

UNIVERSITE D'ALGER

8/75

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

lea

DEPARTEMENT ELECTRICITE



PROJET DE FIN D'ETUDES

CALCUL DES CIRCUITS AUXILIAIRES D'UNE CENTRALE THERMO-ELECTRIQUE (APPLICATION A LA CENTRALE D'ALGER)

Proposé par :

Mr L. PREDA

Etudié par :

Mr A. BOUBEKEUR

PROMOTION 1975

A MES PARENTS

Je tiens à assurer mon promoteur
M^r. L. PREDA de ma profonde reconnaissance
pour ses précieux commentaires et explications
des points essentiels de ce projet .

Que tous les professeurs de l'Ecole Nationale
Polytechnique qui ont contribué à ma formation
veuillent bien trouver dans ce travail l'expres-
-sion de ma gratitude.

Je remercie également tout le personnel
de la SONELGAZ et particulièrement
M^r AMIAR. M (Ingénieur à la Sonelgaz)
M^r BOUAOUD. L (Ingénieur à la Sonacome)
M^r KEZZAR. A (" ")
pour leur aide à l'élaboration de ce
projet .

BOUBEKEUR . A

SOMMAIRE

	Pages
Introduction	I
Présentation de la centrale (Circuits auxiliaires)	2
Théorie sur les court-circuits triphasés	8
Détermination du schéma équivalent en grandeurs réduites.....	I9
Calcul pratique des courants de court-circuit.....	26
Cas des courants maximums	28
Cas des courants minimums	46
Calcul des courants de durée	50
Principe de dimensionnement des jeux de barres	52
Efforts électrodynamiques	55
Application (Jeu de barres 5,5 KV)	64
Application (Jeu de barres 380 V)	67
Efforts thermiques	70
Application.....	76
Choix des disjoncteurs	8I
Conclusion	84

- INTRODUCTION -

Pendant le fonctionnement des installations électriques des centrales et postes, peuvent apparaître des perturbations du régime normale qui provoquent l'apparition des processus électromagnétiques et donc des variations importantes des paramètres de l'énergie électrique (courant, tension, fréquence)

Les conséquences de ces perturbations peuvent être graves; elles conduisent à l'interruption de l'alimentation en énergie électrique des consommateurs, à la détérioration de l'équipement etc...

Ainsi l'étude préliminaire pour une installation électrique consiste à faire un choix convenable des équipements électriques. Ce choix se détermine en fonction des effets des courants de court-circuit (solllicitations électriques et électrodynamiques très importantes).

La centrale d'ALGER étant déjà installée, alors cette étude aura pour but de vérifier si l'équipement existant dans la centrale est bien dimensionné.

Pour cela on calculera les courants de court-circuit dans le cas le plus défavorable pour les circuits auxiliaires. A l'aide des résultats on fera la vérification des sections adoptées à la centrale, aux efforts électrodynamiques et thermiques. Toujours à l'aide des résultats des courants de court-circuit, on fera le choix des disjoncteurs.

On fera aussi le calcul des courants de court-circuit minimums

- PRESENTATION de la CENTRALE -

(CIRCUITS AUXILIAIRES)

La centrale d'ALGER-PORT, comprend 2 groupes turbo-alternateurs de puissance unitaire: 60 Mw .
L'énergie produite alimente d'une part; le réseau 60 kv de la région d'ALGER par l'intermédiaire des 2 transformateurs principaux 1tp et 2tp. D'autre part le poste de distribution 10 KV de la ville d'ALGER par l'intermédiaire de l'enroulement III KV du transformateur à 3 enroulements (2TAt).

Ceci concerne donc l'évacuation de l'énergie vers le réseau national; mais une partie de cette énergie produite (4 à 8 %) est consommée par les services propres de la centrale (pompes alimentaires, pompes d'extraction, ventilateurs de soufflage, de tirage, les appareils de contrôle...)

