

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

4/84

1ea

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

(Avec
planche)
2 exemplaire
sans planches

DEPARTEMENT : Electrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Avant-Projet d'un poste
10,5 / 30 / 220 KV

14 PLANS

Proposé par :
Jan GOTTFRIED
Dr. Es - Sciences Tech.

Etudié par :
BENATTOUS Djillani
CHEMACHEMA Salah

Dirigé par :
Jan GOTTFRIED
Dr E.s - Sciences Tech.



PROMOTION : Juin 1984



Resume

Notre projet fait l'objet d'une étude de poste de transformation qui consiste à donner les règles directrices pour la réalisation. En premier lieu nous établissons les schémas principaux du poste. Dans second ordre, on abordera le calcul de court-circuit qui nous permettra de procéder à un choix judicieux des équipements électriques, en dernier lieu on cite les protections.

SUMMARY

Our subject has been the study of a transformer, consisting of some guide lines for implementation. Firstly, we will establish the main schemes of the transformer. Secondly, we make the short-circuit computation which leads to a judicious choice of the electrical equipment and finally we will try to give the protections.

ملخص

مشروعنا هو بحث لدراسة مركز، الذي سمح لنا لا عطاء قواعد توجيهية لتحقيقه في البداية و وضعنا مخطط أساسي للمركز. ثم تعرضنا لحساب الدارة القصيرة الذي سمح لنا لا اتخاذ اختيار حكيم للتجهيزات الكهربائية وأخيرًا حولنا ذكر الحماية.

DÉDICACES

- A l'honneur de mon père pour les soins qu'il a prêtés à ma formation et à mon éducation
- A la mémoire de ma mère
- A mes frères et sœurs
- A mon ami BOUDJLTHIA Hani et tous les amis.
- A toute la famille

Je dédie ce modeste travail.

S. Chemachem

- A la mémoire de mon père, lui qui m'a montré le chemin de l'école et qui n'a pas eu la chance de me voir en sortie.
- A ma mère
- A mon frère MOHAMED qui a été pour moi un soutien indéfectible durant toute ma vie.
- A tous mes frères (Ahmed, Khemesti); à ma sœur
- A toute la famille.
- A tous les amis.

Je dédie ce travail.

Djilani BENATTOUS.

Benf

Remerciements.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Monsieur:
Jean Gottfried pour les précieux conseils qu'il nous a prodigués
tout au long de notre étude du projet.

Nos remerciements vont également à tous les professeurs
qui ont contribué à notre formation d'une manière directe
ou indirecte tout au long de notre vie scolaire.

On ne saura comment remercier tous les agents de l'équipe
KD de la SONEGAZ pour la précieuse aide morale et
matérielle qu'ils nous ont prêtée.



Symboles	UNITÉS.
R : resistance.	$[\Omega]$.
L : inductance.	$[H]$.
V : valeur efficace de la tension d'alimentation	$[V]$.
φ : déphasage entre la tension et le courant	$[rd]$.
ψ : phase initiale	$[rd]$.
σ : Contrainte	$[kgf/cm^2]$.
M_f : Moment fléchissant	$[kg \cdot cm]$.
J : moment d'inertie de la barre.	$[cm^4]$.
ρ : densité volumique de la barre	$[kg/m^3]$.
E : Module d'élasticité	$[kg/mm^2]$.
S : Section de la barre.	$[mm^2]$.
l : longueur de la barre entre deux isolateurs	$[m]$.
d : distance entre deux barres	$[m]$.
μ_0 : perméabilité du vide	$[H/m]$.
θ : la température	$[^\circ C]$.
M : Masse du conducteur	$[kg]$.
C : chaleur spécifique	$[J/kg \cdot ^\circ C]$.
t : durée de court circuit	$[s]$.
t_f : temps fictif.	$[s]$.

Sommaire.

	Page
INTRODUCTION.	1
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU POSTE.	
1. Agencement du poste	2
2. Présentation de la partie électrique	3
3. Equipement électrique des différentes travées	4
4. Plan de masse	5
CHAPITRE II : CONDITIONS DE SÉCURITÉ.	
1. Distance minimale	6
2. Distance pratique	7
3. Distance de Sécurité	8
CHAPITRE III : CALCUL DES COURANT DE COURT CIRCUIT.	
1. Rappel théorique	11
2. Application	19
CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DES JEUX DE BARRES.	
1. Détermination des sections des J.d.b.	32
2. Vérification aux efforts électrodynamiques	33
3. Vérification aux efforts statiques	35
4. Efforts dynamiques	36
5. Applications	38
6. Vérification aux efforts thermiques	40
CHAPITRE V : CHOIX D'APPAREILLAGE.	

Page.

1. Choix des transformateurs de courant.	48
2. Choix des transformateurs de tension.	53
3. Isolateurs	56
4. détermination des sections des conducteurs.	57
5. Choix des disjoncteurs et des sectionneurs.	59

CHAPITRE VI : EQUIPEMENT BASE TENSION DU POSTE.

1. Bâtiments de relayage.	61
2. Bâtiment de commande.	62

CHAPITRE VII : PROTECTION :

1. Protection de la ligne 220 kv.	71
2. Protection du transformateur.	75
3. Protection de la masse du transfo.	78
4. Protection des J.d.b. 220 kv.	80
5. Protection contre les surtensions.	80
6. Réseau général de terre.	82
CONCLUSION.	86

Données techniques:

Partie THT: 220 kV

- deux lignes d'arrivées 220 kV
- Un départ 220 kV
- deux j.d.b 220 kV
- deux transformateurs de puissance 80 MVA chacun.
- Un coupleur
- la puissance de court circuit sur le j.d.b 220 kV: $S_{cc} = 2.5 \text{ GVA}$.

Partie moyenne tension: 30 kV

- deux cellules arrivées.
- Six cellules départs.
- Un j.d.b. sectionné.

Partie moyenne tension 10.5 kV:

- deux cellules arrivées groupées.
- quatre cellules départs
- Un j.d.b sectionné.

Caractéristiques du transformateur de puissance:

- Puissance 80/80/40 MVA.
- tensions nominales 10.5/30/220 kV.
- Couplage. $\Delta/Y/Y$.
- tensions de court circuit:

$$U_{cc} (220/30) = 15\%$$

$$U_{cc} (220/10.5) = 10\%$$

$$U_{cc} (30/10.5) = 6\%$$

- fréquence 50 Hz.

Alternateurs: $S_n = 40 \text{ MVA}$; $U_N = 10.5 \text{ kV}$; $X_d'' = 0.12$.

INTRODUCTION.

Un réseau de transport d'énergie se présente sous la forme d'un maillage de lignes à haute tension qui couvrent l'ensemble d'un territoire donné et dont les noeuds sont constitués par des postes. On distingue plusieurs types de postes classés selon les fonctions qu'ils assurent.

- Poste élévateur.
- Poste d'interconnexion.
- Poste abaisseur ou de distribution.

Notre étude fait l'objet d'un avant projet de poste élévateur 10.5/30/220 kv qui consiste à donner les directives générales pour la réalisation d'un poste.

En premier lieu nous établirons les schémas principaux du poste en se basant sur les règles de normalisation et de coordination à l'installation des postes (normes fixées par CIE).

Le dimensionnement de tous les éléments qui constituent notre poste nécessite la connaissance aussi exacte que possible des courants de court circuit, ainsi que les efforts électrodynamiques ; et thermiques auxquels ils sont soumis.

Un aperçu général sera donné sur l'équipement basse tension du poste, on terminera par une étude des différentes protections jugées indispensables pour sauvegarder l'installation.

Présentation du Poste :

Introduction:

la réalisation d'un ouvrage complet de poste necessite deux sortes d'études : l'une électrique l'autre genie civil.

L'étude électrique concerne le dimensionnement et le choix de l'appareillage électrique qui constitue notre poste, un choix qui doit présenter une bonne rentabilité aussi bien du point de vue électrique que du point de vue économique ainsi qu'une bonne sécurité pour le personnel exploitant. Un ensemble de schéma doit accompagner cette étude et illustrer d'une manière claire l'ensemble de cet appareillage, sa disposition, ses dimensions et ses traits généraux. cette étude électrique concerne aussi bien la partie haute du poste, que sa partie basse tension.

l'étude genie civil quand a elle, consiste en un relevé topographique du terrain, une étude géologique du sol ainsi que la conception de l'architecture du poste, cette étude ne concerne pas notre spécialité nous avons uniquement considéré un plan de masse pour donner une idée générale de l'implantation du poste et son architecture.

1. Agencement du poste :

Ence qui concerne le poste qu'on se propose d'étudier, est élévateur 10.5/30/220 kv comprenant sur les j.d.b 220 kv deux arrivées et un départ avec une travée eouplage qui permet à l'aide des sectionneurs d'aiguillage le passage d'un jeu de barre à un autre dans le cas ou un j.d.b est défaillant ou la protection d'une ligne avec disjoncteur en panne.

d'une manière plus claire.

3. Équipement électrique des différentes traveées :

3.1. Traveé ligne : pour le poste 220 kv elle comporte :

- deux sectionneurs d'aiguillage (SA).
- Un disjoncteur (Disj).
- Un sectionneur de ligne (SL).
- Un sectionneur de mise à la terre (MALT).
- trois transformateurs de courant (Tc) à trois enroulements.
- trois transformateurs de tension TT.
- trois circuits bouchons. (CB).

3.2. Traveé Couplage :

- deux sectionneurs d'aiguillage (SA).
- Un disjoncteur
- trois transformateurs de courant à un enroulement.

3.3. travée transformateur :

Elle comporte un transformateur de puissance à trois enroulements. de tensions nominales respectives 10.5/30/220 kv qui peuvent transiter une puissance de 80 MVA au secondaire et 40 MVA au tertiaire et pouvant supporter une surcharge de 25%.

la partie protection et mesure de cette traveé est composée de :

- deux sectionneurs d'aiguillage
- Un disjoncteur.
- Un parafoudre.
- trois bushings (Tc incorporés dans le transfo).

4. plan de masse : Voir plan n° 4.

le plan de masse représente une vue de dessus du poste occupé par deux installations électriques, intérieure et extérieure, ainsi que des villas pour le personnel d'exploitation. la réalisation des différentes parties de l'installation extérieure 220 kv est faite de telle façon à respecter les dispositions fixées par le schéma unifilaire.

Bibliographie.

installations électriques à haute et basse tension (A. MAUDUIT).

. Revue BROWN BOVERI (BBC).

. Catalogue appareillage MT (Merlin-Gerin).

Cahier de charge (SONELGAZ) - Edition Mai 1975.

Projet de Fin d'étude.

HEINY et NAUDY (Technologie d'électricité) Tome III.

Catalogue fils et câbles.

CONCLUSION:

- la conception des postes est effectuée suivant des programmes et des critères techniques tenant compte de l'état actuel et à venir des réseaux, et de considérations économiques fort complexes on a essayé de donner les traits généraux et les directives essentielles pour la réalisation. des difficultés ont été rencontrées lors de l'étude et qui sont dues à l'ignorance de l'endroit d'emplacement du poste ce qui nous n'a pas permis d'aborder en détail certaines parties comme :

- le réglage de la protection.
- la résistance du sol qui entre dans le calcul du réseau de terre.
- l'utilisation de deux transformateurs de grande puissance par rapport à la consommation est due au fait qu'on prévoit une augmentation de la charge par installation de nouveaux départs.
- l'étude économique n'a pu être traitée par manque de données telles que : coût du matériel, frais d'investissement, etc...

Enfin on a remarqué que l'étude du projet de poste est un domaine très vaste; chaque partie de notre étude peut faire l'objet d'une thèse de fin d'étude.

Conditions de Sécurité

Introduction:

la réalisation d'un poste nécessite le respect de certaines conditions. Certaines sont relatives aux installations ; il s'agit de la Sécurité du personnel et du matériel ; D'autres sont relatives à l'ensemble du poste ; c'est à dire celles qui tiennent compte de sa forme ; sa superficie ; la disposition des accès, les possibilités de manutention du matériel.

Application des règles de normalisation et de coordination à l'installation des postes:

Pour chaque type de poste il est nécessaire de prendre des mesures de sécurité pour l'appareillage constituant l'installation et le personnel exploitant. Pour éviter des court-circuits ou des amorçages qui se produisent en un point quelconque de l'installation pour des valeurs de tension inférieures ou niveau de tenue auquel correspond à l'échelon de tension considéré ; il est indispensable de respecter une distance minimale entre les pièces sous tension et masse d'une part et entre pièces sous tension de phases différentes d'autre part. A cette distance s'ajoutent des distances d'isolement relatives aux dimensions et à la forme de ces pièces et des distances de travail relatives aux cas éventuels d'intervention du personnel pour changer, réparer, ou entretenir une pièce quelconque de l'installation.

1. distances minimales:

distance minimale entre parties sous tension et masse :

elle correspond à la distance d'amorçage zéro pourcent (0%) qui on augmente de dix pour cent (10%) afin d'éviter la dispersion.

distance minimale entre parties sous tension de phases différentes:

C'est la distance minimale entre parties sous tension et masse augmentée de 15%.

2. distance pratique :

les distances ainsi définies s'entendent à minima, c'est à dire entre pièces sous tension et non entre leurs axes ; car certains appareils présentent une géométrie dissymétrique et leur implantation doit tenir compte de leurs formes et leurs dimensions d'autres considérations entre en jeu lors de l'étude de l'installation se sont essentiellement :

- le balancement des connexions souples sous l'effet du vent,
- les mouvements d'oscillations consécutifs aux efforts électrodynamiques engendrés par des courants de court circuit de valeurs très élevées dans les connexions.
- l'effet couronne qui à partir de l'échelon de tension 245 kV conduit dans certains cas à un accroissement des distances entre phases, ou si cela est économiquement impossible au choix d'une section des conducteurs plus élevée. fig(A).

en utilisant le graphe représentant la tension d'isolement du matériel U_i en fonction de la distance entre phase.

nous remarquons que sur les courbes pour éviter l'apparition de l'effet couronne pour un échelon de tension considéré ; on a recours soit à l'augmentation de la distance entre phases soit de prendre la section du conducteur normalisée immédiate.

-ment supérieure à la plus grande section susceptible de provoquer un effet Couronne ; les courbes ont été tracées en utilisant la formule de Peek. (Conditions atmosphériques normales et au niveau de la mer)

- l'altitude à laquelle est construit l'ouvrage : les valeurs indiquées sont valables jusqu'à l'altitude 1000m. au delà et jusqu'à 3000m les distances doivent être majorées de 1.25% par 100m

la tension disruptive varie en fonction de l'altitude cette variation (diminution) est représentée par un coefficient empirique dit Coefficient de diminution de la tension disruptive en fonction de l'altitude et qu'on représente dans le tableau suivant :

altitude en m au dessus du niveau de la mer	0	150	300	450	600	750	900	1200	1500
Coefficient	1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89	0.86	0.77

Distance de Sécurité :

Ce sont des distances nécessaires au personnel d'exploitation et d'entretien afin de lui permettre de circuler et d'intervenir en tout point du poste, elle s'ajoute aux distances définies précédemment qui elles correspondent aux conditions de fonctionnement du poste.

3-1: distance minimale entre le sol et les parties sous tension
 cette distance vise uniquement la circulation du personnel et s'entend à minima entre le niveau de circulation et la partie inférieure des pièces nues sous tension. elle est égale à la plus grande des distances ainsi définies :

$2.30 m + 0.0075 U_i$ avec un minimum de 3m.

U_i : tension nominale disolement du matériel sous tension pour

l'échelon de tension considéré.

- distance minimale à la masse augmentée de 2.25 m hauteur d'un opérateur bras levé avec un minimum de 3m.

- 2.25m entre le sol et la première jupe de l'isolateur.

3-2 Distance de travail:

Elles sont comptées horizontalement et verticalement entre parties sous tension et masse et entre pièces sous tension ; elles résultent de l'application des expressions suivantes :

- Horizontalement : 1.75 m + la distance à la masse pour l'échelon de tension considéré avec un minimum de 3 m.

- Verticalement : 1.25 m + la distance à la masse pour l'échelon de tension considéré avec un minimum de 3 m.

tension nominale		tension de tenue au choc (kV crête)	Distance d'amorçage 0% (cm)	Distances mini		Distances (cm)		
du réseau	d'isolateur du matériel			à la masse (cm)	entre phases (cm)	Mini au sol	de travail	
Un (kVeff)	Un (kVeff)					Sous Connexion	Horizontalement	Verticalement
225	245	900	196	216	250	445	391	341

3.3 Distance de Sécurité pour les manutentions:

Ce sont les distances permettant le transport du matériel à travers les échaussées (lourdes, et légères). Ces distances doivent tenir compte de la largeur des gabarits maximal susceptible d'être occupé par le matériel et de la hauteur du transport ; c'est à dire du camion plus la hauteur de l'appareil, on ajoute à la largeur la distance phase masse au dessus du point le plus haut du système matériel - camion.

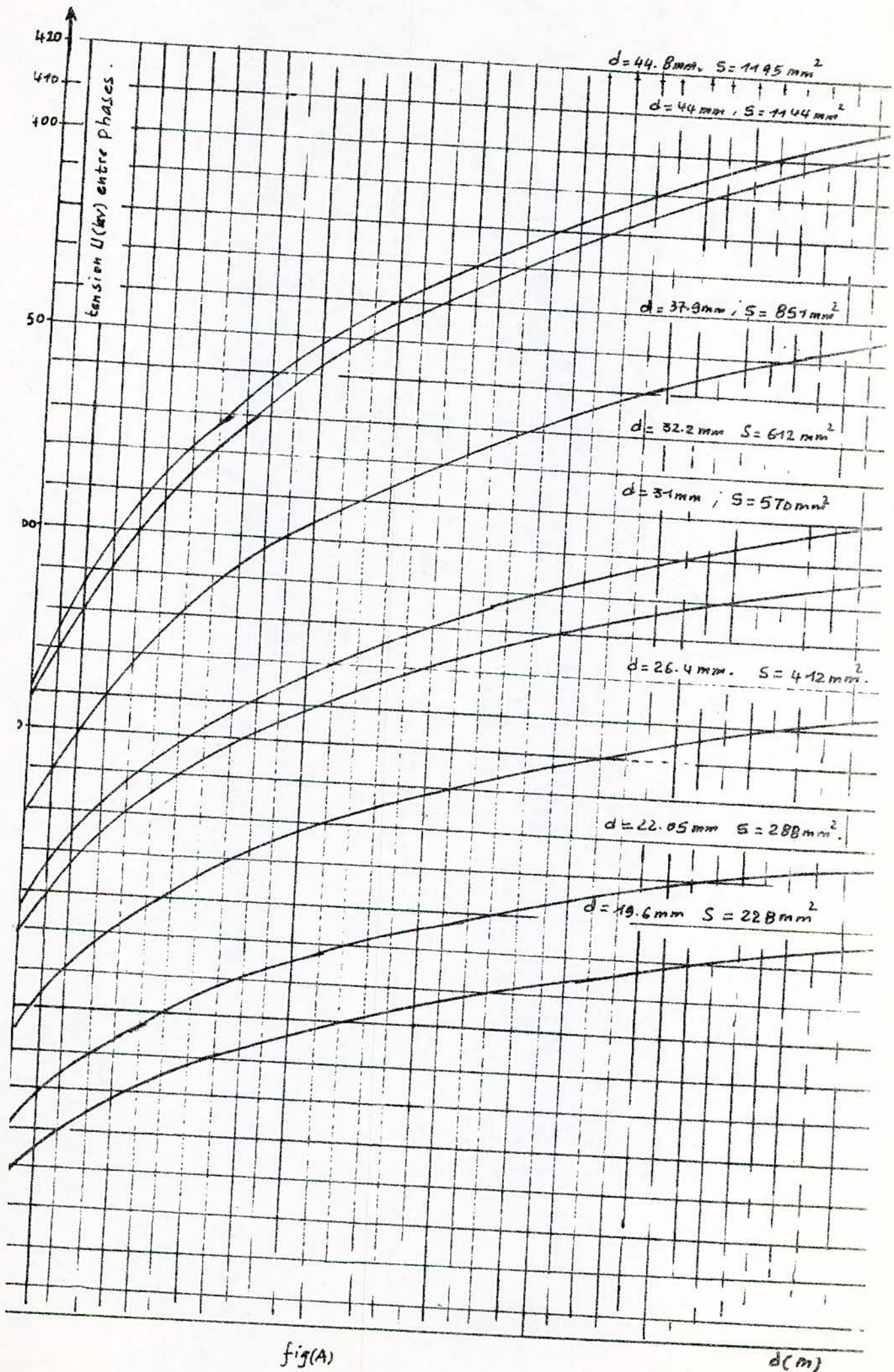
Ajoutant à cela la clôture extérieure qui doit avoir une hauteur minimum de 2m à 2.60m et doit être placée à une distance

de sécurité au matériel HT. les bâtiments doivent être construits de manière à ce que leur toit soit éloigné d'une distance de sécurité par rapport aux connexions.

On résume les distances considérées dans notre poste 220 kv.

distance entre barres voisines.	6.00 m
distance entre conducteurs voisins	4.40 m
distance minimale à la masse.	2.16 m
distance minimale au sol.	3 m

Pour les J.d.b et les conducteurs de phases, les distances considérées ont été choisies de manière à vérifier la distance minimale entre phases, à éviter largement l'apparition de l'effet couronne et de permettre aux barres de résister aux efforts électrodynamiques qui apparaissent en cas de défaut. la tension d'isolement de l'échelon de tension 220 kv est 245 kv en se référant aux courbes de la figure A. Cette tension correspond pour une distance minimale entre conducteurs de 2.5 m augmentée de 15%. Soit au totale $d = 2.875$ m à une section légèrement inférieure à 370 mm^2 . Pour éviter l'effet couronne il faut utiliser des conducteurs de section $S \geq 570 \text{ mm}^2$.



fig(A)

d (m)

Court Circuit

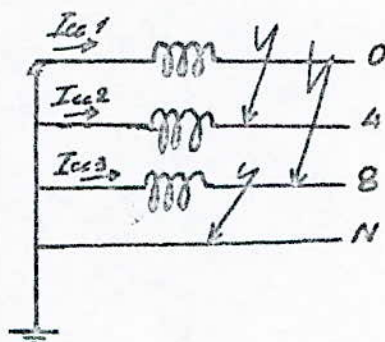
1. introduction:

le problème des courts circuits est l'un de ceux qui font l'objet des préoccupations les plus constantes car ils provoquent des accidents par les effets électrodynamiques qu'ils développent entre les conducteurs; et par les échauffements qui occasionnent un dégagement de chaleur très important qui conduit à la détérioration des isolations et même la fusion des conducteurs.

les courants de court circuit sont à la base du dimensionnement de toutes les parties conductrices du poste.

2. Rappel Théorique sur les courts-circuits:

a) Généralités:



2.1 Définition:

un court circuit est une liaison imprévue entre phases ou entre phase et neutre.

leurs causes: les courts circuits ont des causes multiples ils peuvent être

- D'origine purement électrique; ils proviennent de l'altération d'un isolant qui devient incapable de tenir la tension
- D'origine mécanique ils sont dus dans les conditions à une

rupture de conducteurs ou d'isolateurs ; à la chute d'un corps étranger ; tel qu'une branche d'arbre sur une ligne aérienne, à un coup de pioche sur un cable souterrain etc.

c) D'origine atmospherique : ils sont alors causés soit par la foudre qui frappent les conducteurs d'une ligne ou d'un poste, ou qui tombe dans leurs voisinages immédiats, soit par la tempête, le brouillard, le givre ; ces facteurs produisent des effets mécaniques. (tel que rapprochement des conducteurs) ou électriques (alteration des surfaces d'isolateurs)

d) Consécutives à un régime transitoire qui entraîne une surtension élevée qui provoquent ainsi le claquage d'isolants.

Caractères des défauts: De point de vue (Française) on peut

classer les défauts dans les catégories suivantes :

defauts autoextincteurs: disparaissant spontanément, sans provoquer de déclenchement ils représentent 25%.

Defauts fugitifs: nécessitant pour disparaître une coupure très brève du réseau 55% au total 36 h affectant qu'une phase et la terre, 7% deux phases isolées et 4% environ deux phases et la terre ou trois phases.

defauts semi-permanents: exigent pour disparaître une ou plusieurs coupures relativement longues, de l'ordre de quelques dizaines de seconde, mais nécessitant pas l'intervention du personnel pour la reprise du service. le pourcentage est de 10 à 12% dont la moitié sont monophasés

Defauts permanents: provoquent le déclenchement, et nécessitent l'intervention du personnel 8 à 10%. Prés

de la moitié sont monophasés.

les différentes statistiques, donnent la probabilité suivante pour chaque type de court circuit.

- Court-circuit monophasé 65%
- Court-circuit biphasé-terre 20%
- Court-circuit biphasé 10%
- Court-circuit triphasé 5%

l'étude de court circuit triphasé, malgré leur faible probabilité d'apparition sert de base pour le calcul des autres types de court circuits ainsi que pour le réglage des protections et le choix du matériel.

2. Effets physiques des courants de court circuit :

On peut classer les effets physiques des courants de court-circuits en trois grandes catégories : effets thermiques électrodynamiques et inductions.

1: Effets thermiques :

En général les court-circuits sont éliminés assez rapidement pour qu'on puisse négliger l'effet thermique dans les lignes mais si le temps de présence du court-circuit augmente du fait de la défaillance du système de protection ou des disjoncteurs, il peut se produire des allongements dangereux des conducteurs.

2 Effets électrodynamiques :

Les conducteurs traversés par le courant de défaut sont soumis à des forces d'attraction et de répulsion proportionnelle au carré du courant de court circuit et inversement proportionnelle à la

distance entre eux. $F = \frac{kI_1 I_2}{d}$

les efforts électrodynamiques sont les plus néfastes sur les bobinages des transformateurs car la distance entre les spires est faible.

3 Effets d'induction:

En cas de défaut dissymétrique, les courants de court-circuit induisent dans les lignes de télécommunication et les conduites enterrées situées au voisinage des lignes à haute tension des forces électromotrices qui peuvent endommager le matériel.

4. Hypothèses simplificatrices:

Comme le calcul exact des courants de court-circuits est difficile on sera obligé d'utiliser quelques hypothèses simplificatrices sans trop affecter les valeurs à calculer.

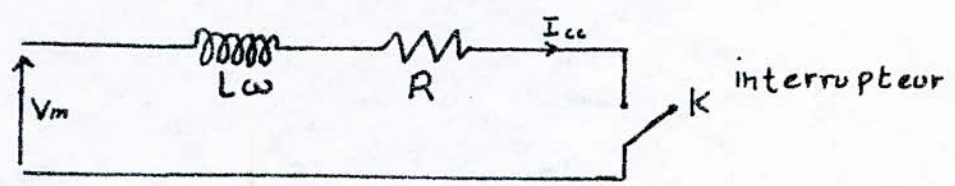
- les circuits magnétiques sont non saturés, donc les caractéristiques sont linéaires.
- les capacités des lignes sont négligeables.
- les courants de magnétisation des transformateurs sont négligeables.
- la résistance de l'arc de court-circuit est négligeable.

2. Étude du court circuit triphasé:

étant donné que le court-circuit triphasé est à la base de la majorité des dégâts qui se produisent dans le réseau tel que l'endommagement du matériel et des installations il est préférable de bien l'étudier et calculer ses valeurs, pour qu'on puisse choisir convenablement le matériel utilisé

et prévoir une bonne protection pour le poste.

Soit le schéma d'une phase suivant.



D'après la loi D'ohm on a:

$$v = V_m \sin(\omega t + \psi) = R i_{cc} + L \frac{di_{cc}}{dt} \quad (1)$$

ψ : Correspond au moment d'apparition du court-circuit.

après résolution de l'équation différentielle (1) on aura

$$i_{cc}(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \left(\sin(\omega t + \psi - \varphi) - e^{-\frac{R}{L}t} \sin(\psi - \varphi) \right)$$

φ : étant l'angle de court circuit donné par $\tan \varphi = \frac{L\omega}{R}$

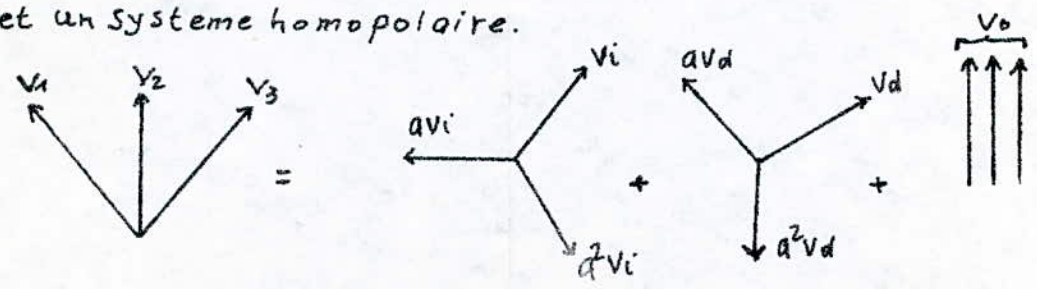
de l'expression de $i_{cc}(t)$, on remarque que le courant de court circuit est la somme de deux composantes, l'une périodique et l'autre aperiodique $i_{cc}(t) = i_p + i_{ap}$

$$\text{avec } i_p = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t + \psi - \varphi) \quad i_{ap} = \frac{-V_m}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} e^{-\frac{R}{L}t} \sin(\psi - \varphi)$$

Emploi des composantes symétriques pour le calcul du courant de court-circuit:

Rappel:

un système triphasé quelconque peut être décomposé en trois systèmes triphasés équilibrés; un système tripolaire symétrique direct; un système tripolaire symétrique inverse et un système homopolaire.



