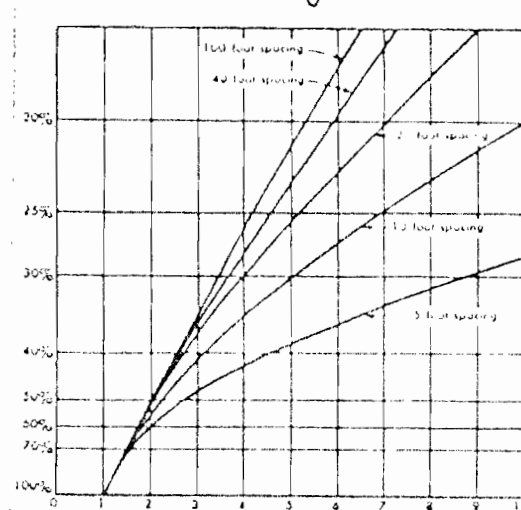
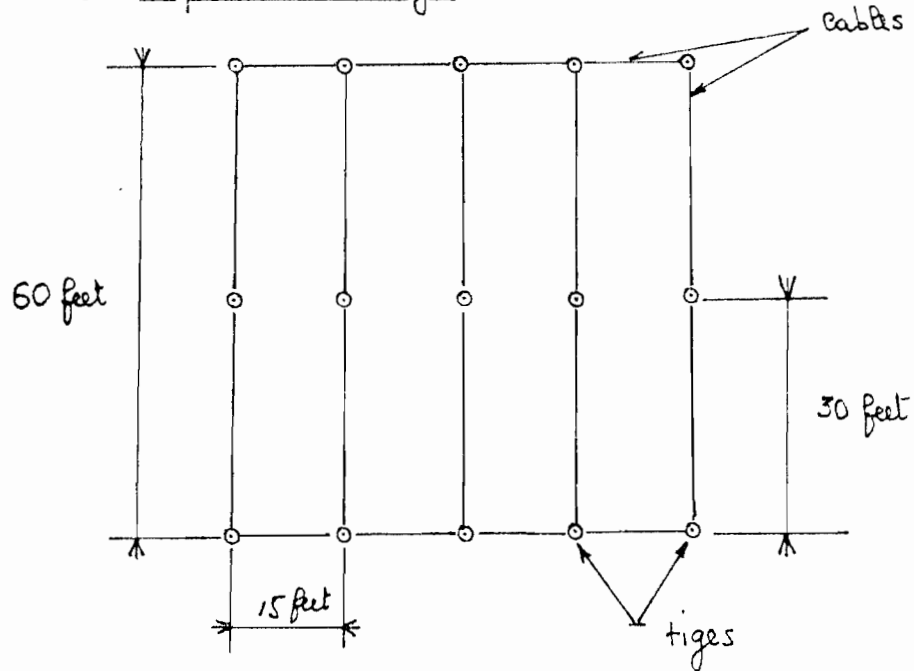


Fig 4

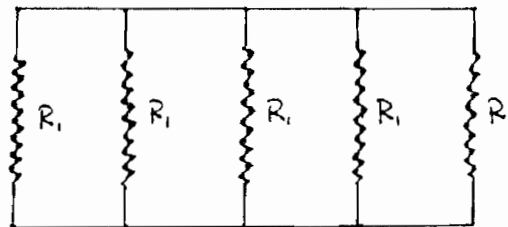
Variation de la résistance de mise à la terre en fonction du nombre de tiges et de l'écartement entre tiges

D) Détermination de la résistance de mise à la terre

a) Disposition des tiges



b) Calcul de la résistance de mise à la terre R_{EQ}



Note: . Pour les cables reliant les tiges voir annexe
 . 1 foot = 30.48cm

Terrain calcaire

$$\rho = 4060 \text{ ohms/cm}^3$$

Tige, diamètre : 2.54 cm

Longueur : 300 cm

Résistance d'une tige

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \\ &= \frac{4060}{2\pi \times 300} \left(\ln \frac{4 \times 300}{1.27} - 1 \right) \\ &= 12,6 \Omega \end{aligned}$$