- Les deux alternateurs sont identiques; et ont les caractéristiques suivantes: $S_n = 75 \text{ MVA}$, $\cos \varphi = 0,8$, $U = 10,3 \text{ KV}$
Il est réfrigéré (chacun d'eux) par l'hydrogène jusqu'à une pression de 2 bars.
- L'ensemble excitation disposé en bout d'arbre de l'alternateur se compose:

D'un réducteur 3000/1000 tr/mm à engrenage.

Une génératrice à courant continu, à excitation shunt, tournant à 1000 tr/mm.

Un survolteur-dévolteur tournant à 3000 tr/mm.

Un alternateur auxiliaire à aimants permanents pour l'alimentation du régulateur de tension.

- La turbine , combinée à action et à réaction , à double flux d'échappement comporte 2 corps (HP et BP).
Les soutirages sont au nombre de 6 , 4 sur le corps HP et 2 sur le corps BP .

Les caractéristiques de la vapeur produite entrée turbine sont:

88 bars et 540°C .

Les générateurs de vapeur fonctionnent soit au gaz naturel , soit au fuel lourd , soit en mixte .

- La chaudière est à circulation naturelle , la chambre de combustion en dépression. Elle a une capacité maximale de production de 250 t/h .
- Le condenseur est à double parcours , il utilise l'eau de mer portuaire comme fluide réfrigérant .

DESCRIPTION et FONCTIONNEMENT des AUXILIAIRES

I) Les circuits auxiliaires 5,5 KV :

I-I) Description:

- En première étape: Un transformateur ITAt, alimente normalement les auxiliaires de la tranche I (IGA) .

Un transformateur TAD1 alimente normalement les auxiliaires généraux (I2GB) Ce transformateur alimentera également les auxiliaires de tranche lors du démarrage du groupe et restera en exploitation normale , en secours du transformateur ITAt.

Une liaison secours éventuelle d'ALGER-PORT par l'intermédiaire du transformateur TAD2 . Cette alimentation normalement non raccordée sera mise en service en cas de défaut sur le transformateur TAD1 .

Ce transfert s'effectuera normalement, et les verrouillages nécessaires seront prévus pour interdire la mise en parallèle des 2 alimentations .

- En deuxième étape: Nous avons

Un transformateur 2TAt alimente normalement les auxiliaires

de tranche II (2GC).

Un enroulement II MVA (60/5,5 KV) du transformateur TAD2 alimentant normalement les auxiliaires généraux. (I2GB)
Cet enroulement remplacera l'arrivée de secours d'ALGER-PORT-I, Il alimentera de la même manière les auxiliaires de tranche lors d'un démarrage d'un groupe et restera en exploitation normale, en secours des transformateurs ITAt et 2TAt

Les départs alimentant les auxiliaires 5,5 KV sont en câbles tripolaires à isolement sec.

Les commandes des disjoncteurs seront alimentées en courant continu sous une tension de 115 V.

Les tableaux sont du type préfabriqués protégé à un seul jeu de barres, à cellules disjoncteurs débrochables.

Les tableaux 5,5 KV seront constitués de cellules comprenant chacun les éléments compartimentés suivants :

- Un caisson fixe jeu de barres ; ce caisson est séparé reste de l'équipement et fermé de l'extérieur par des panneaux en tôles, constituant l'enveloppe du caisson. Le jeu de barres sera en cuivre électrolytique. Les barres seront supportées par des isolateurs en porcelaine du type à ailettes minces (modèle intérieur)
- Un caisson mobile -Disjoncteur- Les disjoncteurs sont du type à coupure sèche dans l'air.

I-2) Fonctionnement des auxiliaires 5,5 KV :

- Le jeu de barres des auxiliaires généraux I2GB :
Il sera alimenté d'une part par le transformateur 60/5,5 KV (TADI), et d'autre part par l'enroulement II MVA (TAD2)
Un verrouillage électrique entre:

-Les sectionneurs d'aiguillages et disjoncteurs 60 KV alimentant les transformateurs TADI et TAD2.