On a les équations suivantes:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_d + V_i + V_o \\ V_2 &= a^2 V_d + a V_i + V_o \\ V_3 &= a V_d + a^2 V_i + V_o \end{aligned} \right\} \text{(I) avec } a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Schéma triphasé:

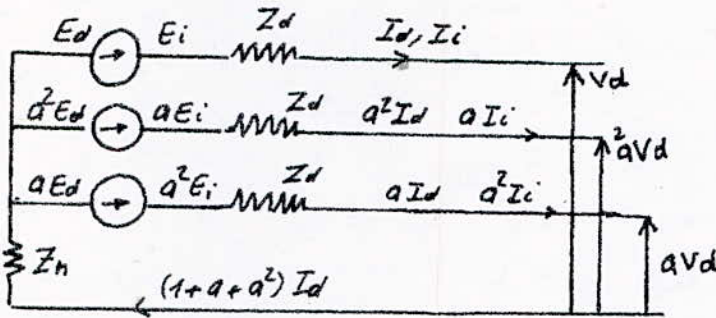


Schéma monophasé:

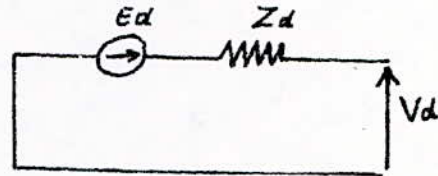
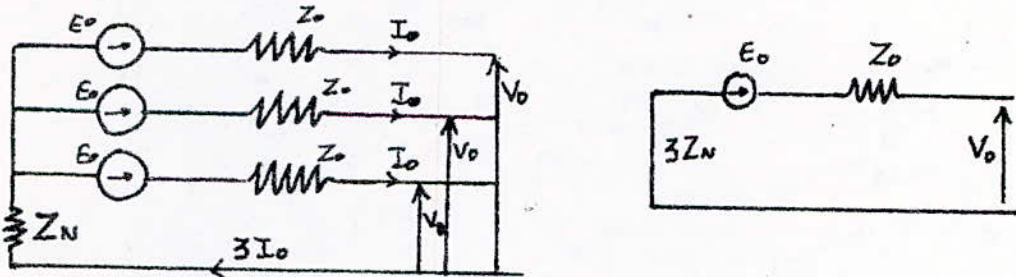


schéma de la composante homopolaire:



D'après la loi d'ohm appliquée aux circuits on aura:

$$\left. \begin{aligned} E_d &= Z_d I_d + V_d \\ E_d &= Z_i I_i + V_i \\ E_o &= Z_o I_o + V_o \end{aligned} \right\} \text{II.}$$

Comme l'alternateur donne des tensions symétriques et des courants symétriques alors $E_i = E_o = 0$

$$\left. \begin{aligned} E_d &= Z_d I_d + V_d \\ 0 &= Z_i I_i + V_i \\ 0 &= Z_o I_o + V_o \end{aligned} \right\} \text{II}$$

Puisque on est dans le cas d'un court circuit triphasé alors

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0$$

$$I \Rightarrow \begin{cases} V_d + V_i + V_0 = 0 & (1) \\ a^2 V_d + a V_i + V_0 = 0 & (2) \\ a V_d + a^2 V_i + V_0 = 0 & (3) \end{cases}$$

en faisant la somme des trois équations nous trouvons:

$$3V_0 = 0 \Rightarrow V_0 = 0$$

L'équation (1) $\Rightarrow V_d = -V_i$

L'équation (2) $\Rightarrow a^2 V_d - a V_d = 0 \Rightarrow V_d (a^2 - a) = 0$

or $a^2 - a \neq 0 \Rightarrow \boxed{V_d = 0 \text{ et } V_i = 0}$

$$E_d = Z_d I_d \Rightarrow I_d = \frac{E_d}{Z_d}, \quad I_1 = \frac{E_d}{Z_d}, \quad I_2 = a^2 \frac{E_d}{Z_d}, \quad I_3 = a \frac{E_d}{Z_d}$$

$$E_d = V_h + 0,1 V_h = 1,1 V_h.$$

Généralement on suppose que la chute de tension représente 10% de la tension nominale

le coefficient 1,1 prend en considération le fait que les impédances transversales sont négligées et la tension au point de court-circuit peut être supérieure à U_N .

$$I_{cc} = I_d = \frac{1,1 U_N}{\sqrt{3} Z_d}$$

le rapport $\frac{R}{X}$ est généralement inférieur à 0,2 pour les générateurs et les transformateurs; il est de l'ordre de 0,75 pour les lignes; nous négligeons donc les résistances devant les réactances; de plus dans notre cas Z_0 est équivalente à X_d dans le calcul des courants de court-circuits.

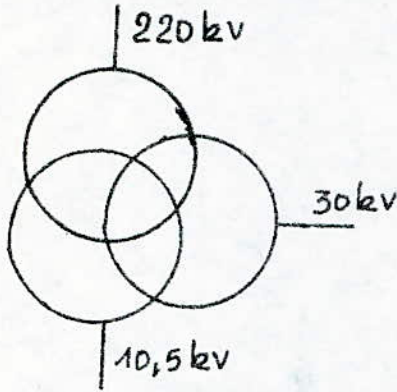
6. Eléments de base de calcul:

6.1: réactance du réseau actif:

$S_{cc} = 2500 \text{ MVA}$: puissance de court-circuit.

$$X_r = \frac{1,1 U_h^2}{S_{cc}} = \frac{1,1 \cdot 220^2}{2500} = 21,3 \Omega. \quad X_r = 21,3 \Omega.$$

6.2: impédances du transformateur:



$$U_{cc} (220/30) = 15\%$$

$$U_{cc} (220/10,5) = 10\%$$

$$U_{cc} (30/10,5) = 6\%$$

$$X(220/30) = U_{cc} (220/30) \frac{U_N^2}{S_N} = 0,15 \cdot \frac{220^2}{80} = 90,75 \Omega$$

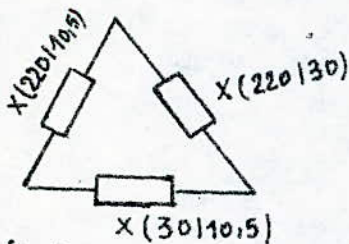
$$X(220/30) = 90,75 \Omega$$

$$X(220/10,5) = U_{cc} (220/10,5) \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = 0,1 \cdot \frac{220^2}{80} = 60,5 \Omega.$$

$$X(220/10,5) = 60,5 \Omega$$

$$X(30/10,5) = U_{cc} (30/10,5) \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = 0,06 \cdot \frac{220^2}{40} = 72,6 \Omega.$$

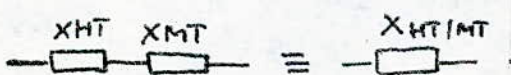
$$X(30/10,5) = 72,6 \Omega$$



(fig n°1)

L'enroulement du transformateur peut être représenté par le schéma de la figure n°1.

faisant la transfiguration du schéma triangle du transformateur en étoile; sachant que pour trouver par exemple $X_{HT/MT}$ on doit court-circuiter les bornes HT et MT et laissant la borne BT à vide; cela se matérialise ainsi



$$\left. \begin{aligned} X_{HT|MT} &= X_{HT} + X_{MT} \\ X_{HT|BT} &= X_{HT} + X_{BT} \\ X_{MT|BT} &= X_{MT} + X_{BT} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{en r\u00e9solvant le syst\u00e8me d'\u00e9quations} \\ \text{on trouve} \end{array}$$

$$\begin{aligned} X_{HT} &= \frac{1}{2} [X_{HT|MT} + X_{HT|BT} - X_{MT|BT}] \Rightarrow X_{220} = 39,325 \Omega \\ X_{MT} &= \frac{1}{2} [X_{HT|MT} + X_{MT|BT} - X_{HT|BT}] \Rightarrow X_{30} = 51,425 \Omega \\ X_{BT} &= \frac{1}{2} [X_{HT|BT} + X_{MT|BT} - X_{HT|MT}] \Rightarrow X_{10,5} = 21,775 \Omega. \end{aligned}$$

6.3: Reactance du g\u00e9n\u00e9rateur:

$$X_G = X_d'' \cdot \frac{U_d^2}{S_N} = 0,12 \cdot \frac{220^2}{40} = 145,2 \Omega \quad X_G = 145,2 \Omega.$$

7: Courant de choc:

D\u00e9finition: le courant de choc est d\u00e9fini comme \u00e9tant la valeur maximale du courant de court-circuit apparaissant apr\u00e8s un temps $t = 0,01s$ du temps d'apparition du d\u00e9faut sa valeur est la somme de la composante p\u00e9riodique maximale et de la composante a p\u00e9riodique du court-circuit.

$$I_{ch} = I_{pmax} + I_{ap} = \sqrt{2} I_{cc} + \sqrt{2} I_{cc} e^{-\frac{0,01}{T_a}} = \sqrt{2} I_{cc} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right)$$

T_a : constante de temps d\u00e9finie par $T_a = \frac{X_{\u00e9q}}{\omega R_{\u00e9q}}$.

Application: sch\u00e9ma n\u00b0 2

Calcul du courant de court circuit au point K_1 (D_1, D_2 ouverts)

$$X_{\u00e9q} = \frac{X_{220} + X_{10,5} + X_G}{2} = \frac{39,325 + 21,775 + 145,2}{2} = 102,85 \Omega.$$

$$X_1 = \frac{X_r \cdot X_{\u00e9q}}{X_r + X_{\u00e9q}} = \frac{21,3 \cdot 102,85}{21,3 + 102,85} = 17,645 \Omega.$$

le valeur du courant de court circuit au point K_1 :

$$I_{cc} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} X_1} = \frac{1,1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 17,645} = 8 \text{ kA}.$$

Calcul des courants dans les branches:

$$I_r \times X_r = I_{cc} \cdot X_1 \Rightarrow I_r = \frac{X_1}{X_r} \cdot I_{cc} = \frac{17,645}{21,3} \cdot 8 = 6,62 \text{ kA}.$$

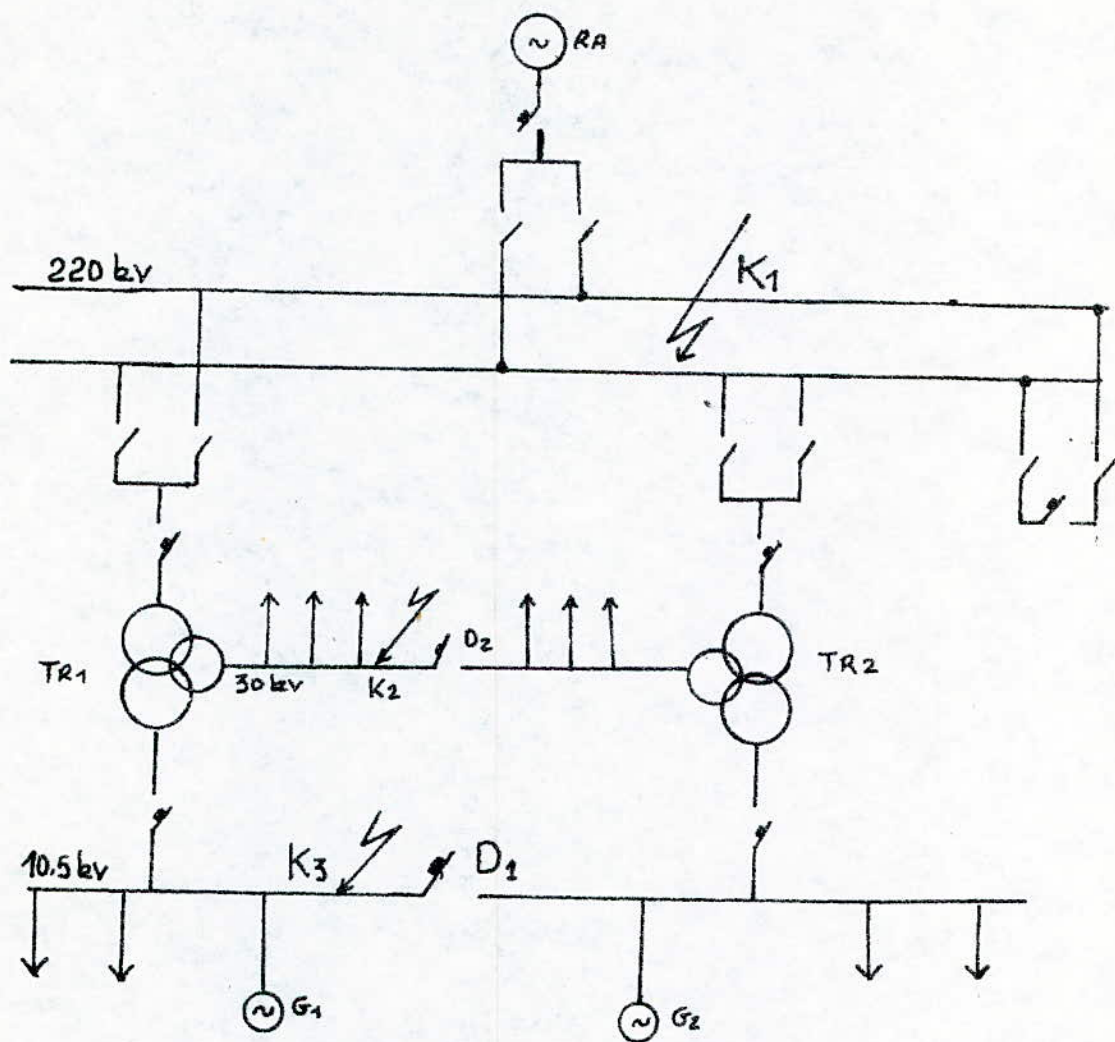
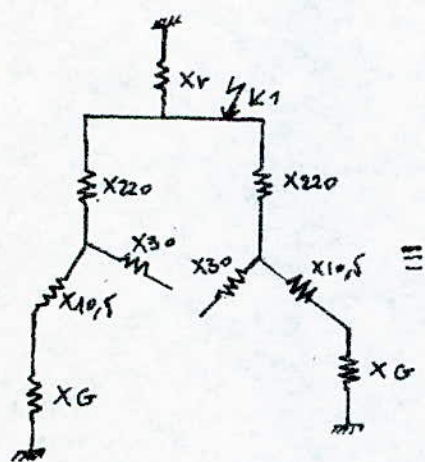


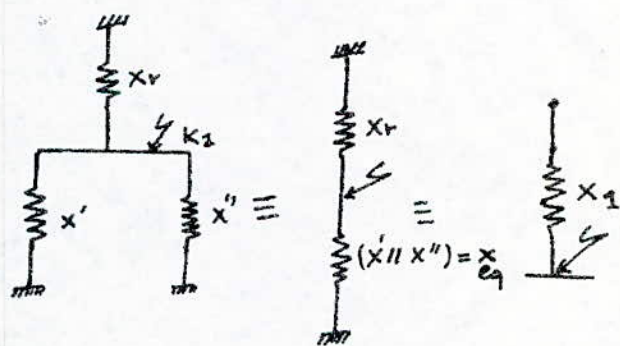
schéma du poste.



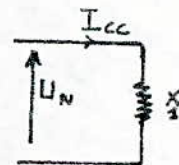
$$X' = X_G + X_{10.5} + X_{220}$$

$$X'' = X_G + X_{10.5} + X_{220}$$

$$X = \frac{X' \cdot X''}{X' + X''} = \frac{X'}{2}$$



$$X_1 = (X_r || X_{eq}) = \frac{X_r \cdot X_{eq}}{X_r + X_{eq}} = 17,645 \Omega$$



$$I_{x_{eq}} = I_{cc} - I_r = 8 - 6,62 = 1,38 \text{ kA.}$$

$$I_{x_{220}} = I_{x_{10,5}} = I_G = \frac{1,38}{2} = 0,69 \text{ kA.}$$

Court circuit au point K2: voir schéma de calcul n° 2.

$$X_{220} + X_{10,5} + X_{G_2} = 205,7 \Omega \Rightarrow X = 205,7 \Omega.$$

$$X_1 = \frac{X_r \cdot X}{X_r + X} = \frac{21,3 \cdot 205,7}{21,3 + 205,7} = 19,3 \Omega$$

$$X_1 + X_{220} = 39,325 + 19,3 = 58,625 \Omega$$

$$X_{10,5} + X_{G_1} = 21,175 + 145,2 = 166,375 \Omega$$

$$X_{eq} = X_{30} + \frac{(X_1 + X_{220})(X_{10,5} + X_{G_1})}{X_1 + X_{220} + X_{10,5} + X_{G_1}} = 51,425 + \frac{58,625 \cdot 166,375}{58,625 + 166,375} = 94,775 \Omega$$

$$X_{eq} \approx 95 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{1,1 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{eq}} = \frac{1,1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 95} = 1,47 \text{ kA.}$$

au niveau de la tension 30 kV I_{cc} vaut:

$$I_{cc} = 1,47 \times \frac{220}{30} = 10,78 \text{ kA.}$$

Calcul des courants dans les branches:

$$I_1 (X_1 + X_{220}) = I_{cc} \cdot \frac{(X_1 + X_{220})(X_{10,5} + X_{G_1})}{X_1 + X_{220} + X_{10,5} + X_{G_1}} \Rightarrow I_1 = \frac{X_{10,5} + X_{G_1}}{X_1 + X_{220} + X_{10,5} + X_{G_1}} \cdot I_{cc}$$

$$I_1 = 1,47 \cdot \frac{166,375}{325} = 1,087 \text{ kA}$$

$$I_r = I_{cc} - I_1 = 1,48 - 1,087 = 0,393 \text{ kA.}$$

$$I_{G_2} = \frac{I}{X_{10,5_1}} = 0,383 \cdot \frac{220}{10,5} = 8,024 \text{ kA.}$$

$$I_{x_{220_1}} = I_1 = 1,087 \text{ kA.}$$

$$I_r \cdot X_r = I_1 \cdot X \Rightarrow I_r = \frac{X}{X_r} \cdot I_1 = 1,087 \cdot \frac{19,3}{21,3} = 0,985 \text{ kA.}$$

$$I_r \approx 1 \text{ kA}$$

$$I_{(x_{220} + x_{10,5} + x_{G_2})_2} = 1,087 - 1 = 0,087 = 0,1 \text{ kA.}$$

$$I_{x_{10,5}} = I_{G_2} = 0,1 \cdot \frac{220}{10,5} = 2,1 \text{ kA}$$

$$I_{x_{220_2}} = 0,1 \text{ kA}$$

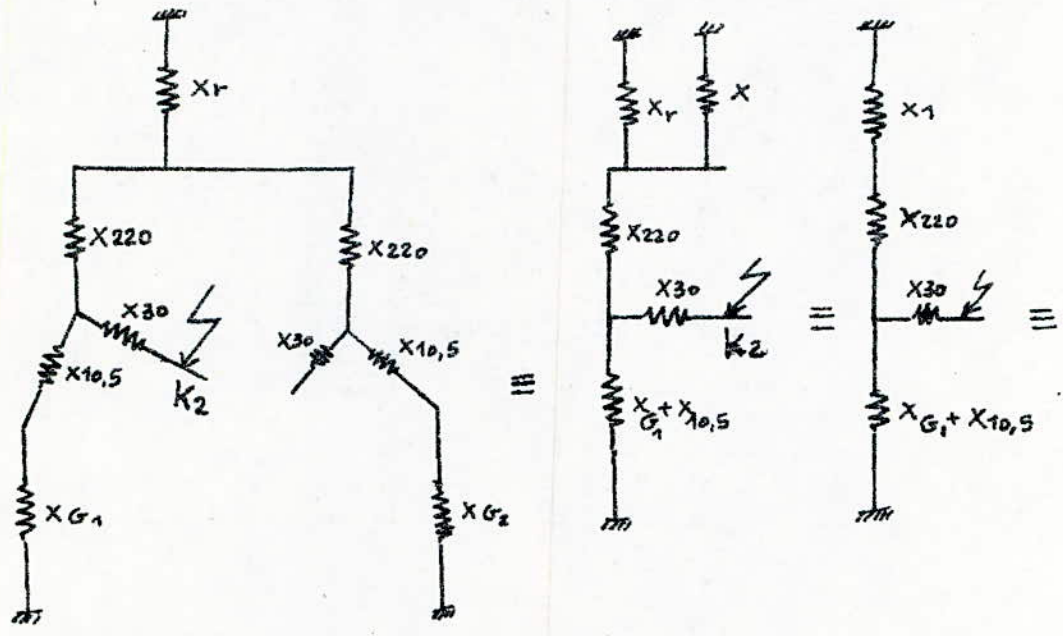


schéma n° 2

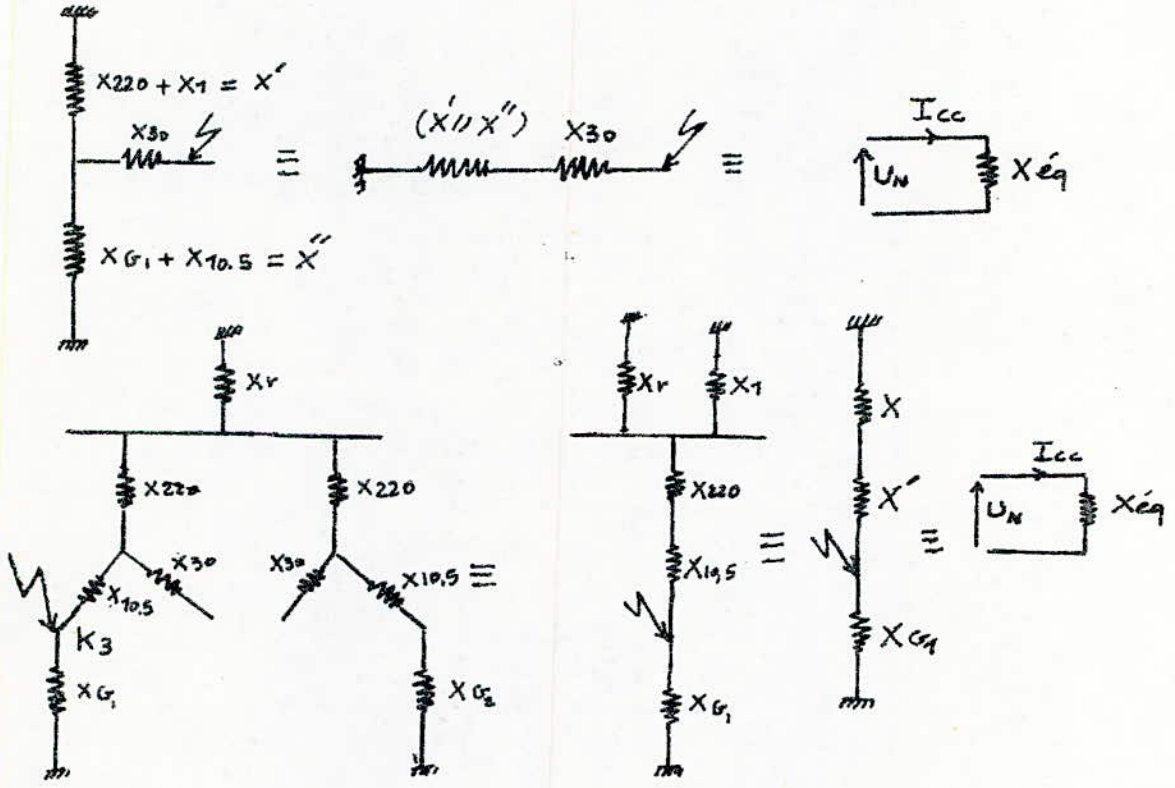


schéma n° 3.

Court circuit au point K3 : voir schéma n° 3.

$$X_{220} + X_{10,5} + X_{G2} = 205,7 \Omega \Rightarrow X_1 = 205,7 \Omega.$$

$$X_r = 21,3 \Omega.$$

$$X = \frac{X_r \cdot X_1}{X_r + X_1} = \frac{21,3 \times 205,7}{21,3 + 205,7} = 19,3 \Omega.$$

$$X' = X_{220} + X_{10,5} = 39,325 + 21,175 = 60,5 \Omega.$$

$$X + \bar{X} = 80 \Omega.$$

$$X_{eq} = \frac{X_{G1} \cdot (X + \bar{X})}{X_{G1} + X + X'} = \frac{145,2 \times 80}{145,2 + 80} = 51,6 \Omega.$$

$$I_{cc} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_{eq}} = \frac{1,1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 51,6} = 2,7 \text{ kA}.$$

$$I_1 = I_{cc} \cdot \frac{X_{G1}}{X + X' + X_{G1}} = \frac{2,7 \times 145,2}{145,2 + 80} = 1,74 \text{ kA}.$$

$$I_{G1} = 2,7 - 1,74 = 0,96 \text{ kA}.$$

$$I_{X_{10,5}} = 1,74 \cdot \frac{220}{10,5} = 36,45 \text{ kA}.$$

$$I_{X_{G1}} = 0,96 \cdot \frac{220}{10,5} = 20,1 \text{ kA}.$$

$$I_r = I_1 \cdot \frac{X}{X_r} = 1,74 \cdot \frac{19,3}{21,3} = 1,57 \text{ kA}.$$

$$I_{(X_{220} + X_{10,5} + I_{Tr})} = 1,74 - 1,57 = 0,17 \text{ kA}.$$

$$I_{X_{10,5}, I_{Tr}} = 0,17 \cdot \frac{220}{10,5} = 3,56 \text{ kA}.$$

pour le dimensionnement des appareils de protection on tient compte du courant de court circuit le plus severe dans chaque branche dans notre poste. De ce fait on se ramene a etudier des cas de fonctionnement possibles.

Cas ou un transformateur est deconnecte :

Court circuit au point K7 : voir schéma n° 4.

$$X_1 = X_{220} + X_{10,5} + X_{G1} = 20 \text{ } 295 \text{ } 91 \text{ } 12 \text{ } 145,2 = 122,7 \Omega$$

$$X_{eq} = \frac{X_1 \cdot X_r}{X_1 + X_r} = \frac{122,7 \times 21,3}{122,7 + 21,3} = 18,36 \Omega$$

d'où la valeur du courant de court circuit au point K1:

$$I_{cc} = \frac{1,1 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{\epsilon q}} = \frac{1,1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 18,36} = 7,6 \text{ kA.}$$

Courants des branches:

$$I_r \cdot X_r = X_{\epsilon q} \cdot I_{cc} \Rightarrow I_r = I_{cc} \cdot \frac{X_{\epsilon q}}{X_r} \Rightarrow I_r = 7,6 \cdot \frac{18,36}{21,3} = 6,55 \text{ kA}$$

$$I_{X_{220}} = I_{cc} - I_r = 7,6 - 6,55 = 1,05 \text{ kA.}$$

$$I_{X_{10,5}} = 1,05 \cdot \frac{220}{10,5} = 22 \text{ kA.}$$

$$I_{G_1} = I_{G_2} = \frac{1,05 \cdot 220}{2} = 11 \text{ kA.}$$

Court circuit au point K2: Voir schéma n° 5.

$$X_{220} + X_r = 39,325 + 21,3 = 60,625 \Omega.$$

$$X_{10,5} + \frac{X_G}{2} = 21,175 + \frac{145,2}{2} = 93,375 \Omega.$$

$$X_{\epsilon q} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{60,6 \times 93,3}{60,6 + 93,3} = 36,76 \Omega.$$

$$X_{cc} = X_{\epsilon q} + X_{30} = 36,76 + 51,425 = 88,275 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{1,1 \times U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{cc}} = \frac{1,1 \times 220}{\sqrt{3} \times 88,275} = 1,58 \text{ kA.}$$

courants des branches:

$$I_{X_{30}} = 1,58 \times \frac{220}{30} = 11,58 \text{ kA.}$$

$$I_{(X_{220} + X_r)} = I_{cc} \cdot \frac{X_{\epsilon q}}{X_{220} + X_r} = 1,58 \cdot \frac{36,85}{60,625} = 0,96 \text{ kA.}$$

$$I_{X_{220}} = I_r = 0,96 \text{ kA.}$$

$$I_{X_{10,5}} = I_{cc} - I_r = 1,58 - 0,96 = 0,62 \text{ kA.} \Rightarrow I_{X_{10,5}} = 0,62 \times \frac{220}{10,5} = 13 \text{ kA.}$$

$$I_{G_1} = I_{G_2} = \frac{0,62 \times 220}{2} = 6,5 \text{ kA.}$$

Court circuit au point K3: Voir schéma n° 6.

$$X_1 = X_r + X_{220} + X_{10,5} \Rightarrow X_1 = 81,8 \Omega.$$

$$X_2 = \frac{X_G}{2} = 72,6 \Omega$$

$$X_{\epsilon q} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{72,6 \times 81,8}{72,6 + 81,8} = 38,48 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{1,1 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{\epsilon q}} = \frac{1,1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 38,48} = 3,63 \text{ kA.}$$

$$I_{cc_r} = 3,63 \times \frac{220}{10,5} = 76,0 \text{ kA.}$$

Courants dans les branches :

$$I_1 = I_{cc} \cdot \frac{X'_{eq}}{X_1} = 3.63 \times \frac{38.48}{81.8} = 1.706 \text{ kA.}$$

$$I_r = I_{x220} = 1.706 \text{ kA.}$$

$$I_{x10.5} = 1.706 \cdot \frac{220}{10.5} = 35.74 \text{ kA.}$$

$$I_{G_1} = I_{G_2} = 0.962 \cdot \frac{220}{10.5} = 20.15 \text{ kA.}$$

Cas où un alterhoteur est déconnecté :

Court-circuit au point K_1 : Voir schéma n° 7

$$X_1 = X_{220} + X_{10.5} + X_G = 205.7 \Omega.$$

$$X'_{eq} = \frac{X_r \cdot X_1}{X_r + X_1} = \frac{205.7 \times 21.3}{205.7 + 21.3} = 19.3 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{1.1 \cdot U_N}{\sqrt{3} X'_{eq}} = \frac{1.1 \times 220}{\sqrt{3} \times 19.3} = 7.24 \text{ kA.}$$

Courants dans les branches.

$$I_r = I_{cc} \cdot \frac{X'_{eq}}{X_r} = 7.24 \cdot \frac{19.3}{21.3} = 6.56 \text{ kA.}$$

$$I_1 = I_{cc} - I_r = 7.24 - 6.56 = 0.68 \text{ kA.}$$

$$I_{x220} = 0.68 \text{ kA.}$$

$$I_G = I_{x10.5} = 0.68 \cdot \frac{220}{10.5} = 14.24 \text{ kA.}$$

Court circuit au point K_2 : Voir schéma n° 8

$$X_1 = X_{220} + X_r = 60.625 \Omega.$$

$$X_2 = X_{10.5} + X_G = 166.375 \Omega.$$

$$X'_{eq} = X_3 + X_30 \text{ avec : } X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{60.625 \times 166.375}{60.625 + 166.375} = 44.43 \Omega.$$

$$X'_{eq} = 44.43 + 51.425 = 95.855 \Omega.$$

$$I_{cc} = \frac{1.1 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot X'_{eq}} = \frac{1.1 \times 220}{\sqrt{3} \cdot 95.855} = 1.45 \text{ kA.}$$

$$I_{cc_r} = 1.45 \times \frac{220}{30} = 10.63 \text{ kA.}$$

Courants des branches :

$$I_1 \times X_1 = I_{cc} \cdot X_3 \Rightarrow I_1 = 1.45 \times \frac{44.43}{60.63} = 1.06 \text{ kA.}$$

$$I_2 = I_{cc} - I_1 = 1.45 - 1.06 = 0.39 \text{ kA.}$$

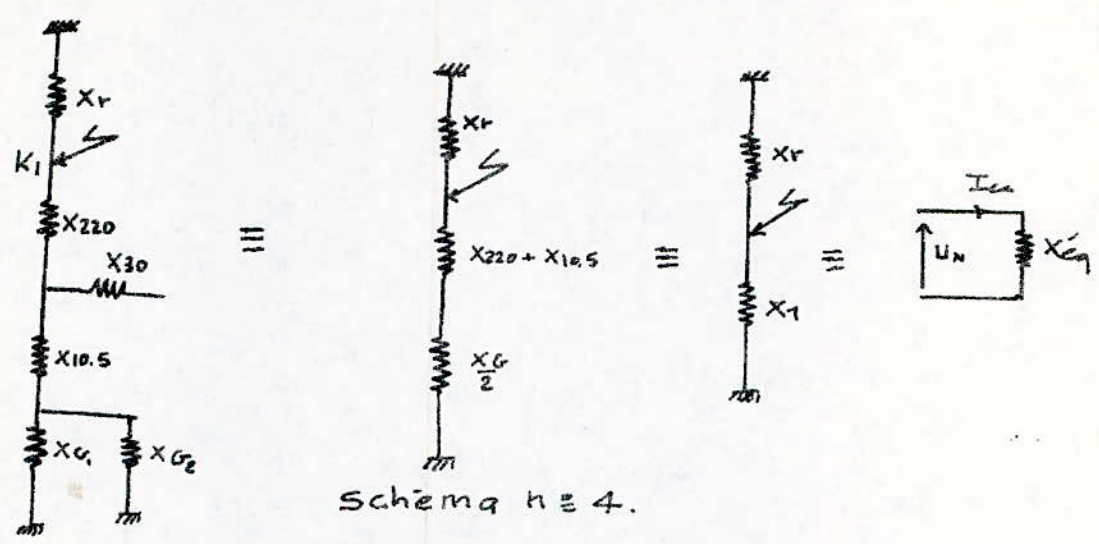


Schéma n° 4.