Détermination de la résistance R_1

$$\begin{aligned} R_1 &= 27,5\% R : \text{graphique fig ④} \\ &= 27,5\% \cdot 12,6 \\ &= 3,46 \Omega \end{aligned}$$

Détermination de la résistance de mise à la terre R_{EQ}

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{EQ}} &= \frac{5}{R_1} \\ R_{EQ} &= \frac{3,46}{5} \Omega \\ &= 0,69 \Omega \end{aligned}$$

CONCLUSION

En tenant compte des contraintes imposées par la SE. NELEC et des besoins de l'usine SOCOEM, nous avons réalisé le cahier de charge du domaine d'étude que nous avons défini et spécifié dans le schéma unifilaire n° 2. La réalisation du devis a été précédée d'une étape qui consiste en la détermination des différentes composantes nécessaires aux installations pour répondre au but fixé : concevoir en respectant les normes de sécurité exigées, ainsi après le dimensionnement des systèmes de puissance, une étude des protections primaires et secondaires de ces systèmes contre les surtensions d'origine atmosphérique et à fréquence industrielle a été réalisée. Une étude de mise à la terre a été aussi effectuée dans le but de faire écouler vers la terre les courants de fuite à travers une résistance aussi réduite que possible et assurer ainsi la sécurité des personnes.

Nous n'avons pas pu faire l'étude de coordination ceci est dû aux difficultés rencontrées pour obtenir les caractéristiques des éléments. Pour les éléments de génie civil (supports des disjoncteurs etc), nous ne les avons pas déterminé vu qu'ils sont standardisés et livrés avec les commandes. En ce qui concerne les bâtiments dans lesquels sont logés les systé-

mes de puissance et éléments de protection nous avons jugé nécessaire de spécifier deux dimensions (voir schéma)

Enfin pour l'étude de coûts nous devons noter qu'il ne peut donner qu'une idée approximative du montant nécessaire pour la réalisation pratique de ce projet vue que nous n'avons pu obtenir que les prix de certains éléments et que ces mêmes prix avec la conjoncture internationale sont sujets à de multiples variations

ANNEXES

Description des Test Requis (Huile des transformateurs)

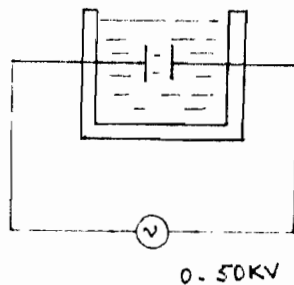
L'entretien préventif des transformateurs doit être fait périodiquement afin d'assurer leur fiabilité de fonctionnement et la durée normale qu'on peut en attendre et d'éviter certains dommages qui peuvent engendrer d'énormes dépenses.

Il est plus rentable si l'on considère le risque de payer un transformateur neuf que de faire fonctionner un transformateur présentant certaines déficiences vu les conséquences qui peuvent en découler, ainsi pour les transformateurs à huile certaines analyses faites sur cette dernière peuvent à priori donner une idée de l'état de ces mêmes transformateurs et guider dans la prise de décision.

Test Requis

a) Rupture du diélectrique

permet de vérifier la présence d'eau dans l'huile



Note: jusqu'à 30KV
le diélectrique ne doit
pas être rompu

b) Neutralisation

permet de vérifier l'acidité de l'huile

NN : nombre de milligramme de KOH (Hydroxyde de Potassium) nécessaire pour neutraliser 1 gramme d'huile

c) Tension de surface (Interfacial Tension) I.F.T

permet de vérifier les dépôts de boue

la mesure est faite à l'aide d'une balance (Genco Du Noüy Tensiometer)

huile propre I.F.T > 40 dynes/cm

huile détériorée I.F.T < 18 dynes/cm

d) Couleur

l'huile qui se détériore change de couleur

- Indice de qualité de l'huile (Myers Index Number)

$$\text{on définit : } \text{M.I.N.} = \frac{\text{I.F.T}}{\text{N.N}}$$

$$\text{huile propre } \text{M.I.N.} = 1500$$

Tableau récapitulatif des différents états
de l'huile des transformateurs en fonction
des paramètres N.N et I.F.T