-Les disjoncteurs 5,5 KV des arrivées TADI et TAD2.

-Les sectionneurs de barres

permet:

- Dans le cas où les transformateurs TADI ET TAD2 ne sont pas alimentés par le même jeu de barres 60 KV d'interdire l'alimentation en parallèle du jeu de barres. si le sectionneur de barres est fermé, d'autoriser l'alimentation séparée de chaque demi jeu de barres si le sectionneur de barres est ouvert.

- Dans le cas où les transformateurs TADI et TAD2 sont alimentés par le même jeu de barres de 60 KV d'autoriser l'alimentation des demi jeu de barres quelque soit la position du sectionneur de barres

Jeu de barres 5,5 KV des auxiliaires de tranche (IGA et 2GC)

Il est normalement alimenté par le transformateur 10,3/5,5 KV (ITAt) raccordé directement sur la liaison alternateur-transformateur principal.

Au démarrage et en secours , ce jeu de barres sera alimenté disjoncteur de commutation fermé par le jeu de barres des auxiliaires généraux . E

Commutation des sources 5,5 KV de tranche:

Au démarrage de la tranche , tout les auxiliaires 5,5 KV seront alimentés par le jeu de barres du tableau des auxiliaires généraux (I2 GB) . Après le couplage de l'alternateur sur le réseau , les auxiliaires de tranche seront alimentés par le transformateur de tranche (ITAt).

2) Les circuits auxiliaires 380 V :

6 transformateurs 5500/380V assureront l'alimentation des auxiliaires 380 V .

Les auxiliaires de tranche sont ceux intéressant directement et exclusivement le fonctionnement d'une même tranche:

chaudière , groupe turbo-alternateur , poste d'eau, etc...

Les auxiliaires généraux sont ceux communs aux deux sources.

Les auxiliaires de tranche:

Les auxiliaires de chacune des 2 tranches comprendront:

- Un tableau chaudière (I MO)

- Un tableau : poste d'eau et groupe (I MM).
Chaque tableau étant alimenté normalement par un transformateur (ITAc et ITAm) de 400 KVA raccordé sur le tableau 5,5 KV des auxiliaires de tranche (IGA et 2GC).

Un disjoncteur de transfert reliera directement les 2 tableaux en cas d'indisponibilité d'un des 2 transformateurs.

Un verrouillage électrique interdira l'alimentation d'un jeu de barres par deux transformateurs en parallèle.

Pour chaque tranche on aura en outre :

- Un sous tableau réfrigération (I MMA)
- Un sous tableau électrovannes

Les auxiliaires généraux comprendront :

- Un tableau auxiliaires généraux intérieurs (~~I2 MPI~~ tableau (I2 MPI) , ce tableau est divisé en deux parties pouvant être réunies par un disjoncteur de transfert. Chaque partie pourra être alimentée normalement et indépendamment par un transformateur de 400 KVA ,raccordé sur le tableau 5,5 KV des auxiliaires généraux . Chaque transformateur (I2 TAI et I2 TAc) étant affecté à un demi jeu de barres de ce tableau .

En secours , le disjoncteur de transfert pourra être fermé et l'ensemble du tableau des auxiliaires généraux intérieurs pourra être alimenté par un seul transformateur.