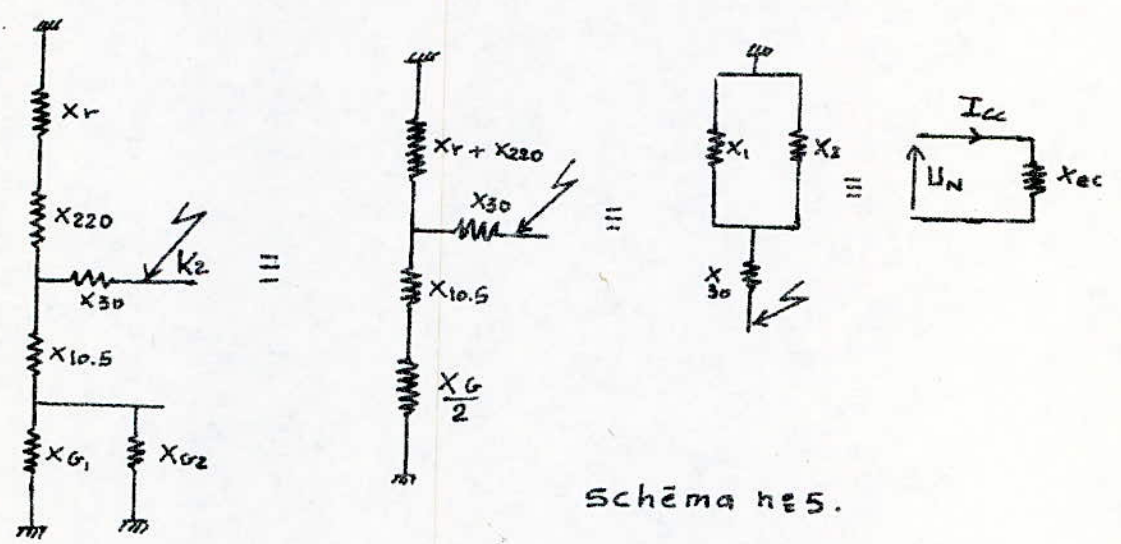


Schéma n° 5.

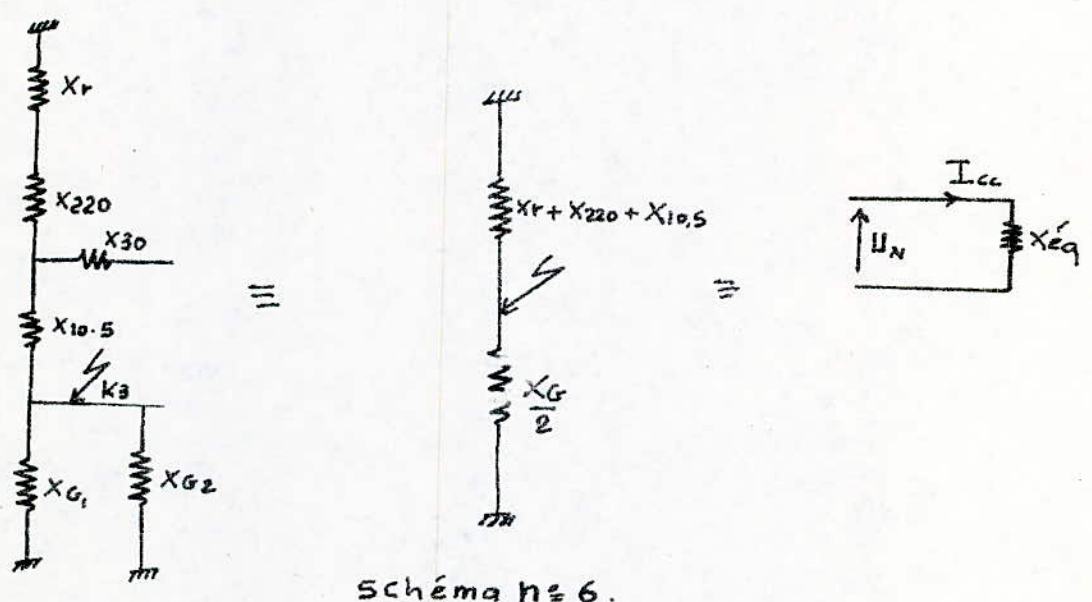
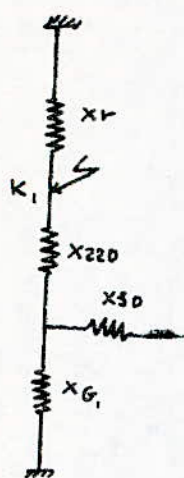


Schéma n° 6.

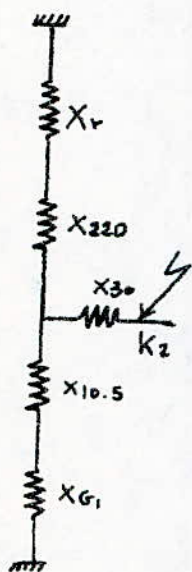
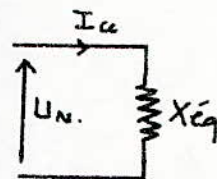


≡

Schéma n° 7

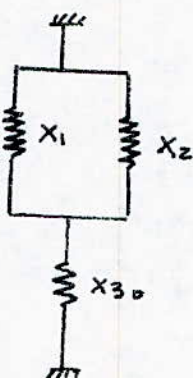


≡

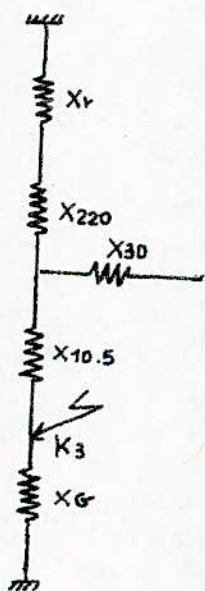
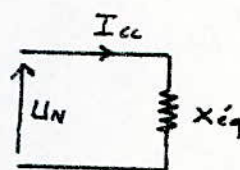


≡

Schéma n° 8



≡



≡



≡

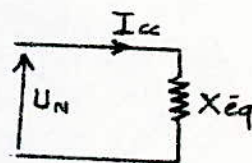


Schéma n° 9.

$$I_{x220} = I_r = I_1 = 1.06 \text{ kA.}$$

$$I_G = \frac{I}{x_{10.5}} = 0.39 \cdot \frac{220}{10.5} = 8.17 \text{ kA.}$$

Court circuit au point K3 : voir schéma n° 9.

$$x_1 = x_{220} + x_r + x_{10.5} = 81.8 \Omega.$$

$$x'_{eq} = \frac{x_G \times x_1}{x_G + x_1} = \frac{145.2 \times 81.8}{145.2 + 81.8} = 52.32 \Omega.$$

$$I_{cc} = \frac{1.1 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot x'_{eq}} = \frac{1.1 \times 220}{\sqrt{3} \times 52.32} = 2.67 \text{ kA.}$$

$$I_{ccr} = 2.67 \times \frac{220}{10.5} = 55.94 \text{ kA.}$$

$$I_1 = \frac{I_{cc}}{2} \times \frac{x'_{eq}}{x_1} = 2.67 \times \frac{52.32}{81.8} = 1.707 \text{ kA.}$$

$$I_{x10.5} = 1.707 \times \frac{220}{10.5} = 35.76 \text{ kA.}$$

$$I_r = 1.707 \text{ kA.}$$

$$I_G = 2.67 - 1.707 = 0.963 \text{ kA.}$$

$$I_{Gr} = 0.963 \times \frac{220}{10.5} = 20.17 \text{ kA.}$$

Courant de choc :

$$I_{ch} = I_{pmax} + I_{ap} = \sqrt{2} \cdot K_{ch} \cdot I_{cc}.$$

K_{ch} : Coefficient de choc.

$$K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}} ; [t = 0.01 \text{ s}]$$

T_a : Constante de temps donnée par $T_a = \frac{x'_{eq}}{\omega R_{eq}}$

$$T_a = \frac{1}{0.7 \times 314} = 0.032 \text{ s.}$$

$$K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.032}} = 1.73.$$

$$I_{ch} = \sqrt{2} \cdot K_{ch} \cdot I_{cc}.$$

Tableaux récapitulatifs :

Premier cas :

branche Valeur	RA	HT _{TR}	MT _{TR}	MT _{TR}	G	K ₁
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	220
I _{cc} (kA)	6.62	0.69	/	14.45	14.45	8

branche Valeur	HT _{TR1}	MT _{TR1}	MT _{TR1}	RA	HT _{TR2}	MT _{TR2}	G ₁	G ₂	K ₂
U (kV)	220	30	10.5	220	220	10.5	10.5	10.5	30
I _{cc} (kA)	1.087	10.78	8.024	1	0.1	2.1	8.024	2.1	10.78

branche Valeur	RA	HT _{TR1}	MT _{TR1}	HT _{TR2}	MT _{TR2}	MT _{TR1,TR2}	G ₁	G ₂	K ₃
U (kV)	220	220	10.5	220	10.5	30	10.5	10.5	10.5
I _{cc} (kA)	1.57	1.74	36.45	0.77	3.56	3.56	20	3.56	56.57

Deuxième cas :

branche Valeur	RA	HT _{TR1}	MT _{TR1}	MT _{TR1}	G ₁	G ₂	K ₁	K ₂	K ₃
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	10.5	210.5	30	10.5
I _{cc} (kA)	6.55	1.05	/	22	11	11	7.6	/	/
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	10.5	220	30	10.5
I _{cc} (kA)	0.96	0.96	11.58	13	6.5	6.5	/	11.58	/
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	10.5	220	30	10.5
I _{cc} (kA)	1.706	1.706	/	35.74	20.75	20.15	/	/	76

Troisième Cas:

branche valeur	RA	HT TR	MT TR	MT TR	G ₁	K ₁	K ₂	K ₃
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	220	30	10.5
I _{cc} (kA)	6.56	0.68	/	14.24	14.24	7.24	/	/
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	220	30	10.5
I _{cc} (kA)	7.06	1.06	10.63	8.17	8.17	/	10.63	/
U (kV)	220	220	30	10.5	10.5	220	30	10.5
I _{cc} (kA)	1.707	1.707	/	35.76	35.76	/	/	56.

Tableau récapitulatif des courants les plus sévères dans les branches:

branche valeur	RA	HT TR ₁	MT TR ₁	MT TR ₁	HT TR ₂	MT TR ₂	MT TR ₂	G ₁	G ₂	K ₁	K ₂	K ₃
U (kV)	220	220	30	10.5	220	30	10.5	10.5	10.5	220	30	10.5
I _{cc} (kA)	6.62	1.74	11.58	36.45	1.74	11.58	36.45	20.77	20.77	8	11.58	76

Courant de choc:

branche valeur	RA	HT TR ₁	MT TR ₁	MT TR ₁	HT TR ₂	MT TR ₂	MT TR ₂	G ₁	G ₂	K
U (kV)	220	220	30	10.5	220	30	10.5	10.5	10.5	220
I (kA)	16.2	1.7	/	35.4	1.7	/	35.4	35.4	35.4	19.6
I (kA)	16.02	2.56	/	55.8	/	/	/	26.9	26.9	18.6
I (kA)	16.05	1.66	/	34.83	/	/	/	54.83	/	17.71

Court circuit au point K_2 :

branch Valeur	RA	HT TR ₁	MT TR ₁	MT TR ₁	HT TR ₂	MT TR ₂	G ₁	G ₂	K ₂
Valeur	220	220	30	10.5	220	10.5	10.5	10.5	30
I (kA)	2.44	2.66	26.37	19.63	0.24	5.13	19.63	5.13	26.37
I (kA)	2.34	2.34	28.33	31.8	/	/	16	16	28.33
I (kA)	2.6	2.6	26	20	/	/	20	/	26

Court circuit au point K_3 :

branches valeurs	RA	HT TR ₁	MT TR ₁	HT TR ₂	MT TR ₂	G ₁	G ₂	K ₃
U (kV)	220	220	10.5	220	10.5	10.5	10.5	10.5
I (kA)	3.84	4.25	89.17	0.415	8.7	48.9	8.7	138.4
I (kA)	4.173	4.173	87.44	/	/	49.3	49.3	186
I (kA)	4.176	4.176	87.49	/	/	49.34	/	137

Dimensionnement des jeux de barres.

Introduction:

cette partie d'étude consiste à choisir une section convenable des jeux de barres du poste 220 kV extérieur et 30 kV ; 10.5 kV intérieurs en fonction des courants admissibles qui circulent et d'examiner ensuite si ces sections peuvent résister ou non aux régimes d'avaries qui se présentent sous formes d'efforts électrodynamiques et thermiques.

1. Détermination des sections des jeux de barres:

1.1. J. d. b. 220 kV:

la section du j.d. b est donnée par le tableau N° I en connaissant le courant admissible qui y circule.

$$\text{courant nominal: } I_N = \frac{2 \cdot S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{2 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 220} = 419 \text{ A.}$$

$$I_{ad} = 1,2 I_N = 502,8 \text{ A.}$$

d'où $S = 327 \text{ mm}^2$ avec $D_{ex} = 30 \text{ mm}$; $D_{in} = 22 \text{ mm}$.

moment d'inertie $J = 2,826 \text{ cm}^4$; moment de résistance $W = 1,886 \text{ cm}^3$

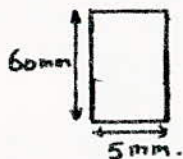
1.2. J. d. b. 30 kV:

$$\text{le courant nominal } I_N = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 30} = 769 \text{ A.}$$

$$\text{le courant admissible } I_{ad} = 1,2 I_N = 922,8 \text{ A.}$$

la section du j.d. b est donnée par le tableau N° II.

d'où $S = 300 \text{ mm}^2$; largeur = 60 mm. ; épaisseur 5 mm.



1.3. J. d. b. 10.5 kV:

$$\text{le courant nominal } I_N = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2199 \text{ A.}$$

$$I_{ad} = 1,2 I_N = 2639 \text{ A}$$

Caractéristiques des tubes en Alliage (AGS).

Diamètre des tubes Din/Dex (mm)	masse au m linéaire (kg)	Section (mm ²)	moment d'inertie (cm ⁴)	moment de résistance (cm ³)	Intensité admissible $\Delta t = 40^{\circ}C$ (A)
21/25	0.39	144.5	0.963	0.77	304
26/30	0.475	176	1.734	1.156	368
22/30	0.883	327	2.825	1.884	505
40/50	1.91	707	18.08	7.23	950
50/60	2.33	864	32.88	10.96	1160
60/70	2.76	1021	54.14	15.47	1360
70/80	3.18	1178	83.05	20.76	1560
80/90	3.40	1340	121	27	1760
90/100	4.03	1492	168.5	33.7	1960
104/120	7.65	2800	443	74	2950

Tableau n° I

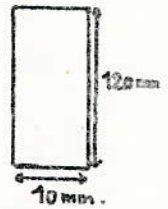
Tableau des valeurs de la section des barres Simples.

longueur en (mm)	épaisseur en (mm)	Section en (mm ²).	Une barre élémentaire en Cu. I admissible en (A).
15	3	45	210
20	3	60	275
25	3	75	340
30	3	90	405
30	4	120	475
40	4	160	625
40	5	200	700
50	5	250	860
60	5	300	1025
50	6	300	955
60	6	360	1125
80	6	480	1480
100	6	600	1810
60	8	480	1320
80	8	640	1690
100	8	800	2080
120	8	960	2400
60	10	600	1475
80	10	800	1900
100	10	1000	2310
120	10	1200	2650

Tableau n° II

D'après le tableau N° II:

$S = 1200 \text{ mm}^2$; largeur 120 mm. ; épaisseur 10 mm

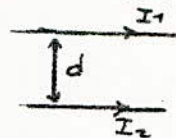


2. Vérification aux efforts électrodynamiques:

Le j.d.b parcouru par le courant très élevé en cas de court circuit est soumis aux efforts électrodynamiques engendrés par ce dernier. Le calcul de ces efforts est intéressant pour la détermination de la résistance mécanique des j.d.b et des structures qui les supportent.

La force électrique entre deux conducteurs parallèles parcourus par deux courants I_1, I_2 est donnée par la relation suivante

$$f = \frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot I_1 \cdot I_2 \quad ; \quad \mu_0: \text{perméabilité de l'air}$$



Pour les circuits triphasés dont les barres sont parallèles et dans le même plan ; les forces qui s'exercent sur les barres sont:

$$I \begin{cases} f_1 = f_3 = \frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot I_1 \cdot I_2 + \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{1}{2d} \cdot I_1 \cdot I_3 \\ f_2 = - \frac{\mu_0}{2\pi d} (I_2 I_3 - I_2 I_1) \end{cases}$$

f_1 : force exercée par les barres 2 et 3 sur la barre 1.

f_2 : " " " " 1 et 3 " " " 2

f_3 : " " " " 1 et 2 " " " 3.

En régime normal les courants appliqués sont:

$$i_1 = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \quad ; \quad i_2 = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3})$$

$$i_3 = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{4\pi}{3})$$

α : déphasage entre la tension et l'axe du temps.

φ : déphasage entre la tension et le courant.

Pour faciliter les calculs on considère le cas particulier

$\alpha - \varphi = 0$. ainsi on aura:

$$i_1 = I_{\max} \sin \omega t \quad ; \quad i_2 = \frac{I}{\max} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad ; \quad i_3 = \frac{I}{\max} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

substituant les courants i_1, i_2, i_3 dans la relation I

$$f_1 = f_3 = \frac{\mu_0}{2\pi d} \frac{I^2}{\max} \sin \omega t \left[\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \frac{1}{2} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \right]$$

$$f_2 = -\frac{\mu_0}{2\pi d} \frac{I^2}{\max} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \left[\sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - \sin \omega t \right]$$

les valeurs extrêmes de ces forces sont obtenues en annulant les dérivées premières.

$$f_{1\max} = f_{3\max} = 0.87 \frac{\mu_0}{2\pi d} \frac{I^2}{\max} \quad ; \quad f_{2\max} = -0.87 \frac{\mu_0}{2\pi d} \frac{I^2}{\max}$$

on remarque que la plus grande force est appliquée à la barre de milieu. ($0.87 > 0.81$).

Donc on doit calculer f_2 pour avoir la sollicitation maximale:

les courants circulant dans les barres s'écrivent:

$$i_1 = \frac{I}{P_{\max}} \left[\sin(\omega t + \psi) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin \psi \right]$$

$$i_2 = \frac{I}{P_{\max}} \left[\sin(\omega t + \psi - \frac{2\pi}{3}) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\psi - \frac{2\pi}{3}) \right]$$

$$i_3 = \frac{I}{P_{\max}} \left[\sin(\omega t + \psi - \frac{4\pi}{3}) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\psi - \frac{4\pi}{3}) \right]$$

$$\frac{I}{P_{\max}} = \sqrt{2} \cdot \frac{I_c}{\sqrt{2}}$$

d'où:

$$f_2 = -\frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot 2 \frac{I_c^2}{c} \left[\sin(\omega t + \psi - \frac{2\pi}{3}) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\psi - \frac{2\pi}{3}) \right] \left[\sin(\omega t + \psi - \frac{4\pi}{3}) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\psi - \frac{4\pi}{3}) \right] - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \left[\sin(\psi - \frac{4\pi}{3}) - \sin \psi \right]$$

$$f_2 = -\frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot 2 \frac{I_c^2}{c} \left[\sin(\omega t + \psi - \frac{2\pi}{3}) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\psi - \frac{2\pi}{3}) \right] \left[\sin(\omega t + \psi - \frac{4\pi}{3}) - \sin(\omega t + \psi) - e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\psi - \frac{4\pi}{3}) - \sin \psi \right]$$

après simplification on obtient:

$$f_2 = -\frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot 2 \frac{I_c^2}{c} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\sin(2\omega t + 2\psi - \frac{\pi}{3}) - 2 e^{-\frac{t}{\tau_a}} \sin(\omega t + 2\psi - \frac{\pi}{3}) + e^{-\frac{2t}{\tau_a}} \sin(2\psi - \frac{\pi}{3}) \right]$$

posant:

$$B_1 = \sin(2\omega t + 2\psi - \frac{\pi}{3}) \quad B_2 = \sin(\omega t + 2\psi - \frac{\pi}{3}) \quad ; \quad B_3 = \sin(2\psi - \frac{\pi}{3})$$

on constate que f_2 a 3 composantes dont deux périodiques et

l'autre aperiodique.

B_1 : composante périodique de fréquence $2f$.

B_2 : " " amortie " " f .

B_3 : composante aperiodique amortie

la valeur maximal de f_2 est obtenue pour :

$$B_1 = -1 \quad ; \quad B_2 = -2e^{-\frac{t}{T_a}} \quad ; \quad B_3 = -e^{-\frac{2t}{T_a}} \quad ; \quad \psi = -\frac{\pi}{12} \quad ; \quad t = 0,01s$$

Par definition $\psi = \alpha - \varphi$; $\varphi = \frac{\pi}{2}$: déphasage entre la tension et le courant . (on a négligé la résistance des barres) .

$$d'où \quad \alpha = \frac{5\pi}{12}$$

$$f_{2 \max} = -\frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot 2 \cdot I_c^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\sin \frac{3\pi}{2} - 2e^{-\frac{0,01}{T_a}} \sin \frac{\pi}{2} + e^{-\frac{2 \cdot 0,01}{T_a}} \sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) \right]$$

$$f_{2 \max} = \frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot 2 \cdot I_c^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \left[1 + 2e^{-\frac{0,01}{T_a}} + e^{-\frac{2 \cdot 0,01}{T_a}} \right] = \frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot \sqrt{3} \cdot I_c^2 \left[1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right]^2$$

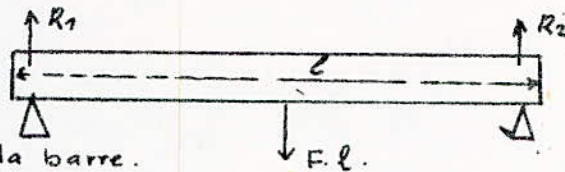
$$f_{2 \max} = \frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left[\sqrt{2} \cdot I_c \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) \right]^2$$

$$K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$$

$$f_{2 \max} = \frac{\mu_0}{2\pi d} \cdot 0,87 \cdot I_{ch}^2 = f_{2ch}$$

3. Verification aux efforts statiques :

Considérons une barre avec appuis aux extrémités :



F : poids linéique de la barre .

$F.l$: poids de la barre .

R_1, R_2 : réactions des supports sur la barre : $R_1 = R_2 = \frac{F.l}{2}$.

le moment fléchissant agissant sur la barre est donné par

$$M_f(x) = -F \cdot x \cdot \frac{x}{2} + F \cdot \frac{l}{2} \cdot x$$

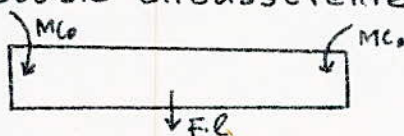
le moment fléchissant max est donné par l'annulation de la

Première dérivée de $M_f(x)$:

$$d'où : M_f'(x) = -Fx + F \cdot \frac{l}{2} = 0 \Rightarrow x = \frac{l}{2}$$

$$d'où M_f(\max) = M_f\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{F \cdot l^2}{8}$$

pour une barre a double encastrement $M_{f \max} = \frac{F \cdot l^2}{12}$



Du fait qu'on a ni double cheastrement ni double appui on prend la valeur Intermediaire du moment fléchissant

$$M_{f_{max}} = \frac{F \cdot l^2}{10}$$

la barre est soumise a la contrainte statique suivante.

$$\sigma_{stat} = \frac{M_f}{W}$$

W: module de la resistance de la section de la barre.

la contrainte statique maximale est donnée par

$$\sigma_{stat_{max}} = \frac{M_{f_{max}}}{W}$$

la resistance à l'effort statique necessite la verification de la condition suivante.

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{ad} \leq \sigma_{rup}$$

pour le cuivre $\sigma_{ad} = 2400 \text{ kgf/cm}^2$.

pour l'aluminium $\sigma_{ad} = 700 \text{ kgf/cm}^2$.

4. Efforts dynamiques:

On a vu que f_{2ch} a trois composantes dont:

- deux composantes periodiques $\left\{ \begin{array}{l} \text{fréquence } f \text{ amortie avec } T_a \\ \text{fréquence } 2f, \text{ NON amortie} \end{array} \right.$
- Une composante aperiodique ($f=0$)

amortie avec $\frac{T_a}{2}$.

pour eliminer la résonance il faut que la fréquence propre f_0 de la barre soit différente de $2f$ et de f .

afin de remedier a cela on modifie les dimensions de la barre et on ajoute des poids supplémentaires intermediaires.

la contrainte dynamique maximale est donnée par.

$$\sigma_{max_{dyn}} = K_\sigma \cdot \sigma_{max_{stat}}$$

avec $K_\sigma = \varphi\left(\frac{f_0}{f_n}\right)$.

avec :

f_0 : fréquence propre de la barre.

f_n : fréquence nominale du réseau.

la contrainte dynamique maximale doit être inférieure à $\sigma_{max sta}$

Ce qui donne $0 < K < 1 \Rightarrow$

$$\begin{cases} 0 < \frac{f_0}{f_n} < 0.5 \\ 3.4 < \frac{f_0}{f_n} < 4. \end{cases}$$

Détermination de f_0 :

$$f_0 = C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{3}{4l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{\rho \cdot S}}$$

$C_1 = 1$ pour une barre simple.

C_2 : coefficient qui tient compte du nombre de derivations.

l : distance entre deux isolateurs rigides.

E : Module d'élasticité.

J : Moment d'inertie de la section considérée de la barre.

ρ : densité du matériau.