N.N	I.F.T	MIN	COULEUR	QUALITÉ	DECISION
0,00 à 0,10	30,0 à 45,0	300 à 1500	Jaune pâle	excellente	pas d'entretien pour l'huile
0,05 à 0,11	27,1 à 29,9	271 à 600	jaune	Bonne	Nécessité d'entretien preventif Filtres / eau solide
0,11 à 0,15	24 à 27	160 à 318	jaune vif	moyenne	Nécessité d'entretien preventif Filtres / eau solide
0,16 à 0,40	18,0 à 23,9	45 à 159	Brune	mauvaise	Filtres + Filtres à Earth et faire circuler huile chaude 75 à 80°C dans le transfo pour déloger les brues
0,41 à 0,65	14,0 à 17,9	22 à 44	Brune	très mauvaise	même traitement que précédemment si NN > 0,50 jeter l'huile
0,66 à 1,50	9,0 à 13,9	6 à 21	Brune sombre	extrêmement mauvais	même traitement que ce qui précède
> 1,51	-	-	Noir	absolument mauvais	Remplacer le transformateur

Tableau donnant la grosseur minimale du conducteur de mise à la terre d'un réseau C.A. ou d'un conducteur commun de mise à la terre

TABLEAU 17
(Voir articles 10.204, 10.206 et 10.812)
GROSSEUR MINIMALE DU CONDUCTEUR DE MISE À LA TERRE D'UN RÉSEAU C.A. OU D'UN CONDUCTEUR COMMUN DE MISE À LA TERRE

TABLE 17
(See rules 10.204, 10.206, and 10.812)
MINIMUM SIZE OF GROUNDING CONDUCTOR FOR AC SYSTEMS OR COMMON GROUNDING CONDUCTOR

Intensité des conducteurs de branchement — Ampacity of largest service conductor or equivalent for multiple conductors	Grosseur AWG du conducteur de cuivre de mise à la terre — Size of Copper grounding conductor AWG
100 ou moins/or less	8
101 à/10 125	6
126 à/10 165	4
166 à/10 260	2
261 à/10 355	0
356 à/10 475	00
Plus de/over 475	000

Note: L'intensité des conducteurs (s'ils sont en parallèle, additionner leurs intensités) est déterminée en tenant compte du nombre et du type d'isolant des conducteurs dans le conduit. Utiliser le tableau approprié 1, 2, 3, 4, 4A ou 4B.

Note: The ampacity of the largest service conductor, or equivalent if multiple conductors are used, is to be determined from the appropriate code table 1, 2, 3, 4, 4A or 4B taking into consideration the number of conductors in the conduit and the type of insulation.

Note: On prendra un câble de même calibre pour les conducteurs de mise à la terre et les conducteurs reliant les tiges de mise à la terre

BIBLIOGRAPHIE

- - F. KREITH Transmission de la chaleur
 et Thermodynamique
 Masson et Cie Editeurs , 1967

- J. CABIROL , A. PELISSOU , D. ROUX
 Le chauffe-eau solaire
 Edisud Aix-en-Provence 1976

- J.A. DUFFIE , W.A. BECKMAN
 Solar Energy thermal processes
 John Wiley & Sons Edition 1974

- Congrès International de Physique Nucléaire
 Paris , 2-8 Juillet 1974

- Planification habitat information , Juin 1975
 La cuisinière solaire type "Calebasse" , BCEOM
 p. 88

- O. CISSE , Conception et réalisation d'un
 suiueur solaire , E.P.T Juin 1978

BIBLIOGRAPHIE

Harvey GAGNE , notes de cours

Donald BEEMAN , Industrial power systems handbook
Mc Graw-Hill Book Company

Practical Grounding

' Copperweld industries international,
inc. new york