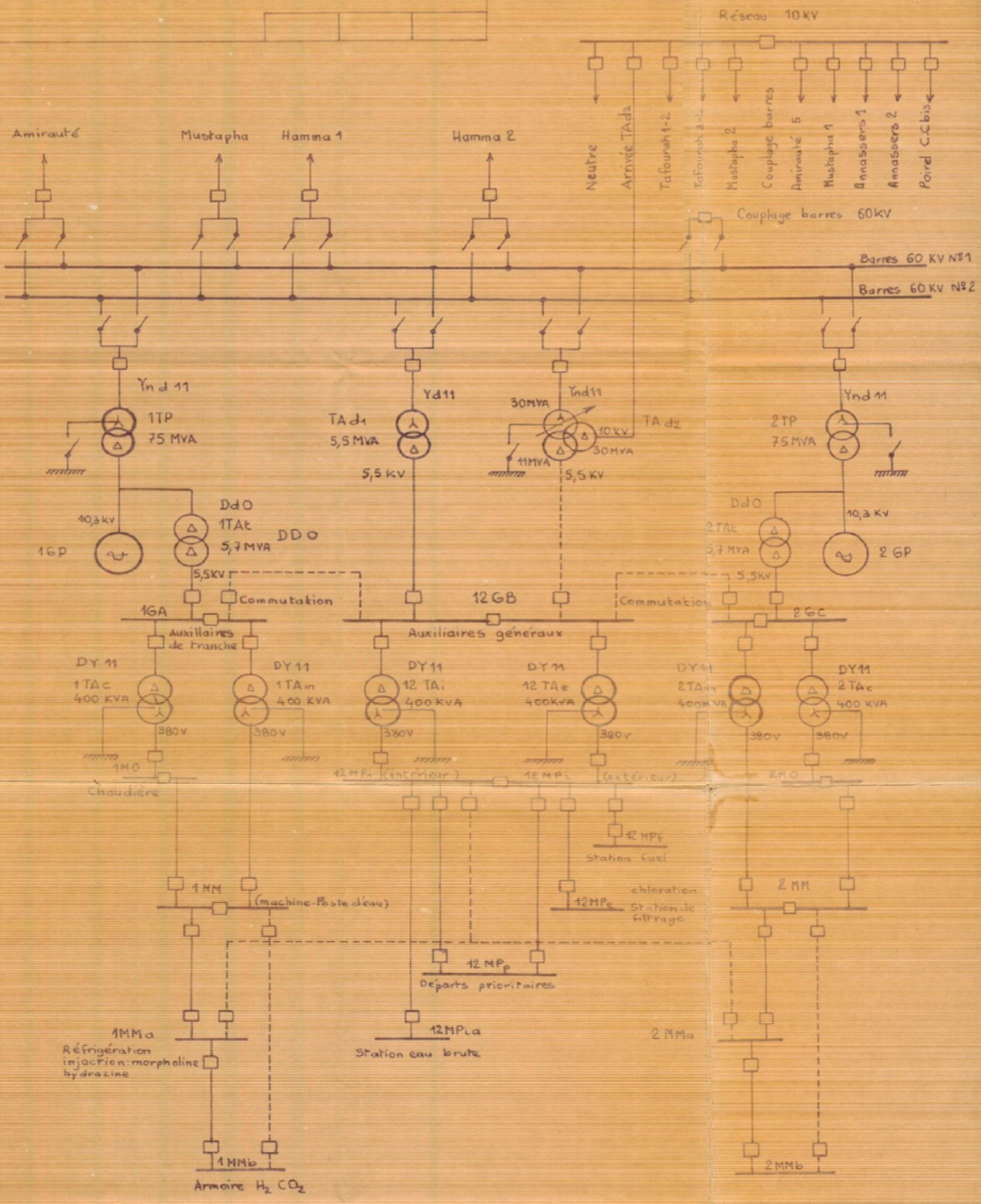
Toutefois un verrouillage électrique interdira l'alimentation du tableau simultanément par les deux transformateurs (I2TAI et I2TAc).

Les auxiliaires généraux 380 V ,comprennent en outre:

- Un sous tableau des auxiliaires généraux extérieurs (I2MPe)
- " traitement eau brute (I2MPia)
- " départs prioritaires (I2MPp)

Les circuits de commande et de contrôle à distance,seront alimentés en courant continu (II5 V).