S : Section de la barre.

dans notre cas :

$$C_2 = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{16} \times \frac{J_e}{J} \times \left(\frac{l_e}{l}\right)^3 \times \mu_e}{1 + \left(\frac{S_e}{S}\right) \left(\frac{l_e}{l}\right) \cdot \mu_e}}$$

J_e : moment d'inertie de la barre de dérivation.

l_e : longueur de la barre élastique.

S_e : Section de la barre élastique.

μ_e : facteur de non symétrie donné par la courbe $\mu = f\left(\frac{l_e}{l}\right)$.

l_a : distance entre la barre de dérivation et l'isolateur le plus proche.

5 Applications:

Verification a l'effort statique:

* J. d. b. 220 kv:

$F = \rho \cdot S$ avec: $\rho = 8890 \text{ kg f/m}^3$ pour le cuivre; $\rho = 2700 \text{ kg f/m}^3$ (Alu)

$S = 327 \text{ mm}^2$; $l = 15 \text{ m}$; $d = 6 \text{ m}$.

$F = 2700 \times 327 \times 10^{-6} = 0.88 \text{ kg f/m}$.

$M_{fmax} = \frac{F \cdot l^2}{10} = \frac{0.88 \cdot 15^2}{10} = 19.8 \text{ kg f.m}$.

$W = 1.884 \text{ cm}^3$.

$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{W} = \frac{19.8 \times 100}{1.884} = 1051 \text{ kg f/cm}^2$.

$\sigma_{ad} = 1700 \text{ kg f/cm}^2$ donc on a $\sigma_{max} < \sigma_{ad}$.

* J. d. b 30 kv:

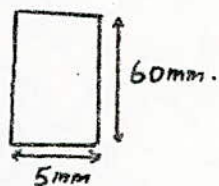
$S = 300 \text{ mm}^2$; $h = 60 \text{ mm}$; $b = 5 \text{ mm}$; $l = 1.4 \text{ m}$; $d = 0.4 \text{ m}$

$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{5 \cdot 60^2}{6} = 3000 \text{ mm}^3$

$F = \rho \cdot S = 8890 \times 300 \times 10^{-6} = 2.67 \text{ kg f/m}$.

$M_{fmax} = \frac{F \cdot l^2}{10} = \frac{2.67 \times 1.4^2}{10} = 0.523 \text{ kg f.m}$.

$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{W} = \frac{0.523}{3 \cdot 10^{-6}} = 17.43 \text{ kg f/cm}^2$



$\sigma_{ad} = 2400 \text{ kg f/cm}^2$ donc on a $\sigma_{max} < \sigma_{ad}$.

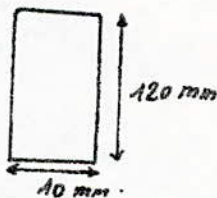
* J. d. b 10.5 kv:

$S = 1200 \text{ mm}^2$; $h = 120 \text{ mm}$; $b = 10 \text{ mm}$; $\rho = 8890 \text{ kg f/cm}^3$
 $l = 1.4 \text{ m}$; $d = 0.15 \text{ m}$.

$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{10 \cdot 120^2}{6} = 24000 \text{ mm}^3 = 24 \text{ cm}^3$.

$F = \rho \cdot S = 8890 \times 1200 \times 10^{-6} = 10.66 \text{ kg f/m}$.

$M_{fmax} = \frac{F \cdot l^2}{10} = \frac{10.66 \times 1.4^2}{10} = 2.1 \text{ kg f.m}$



$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{W} = \frac{2.1 \times 10^2}{24} = 8.75 \text{ kg f/cm}^2 \Rightarrow \sigma_{max} < \sigma_{ad}$.

dans le cas ou les barres sont soumises aux forces de choc le calcul de la contrainte maximale est le suivant:

J. d. b. 220 kv:

$$f_{2ch} = 0.87 \times \frac{\mu_0}{2\pi l} \times \frac{I^2}{ch} = 0.87 \times \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi \times 6} \times 19.6^2 = \frac{0.87 \times 2 \times 19.6^2}{6} = 11.14 \text{ N/m}$$

$$M_{fmax} = \frac{f_2 \cdot l^2}{10} = \frac{11.14 \times 15^2}{10} = 250.64 \text{ N.m} = 2555 \text{ kgf.cm.}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{W} = \frac{2555}{1.882} = 1356.15 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\sigma_{ad} = 1700 \text{ kgf/cm}^2 \Rightarrow \text{on a donc } \sigma_{max} < \sigma_{ad}.$$

J. d. b. 30 kv:

$$f_2 = \frac{0.87 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 28.33^2}{2\pi \times 0.4} = 349.13 \text{ N/m.}$$

$$M_{fmax} = \frac{f_2 \cdot l^2}{10} = \frac{349.13 \times 1.4^2}{10} = 68.43 \text{ N.m.}$$

$$M_{fmax} = \frac{68.43 \times 100}{9.81} = 697.55 \text{ kg.f.cm.}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{W} = \frac{697.55}{3} = 232.52 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\sigma_{ad} = 2400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ donc on a } \sigma_{max} < \sigma_{ad}.$$

J. d. b. 10.5 kv:

$$f_2 = \frac{0.87 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 186^2}{2\pi \times 0.3} = 20065.68 \text{ N/m.}$$

$$M_{fmax} = \frac{f_2 \cdot l^2}{10} = \frac{20065.68 \times 1.4^2}{10} \times \frac{100}{9.81} = 40090.45 \text{ kgf.cm.}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{W} = \frac{40090.45}{24} = 1680 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\sigma_{max} = 1680 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ad} = 2400 \text{ kgf/cm}^2.$$

. Verification au phénomène de résonance:

J. d. b 220 kv:

$$e_1 = e_2 = 1 ; \quad l = 15 \text{ m} ; \quad E = 7000 \text{ kgf/mm}^2.$$

$$P = 2.7 \times 10^3 \text{ kgf/m}^3 ; \quad S = 327 \text{ mm}^2 ; \quad J = 2.826 \text{ cm}^4.$$

$$f_0 = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^9 \times 2.826 \cdot 10^8}{2.7 \cdot 10^3 \times 327 \cdot 10^6}} \times \frac{3}{4 \times 15^2} = 0.05 \text{ Hz.}$$

$$\frac{f_0}{f_n} = 9.97 \cdot 10^{-4}.$$

Verifiant maintenant la condition $\sigma_{max dy} < \sigma_{max stat}$
la contrainte maximale dynamique est donnée par :

$$\sigma_{max dy} = k_{\sigma} \cdot \sigma_{max stat}$$

le rapport $\frac{f_0}{f_n} = 9.97 \cdot 10^{-4}$ donne sur la courbe $k_{\sigma} = f\left(\frac{f_0}{f_n}\right)$ un

Coefficient k_{σ} très faible ; don $\sigma_{max dy} < \sigma_{max stat}$.

J.d.b 30 kv:

$$c_1 = c_2 = 1, \quad l = 1.4 m \quad E = 13000 \text{ kgf/mm}^2; \quad \rho = 8890 \text{ kgf/cm}^3$$

$$S = 300 \text{ mm}^2; \quad J = \frac{bh^3}{12} = 90000 \text{ mm}^4 = 9 \text{ cm}^4.$$

$$f_0 = \frac{3}{4 \cdot (1.4)^2} \sqrt{\frac{1.3 \times 10^{10} \times 9 \times 10^{-8}}{8890 \times 300 \times 10^{-6}}} = 8 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_0}{f_n} = 0.16; \quad 0 < \frac{f_0}{f_n} < 0.5 \Rightarrow \sigma_{max dy} < \sigma_{max stat}$$

J.d.b: 10.5 kv:

$$c_1 = c_2 = 1; \quad l = 1.4 m; \quad E = 13000 \text{ kgf/mm}^2; \quad \rho = 8890 \text{ kgf/cm}^3$$

$$S = 1200 \text{ mm}^2 \quad J = \frac{10 \times 120^3}{12} = 10^4 \times 12^2 = 144 \text{ cm}^4.$$

$$f_0 = \frac{3}{4 \times 1.4^2} \sqrt{\frac{1.3 \times 10^{10} \times 144 \times 10^8}{8890 \times 1200 \times 10^6}} = 16 \text{ Hz}.$$

$$\frac{f_0}{f_n} = \frac{16}{50} = 0.32 \Rightarrow k_{\sigma} = 0.65 < 1 \text{ (de la courbe } k_{\sigma} = f\left(\frac{f_0}{f_n}\right))$$

$$\sigma_{max dy} < \sigma_{max stat}$$

6. Verification aux efforts thermiques:

Les effets thermiques sont dus au degagement de chaleur par effet Joule pendant le regime de court circuit; les barres etoient bien qu'elles resistent aux efforts electrodynamiques elles doivent aussi resister aux effets thermiques.

la temperature de la barre pendant le regime d'avarie ne doit pas atteindre la temperature admissible du metal constituant les J.d.b qui est de 200°C pour l'AGS et de 250°C pour le Cuivre.

J.d.b. 220 kv:

l'echauffement du J.d.b depend de la duree du court circuit

donc du temps de coupure du disjoncteur qui est de l'ordre de 0.25. la température du jeu de barres lors d'un défaut est déterminée en faisant la somme de la température pendant le fonctionnement normal et la température pendant le régime d'avarie. Mais en cas de défaillance de la protection; le J.d.b doit tenir le courant de défaut pour une période plus longue considérons un court-circuit d'une seconde de durée; étant donné que le courant de court-circuit sur le J.d.b 220 kv est de 8 kA, la courbe d'échauffement du tube AGS nous donne l'échauffement correspond à ce courant qui est de 8°C. or l'échauffement maximal en fonctionnement normal du tube en ALLIAGE A.G.S est fixé à 60°C.

ce qui donne une température maximale après court-circuit de $\theta_f = 60 + 8 = 68^\circ C < 200^\circ C$.

donc le J.d.b choisi vérifie les conditions des effets thermiques.

J.d.b. 30KV:

la chaleur dégagée par un conducteur homogène est donnée par

$$P \cdot dt = CM dT + \lambda S T dt \quad (1)$$

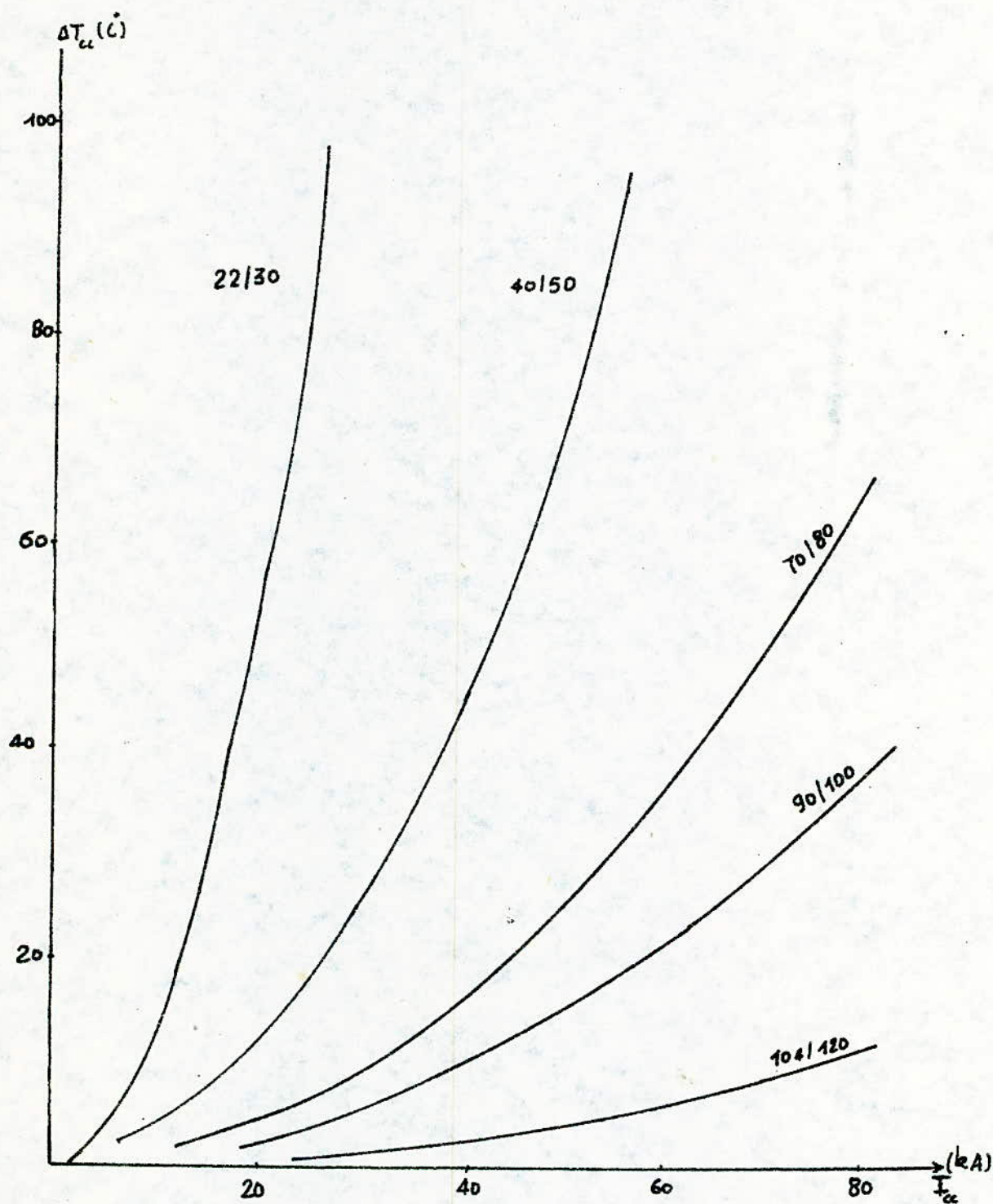
P: puissance d'échauffement C: chaleur spécifique.

M: masse du conducteur S: surface latérale.

λ : coefficient de transmission de la chaleur vers le milieu ambiant.

T: échauffement du conducteur par rapport au milieu ambiant.

le premier terme $CM dT$ représente la chaleur emmagasinée dans le conducteur. le deuxième terme $\lambda S T dt$ représente la chaleur transmise au milieu ambiant au temp dt , ce terme



Courbes d'échauffement des tubes en AGS.

Soumis à un courant de court circuit d'une seconde.

est négligeable du fait que dt est très petit.

L'expression (1) devient : $P dt = M C dZ$.

la puissance $P = Ri^2 \Rightarrow Ri^2 dt = M C dZ$. (2)

la résistance $R = R_0(1 + \alpha \theta)$
la chaleur spécifique $C = C_0(1 + \beta \theta)$ } (3)

d'autre part on a $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ et $M = \gamma \cdot l \cdot S$

on fait l'approximation suivante $dZ = d\theta$.

la chaleur étant proportionnelle à la température.

L'expression (2) devient : $i^2 \cdot R(1 + \alpha \theta) dt = C_0(1 + \beta \theta) M d\theta$.

$i^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} (1 + \alpha \theta) dt = C_0(1 + \beta \theta) M d\theta = C_0(1 + \beta \theta) \cdot \gamma \cdot l \cdot S d\theta$.

$\frac{i^2 dt}{S^2} = \frac{C_0 \cdot \gamma}{\rho_0} \cdot \frac{1 + \beta \theta}{1 + \alpha \theta} d\theta$. (5)

$t=0$: temps initial de court circuit.

t : durée de court circuit.

θ_i : température initiale du conducteur.

θ_f : " finale " "

la relation (5) s'écrit : $\frac{C_0 \gamma}{S^2} \int_{\theta_i}^{\theta_f} \frac{1 + \beta \theta}{1 + \alpha \theta} d\theta = \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(1 + \alpha \theta_f) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_f \right] - \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(1 + \alpha \theta_i) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_i \right] = \frac{1}{S^2} \int_0^t i^2 dt$. (7)

on pose : $A(\theta) = \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(1 + \alpha \theta) + \frac{\beta}{\alpha} \theta \right]$ (8).

donc : $\frac{1}{S^2} \int_0^t i^2 dt = A(\theta_f) - A(\theta_i)$. (9)

$A(\theta_i)$ et $\int_0^t i^2 dt$ sont connues ; θ_f est lue sur le graphe

$A(\theta) = f(\theta)$; Donc reste à calculer $\int_0^t i^2 dt$

le courant a 2 composantes l'une périodique l'autre aperiodique.

$i = i_p + i_{ap}$; $\int_0^t (i_p + i_{ap})^2 dt = \int_0^t i_p^2 dt + \int_0^t i_{ap}^2 dt + 2 \int_0^t i_p \cdot i_{ap} dt$

le terme $2 \int_0^t i_p \cdot i_{ap} dt$ est négligeable.

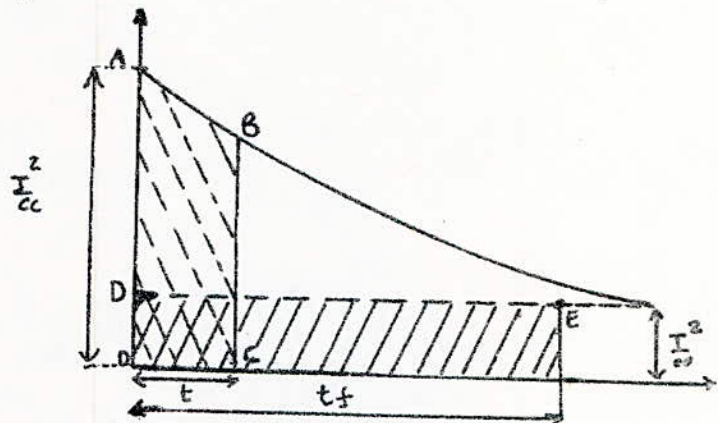
donc $\int_0^t i^2 dt = \int_0^t i_p^2 dt + \int_0^t i_{ap}^2 dt$
 $\int_0^t i_p^2 dt$: ne peut être calculée; mais elle est déterminée à l'aide
des diagrammes avec un temps fictif. le temps fictif (t_f) est
un temps qui pour le cas où le conducteur est parcouru par un
courant périodique stabilisé de court circuit donne la même
quantité de chaleur comme dans le cas où le conducteur est
parcouru par un courant normal de court-circuit.

$$\int_0^t i_p^2 dt = S(OABC)$$

l'aire OABC sera proportionnelle à la chaleur dégagée, d'où
on détermine une surface : ODEF = (OABC) réelle

OC = t : durée de court circuit

OF = t_f : temps fictif,



Du diagramme on a :

$$I_{cc}^2 t_{fp} = \int_0^t i_p^2 dt.$$

t_{fp} : est le temps fictif donné par la courbe $t_{fp} = f(\beta)$.

$$\text{avec } \beta = \frac{I_{cc}}{I_{\infty}}$$

Pour la détermination de l'expression $\int_0^t i_{ap}^2 dt$ on utilise le temps
fictif aperiodique t_{fa} . On aura : $\frac{I_{cc}^2}{\omega} t_{fa} = \int_0^t i_{ap}^2 dt$

Détermination de t_{fa} :

$$i_{ap} = \sqrt{2} \cdot I_{cc} e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$t_{fa} = \frac{1}{I_{cc}^2} \int_0^t \sqrt{2} \cdot I_{cc} e^{-\frac{t}{T_a}} = \frac{(\sqrt{2} I_{cc})^2}{I_{cc}^2} \int_0^t e^{-\frac{t}{T_a}} = -\frac{T_a}{2} \frac{(\sqrt{2} I_{cc})^2}{I_{cc}^2} \left[e^{-\frac{t}{T_a}} \right]_0^t$$

$$t_{fa} = T_a \frac{I_{cc}^2}{I_{a0}^2} \left[1 - e^{-\frac{2t}{T_a}} \right] = \beta^2 T_a \left[1 - e^{-\frac{2t}{T_a}} \right].$$

$$T_a = 0.032 \text{ s.}$$

la somme des temps t est prise égale à 0.1 s

$$\text{Soit donc } e^{-\frac{2t}{T_a}} = e^{-\frac{0.2}{0.032}} = 1.93 \times 10^{-3} \Rightarrow e^{-\frac{2t}{T_a}} \approx 0$$

finallement on obtient $t_{fa} = \beta^2 T_a$

nous utilisons t_{fp} et t_{fa} pour déterminer l'intégrale $\int_0^t i^2 dt$

$$\int_0^t i^2 dt = \int_0^{t_1} i^2 dt + \int_0^{t_2} i^2 dt = I_{cc}^2 (t_{fp} + t_{fa}) \Rightarrow t_f = t_{fp} + t_{fa}$$

en court circuit la température des barres ne doit pas dépasser 250°C pour le cuivre et 150°C pour l'aluminium.

Pour déterminer I_{cc} (courant périodique permanent) il faut soit utiliser les courbes de calcul soit prendre une méthode approximative ; on peut pas utiliser la première, car elle nécessite la connaissance des caractéristiques de tous les générateurs du réseau, donc on adopte la méthode approximative pour notre calcul. Cette méthode consiste à estimer le courant I_{cc} (surtransitoire) du point de vue diminution au bout d'un temps infini ; on considère qu'au bout d'un temps infini le courant I_{cc} diminue de 10% de sa valeur.

$$\text{d'où } I_{cc} = 0.9 I_{cc} \Rightarrow \beta = \frac{I_{cc}}{I_{a0}} = 1.1.$$

$$\beta = 1.1 ; t = 0.2 \text{ s} \Rightarrow t_{fp} = 0.28 \text{ s.}$$

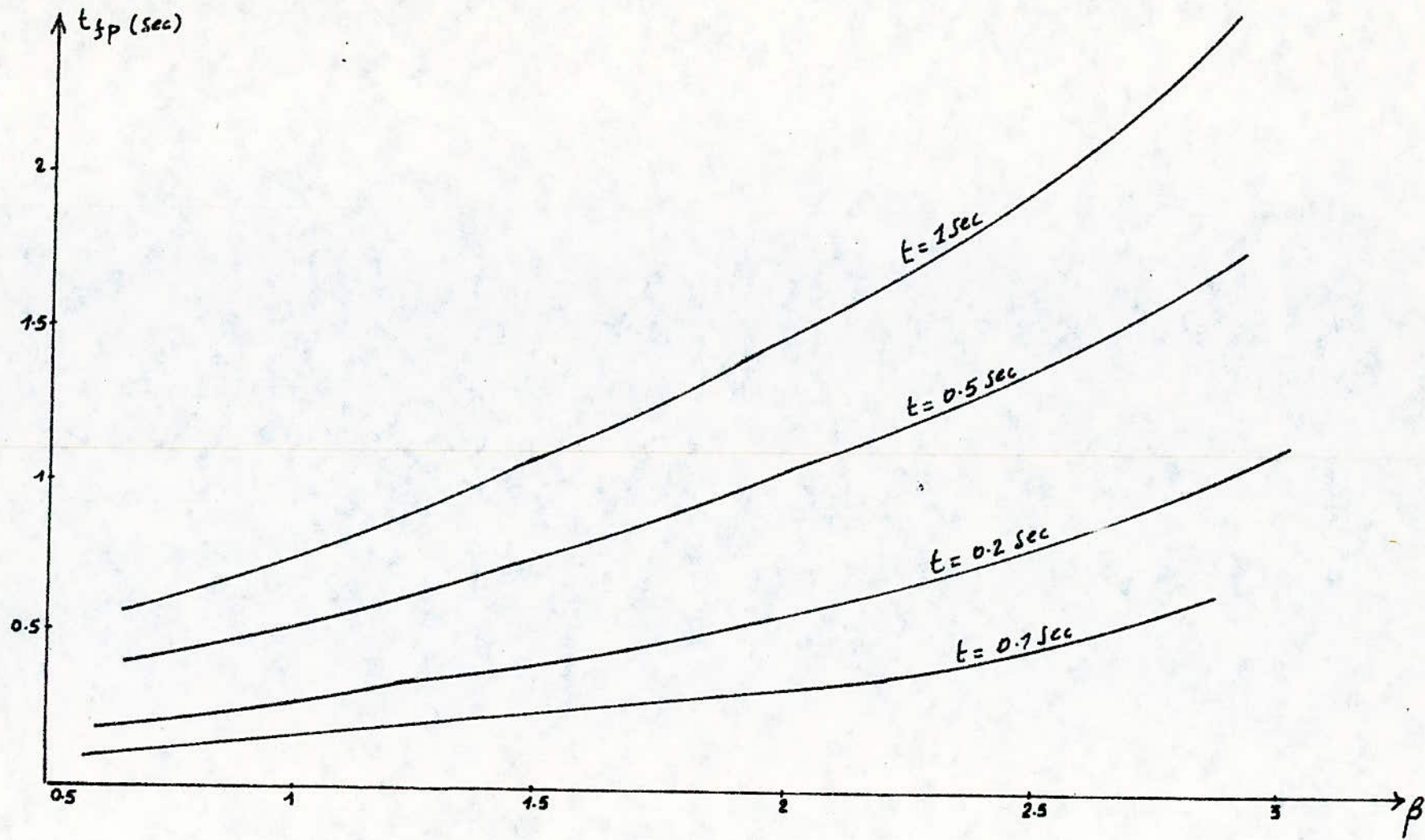
$$t_{fa} = \beta^2 T_a = 1.1^2 \cdot 0.032 = 0.03872 \text{ s.}$$

$$\text{d'où } t_f = t_{fp} + t_{fa} = 0.28 + 0.03872 = 0.31872 \text{ s.}$$

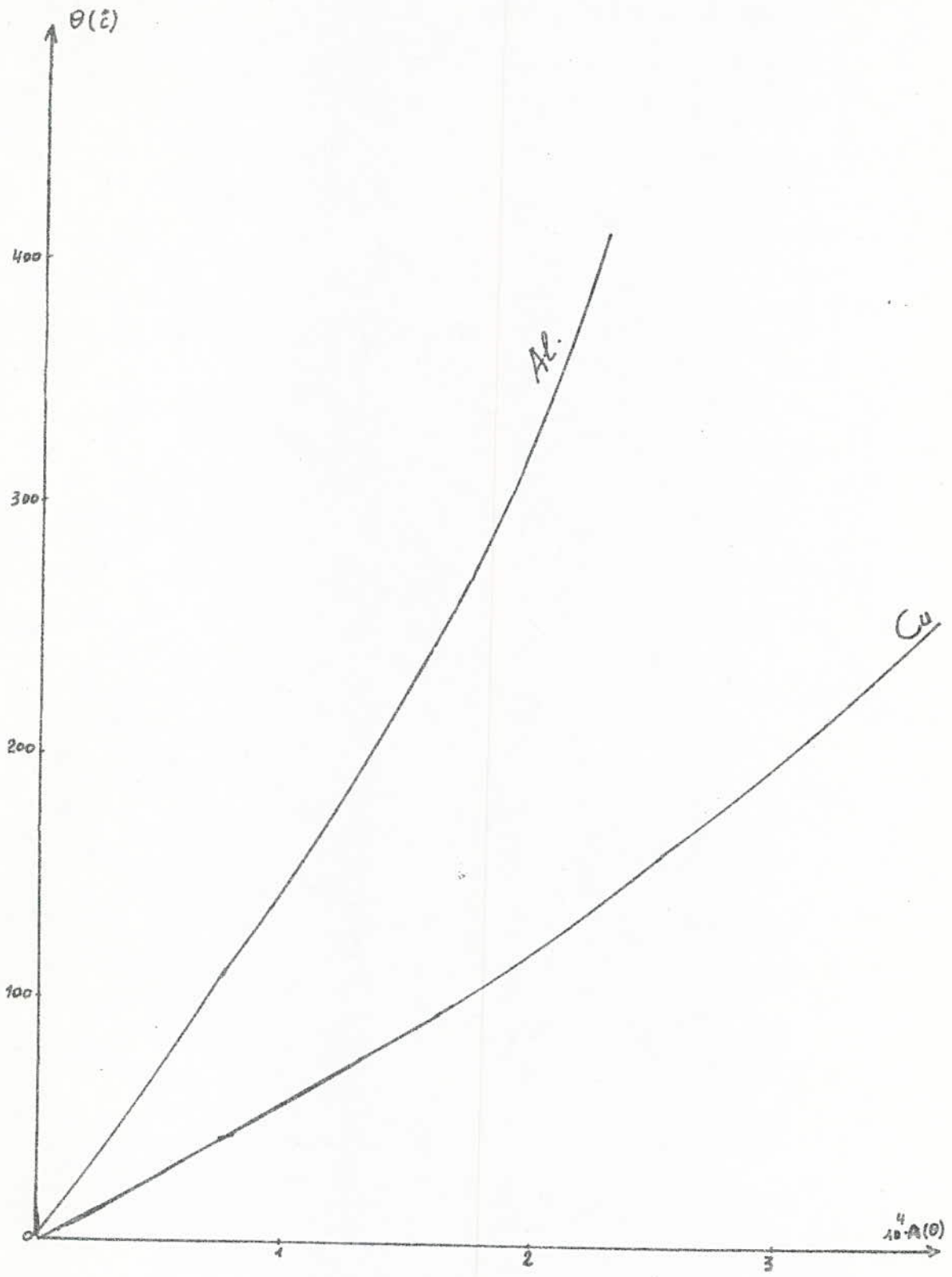
Calcul de $A(\theta_f)$:

$$A(\theta_f) = A(\theta_i) + \frac{1}{S_z} \frac{I_{cc}^2}{\omega} \cdot t_f.$$

en régime de fonctionnement normal la température maximale admissible est de l'ordre de 70°C ; donc $A(\theta_0) = 11750$



Courbes donnant t_{fp} en fonction de β avec $\beta = \frac{I_{cc}}{I}$.