CENTRALE THERMIQUE D'ALGER PORT
SCHEMA UNIFILAIRE



———— Alimentation normale
- - - - - Alimentation secours

- LES COURT-CIRCUITS TRIPHASES -

I) Généralités:

----- Dans les installations électriques, les plus fréquentes causes d'apparition des processus transitoires électromagnétiques sont les court-circuits; qui habituellement ont les plus graves effets. Et c'est pour cette raison que le calcul des courants de C.C.^t est nécessaire à la protection des installations électriques des centrales et des postes électriques pour pouvoir réduire leurs effets négatifs.

Pendant un C.C.^t, l'impédance du circuit diminue; puisque une partie est shuntée, donc les courants augmentent.

La valeur du courant dépend de la distance électrique Z, de la tension, de la puissance de la source, du type de C.C.^t du temps après le moment de l'apparition du défaut, des consommateurs (cas des consommateurs de grande puissance (plus de 1000 KVA) situés près du défaut.)

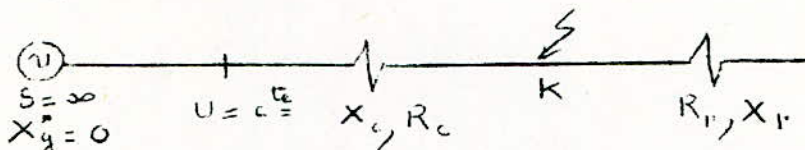
Les grands courants qui apparaissent pendant un C.C.^t ont des effets négatifs sur les installations qui sont en amont; ils les sollicitent thermiquement et dynamiquement

Le calcul des courants de C.C.^t dans les situations les moins favorables doit s'effectuer à la projection de l'installation; puisque c'est en fonction de leurs valeurs qu'on fait le choix et la vérification des appareils, des barres...

Les résultats des statistiques sur les fréquences des C.C.^t donnent: 65% pour les C.C.^t monophasés, 30% pour les C.C.^t biphasés et seulement 5% pour les C.C.^t triphasés. Mais on considère les C.C.^t triphasés comme les plus dangereux d'autre part leur calcul est le plus simple; ce qui conduit à vérifier et choisir les installations électriques des centrales et postes en fonction des courants de C.C.^t triphasés.

2) Etude théorique des C.C.^t triphasés (symétriques):

Considérons un C.C.^t alimenté par une source de puissance infinie, de tension sinusoïdale et amplitude constante et d'impédance nulle.



Avant l'apparition du défaut au point K on a:

$$\begin{aligned}
 u_A &= U_m \sin (wt + \alpha) & i_A &= I_m \sin (wt + \alpha - \varphi) \\
 u_B &= U_m \sin (wt + \alpha - 2\pi/3) & i_B &= I_m \sin (wt + \alpha - \varphi - 2\pi/3) \\
 u_C &= U_m \sin (wt + \alpha - 4\pi/3) & i_C &= I_m \sin (wt + \alpha - \varphi - 4\pi/3)
 \end{aligned}$$

α = phase initiale de la tension

φ = déphasage entre courant et tension

Après l'apparition du défaut le système d'équations décrivant le processus du C.C.^t est:

$$\left\{ \begin{aligned}
 u_A &= r_K \cdot i_A + \frac{L}{dt} \frac{di_A}{dt} + \frac{M}{dt} \frac{di_B}{dt} + \frac{M}{dt} \frac{di_C}{dt} \\
 u_B &= r_K \cdot i_B + \frac{L}{dt} \frac{di_B}{dt} + \frac{M}{dt} \frac{di_C}{dt} + \frac{M}{dt} \frac{di_A}{dt} \\
 u_C &= r_K \cdot i_C + \frac{L}{dt} \frac{di_C}{dt} + \frac{M}{dt} \frac{di_A}{dt} + \frac{M}{dt} \frac{di_B}{dt}
 \end{aligned} \right.$$

Le court-circuit étant symétrique on a : $i_A + i_B + i_C = 0$

Les 3 équations précédentes sont de la forme:

$$u = r_K \cdot i + L_K \frac{di}{dt} \quad \text{avec} \quad L_K = L - M$$

La solution de cette équation différentielle est:

$$i_K = I_{pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) + C e^{-t/Ta} = i_p + i_a$$

$$I_{pm} = \frac{U_m}{Z_K} = \text{courant périodique maximum.}$$

$$Z_K = \sqrt{r_K^2 + (L_K \omega)^2} = \text{impédance du circuit.}$$

$$\varphi_K = \arctg\left(\frac{L_K \omega}{r_K}\right) = \arctg\left(\frac{X_K}{r_K}\right); r_K \text{ est généralement négligeable devant } L_K \omega \text{ d'où } \varphi_K \neq \pi/2$$

$$Ta = \frac{L_K}{r_K} = \text{constante de temps du circuit.}$$

Le courant de $C \cdot C^t$ est donc la somme de 2 composantes ; l'une périodique, l'autre apériodique.

Au temps $t=0$, on a $C = i_{a_0}$

$$\left. \begin{aligned} i_{KA} &= i_{pA} + i_{aA} \\ i_{KB} &= i_{pB} + i_{aB} \\ i_{KC} &= i_{pC} + i_{aC} \end{aligned} \right\}$$

Au temps $t=0$; les courants ne peuvent varier brusquement et sont encore égaux aux courants en régime normale:

$$i_0 = i_{K_0} = i_{p_0} + i_{a_0} \quad \text{c'est à dire :}$$

$$i_{aA_0} = i_{A_0} - i_{pA_0} = I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K)$$

$$i_{aB_0} = i_{B_0} - i_{pB_0} = I_m \sin(\alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3}) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K - \frac{2\pi}{3})$$

$$i_{aC_0} = i_{C_0} - i_{pC_0} = I_m \sin(\alpha - \varphi - \frac{4\pi}{3}) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K - \frac{2\pi}{3})$$

On obtient finalement les équations générales des $C \cdot C^t$ triphasés :

$$i_{KA} = I_{pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) + \left[I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K) \right] e^{-t/Ta}$$

$$i_{KB} = I_{pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K - \frac{2\pi}{3}) + \left[I_m \sin(\alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3}) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K - \frac{2\pi}{3}) \right] e^{-t/Ta}$$

$$i_{KC} = I_{pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K - \frac{4\pi}{3}) + \left[I_m \sin(\alpha - \varphi - \frac{4\pi}{3}) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K - \frac{4\pi}{3}) \right] e^{-t/Ta}$$

Valeurs extrêmes du courant de C.C.t :

On doit annuler les dérivées partielles par rapport aux variables t, α, φ

Pour la phase A on aura:

$$\frac{\partial i_{KA}}{\partial t} = \omega I_{pm} \cos(\omega t + \alpha - \varphi_K) - \frac{1}{Ta} \left[I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K) \right] e^{-t/Ta} = 0$$

$$\frac{\partial i_{KA}}{\partial \alpha} = I_{pm} \cos(\omega t + \alpha - \varphi_K) - \left[I_m \cos(\alpha - \varphi) - I_{pm} \cos(\alpha - \varphi_K) \right] e^{-t/Ta} = 0$$

$$\frac{\partial i_{KA}}{\partial \varphi} = - I_m \cos(\alpha - \varphi) e^{-t/Ta} = 0$$

De la troisième équation on tire

$$\alpha - \varphi = \pm \pi/2 \quad \text{qu'on remplace dans la première et la deuxième équations}$$

$$I_{pm} \cos(\omega t + \alpha - \varphi_K) = \frac{I_m}{\omega Ta} \left[\pm I_m - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K) \right] e^{-t/Ta}$$

$$I_{pm} \cos(\omega t + \alpha - \varphi_K) = I_{pm} \cos(\alpha - \varphi_K) e^{-t/Ta}$$