Courbes de $\theta = f(A(\theta))$

Applications:

J. d. b 30 kV:

$$S = 300 \text{ mm}^2 \quad I_{\infty} = 0.9 I_{cc} = 0.9 \times 11.58 = 10.422 \text{ kA.}$$

$$\frac{I_{\infty}^2}{S^2} \cdot t_f = \left(\frac{10.422}{300} \right)^2 \times 0.31872 = 384.65$$

$$A(\theta_f) = 11750 + 384.65 = 1.2 \times 10^4$$

Sur le graphe $A(\theta) = f(\theta)$ on lit $\theta_f = 73^\circ$.

La condition $\theta_f < 250^\circ$ est bien vérifiée donc notre section du j.d.b vérifie les conditions des effets thermiques

J.d. b 10.5 kV:

$$S = 1200 \text{ mm}^2 ; \quad I_{\infty} = 0.9 \times 76 = 68.4 \text{ kA.}$$

$$\frac{I_{\infty}^2}{S^2} \cdot t_f = \left(\frac{68.4 \times 10^3}{1200} \right)^2 \times 0.31872 = 1035.52$$

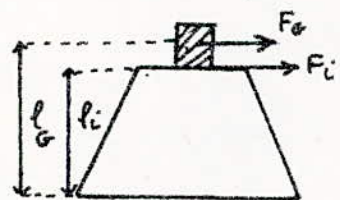
$$A(\theta_f) = 11750 + 1035.52 = 1.27 \cdot 10^4$$

de la courbe $A(\theta) = f(\theta)$ on lit $\theta_f = 75^\circ$.

Donc la section adoptée pour le j.d. b 10.5 résiste aux effets thermiques:

8. Choix des isolateurs supports:

les barres sont posées sur des isolateurs de support que l'on choisit suivant la force de flexion F_i que peuvent supporter.



généralement on prend $F_i = 1.67 F_G$.

F_G : force électrodynamique agissant sur la barre

F_i : force de flexion agissant sur l'isolateur: $F_i = F_G \cdot \frac{l_G}{l_i}$

les types d'isolateurs qu'on peut distinguer sont donnés par le tableau suivant:

classe	O	A	B	C	D
F_{min} (kN)	2	4	8	12	30

Pour J.d.b 220 kV

isolateur utilisé a les caractéristiques suivantes:

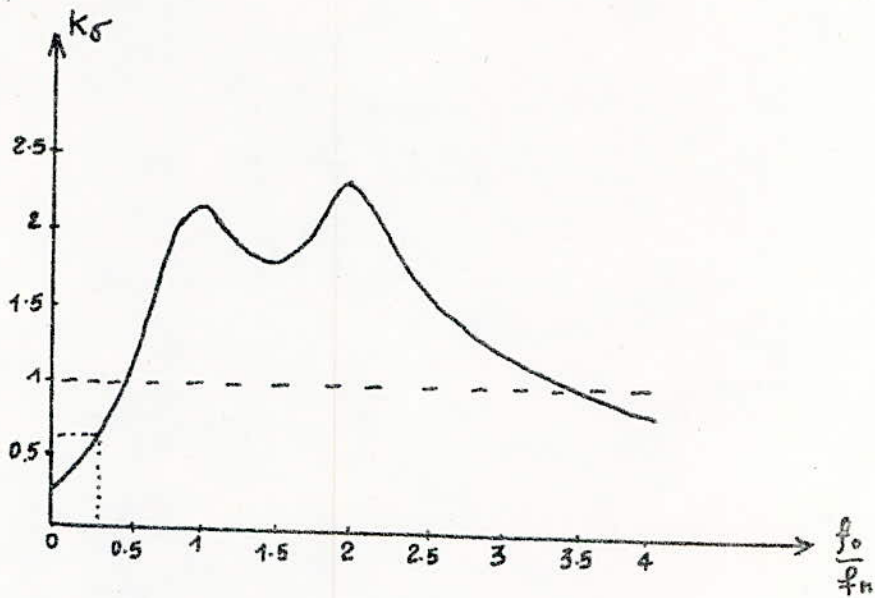
classe: O ; tension d'isolement 245 kV

J.d.b 30 kV:

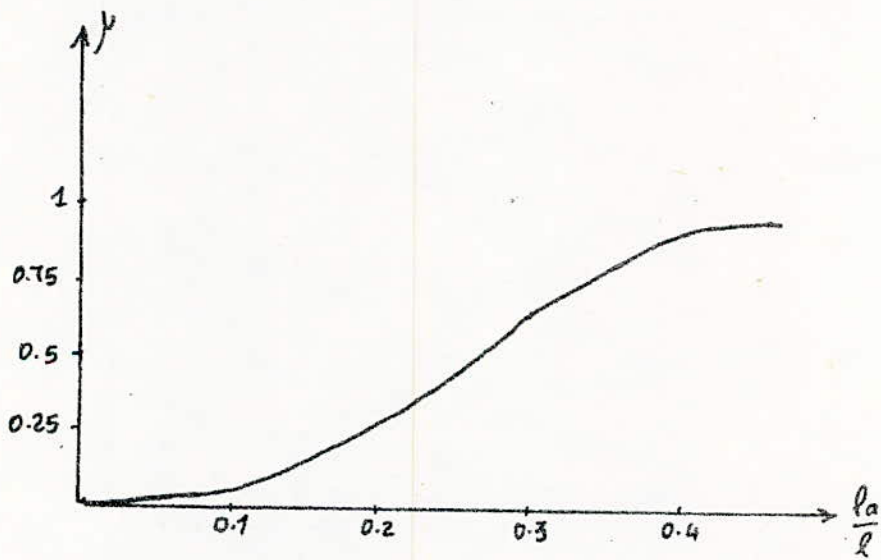
isolateur utilisé : classe: O ; tension d'isolement 36 kV

J.d.b 10.5 kV:

isolateur utilisé: classe: O ; tension d'isolement: 12 kV.



Courbe $K\sigma = f\left(\frac{f_0}{f_n}\right)$



Courbe $\mu = f\left(\frac{l_0}{l}\right)$

Choix d'appareillage.

Introduction:

Pour un bon fonctionnement du poste, avec une mesure efficace et une protection appropriée, il nous convient de choisir les différents appareils qui font partie des éléments constructifs du poste et qui permettent l'obtention de la mesure et la sécurité souhaitée

transformateur de courant et de potentiel:

Ce sont des appareils qui transforment respectivement le courant et la tension à des valeurs réduites mesurables qu'on transmet aux enroulements secondaires afin d'alimenter les appareils de mesure et de protection que ce soit en régime normal de fonctionnement ou en régime perturbé.

1: Choix des transformateurs de courant.

1.1: Définition:

Un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est pratiquement proportionnel au courant primaire et en phase avec celui-ci.

dans la construction des transformateurs de courant deux cas principaux se présentent suivant l'utilisation de ses enroulements secondaires

enroulement de mesure: c'est un enroulement à noyau rapidement saturable et ce afin de présenter une protection suffisante des instruments raccordés.

enroulement protection: c'est un enroulement à noyau de saturation tardive et transformation linéaire jusqu'à grand multiple du courant nominal pour assurer le fonctionnement des dispositifs de protection en cas de défaut.

deuxième enroulement de protection: c'est un enroulement de même propriétés physiques que le premier auquel sont raccordés la protection de réserve et la protection de défaut de commande du disjoncteur.

un transformateur de courant est caractérisé par deux facteurs:

- Facteur de Sécurité F_s
- Facteur limite de précision h .

le Facteur de Sécurité F_s caractérise le comportement du noyau de mesure d'un transformateur de courant dans le domaine de surintensité.

Par définition e est le multiple du courant nominal pour lequel l'erreur du courant (1) atteint 10% c.à.d la valeur pour laquelle le noyau est saturé

1: l'erreur de courant exprimée en % est:

$$F_i = \frac{I_2 K_n - I_1}{I_1} \times 100 \quad \text{avec: } I_1: \text{courant primaire en A.}$$

K_n : rapport de transformation. ; I_2 : courant secondaire en A.

le facteur limite de précision doit être choisi aussi élevé que possible, et cela afin d'avoir une saturation tardive, par conséquent une transformation linéaire jusqu'à un courant très grand multiple du courant nominal pour assurer le fonctionnement des dispositifs de protection en cas d'un défaut.

les propriétés d'un noyau du transformateur de courant pour la protection sont l'indication de la classe de protection suivie du chiffre du limite de précision par exemple 5P20 signifie qu'il s'agit d'un transformateur de courant pour la protection pour lequel l'erreur composée (2) est maximum 5% pour 20 fois le courant

nominal :

$$(2) \quad E_c = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (k_n i_2 - i_1)^2 dt} \times \frac{100}{I_1} \quad \text{: l'erreur composée}$$

T: durée d'une période

I_1 : Valeur efficace du courant primaire. en A.

i_1 : valeur instantanée du courant primaire

i_2 : " " " " Secondaire

1.3: Détermination de la puissance de précision des différents Tc:

la puissance de précision S_n du transformateur de courant est la puissance apparente que le transformateur peut fournir au côté secondaire pour le courant nominal et la charge maximale admissible qui respecte la classe de précision.

Choix du Tc ligne 220 kv:

enroulement mesure : la puissance de précision doit répondre aux besoins de consommation des appareils que le transformateur alimente ; plus les pertes dans la filerie qui relie le transformateur de courant aux appareils.

Type d'appareils	nombre d'appareils	Puissance absorbée (VA)	Consommation en VA.
Amperemètre	1	3	3
Compteur d'énergie	4	3	12
Wattmètre	1	3	3
Varemètre	1	3	3
Convertisseur	1	2	2
Total			23

on prend un Tc normalisé de 35 VA et on s'arrange de telle

quel excès de puissance soit $35 - 23 = 12 \text{ VA}$ cette puissance sera consommée par la filerie dont on détermine alors la section :

le courant circulant dans la filerie est de 5 A .

$$RI^2 = 12 \Rightarrow R = \frac{12}{5^2} = 0.48 \Omega.$$

$$\text{or } R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow S = \frac{\rho \cdot l}{R}$$

on choisit des conducteurs en cuivre : $\rho = 1.8 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$.

la longueur de la filerie du Tc au bâtiment de relayage (BR) $l = 39 \text{ m}$

d'où la longueur aller-retour est : $l_t = 39 \times 2 = 78 \text{ m}$

la longueur du BR au Bâtiment de Commande (BC) est : 78

$$l_t = 234 \text{ m}.$$

$$\text{donc la section : } S = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{234}{0.48} = 8.775 \text{ mm}^2.$$

on prend une section normalisée $S = 10 \text{ mm}^2$.

enroulement protection :

Appareils.	Consommation par phase (VA)
Protection de distance	4.
Protection Complémentaire	16
Réenclencheur	10
localisateur de défaut	1
Total	31

on choisit un enroulement de puissance 43 VA .

excès de puissance $43 - 31 = 12 \text{ VA}$ cette puissance est consommée par la filerie .

$$RI^2 = 12 \Rightarrow R = \frac{12}{I^2} = \frac{12}{5^2} = 0.48 \Omega$$

$$S = \rho \cdot \frac{l}{S} = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{78}{0.48} = 2.925 \text{ mm}^2$$

on prendra une section normalisée $S = 4 \text{ mm}^2$

enroulement de protection de reserve:

Appareils	Consommation
Protection de distance de secours	4
Protection d'intensité	4.5
Protection différentielle barres	0.3
TOTAL	8.8.

on choisit un enroulement de puissance 30 VA.

$$RI^2 = 30 - 8.8 = 21.2 \text{ VA} \Rightarrow R = 0.848 \Omega.$$

$$R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow S = \frac{1.8 \cdot 10^{-2} \times 78}{0.848} = 1.65 \text{ mm}^2$$

la section normalisée est $S = 2.5 \text{ mm}^2$.

Par le même procédé on calcule le reste des Tc pour cellule arrivée 30 kv et Tc pour cellule arrivée 10.5 kv. ainsi que les bushings du transformateur de puissance 220 / 30 / 10.5 kv.

T.C	Type d'enroulement	longueur de la filerie (m)	Consommation (VA)	Section de la filerie	Classe
ligne 220 kv	mesure	234	35	10	1F3 ≤ 5
ligne 220 kv	protection 1	78	43	4	5P20
ligne 220 kv	protection 2	78	30	2.5	5P20
bushing 220 kv	protection	30	30	2.5	5P15
bushing 30 kv	protection	30	30	2.5	5P15
bushing 10.5 kv	protection	30	30	2.5	5P15
Tc arrivée 30 kv	mesure	12	15	2.5	/
Tc départ 30 kv	protection	12	15	2.5	/
Tc départ ou arrivée 10.5 kv	mesure	12	15	2.5	/
Tc départ ou arrivée 10.5 kv	protection	12	15	2.5	/
Tc départ 30 kv	mesure	90	15	10	/
Tc arrivée 30 kv	protection	90	15	10	/
couplage 220 kv	protection	230	2.5	6	5P20

2. Transformateur de tension:

2-1. Définition:

Un transformateur de tension est un transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est pratiquement proportionnelle à la tension primaire et en phase avec celui-ci.

Le transformateur de tension a pour tâche la transformation de la tension du réseau en une tension mesurable alimentant les appareils de mesure et de protection. Les transformateurs de tension qu'on utilise ont pour tension secondaire simple la tension $U = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57.7 \text{ V}$.

Tableau donnant l'appareillage raccordé au secondaire des TT et leur consommation.

Type d'appareillage	Puissance consommée VA.
Compteur d'énergie	20
Wattmètre.	2
Varemètre	2
Convertisseur pour télé mesure.	2
Voltmètre.	7
Voltmètre différentiel	7
Fréquencemètre (Fs)	3
Fréquencemètre (Fm)	3
SYNCHRONOSCOPE	12
protection Complémentaire	7
protection de distance	15
localisateur de défaut	1
Réenclencheur	10
protection de distance de secours	15.

Section de la filerie mesure :

On admet que la chute de tension dans la filerie est de 0.5% de la tension secondaire du TP qui est égale à 100V.

$$U = 0.5V$$

$$\text{d'où } I = \frac{68}{\sqrt{3} \times 100} = 0.4A.$$

$$U = R I \sqrt{3} \Rightarrow R = \frac{U}{I \sqrt{3}} = \frac{0.5}{0.4 \times \sqrt{3}} = 0.73 \Omega.$$

$l = 246m$; on utilise une filerie de cuivre : $\rho = 1.8 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$.

$$S = \rho \cdot \frac{l}{R} = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{246}{0.73} = 6 \text{ mm}^2$$

la section normalisée est $S = 6 \text{ mm}^2$.

Filerie Protection :

les appareils de protection consomment 48 VA. De même on estime la chute de tension à 0.5%.

$$\text{d'où } I = \frac{48}{\sqrt{3} \times 100} = 0.277A \Rightarrow R = \frac{U}{\sqrt{3} I} = \frac{0.5}{0.277 \sqrt{3}} = 1.04$$

$$l = 90m.$$

$$S = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{90}{1.04} = 1.55 \text{ mm}^2.$$

la section normalisée est $S = 2.5 \text{ mm}^2$.

consommation totale pour mesure 68 VA.

" " " " protection 48 VA.

la consommation totale est de : 116 VA.

la valeur normalisée est de 150 VA.



TP barres 220 kV :

TP barres : $S_n = 30 \text{ VA}$.

$$l_t = (19.2 + 62.4) \times 2 = 163.2 \approx 164m.$$

$$I = \frac{30}{\sqrt{3} \times 100} = 0.173A.$$

$$R = \frac{\Delta U}{\sqrt{3} I} = \frac{0.5}{\sqrt{3} \times 0.173} = 1.66 \Omega.$$

$$S = \rho \cdot \frac{\ell}{R} = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{164}{1.66} = 1.77 \text{ mm}^2.$$

$$S = 2.5 \text{ mm}^2.$$

TP barres 2: 220 kv:

$$\ell_t = (27.6 + 62.4) \times 2 = 180 \text{ m.}$$

$$I = \frac{30}{\sqrt{3} \times 100} = 0.1734.$$

$$R = 1.66 \Omega \Rightarrow S = \rho \cdot \frac{\ell}{R} = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{180}{1.66} = 1.95 \text{ mm}^2$$

la section normalisée est $S = 2.5 \text{ mm}^2$.

Choix de la classe de précision:

la classe de précision est choisie selon le genre des appareils raccordés et suivant les exigences du service.

Tableau résumant les TP choisis:

Type	S_n (VA)	Classe
barre 1	30	0.3
barre 2	30	0.3
ligne 220 kv mesure	60	0.5
ligne 220 kv protection	40	0.5
J. d. b 30 kv	30	1
J. d. b. 10.5 kv	30	1

3. isolateurs:

le role des isolateurs est de retenir mécaniquement les conducteurs aux structures qui les supportent et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux éléments. leurs qualités électriques et mécaniques ne devront être détruites par aucune contrainte quelque soit sa nature, il en existe deux types.

- les isolateurs rigides: constitués par un seul bloc supportant les barres et les conducteurs lors de leurs derivations aux différents appareils HT.

- les isolateurs suspendus: constitués par une chaîne de plusieurs éléments rigides dont le type principal est celui dénommé "capot tige". le choix du type d'isolateur est fonction de la région d'implantation du poste, on doit donc éviter les régions les plus polluées autrement on serait obligé d'utiliser les isolateurs anti-pollution avec différentes lignes de fuite spécifiques suivant l'importance de la pollution dans cette région, le minimum des lignes de fuite spécifiques est de 2.5 cm/kv; considérons que notre poste se situe dans une région peu polluée; on choisira une ligne de fuite spécifique de 3 cm/kv.

Détermination du nombre d'éléments:

Pour notre poste on a utilisé des isolateurs de type "capot-tige" ayant les caractéristiques suivantes.

- diametre : 280 mm ; Pas : 146 mm.
- tension de tenue au choc : 120 kv.
- tension de tenue à fréquence industrielle à sec : 80 kv.
- tension de tenue à fréquence industrielle sous pluie : 45 kv.

longueur de ligne fuite (l_e) 445 mm.

Effort mécanique garanti: 12 tonnes.

la longueur de fuite totale: $3 \times 220 = 660$ cm.

le nombre d'éléments est: $\frac{\text{longueur de fuite totale de la chaîne}}{\text{longueur de fuite d'un élément}} = \frac{L_{ft}}{L_e}$

$$n = \frac{660}{44.5} = 14.83$$

On prendra $n = 15$ éléments.

4. Détermination de la section des conducteurs:

la section des conducteurs est déterminée en fonction du courant admissible qui est susceptible de circuler.

le courant nominal en fonctionnement normal est de:

$$\text{Poste 220 kV: } I_n = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 220} = 209.9 \text{ A} \approx 210 \text{ A.}$$

le transformateur peut supporter les surcharges admissibles

permanentes suivantes en fonction de la température ambiante

5% à 50°C ; 20% à 35°C ; 25% à 25°C

nous adoptons la surcharge maximale soit 25% qui donne les courants admissibles suivants:

$$I_{ad1} = I_{N1} + 0.25 I_{N1} = 262.5 \text{ A.}$$

la valeur normalisée est de $I_{ad1} = 270 \text{ A.}$

le tableau n° III nous donne les caractéristiques pour des conducteurs en Almelec homogène.

$$\text{Poste 220 kV: } S = 93.3 \text{ mm}^2.$$

or pour le poste 220 kV il faut au moins une section de 570 mm²

afin d'éviter l'apparition de l'effet couronne; la section 93.3 mm²

ne vérifie pas cette condition. On adoptera donc une

section de 570 mm².

Poste 30 kV: câbles souterrains

Caracteristiques des Conducteurs Homogènes en Almelec .

Module d'élasticité $E = 5890 \text{ dan/mm}^2$; Coefficient de dilatation $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$

Section nominale. (mm ²)	Constitution du Conducteur nbr de fils x diamètre	Diamètre extérieur (mm)	masse (kg/m)	effort de rupture (dan)	résistance électrique à 20 °C / km.	Intensité admissible en Permanence. (A)
93.3	19 x 2.5	12.5	0.258	2700	0.357	270
117	19 x 2.8	14	0.324	3400	0.285	315
148.1	19 x 3.15	15.75	0.470	4300	0.225	365
288	37 x 3.75	22.05	0.799	8200	0.116	550
366	37 x 3.55	24.85	1.016	10400	0.0912	630
408	37 x 3.75	26.25	1.140	11800	0.0813	700
475	67 x 3.15	28.35	1.324	13050	0.0706	725
570	67 x 3.45	31.00	1.590	15850	0.0588	840
604	67 x 3.55	31.90	1.685	16600	0.0556	860
851	91 x 3.65	37.90	2.370	25000	0.0393	1150
1144.	91 x 4.	44	3.180	33350	0.0294	1600

Tableau n° III

le câble choisi est en âme d'aluminium, isolé en P.R.C (poly-éthylène recuit chimiquement) qui présente les caractéristiques

- pertes diélectriques extrêmement faibles.
- rigidité diélectrique 40 kV/mm.
- insensibilité à l'humidité
- très grande inertie chimique

sa section est déterminée de telle manière qu'elle vérifie la condition

$$S \geq \frac{I_{cc}}{\delta} \quad \text{avec:}$$

I_{cc} : Courant de court circuit en A.

δ : densité de courant (A/mm^2)

la densité δ donnée pour une surcharge d'une seconde est de

$$\delta = 91 A/mm^2 \quad \text{avec une température admissible de } 250^\circ C \text{ au}$$

niveau de l'âme du câble.

$$\text{Pour } 30 \text{ kV: } S \geq \frac{11580}{91} = 127.25 \text{ mm}^2$$

on prend une section normalisée $S = 150 \text{ mm}^2$.

Pour 10.5 kV: (la partie MT du transformateur).

$$S \geq \frac{36450}{91} = 400.55 \text{ mm}^2.$$

la section normalisée est $S = 410 \text{ mm}^2$.

Pour 10.5 kV: arrivée groupe

$$S \geq \frac{20170}{91} = 221.65 \text{ mm}^2$$

la section normalisée est $S = 245 \text{ mm}^2$.

5. Choix des disjoncteurs et des sectionneurs :

5.1. Choix des disjoncteurs :

Le disjoncteur est un appareil qui peut ouvrir ou fermer un circuit en charge; il possède un grand pouvoir de coupure; les disjoncteurs sont choisis à l'aide des caractéristiques suivantes :

- tension nominale.
- Courant nominal.
- type d'installation (interieur ou exterieur).
- Pouvoir de coupure.

la tension nominale du disjoncteur doit correspondre à la tension nominale de service. le courant nominal doit être plus grand que le courant de charge maximum du circuit où placé le disjoncteur; il doit être plus grand que la valeur efficace du courant de court circuit au moment où commence la séparation des contacts du disjoncteur. le pouvoir de coupure est donné par :

$$I_{\text{coup}} = K_{\text{coup}} \cdot I_{\text{cc}} \quad \text{avec} \quad K_{\text{coup}} = f \left(t, \frac{I_{\text{cc}}}{\sum I_n} \right)$$

t : temps de coupure.

$\sum I_n$: Somme des courants nominaux de tous les générateurs alimentant le point de court circuit.

- le coefficient K_{coup} ne peut être déterminé qu'en connaissant les courants nominaux des générateurs qui alimente le court circuit or ils sont inconnus pour nous, ce qui nous ramène à considérer le cas le plus défavorable qui correspond à $K_{\text{coup}} = 1$.

5.2. Choix des sectionneurs :

le sectionneur est un appareil qui sert à interrompre la continuité d'un conducteur ou l'isoler d'un autre, il se manoeuvre à vide,

Il est Capable de Couper que des Courants très faibles, le choix des sectionneurs est basé sur les caractéristiques suivantes:

- tension nominale - courant nominal - type d'installation.

Choix des disjoncteurs:

Poste	Travée	I _n A. Service	I _n (A) disjoncteur	Pouvoir de coupure (MVA)	
				Calculé	Normalisé
220 kV	ligne	420	800	2525	5000
	Transfo 1..2	210	800	663	1500
	Couplage	420	800	3048	5000
30 kV	Transfo 1..2	770	800	348	750
	ligne 1	115.5	800	348	750
	ligne 2	154	800	348	750
10.5 kV	Groupe	2200	2500	364	500
	Transfo 1..2	4400	5000	636.5	873
	Couplage	2200	2500	1382	1382

Choix des sectionneurs:

Poste	Travée	I _n (A) service	I _n (A) Sectionneur
220 kV	ligne	420	800
	Transfo 1..2	210	800
	Couplage	420	800
30 kV	ligne 1	115	500
	ligne 2	154	500
	Transfo	770	800
10.5 kV	transfo 1..2	4400	5000

Équipement basse tension du poste.

Introduction:

L'équipement basse tension du poste est l'ensemble des circuits électriques de commande et de contrôle des installations haute tension ainsi que l'ensemble des sources d'énergie basse tension. L'ensemble est regroupé dans deux compartiments différents; le bâtiment de commande et le bâtiment de relaiage.

1. Bâtiment de relaiage:

Chaque bâtiment de relaiage reçoit le matériel intéressant de deux travées du poste extérieur et a pour rôle:

- de rassembler le plus près possible des travées tout le matériel de contrôle et de protection qui ne nécessitent pas des interventions fréquentes.
- De permettre la distribution des circuits auxiliaires de puissance à partir des réseaux bouclés
- De regrouper les câbles issus des appareils haute tension; et de transmettre vers la Salle de Commande qu'un minimum de câbles multi conducteurs de faibles sections

Chassis de relaiage:

Le chassis installé dans le bâtiment de relaiage pour le poste HT. est destiné à recevoir le matériel de protection, de relaiage et de comptage; il permet de réaliser facilement une filerie entre les divers éléments et le raccordement de l'ensemble aux câbles en provenance de l'extérieur.

1. Chassis de relaiage (ligne) comprend:

- Des disjoncteurs de tranchées

- les protections (distance, de réserve, complémentaire) ainsi qu'un réenclencheur et un localisateur de défaut
- les interrupteurs (de signalisation et de tranches)
- les borniers d'alimentation généraux et de sortie
- un comptage d'énergie active et réactive.
- court-circuiteurs (CCP pour protection et CCM pour mesure).

2. Bâtiment de Commande:

C'est un bâtiment dans lequel se trouve la Salle de Commande la Salle des Services auxiliaires; son installation de secours à partir du groupe électrogène et des batteries, ainsi que la Salle HF. le bâtiment est placé; orienté de telle façon que l'exploitant puisse avoir une vue d'ensemble sur le poste.

2.1: Salle de Commande:

dans cette Salle sont regroupés:

- un tableau de Commande.
- un tableau d'information.
- une table de quart.

2.1.1: Tableau de Commande: Voir plan n° 12.

a: Présentation du tableau de Commande:

C'est un tableau comportant les boutons poussoirs qui effectuent la commande à distance ainsi que les appareils de mesure et les lampes de signalisation des positions des disjoncteur et des sectionneurs. Dans ce tableau le matériel équi-pent les tranches de Commande (commutateurs; boutons poussoirs, appareils de signalisation de défaut, appareils de mesure, la représentation synoptique des J.d.b) est fixée sur des platines

réalisées de façon qu'elle puissent s'ajuster facilement sur des chassis supports qui reçoivent les connecteurs terminaux des câbles multi conducteurs de liaison avec l'appareillage HT.

b: Constitution du tableau de Commandes:

il comprend le schéma synoptique des installations HT; la commande des différentes travées avec signalisation ainsi que les appareils de mesure et ceux destinés à vérifier les conditions de synchronisation entre les tensions lignes et barres.

2.1.2. Tableau information:

il est composé de:

a) EMS (enregistreur de manoeuvre et de signalisation):

L'EMS permet à l'exploitant d'être informé immédiatement de tout événement nouveau apparaissant dans l'installation que ce soit un événement normal tel que manoeuvre d'un sectionneur ou d'un disjoncteur ou anormal tel que alarme ou défaut relevé par le fonctionnement des protections. Il permet le contrôle permanent de 60 événements.

b) oscillographe: c'est un appareil doté de mémoire, il permet de connaître sur un diagramme enregistré sur papier l'évolution d'un incident d'origine quelconque. Cette bande est directement exploitable et donne le temps de fonctionnement des relais et de commande des disjoncteurs.

c) enregistreurs de puissances: (active et réactive) pour le départ 220 kV

2.2. Salle des Services auxiliaires:

les services auxiliaires du poste sont constitués de source et des

Circuits de distribution des différentes formes d'énergie.

L'ensemble des services auxiliaires comprend :

- les services auxiliaires à courant alternatif.
- les services auxiliaires à courant continu.

2.2.1: Rôle des services auxiliaires :

les services auxiliaires à courant alternatif et à courant continu distribuent l'énergie nécessaire aux appareils et aux équipements installés dans le poste, avec la fiabilité du service et la sécurité demandée par les équipements.

les services auxiliaires peuvent être classés en trois classes :

a) les services auxiliaires alternatif normaux :

ils peuvent admettre des arrêts de longue durée (de l'ordre de quelques heures) leurs pertes bien que gênantes ne compromettent pas l'exploitation du poste ; les équipements qui sont raccordés aux services auxiliaires normaux sont :

- Traitement d'huile.
- les circuits de chauffage et prise de courant de bâtiment
- les alimentations principales ou de secours aérorefrigerants des transformateurs de puissance.
- jeu de barres "Secours"
- électrification des villas.

b) Services auxiliaires alternatif "Secours" :

Ces services peuvent tolérer des interruptions de courte durée mais leur défaillance prolongée peut provoquer des perturbations graves dans l'exploitation du poste. Ils alimentent :

- l'éclairage du bâtiment d'unité auxiliaire

- l'éclairage du bâtiment de commande.
- l'éclairage du poste extérieur
- le tableau synoptique
- les dispositifs de recharge des batteries 127V et 48V.