On obtient à partir de ces deux équations :

$$\omega Ta = \frac{\pm I_m - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K)}{I_{pm} \cos(\alpha - \varphi_K)} = \omega \frac{x_K}{\omega x_K} = \text{tg } \varphi_K \quad \varphi_K = \pi/2$$

$$\text{tg } \varphi_K = \infty$$

$$\text{d'ou: } \frac{\pm I_m - I_{pm} \cos \alpha}{I_{pm} \sin \alpha} = \quad \sin \alpha = 0 \quad \alpha = k\pi$$

$$\text{De l'équation } I_{pm} \cos(\omega t + \alpha - \varphi_K) = I_{pm} \cos(\alpha - \varphi_K) e^{-t/Ta}$$

on tire pour $\alpha = 0$ et $\varphi_K = \pi/2$

$$\cos (\omega t - \frac{\pi}{2}) = 0 \rightarrow \omega t - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} \rightarrow \omega t = \pi$$

$$t = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi}{2 \pi f} \Rightarrow \underline{\underline{t = 0,01 \text{ sec}}}$$

D'où avec les conditions suivantes: $\alpha - \varphi = \frac{\pm \pi}{2}$;

$\alpha = k\pi$; $\varphi_K = \pi/2$; $t = 0,01 \text{ sec}$ l'expression du courant i_{KA} devient:

* $\alpha = 0$; $\varphi = -\pi/2$; $t = 0,01 \text{ sec}$	$i_{KA} = 2 I_{pm} + I_m$ (maxi)
* $\alpha = 0$; $\varphi = +\pi/2$; $t = 0,01 \text{ sec}$	$i_{KA} = 2 I_{pm} - I_m$ (mini)
* $\alpha = \pi$; $\varphi = +\pi/2$; $t = 0,01 \text{ sec}$	$i_{KA} = -(2I_{pm} - I_m)$ (mini)
* $\alpha = \pi$; $\varphi = -\pi/2$; $t = 0,01 \text{ sec}$	$i_{KA} = -(2I_{pm} + I_m)$ (maxi)

Ceux donc les valeurs extrêmes du courant de C.C.^t

Remarque: Pour les autres phases on fera le même raisonnement avec les conditions suivantes pour la phase B :

$$\alpha - 2\pi/3 = k\pi \quad \text{et pour la phase C: } \alpha - 4\pi/3 = k\pi$$

Cas d'un circuit travaillant à vide avant le C.C.^t :

En plus des conditions précédentes on a $I_m = 0$

Alors les valeurs des courants extrêmes deviennent:

$$\underline{\underline{i_{KA \text{ maxi}} = 2 I_{pm} \quad ; \quad i_{KA \text{ mini}} = - 2 I_{pm}}}$$

Donc si un circuit fonctionne à vide avant le C.C.^t, le courant de C.C.^t atteint au bout de 0,01 sec sa valeur maximale, qui est égale au double de la valeur de la composante périodique.

Si on considère le cas où $\alpha - \varphi = 0$ avec $I_m \neq 0$

$$i_{KA} = I_{pm} \sin(\omega t \alpha - \varphi_K) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_K) e^{-t/Ta}$$

Le courant apériodique étant $i_a = - I_{pm} e^{-t/Ta} \sin(\alpha - \varphi_K)$ il sera maximum pour

$$\begin{cases} e^{-t/Ta} = 1 \rightarrow t = 0 \\ \sin(\alpha - \varphi_K) = 1 \rightarrow \alpha - \varphi_K = \frac{\pm \pi}{2} \end{cases}$$

et $i_{a0} = i_{a \max} = \frac{4}{\pi} I_{pm}$

Pour les mêmes conditions on a le courant périodique :