1.3. les Services auxiliaires Continus "essentiels":

Ce sont ceux qui maintiennent l'installation en état de fonctionnement; ils doivent être disponibles en permanence et ne peuvent pas être perturbés par un défaut affectant un circuit à HT ils alimentent les circuits relatifs aux équipements de commande et de contrôle qui sont:

- Équipement de protection et d'autoautomatisme assurant la maintenance ou la reprise du service.
- Circuits de commande et de contrôle, de signalisations des appareils à HT (disjoncteurs, sectionneurs, ...)
- Équipement télécommunication.

2. Schéma de l'unité des Services auxiliaires: voir Plan n° 11.

2.1: jeu de barres à courant alternatif "réseau" 380/220 V:

à ce jeu de barres sont raccordés les services auxiliaires principaux il est alimenté par deux transformateurs HT/380-220 V.

en exploitation normale, un seul transformateur assure l'alimentation de l'unité, le deuxième peut remplacer le premier en cas de travaux d'entretien ou d'avarie.

la tranche Service auxiliaire comportant un compteur d'énergie un voltmetre, avec un commutateur, un ampèremetre et un dispositif de manque de courant est connecté à ce jeu de barres.

2.2: Jeu de barres à courant alternatif "Secouru" (380/220 V).

l'alimentation est assurée a partir du j. d. b réseau . En cas de defaillance de cette source , il est alimenté par un groupe électr. -ogéne de secours, à demarrage automatique à l'aide d'un système se trouvant dans l'armoire du groupe

22.1. Groupe de secours :

- Un moteur diesel
- un alternateur triphasé 380/220 V auto-excité dont la puissance nominale est de 60 kVA.

2.3 : j. d. b à courant continu :

2.3.1: j. d. b . 127 V :

l'alimentation de ce j. d. b est assurée par une batterie a courant continu associée a un redresseur et exploitée en batterie flotante a ce j. d. b sont raccordés les services auxiliaires essentiels

2.3.2: j. d. b 48V :

l'alimentation de ce j. d. b est assurée par un bloc redresseur affecté d'une batterie flottante 48V a ce j. d. b. sont raccordés les services de telecommunication.

2.3.3. chargeur de batteries 127. et 48 V :

les chargeurs de batteries sont des redresseurs statiques alimentés a partir du j. d. b secours ; l'un alimente le j. d. b 127V l'autre celui de 48V et pour la continuité du service en cas de pannes d'un des deux on a prévu deux redresseurs de secours.

En marche normale, chaque redresseur maintient sa tension constante et ce à l'aide d'un régulateur de tension ou par intervention manuelle en cas de non fonctionnement de ce dernier ainsi ils fournissent deux courants celui de l'entretien des

batteries et / ou autre demandé par les installations aux bornes desquelles sont branchées

3. Bilan de Puissance:

Ce bilan est fait pour déterminer la puissance de TSA d'une part et dimensionner les batteries d'autre part

Consommation en alternatif.

Auxiliaires NON Secourus		Auxiliaires Secourus	
NOM du Recepteur	Puissance	NOM du Recepteur.	Puissance
Aerorefrigerant TR _{1,2}	6.4	redresseur 127V	10.5
redresseur groupe	0.5	redresseur 48V	6.5
Ch et Pc B _E auxiliaire	25	eclairage B _E de relaye.	1.2
Ch et Pc B _E Commande	42	eclairage poste exteri	5
Ch et Pc des BR	25.4	eclairage B _E Command	8
Villa 1 et 2	100	alimentat, tabl synopt	0.4
TOTAL en (KVA)	199.3	eclairage B _E auxiliaire	2
		TOTAL en (KVA)	33.3

Détermination de la puissance du TSA:

le transformateur des services auxiliaires alimente les J. d. b rése- au Secouru et les redresseurs 127V, 48V. Il doit donc fournir l'énergie demandéé par ces derniers.

la puissance totale transitée par le TSA est :

$$\begin{array}{r}
 \text{J. d. b réseau } 380/220 \text{ V} \quad 199.3 \\
 \text{J. d. b Secouru } 380/220 \text{ V} \quad 33.3 \\
 \hline
 = 232.6 \text{ KVA}
 \end{array}$$

On utilise donc une puissance nominale supérieur $S_n > 233 \text{ KVA}$

Consommation en Continu :

Batterie 127V:

Recepteur	Consommation Permanente (KW)	Consommation Pointe (KW)
Réserve équipée	250	1500
Éclairage secours auxiliaires	100	420
Formation + S	50	50
Régulateur TR ₁	127	1016
Régulateur TR ₂	127	1016
Boucle de Commande poste THT	127	508
Boucle de Commande poste MT	127	508
Boucle de Commande poste MT	127	508
FM Poste THT	127	1524
FM Poste MT	127	1524
FM Poste MT	127	1224
TOTAL	1416	10098

Batterie 48V:

Recepteur	Consommation Permanente (KW)	Consommation Pointe (KW)
Tranche Générale	96	480
Armoire HF (Poste 220 kv)	144	288
Armoire interphonie	48	144
Télécontrôle	768	768
Capteurs	192	192
Téléprotection	168	168
TOTAL	1416	2040

Dimensionnement des batteries 127 et 48 V.

les courants permanents absorbés par l'installation sont :

$$I_{C1} = \frac{\text{puissance permanente}}{\text{tension de la batterie}} = \frac{1416}{127} = 11.15 \text{ A}$$

$$I_{C2} = \frac{\text{puissance permanente}}{\text{tension de la batterie}} = \frac{1416}{48} = 29.5 \text{ A.}$$

les batteries 127 V et 48 V doivent fournir les courants permanents I_{C1} et I_{C2} successivement pour des durées de 4 h et 2 h environ d'où les capacités permanentes :

$$Q_{C1} = 4 I_{C1} = 4 \times 11.15 = 44.6 \text{ A.h.}$$

$$Q_{C2} = 2 I_{C2} = 2 \times 29.5 = 59 \text{ A.h.}$$

le courant de pointe absorbé par l'installation 127 V (c'est le courant absorbé par l'appareillage HT pendant les manoeuvres

$$I_{P1} = \frac{\text{puissance de pointe}}{\text{tension de la batterie}} = \frac{10098}{127} = 79.5 \text{ A.}$$

$$I_{P2} = \frac{2040}{48} = 42.5 \text{ A.}$$

les capacités des pointes pour une durée de 2 heures sont :

$$Q_{P1} = 2 \times 79.5 = 159 \text{ A.h.}$$

$$Q_{P2} = 2 \times 42.5 = 85 \text{ A.h.}$$

les batteries normalisées sont :

$$Q_{P1} = 200 \text{ A.h. (batterie 127 V) ;}$$

$$Q_{P2} = 150 \text{ Ah (batterie 48 V) ;}$$

Détermination du nombre d'éléments :

les batteries utilisés sont du type batteries au plomb qui peuvent être soit semi-fixé au plomb (SFP) soit stationnaire Compact au Plomb (SCP) qui s'accommode bien en régime floating. la tension d'un élément de la batterie est $V_e = 2.17 \text{ V}$

D'où le nombre d'éléments des batteries.

$$N_1 = \frac{127}{2.17} = 58 \text{ éléments}$$

$$N_2 = \frac{48}{2.17} = 22 \text{ éléments}$$

4. Salle HF:

C'est une salle dans laquelle sont regroupées toutes les armoires concernant le système de télécommunication.

Protection.

Introduction:

la protection consiste à éliminer tous les défauts survenus au poste, qui peuvent être causés par :

- les courts-circuits ou surintensité brusque provenant d'un contact accidentel entre des conducteurs à des potentiels différents.

- les surcharges (suite à une demande exagérée de puissance)

- les décharges atmosphériques (Coup de foudre).

les dispositifs de protection sont des relais actionnés par des grandeurs électriques, destinés à la commande des disjoncteurs dans le but de mettre hors service le plus rapidement possible l'élément en cause.

1. Protection de la ligne 220 KV:

un schéma bloc de cette protection est représenté dans le plan n° 14. Elle est constituée par :

1.1. Protection à distance:

Elle permet de réaliser le déclenchement du disjoncteur en un temps dépendant de l'éloignement du défaut. Ce temps étant fixé par une caractéristique se présentant sous forme de gradins

1^{er} stade: Il ne couvre que 80% de la ligne; le temps de déclenchement est théoriquement instantané.

2^{ème} stade: effectue une mesure d'impédance qui correspond à 120% de la longueur de la ligne ce qui permet la détection des défauts en dehors de sa zone de surveillance et peut en conséquence pallier à une défaillance de la protection située en

aval; le temps de déclenchement $t_z = (0.2 \div 0.5) s$.

il ya également un 3^{ème} et un 4^{ème} stade qui correspondent à la longueur maximum que l'on espère surveiller.

1.2. Constitution de la protection de distance:

la protection la plus économique est celle de Schlumberger RXAP elle est constituée des éléments suivants:

- trois relais de mise en route à min Z (RMZ).
- un relais de mesure à min X. (RMX)
- un relais directionnel de puissance (RDW)
- un relais de courant homopolaire (RBA)
- des relais intermédiaires pour la commutation, le changement du stade, le déclenchement....

la mesure s'effectue à l'aide des deux grandeurs

- Courant I_{sec} : Provenant du TC ligne 220 kv.

rapport de transformation 600/5 A.

- tension U_{sec} : Provenant du TP de la ligne 220 kv

rapport de transformation $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}}$ kv.

Pour une ligne de longueur L (lieu de défaut), correspond une

une impédance Z_{pr} qui sera interprétée par le rapport $\frac{U_{sec}}{I_{sec}}$.

$$\text{Or } I_{cc}(sec) = I_{cc}(pr) \cdot \frac{I_{sec}}{I_{pr}}$$

$$\text{et } U_{cc}(sec) = U_{cc}(pr) \cdot \frac{U_{sec}}{U_{pr}}$$

$$\text{d'où } Z_L(sec) = \frac{U_{cc}(sec)}{I_{cc}(sec)} = \frac{U_{cc}(pr)}{I_{cc}(pr)} \cdot \frac{U_{sec}}{U_{pr}} \cdot \frac{I_{pr}}{I_{sec}} = K \cdot Z_L(pr)$$

Reglage du relais de distance:

Caractéristiques de la ligne 220 kv:

L = 40 km. reducteur de tension $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}}$ kv

reducteur d'intensité 600/5 A.

rapport de réduction des impédances: $\frac{220 \times 5}{0.1 \times 600} = 18.33$.

réactance de la ligne 0.42 Ω /km.

reactance HT par phase 0.42 x 40 = 16.8 Ω .

réactance BT par phase $\frac{16.8}{18.33} = 0.916 \Omega$

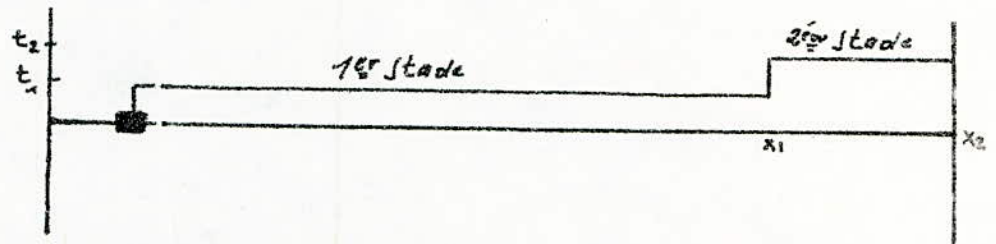
Réglage:

1^{er} Stade: sera réglé à 80% de la réactance totale BT soit:

$$0.916 \times \frac{80}{100} = 0.733 \Omega.$$

2^{em}e stade: il sera réglé à 120% de la réactance totale BT soit:

$$0.916 \times \frac{120}{100} = 1.09 \Omega.$$



2 Protection Complémentaire:

Cette protection directionnelle est destinée à jouer le rôle de protection Complémentaire de la protection de distance pour les défauts résistants pour lesquels cette dernière est insensible elle déclenche les trois phases ensemble au même temps.

3 Protection de réserve:

elle est reliée au second enroulement du TC ligne 220 kV, elle comporte trois relais à maximum d'intensité temporisés.

le courant de court circuit de la ligne est de 6.62 kA on a utilisé un TC de rapport: 600/5 A et son secondaire

$$I_{cc}(\text{sec}) = \frac{6620 \times 5}{600} = 55.16 \text{ A} = 11 \times I_n; \quad I_n = 5 \text{ A}.$$

On prendra comme courant de réglage $7 I_n$.

la temporisation T_R de cette protection est choisie de telle

façon que $T_2 < T_R < T_3$; où T_2, T_3 sont les temporisations du 2^{es} et 3^{es} stade de la protection principale dans le tronçon de la ligne

4 Réenclencheur :

il est associé à la protection de distance son rôle est de remettre en service la ligne à la suite d'un déclenchement monophasé ou triphasé . Dans le cas d'un défaut monophasé il aiguille le déclenchement sur le disjoncteur de la phase atteinte seulement ; Si le défaut affecte plus qu'une phase , il provoque le déclenchement triphasé ensuite il commande le réenclenchement après avoir effectué le Contrôle des tensions (c'est à dire la tension U_{B4} des jeux de barres est au moins 80% de la tension nominale : $0.80 \times 220 = 176 \text{ kV}$ et que la tension de la ligne U_{L4} est nulle ($U_B \geq 176 \text{ kV}, U_L = 0$)) si le défaut persiste il ordonne un déclenchement triphasé définitif.

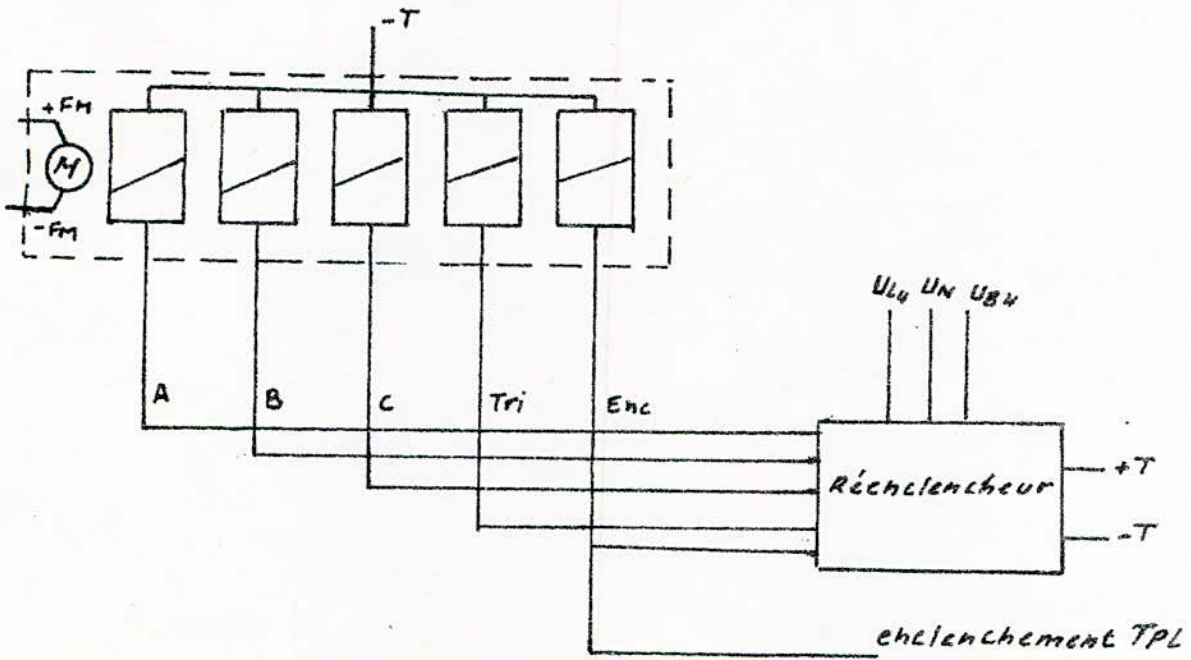
5 localisateur de défauts LD :

Il permet de localiser à l'aide des deux grandeurs (Courant, tension) les défauts fuitifs ou permanents qui affectent la ligne . le boîtier LD est installé sur le chassis de relayage et n'est utilisé que sur une extrémité de la ligne . Un ensemble numérique permet d'interpréter la réactance X de la ligne en un éloignement L .

le schéma de principe est représenté sur la page suivante :

U_{L4} : tension de la ligne (phase 4).

U_{B4} : tension de la barre -



6. Protection défaillance disjoncteur :

C'est un relais à maximum d'intensité raccordé au secondaire (3^{ème} enroulement) du Tc ligne 220 kv et qui agit dans le cas d'un défaut de commande du disjoncteur ligne. Son temps d'action est fixé supérieur à celui de la protection principale de secours.

2. Protection du transformateur :

le transformateur est un organe vital du réseau, malheureusement il est sujet à plusieurs défauts ayant des origines variées on donne ci dessous les défauts pouvant affecter un transformateur et la protection appropriée qu'il faut utiliser pour chaque cas.

défaut	Type de protection à utiliser
*refroidissement anormal de la cuve	Protection thermométrique de cuve
*Surcharge thermique	Relais thermique image thermique
*Court-circuit	Buchholz Protection de masse protection différentielle

21. Protection principale :

Elle est assurée par les protections propres du transformateur et montées par le constructeur (BUCHOLZ, thermostat, ...).

22. Protection de surcharge thermique :

Pour obtenir une protection efficace contre les surcharges il suffit d'empêcher la température d'atteindre des valeurs dangereuses. On pourra ainsi demander une puissance supérieure à la puissance nominale tant que la température des enroulements sera inférieure à la température maximale prévue par le constructeur pour le fonctionnement. Le dispositif de protection doit donc être sensible uniquement à la température et sa loi d'échauffement doit être la même que celle de la machine protégée. Il doit entrer en action que lorsque la température de sécurité est atteinte ou dépassée.

Reglage du relais thermique :

Caractéristiques du transformateur à protéger :

Puissance nominale : 80 MVA.

Tension primaire : 10.5 kV.

Tension secondaire : 220 kV.

Tension tertiaire : 30 kV.

Courant nominale HT : 210 A.

Rapport de transformation du Tc : 250/5 A.

Echauffement permanent du transformateur : 50°C.

23. Courant d'ajustement I_E :

Le courant nominal traversant le relais vaut : $210 \times \frac{5}{250} = 4.2 \text{ A}$

Le courant est bien compris entre 4 et 5 A et ne nécessite pas

d'adaptation. Le courant d'ajustement sera $I_E = 4.2 \text{ A}$.

On réglera le réostat à $I_E = 4.2 A$.

Le relais thermique montre alors un courant de pleine charge 210 A

un échauffement permanent de 50 °C

222 Déclenchement surcharge thermique :

On règle le déclenchement du relai à $(5 \div 10) I_E$ au dessus de

l'échauffement permanent ; Don on réglera le déclenchement à 60 °C.

223 Déclenchement instantané par courant limité (max de I) :

l'étendue normale de réglage du relai est de $(3-10) I_E$.

la valeur du réglage doit vérifier la condition suivante :

$$I(\text{max adm}) \leq I_R \leq I(\text{min, cc}).$$

$I(\text{max adm})$: Valeur de la plus forte pointe de courant à laquelle on peut s'attendre en service.

$I(\text{min, cc})$: Courant de court circuit, le plus faible du réseau au point de montage qu'on ne veut pas laisser passer

si on admet une surcharge de 20% la valeur de réglage I_R doit être nettement supérieure à :

$$\frac{120}{100} \times 210 \times \frac{5}{250} = 5.04 = 1.2 I_E$$

On affichera $I_{lim} = 3 I_E = 12.6 A$

On aura donc un déclenchement instantané quand le transformateur

sera parcouru par une surintensité de : $12.6 \times \frac{250}{5} = 630 A$.

Remarque :

On choisira le relai auxiliaire qui donnera l'ordre de déclenchement de façon qu'il ait une temporisation propre de 0.55 s ceci afin de permettre aux protections barres et ligne de fonctionner les premières et assurer ainsi la sélectivité d'élimination du défaut.

Constante de temps :

la constante de temps τ_R du relais doit être approximativement égale ou un peu inférieure à celle du transformateur $\tau_R \leq \tau_T$.

Pour une puissance du transformateur supérieure à 40 MVA on prend $\tau_R = 110 \text{ ms}$ quelque soit le mode de refroidissement. le réglage de la constante de temps est fait sur commande par le constructeur et sera affiché sur la face avant du relais ainsi que la température permanente $\theta_{\infty} = 50^\circ \text{C}$.

3. Protection de masse :

a) Principe :

Tout contournement de la cuve du transformateur, ou tout contournement d'une borne de traversée donne naissance à un courant de défaut qui se dirige vers la terre par l'intermédiaire de la cuve par les différents chemins qui lui sont offerts. Si l'on crée une jonction peu résistante entre la cuve et la prise de terre du poste presque la totalité du courant de défaut l'empruntera pour rejoindre la terre, il suffit alors d'intercaler dans cette jonction un TC (qui alimente un relais ampérométrique sensible et robuste) pour détecter le passage du courant.

b) Réglage de la protection masse :

le réglage de la protection masse doit être tel que celui-ci demeure sensible aux défauts se produisant sur le transformateur mais reste insensible aux défauts ayant leur siège à l'extérieur du transformateur (ligne en particulier).

Défaut sur le transformateur - fig (a)

1. - défaut JT revient :

- Par la neutre de transformateur
- Par les impédances Phase neutre des autres transformateurs du réseau. On appelle :

J_n : le courant du neutre du transformateur avarié
 J_{RT} : le courant dans le TC pour un défaut sur le transformateur
 J_p : le courant dans les impédances parasites.
 J_s : le courant dans la prise de terre.

En désignant par a ($a < 1$) le coefficient représentant la part du courant J_T qui traverse le neutre du transformateur avarié, on démontre facilement la relation suivante.

$$\frac{J_{RT}}{J_T} = \frac{Z_p + a Z_s}{Z_p + Z_R + Z_s} \quad (1) \quad \text{avec:}$$

- Z_p : l'impédance des liaisons parasites entre le transformateur et la terre.
- Z_R : l'impédance assurant la liaison (TC).
- Z_s : l'impédance de la prise de terre.

Défaut en ligne : fig (b).

En utilisant les mêmes notations que précédemment et en désignant par b ($b < 1$) le coefficient qui représente la part du courant I_L empruntant le neutre avarié on peut montrer que :

$$\frac{J_{RL}}{J_L} = \frac{b Z_s}{Z_p + Z_R + Z_s} \quad (2)$$

Réglage :

le réglage J_0 de la protection de la masse est tel que :

$$J_{RL} < J_0 < J_{RT}$$

soit: $\frac{b Z_s J_L}{Z_p + Z_R + Z_s} < J_0 < \frac{(Z_p + a Z_s) J_T}{Z_p + Z_R + Z_s} \Rightarrow b Z_s J_L < J_0 < (Z_p + a Z_s) J_T$

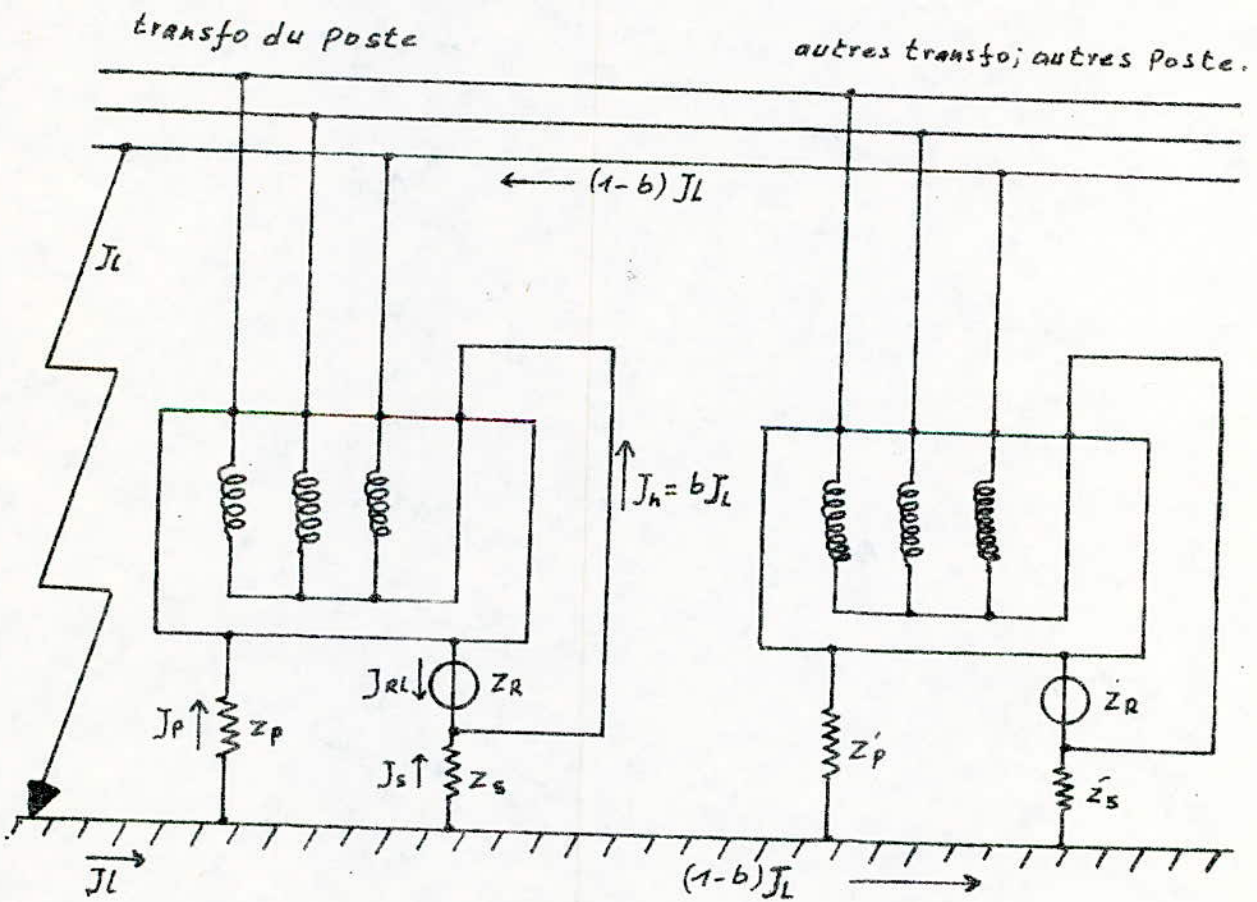
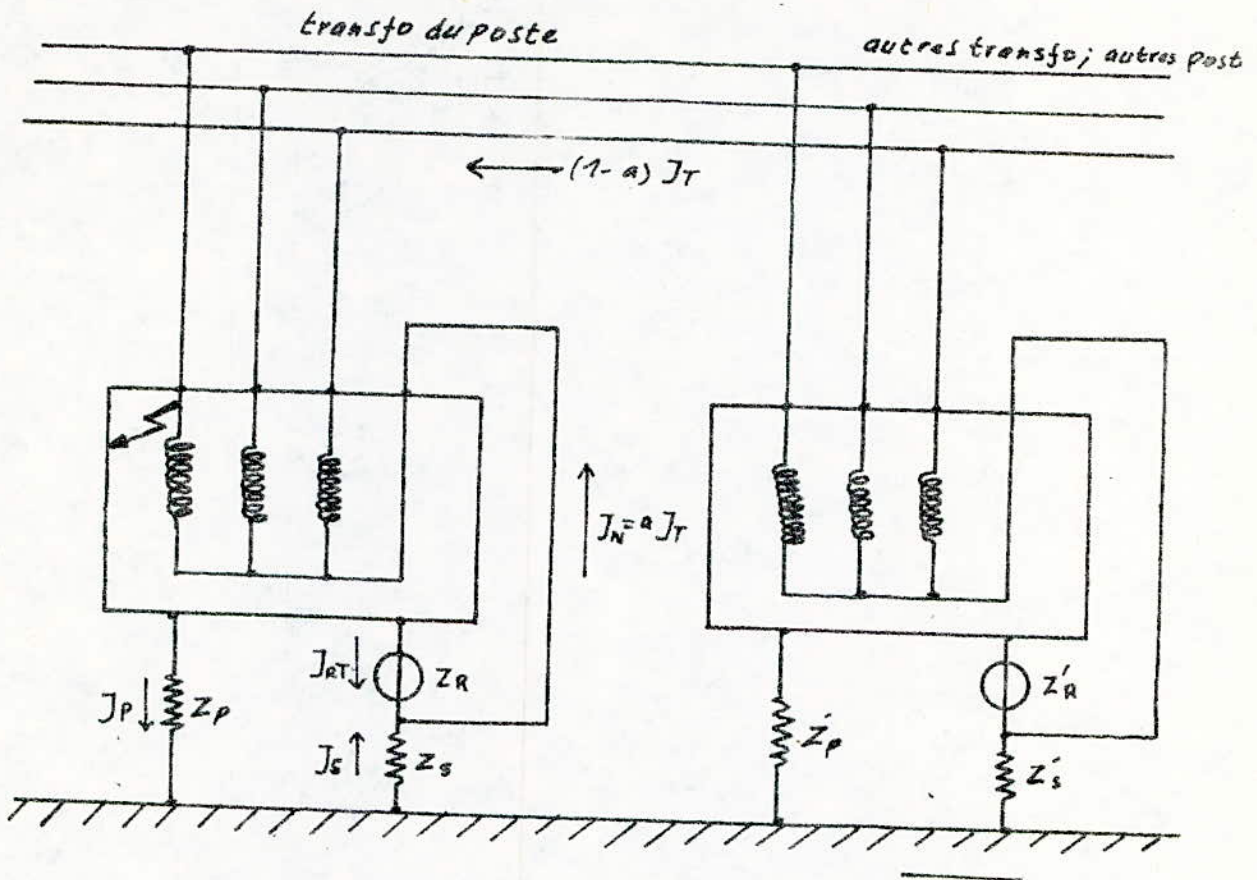


fig.(a et b). Défaut sur transfo; Défaut en ligne.

J_{RT} et J_{EL} : Courants traversant le Tc lors d'un défaut.

J_L : Courant max de défaut à la terre en ligne

J_T : le courant min de défaut que l'on désire détecter sur le transformateur à protéger.

Réalisation pratique de la protection:

le double inégalité (3) s'écrit dans le cas général sous la forme.

$$Z_s (b J_L - a J_T) < Z_p J_T.$$

elle montre la nécessité d'une isolation entre la Cuve du transformateur et la terre.

4. Protection des jeux de barres 220 kv:

le jeu de barres est un organe vital dans la chaîne de transport de l'énergie électrique, heureusement il sujet à des défauts très rares pour bien le protéger il faut disposer d'un dispositif de protection très rapide fiable et sélectif.

notre choix s'est porté sur une protection de conception SIMENS cette protection est de type différentielle stabilisée. Elle peut être utilisée pour protéger des jeux de barres simple ou multiples dans les installations à HT ou THT avec couplage longitudinal transversal.

5. Protection contre les surtensions:

les surtensions en augmentant les contraintes diélectriques peuvent produire des avaries de matériel par destruction locale de l'isolation elles sont alors à l'origine d'interruption de service et le cas échéant d'incendies et d'accidents de personnes. On distingue les surtensions d'origine interne comme les surtensions de manœuvre des surtensions résultant de défaut à la terre et les surtensions

d'origine externe, ce sont celles qui résultent d'un contact entre réseaux à tensions différentes, et des coups de foudre directs ou indirects.

5.2 dispositifs de protection contre les surtensions:

Il sont destinés à réduire (et non à supprimer) les contraintes dues aux surtensions. les appareils utilisés à cet effet sont essentiellement les éclateurs et les parafoudres à résistance variable.

5.2.1 Eclateurs:

Ils sont montés sur les chaînes d'isolateurs d'ancrage des conducteurs de ligne sur les charpentes du poste. on utilise l'éclateur à tiges pour le poste 245 kv dont le réglage est donné par le tableau suivant:

installation protégée		éclateur de protection sur chaîne				éclateur de traversée pour transformateur de puissance			
tension nominale d'isolement kv	tension de tenue au choc kv	dispositif		tension d'amorçage valeur de crête kv		dispositif		tension d'amorçage valeur de crête kv	
		Type	distance de réglage	fréquence industrie	choc U _i	Type	distance de réglage cm.	fréquence industrielle	choc
245	900 ^t à 1050 ^a	à tiges	90	460	660	à tiges	720	560	850

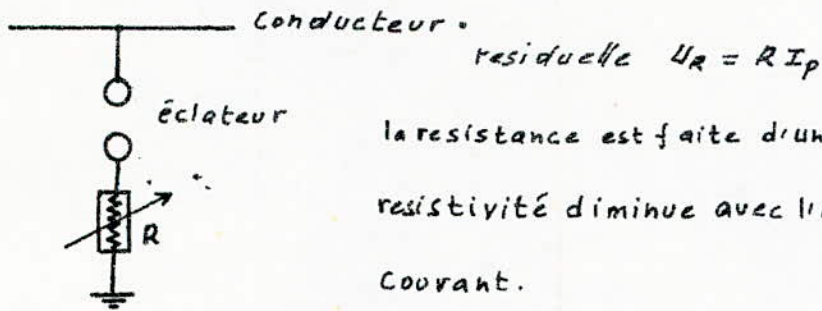
t: Valeur pour les transformateurs.

a: valeur pour les disjoncteurs et l'appareillage.

5.2.2 Parafoudre:

C'est un appareil inséré en dérivation entre le conducteur et la terre et destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions d'origine atmosphérique en écoulant automatiquement à la terre la majeure partie des ondes de surtension dès que leur amplitude atteint une valeur déterminée.

L'insertion de cette résistance en série avec l'éclateur donne lieu, lorsqu'un courant I_p traverse le parafoudre, à une tension



la résistance est faite d'une substance dont la résistivité diminue avec l'augmentation du courant.

Caractéristique du parafoudre utilisé :

Grandeurs	kv
Tension nominale	252
Tension d'amorçage à fréquence industrie	378
Tension max d'amorçage 100% au choc de foudre (ordre 1.2/50)	570

5.4 Cable de garde :

les cables de garde sont raccordés au réseau general de terre, assurant ainsi la protection de tête de cellules contre la foudre. les conducteurs sont des cables en ALmelec - acier de section 147.7 mm^2 . la hauteur entre cable de garde et phases est déterminée de telle façon que les trois phases soient dans la zone de protection des cables de garde.

la hauteur h est donnée en fonction des tensions nominales pour la tension 225 kv la hauteur $h = 3.10 \text{ m}$.

6. Réseau de terre : voir schéma n° 13.

le rôle du réseau de terre est d'assurer la sécurité des personnes et du matériel

6.2 Constitution du réseau general de terre :

Par convention, on appelle réseau general de terre l'ensemble formé par les terres de service et de protection, le cable de garde

et les dispositifs permanents permettant les mises a la terre pour travaux.

a: terre des service :

Les terres sont constituées par la mise a la terre des conducteurs neutre de l'installation principale (neutre des transformateurs de puissance, des transformateurs de mesure, eclateurs).

b: terre de protection :

les mises a la terre de protection sont constituées d'un réseau de conducteurs nus enterrés auxquels sont reliés d'une manière permanente les batis, masses metalliques et ferrures diverses de l'installation susceptible d'être mis accidentellement sous tension, ces dispositions assurent la protection des personnes contre l'electrocution.

6.2 Conditions d'établissement du réseau de terre :

Le réseau de terre doit satisfaire les conditions suivantes:

- le réseau est constitué de maille reliant sans interruption les conducteurs; les charpentes, les rails et les pieces metalliques neutre de l'installation principale (neutre des transformateurs de puissance, des transformateurs de mesure, eclateurs)
- Aucun appareil de coupure ne doit être intercaler sur les conducteurs du réseau de terre.
- les bornes de terre des transformateurs de mesure sont reliés au conducteurs nus enterrés auxquels sont reliés d'une manière permanente les batis, masses metalliques et ferrures diverses

les Connexionx entre les Conducteurs du réseau et les pièces métalliques sont faites de manière à ne pas risquer de se détériorer .

- le circuit de terre doit être conçu de telle façon que chaque raccordement d'un équipement à celui-ci sont effectués par un câble formant au moins une boucle ininterrompue du circuit et offrant donc au courant de défaut au moins deux voies d'écoulement.

- lors de la réalisation du réseau de terre , les conducteurs de ce dernier doivent être enfouis à une profondeur de 0.3m au dessous de la filerie basse tension qui se trouve à 0.5m de profondeur , ceci conduit à poser le câble de terre à 0.8m de profondeur et cela afin d'assurer la formation des équipotentielles cylindriques autour des conducteurs , ces derniers peuvent être déformés si le conducteur est proche de la surface du sol ce qui a pour effet d'augmenter la résistance de la prise de terre .

6.3 Caractéristiques des Conducteurs de terre :

a: Nature des Conducteurs :

les conducteurs choisis sont des câbles nus en cuivre, le choix de ce métal est justifié par les raisons suivantes :

- le bon comportement à la corrosion dans une grande variété de sol .
- Tenue mécanique correcte .
- Faible résistivité même aux fréquences élevées .
- bonne qualité des courants électriques .

b section de Conducteur :

la section de conducteur du réseau de terre est déterminée à partir du courant de court-circuit qu'ils peuvent écouler dans la terre , cet écoulement dépend de la résistance de la prise de

de terre qui est a son tour proportionnelle a la resistance du sol

ρ : Resistivité du Sol :

la resistivité du sol est mesurée en ohm-mètre et correspond a la resistance en ohm d'un cube d'un mètre d'arrête, elle est variable d'un lieu a un autre selon les roches qui composent le sol de l'endroit d'implantation du poste. Vu que le lieu d'emplacement du poste n'est pas fixe ; on choisit la section du conducteur de terre en prenant en consideration uniquement le courant de court-circuit.

le tableau suivant donne la section des conducteurs en cuivre en fonction du courant de défaut.

$I_{cc\ eff} \text{ (kA)} \leq$	20	31.5	40	63
$S \text{ (mm}^2\text{)}$	75.5	116	147	181.6

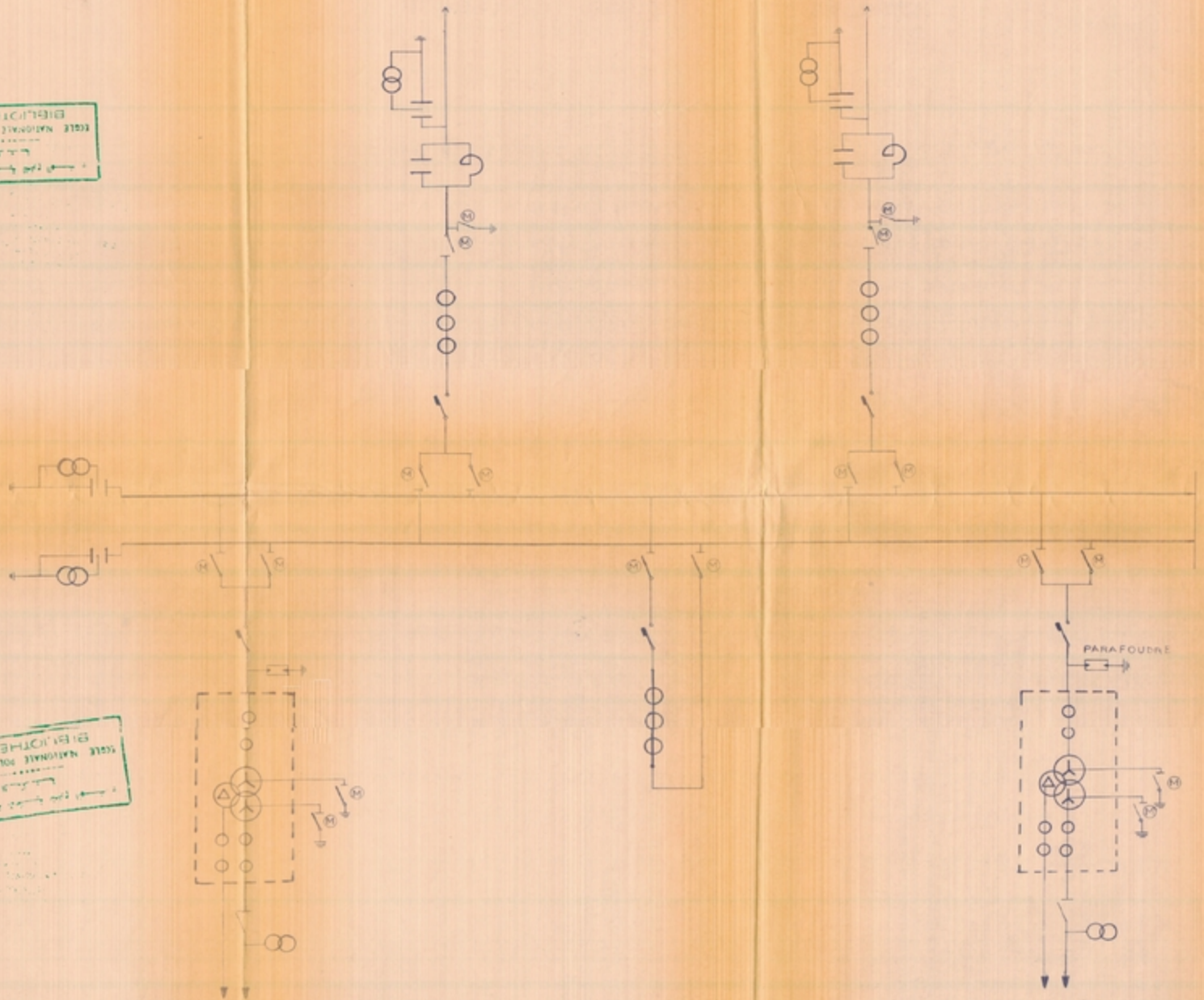
la valeur du courant de court circuit au niveau de la tension 220 kV est :

$$I_{cc} = 8 \text{ kA.} \Rightarrow S = 75.5 \text{ mm}^2.$$

BIBLIOTHEQUE
 ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
 D'INGENIEURIS

BIBLIOTHEQUE
 ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
 D'INGENIEURIS

DE PART COUPLAGE R.E

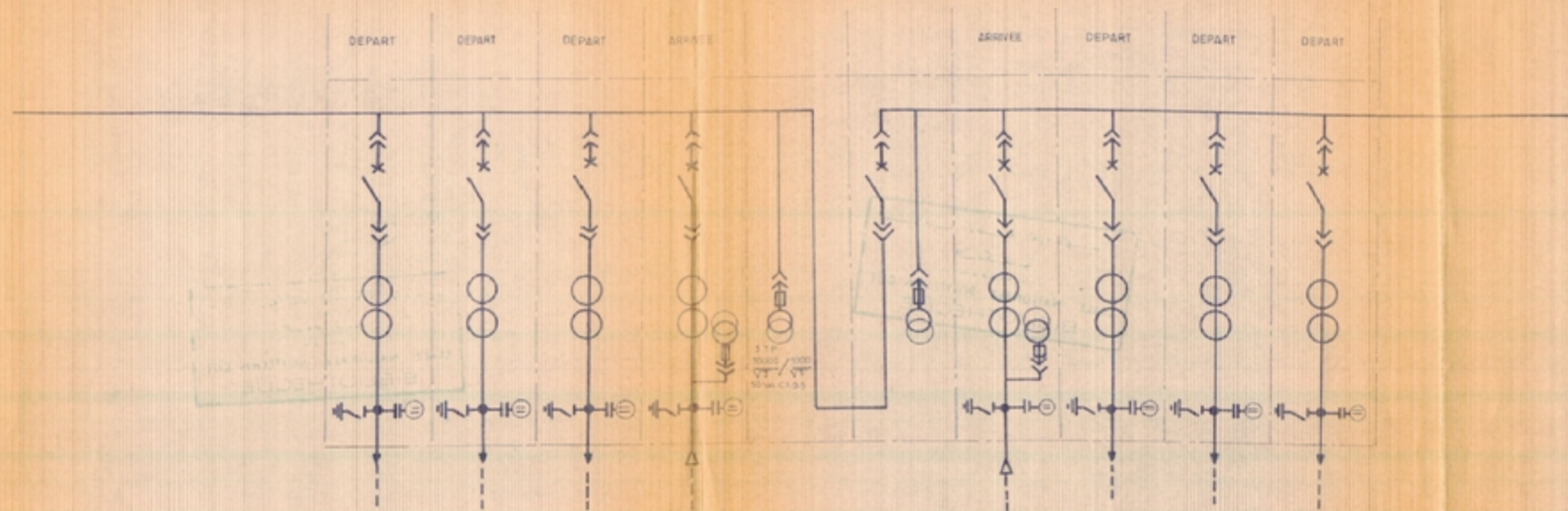


AR.GROUPE Vers POSTE 30

ARGROUPE Vers POSTE 30

BIBLIOTHEQUE
 ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
 D'INGENIEURIS

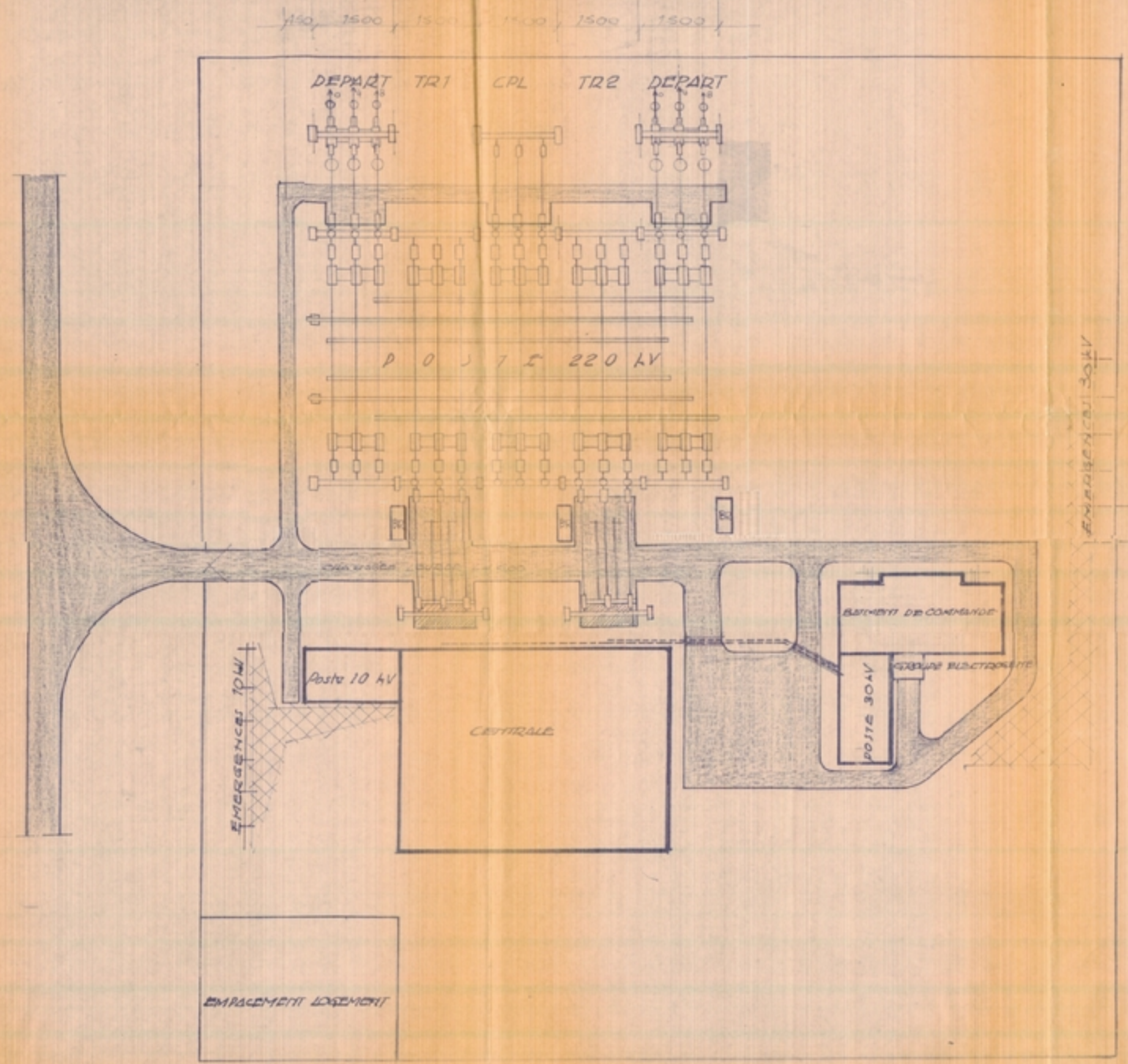
JUIN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr. J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	CHEMACHEMA BENATTOUS
TITRE	SCHEMA UNIFILAIRE DU POSTE 220 kV
PLAN N°1	



جامعة الوطنية للعلوم والتقنية
 المعهد
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

JUN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr. J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	BENATTOUS CHEMACHEMA
TITRE	SCHEMA UNIFILAIRE DU POSTE 30 kV
PLAN N° 3	

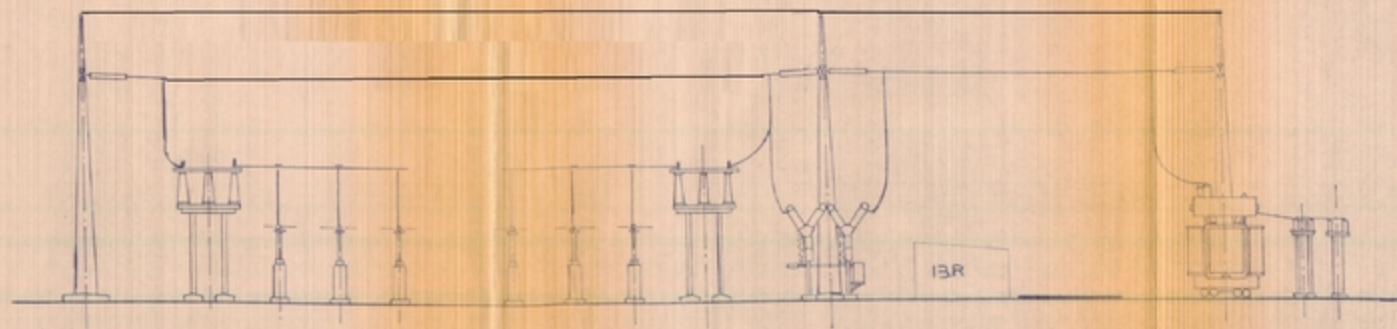
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

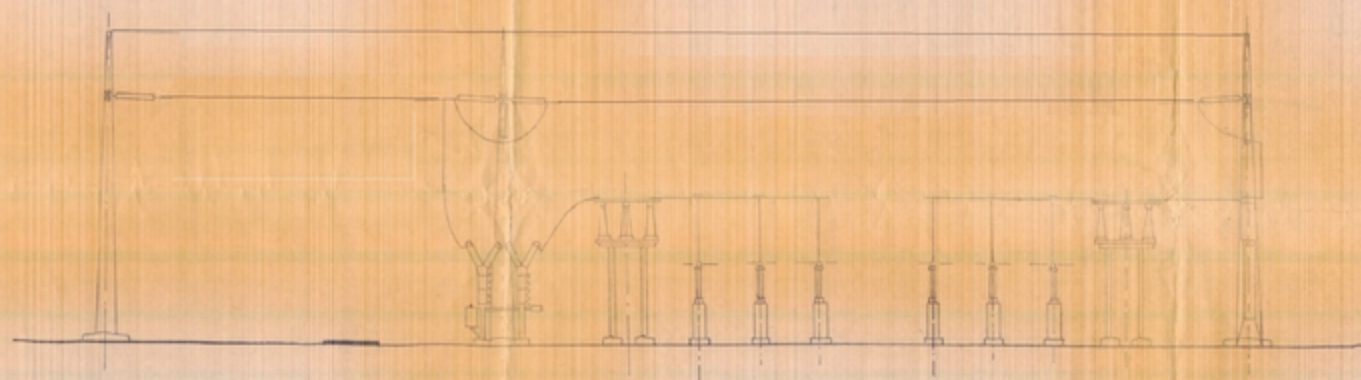
JUN 1934	E.N.P.A.
PROMOTEUR	Dr J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	BENATTOUS CHEMACHEMA
TITRE	PLAN DE MASSE DU POSTE 105/30/220 KV
PLAN 164	

TRAVEE TRANSFO80MVA

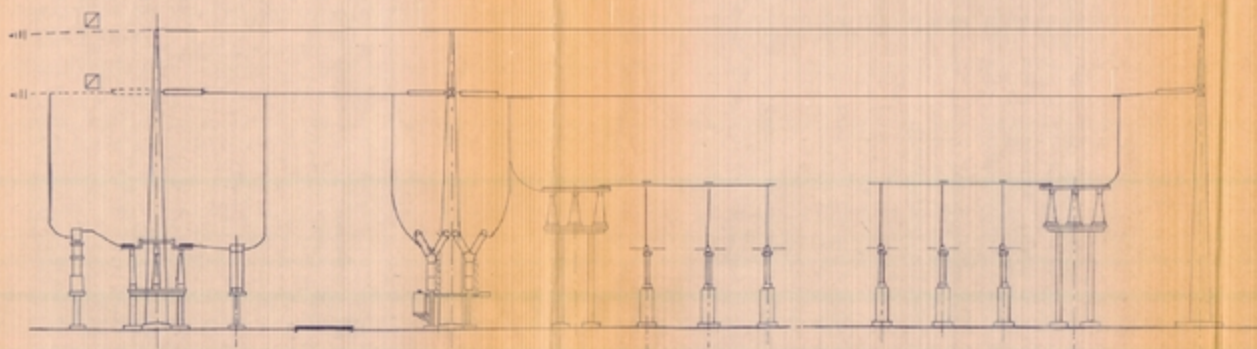


BIBLIOTHEQUE
EGLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

COUPLAGE BARRES



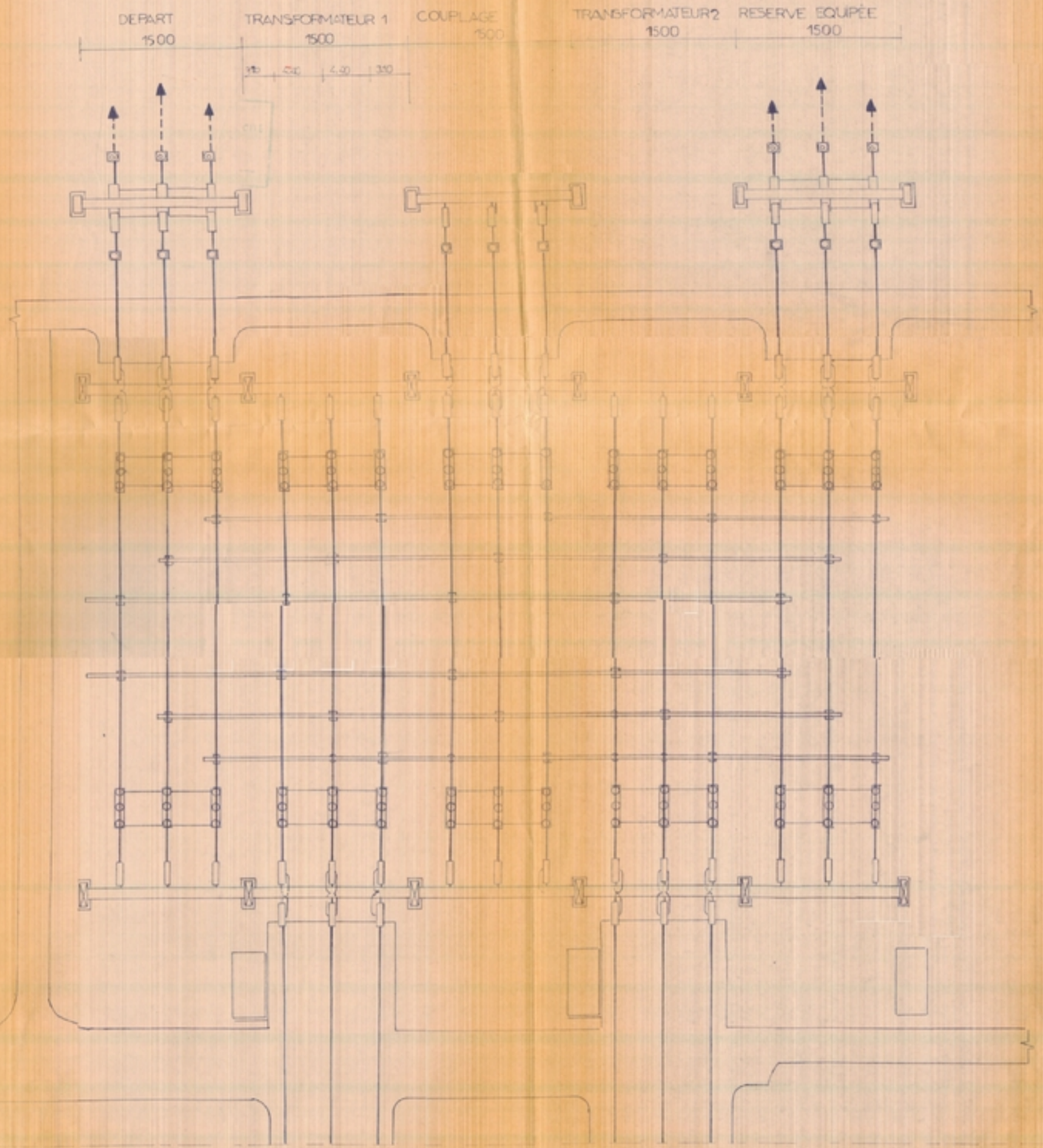
TRAVEE LIGNE



BIBLIOTHEQUE
EGLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

JUIN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr. J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	BENATTOUS CHEMACHEMA
TITRE	COUPES DES TRAVEES DU POSTE 220 KV
PLAN N°5	

BIBLIOTHÈQUE
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

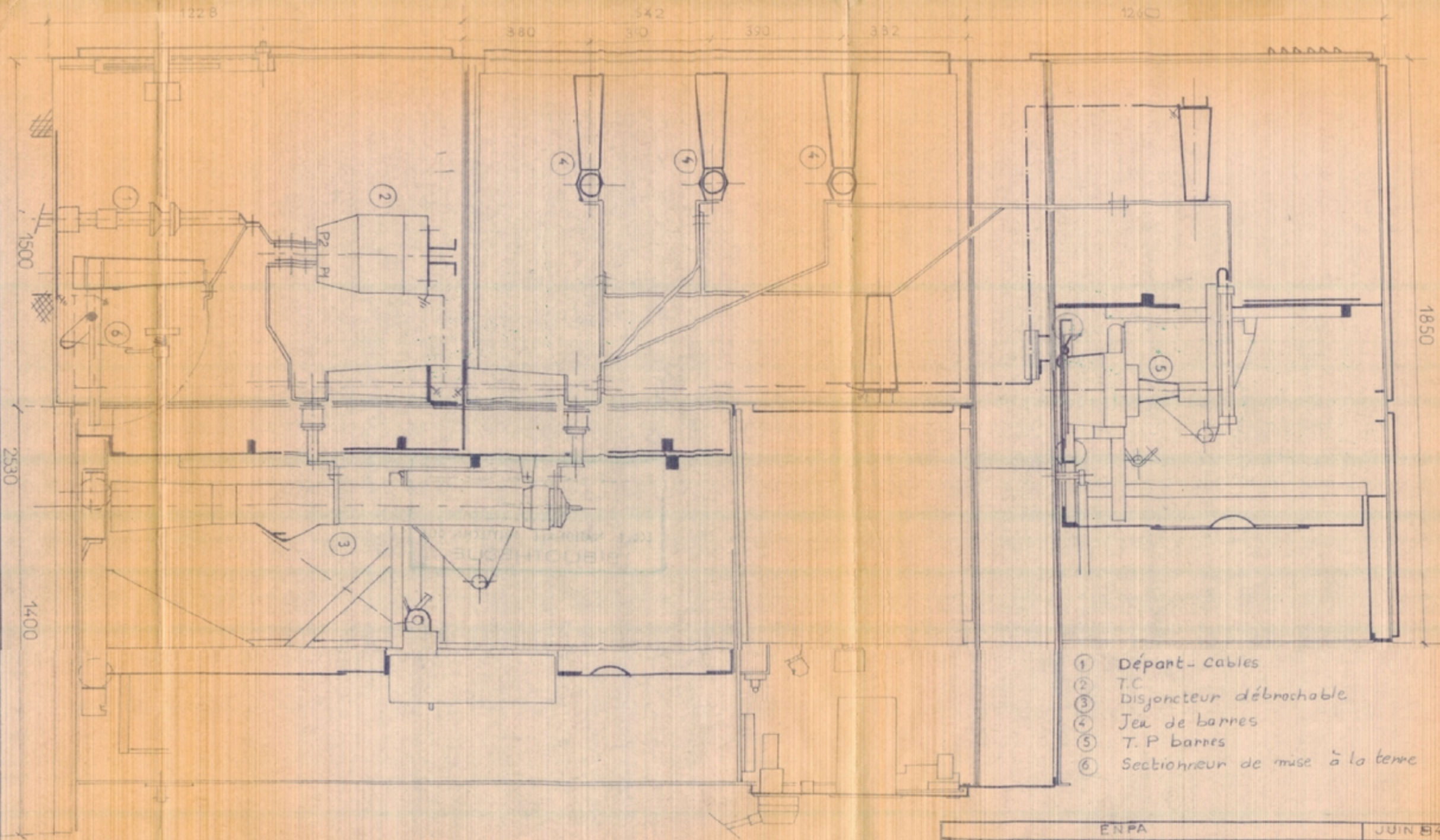


JEU DE BARRES 2

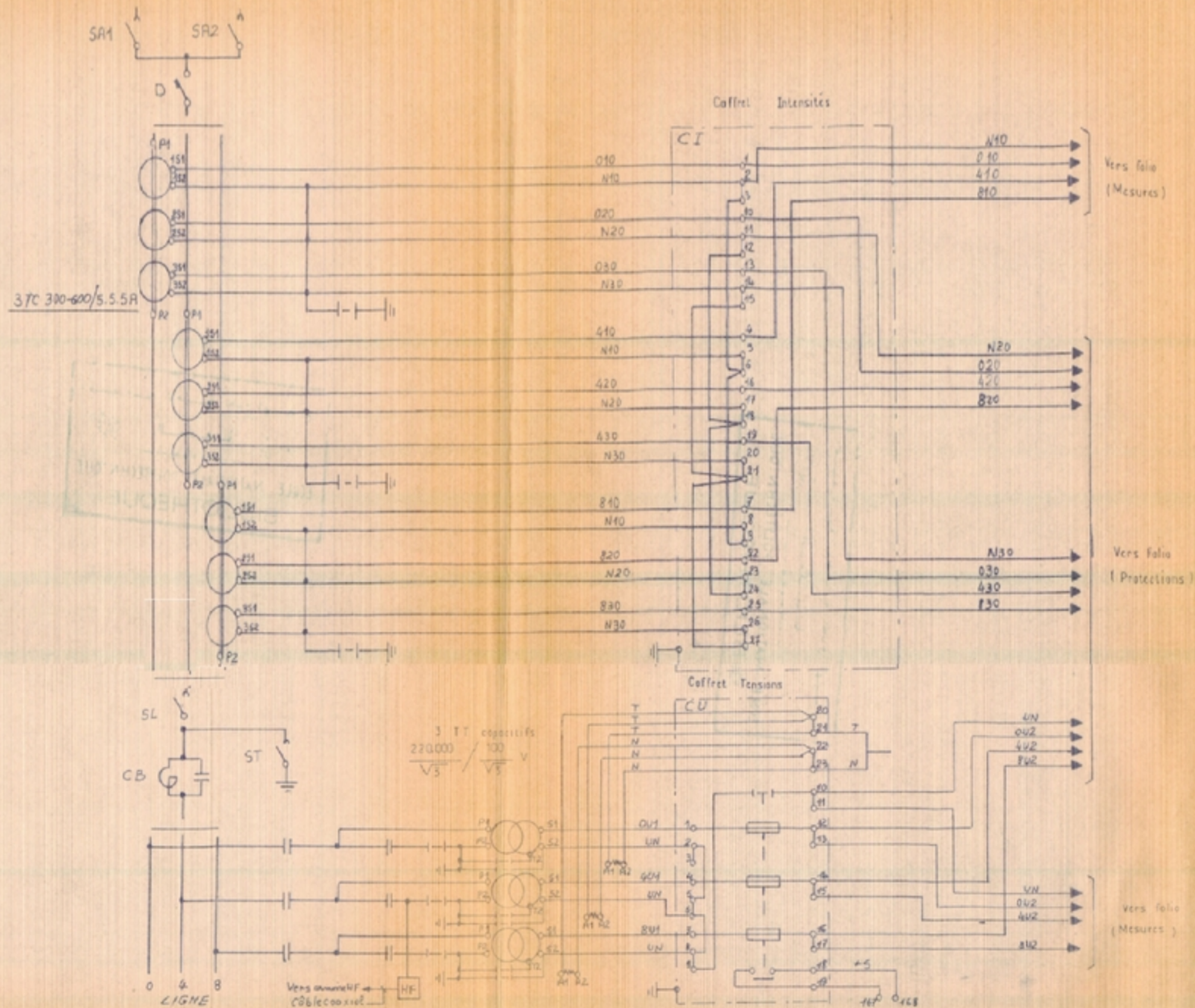
JEU DE BARRES 1

BIBLIOTHÈQUE
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

JUN 84	EN PA
PROMOTEUR	Dr J-GOTTFRID
PRÉSENTE PAR	CHEMACHEMA BENATTOUS
TITRE	VUE EN PLAN DU POSTE 105/30/220 KV
PLAN n°6	

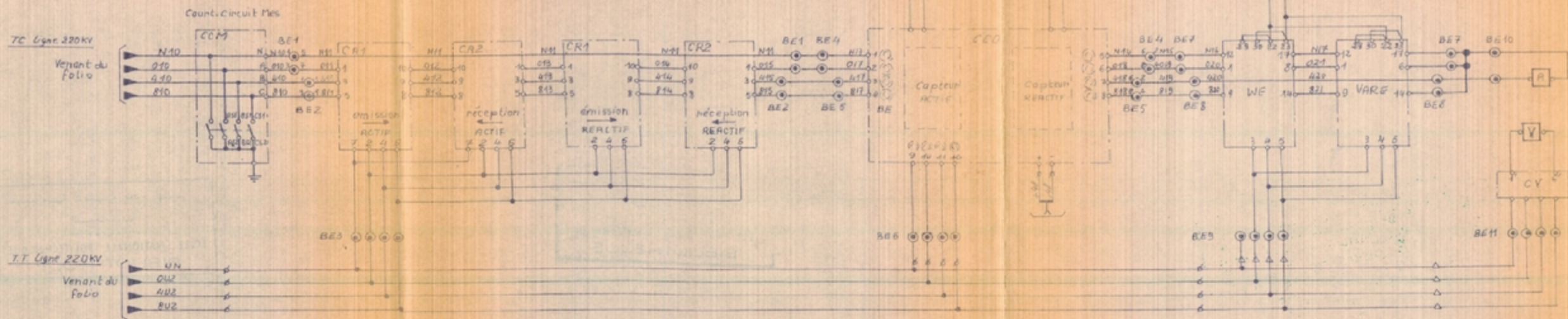


	ENPA	JUIN 84
PRESENTE PAR	TITRE	PROMOTEUR
IBENATTOUS	CELLULE DEPART	GOTTFRID
CHEMACHEMA	AVEC	
	POTENTIEL 13BARRES	PLAN N°7



مستودع الوثائق الهندسية
 المكتبة
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

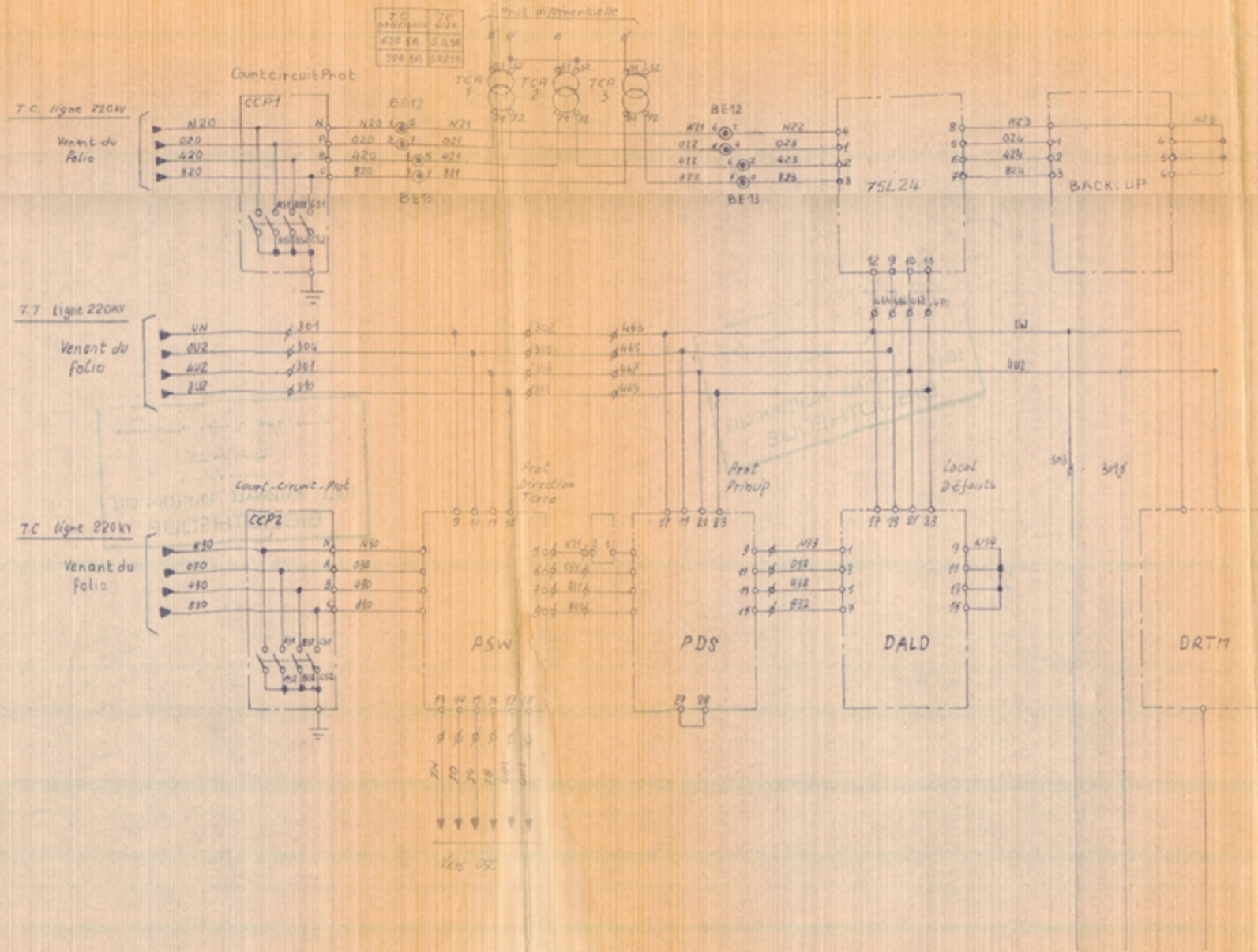
JUN 1984	E.N.P.A
PROMOTEUR	DR J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	CHEMACHEMA BENATTOUS
TITRE	DEVELOPPE ALTERNATIF DE LA TRANCHE TC. TP
PLAN N°8	



المستودع الوطني لعلوم الهندسة
 المكتبة

 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

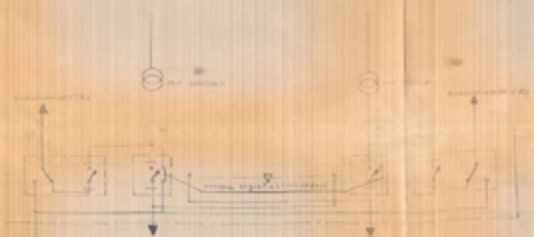
JUIN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	BENATTOUS CHEMACHEMA
TITRE	DEVELOPPE ALTERNATIF DE LA TRANCHE MESURES
PLAN N°9	



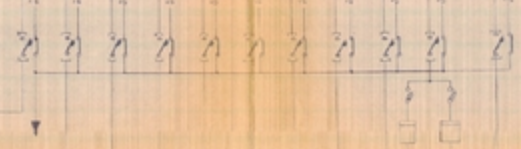
- ASW : Protection Directionnelle de terre
- PDS : Protection de Distance principale
- 7SL24 : Protection de Distance de Secours
- BACK UP : Protection de faillure disjoncteur
- DALD : Localisation Defauts
- DRTM : Renclecheur
- CCP12 : Count-circuitur de protection
- CCPM : Count-circuitur de mesure
- TCA : Transformateur d'intensité abaisseur 5/1 pour protection à arris

JUIN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr J GOTTFRID
PRESENTE PAR	CHEMACHEMA BENATTOUS
TITRE	DEVELOPPE ALTERNATIF DE LA TRANCHE PROTECTION
PLAN n°10	

UNIVERSITÉ NATIONALE SUPÉRIEURE DE
BIBLIOTHÈQUE



JEU DE BARRES ALTERNATIF 220/380V RESEAU



- Alimentation des moteurs
- Alimentation des pompes
- Alimentation des ventilateurs
- Alimentation des éclairages
- Alimentation des appareils de chauffage
- Alimentation des appareils de refroidissement
- Alimentation des appareils de mesure
- Alimentation des appareils de commande
- Alimentation des appareils de protection
- Alimentation des appareils de signalisation

JEU DE BARRES ALTERNATIF 220/380V SECOURS

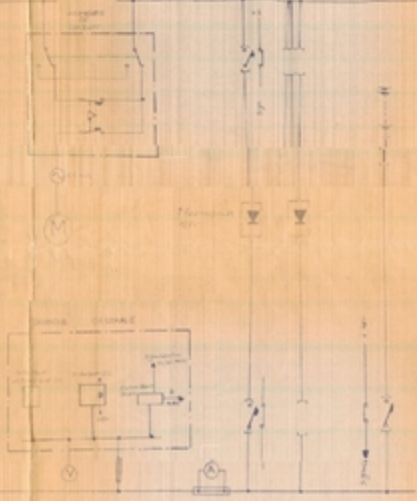


- Alimentation des moteurs
- Alimentation des pompes
- Alimentation des ventilateurs
- Alimentation des éclairages
- Alimentation des appareils de chauffage
- Alimentation des appareils de refroidissement
- Alimentation des appareils de mesure

JEU DE BARRES 127V COURANT CONTINU PRINCIPALE



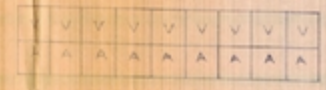
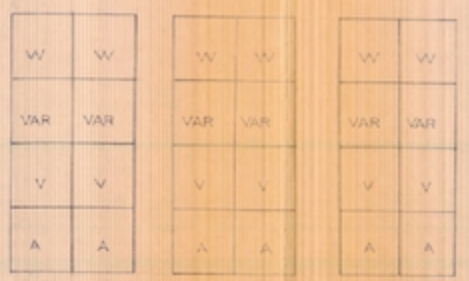
- Alimentation des moteurs
- Alimentation des pompes
- Alimentation des ventilateurs
- Alimentation des éclairages
- Alimentation des appareils de chauffage
- Alimentation des appareils de refroidissement
- Alimentation des appareils de mesure
- Alimentation des appareils de commande
- Alimentation des appareils de protection
- Alimentation des appareils de signalisation
- Alimentation des appareils de communication
- Alimentation des appareils de contrôle
- Alimentation des appareils de régulation
- Alimentation des appareils de surveillance
- Alimentation des appareils de maintenance



UNIVERSITÉ NATIONALE SUPÉRIEURE DE
BIBLIOTHÈQUE

DATE	Juin 1964
PROMOTEUR	EN PA
PRÉSENTE PAR	Dr J. COTTFRID
TITRE	SCHEMA UNIFILAIRE DES SERVICES AUXILIAIRES ALTERNATIF 220/380 V ET CONTINU 127 ET 48V
PLAN N°	

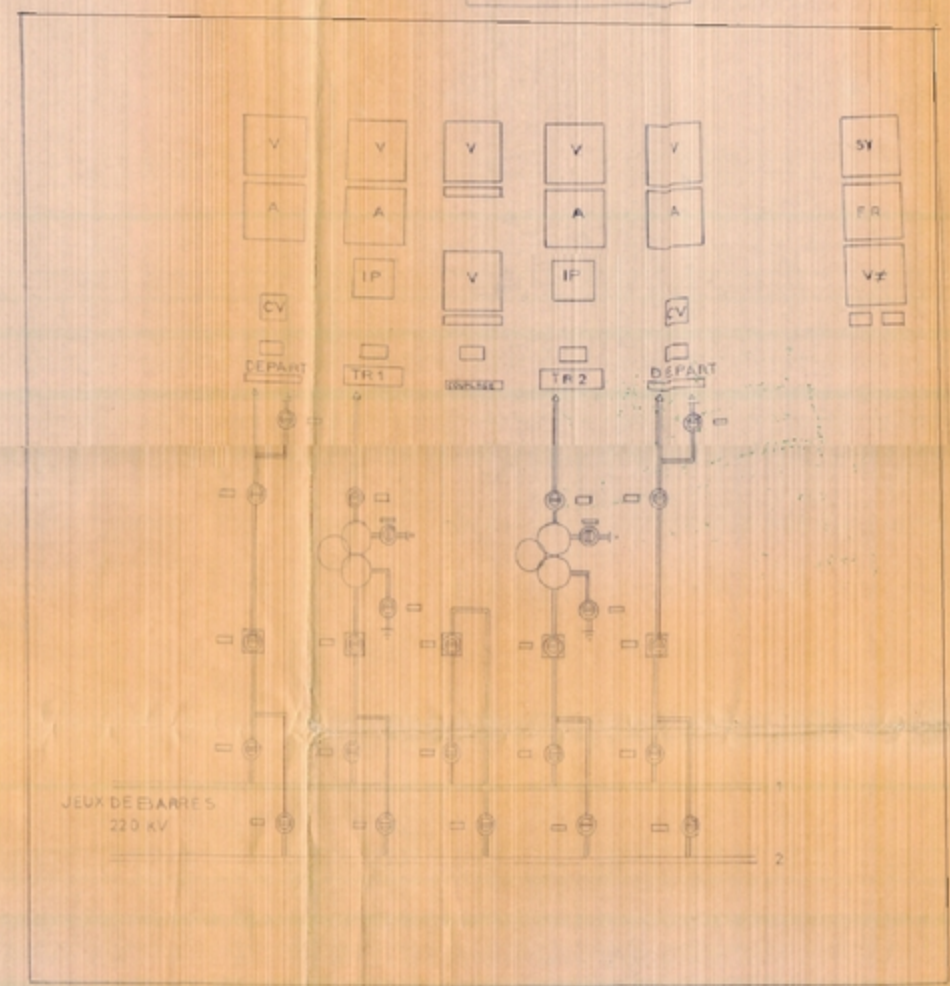
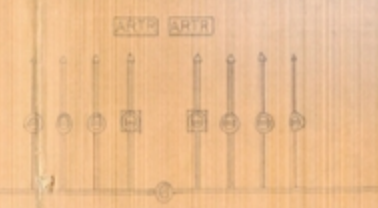
10.5/30/220 kV
Verf. Bleu Rouge



BIBLIOTHÈQUE
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
1001



JEUX DE BARRES
30 kV

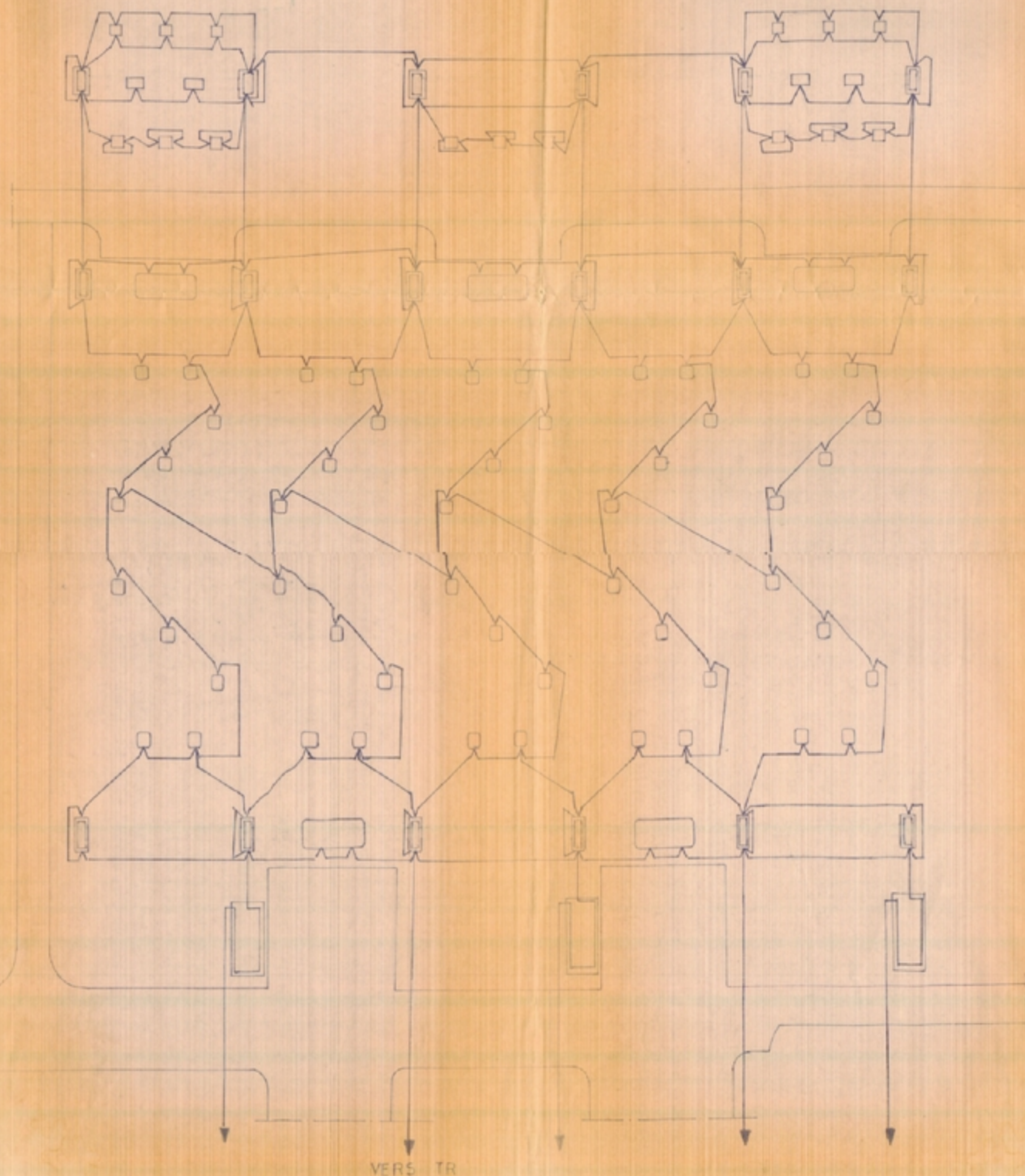


JEUX DE BARRES
220 kV

- A : AMPERMÈTRE
- V : VOLTMÈTRE
- CV : COMMUTEUR DE VOLTMÈTRE
- VZ : VOLTMÈTRE DIFFÉRENTIEL
- FR : FRÉQUENCÈMÈTRE
- SY : SYNCHRONOSCOPE
- IP : INDICATEUR DE POSITION DU PÔLEUR
- ⊙ : IP DU SECT

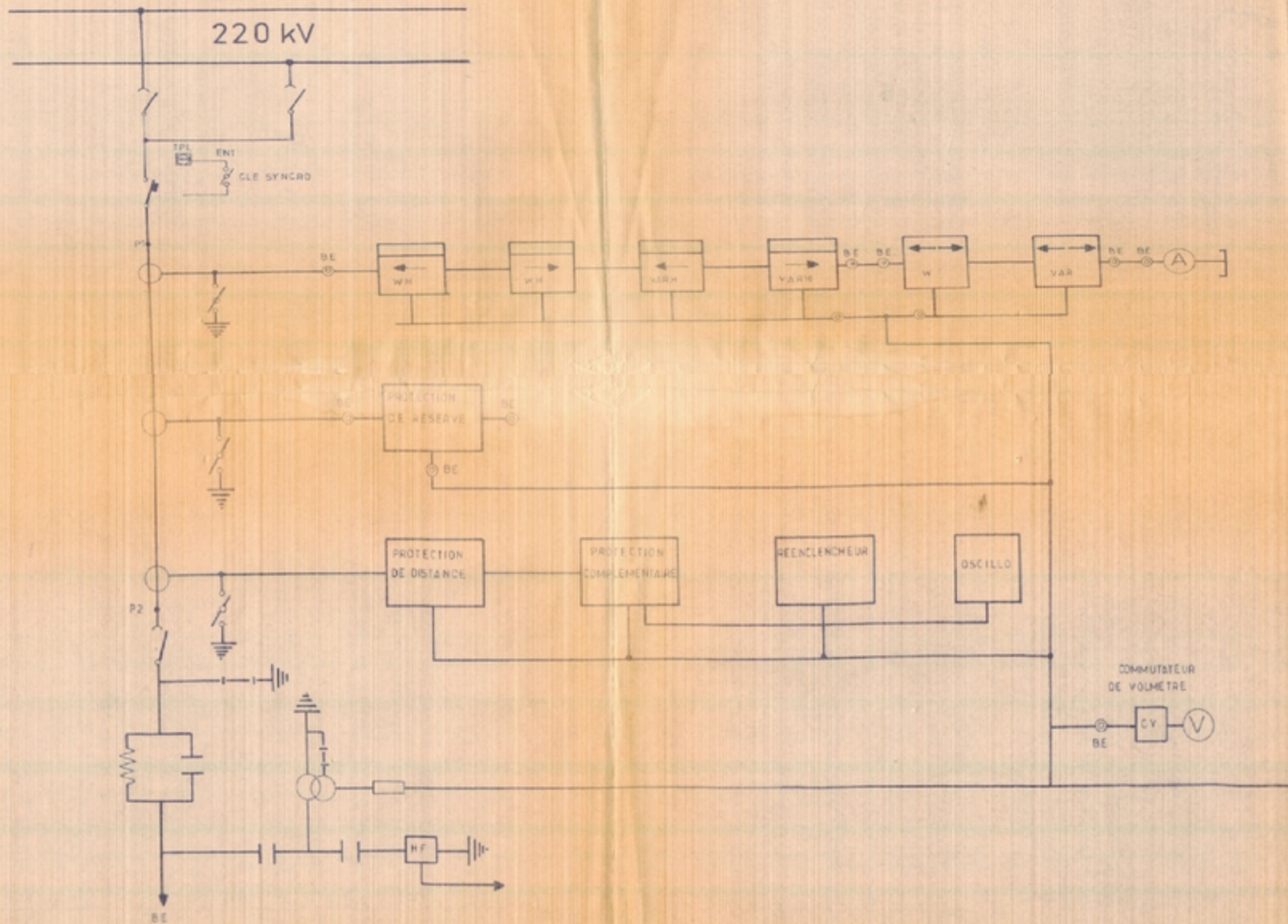
مكتبة الجامعة الوطنية
البيروت
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

JUIN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr. J. GOTTFRID
PRESENTE PAR	BENATTOUS CHEMACHEMA
TITRE	VUE AVANT DU TABLEAU DE COMMANDE POSTE 10.5/30/220 kV
PLAN N°12	



جامعة الوطنية للعلوم والتقنية
 المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

JUN 84	ENPA
PROMOTEUR	Dr. J. GOTTFRID
PRESENTÉ PAR	BENATTOUS CHEMACHEMA
TITRE	RÉSEAU DE TERRE DU POSTE 105/30/220 KV
PLAN n°13	



الجمهورية العربية السورية
البيروت
الجامعة السورية
الكلية الهندسية
الجامعة السورية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

الجمهورية العربية السورية
البيروت
الجامعة السورية
الكلية الهندسية
الجامعة السورية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

EN.PA	
PROMOTEUR	J. GOTTERIED
PRESENTE	BENATTOUS DJILANI CHEMACHEMA SALAH
TITRE	TRAVEE 220 kV
PLAN N° 14	