$i_{po} = I_{pm}$

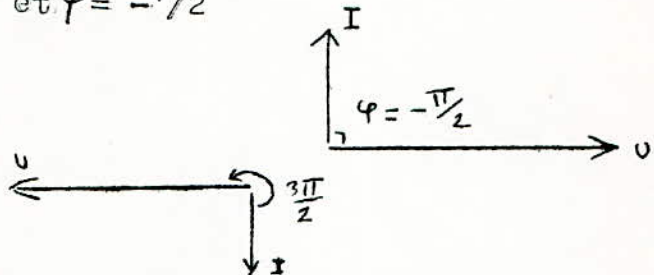
Toujours pour les mêmes conditions :

$t = 0 ; \alpha - \varphi_K = \pm \pi/2$ le courant de $C.C^t$ sera :

$i_{KA} (i_{A0}, \alpha - \varphi_K = \pm \pi/2) = \pm \sqrt{2} I_p (\cos wt - e^{-t/Ta})$
 (avec $I_{pm} = \sqrt{2} I_p$)

i_K est maximum pour $\alpha = 0$ et $\varphi = -\pi/2$

ou $\alpha = \pi$ et $\varphi = 3\pi/2$



Ces 2 fonctionnements sont obtenus pour des régimes capacitifs .

Courant de choc : C'est la valeur maximum du courant de $C.C^t$ pendant la première période à $t = 0,01$ sec

$i_{choc} = \sqrt{2} I_p (I + e^{-0,01/Ta})$

$= \sqrt{2} I_p \cdot K_{choc}$ avec $K_{choc} = (I + e^{-0,01/Ta})$

En régime inductif ($r_K = 0$) $Ta = \infty \rightarrow K_{choc} = 2$

" résistif ($x_K = 0$) $Ta = 0 \rightarrow K_{choc} = I$

" capacitif $15 < x_K/r_K < 20$ $Ta = 0,045 \rightarrow K_{choc} = 1,8$

Pratiquement on prend $K_{choc} = 1,8$ alors :

$i_{choc} = 1,8 \sqrt{2} I_p = 2,55 I_p$

Il existe des courbes donnant K_{choc} en fonction de Ta .

On considèrera seulement les C.C^t triphasés symétriques, pour les raisons qui ont été données précédemment.

A cause de la complexité des processus transitoires, le calcul exact est difficile à réaliser ; alors on est amené en pratique à utiliser dans la majorité des cas des hypothèses simplificatrices qui sont habituellement les suivantes :

- Les circuits magnétiques sont non saturés ; donc que les schémas sont linéaires.

- Les courants de magnétisation des transformateurs et auto-transformateurs seront négligés.

- On négligera également les résistances ; ce qui nous donnera un déphasage entre la tension et le courant de 90° et cela permet donc l'addition des courants.

Les hypothèses simplificatrices dépendent du schéma étudié il faut que les erreurs restent raisonnables.

I) Grandeurs de base - Grandeurs réduites :

La grandeur de base est une grandeur fixée arbitrairement à l'avance . La grandeur réduite de base est le rapport de la grandeur physique par la grandeur de base.

Pour les circuits des installations électriques, l'utilisation de ces grandeurs est nécessaire pour la simplification des calculs.

Généralement on a 2 grandeurs de base à fixer :

S_b et U_b , les autres en sont déduites :

$$I_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} U_b} \quad ; \quad Z_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b} = \frac{U_b^2}{S_b}$$

Les grandeurs réduites de base seront alors :

$$S_b^* = \frac{S}{S_b} \quad ; \quad U_b^* = \frac{U}{U_b} \quad ; \quad I_b^* = \frac{I}{I_b} \quad ; \quad Z_b^* = \frac{Z}{Z_b} \quad ; \quad X_b^* = \frac{X}{X_b}$$

$$\text{d'où } Z_b^* = Z \frac{\sqrt{3} I_b}{U_b} = Z \frac{S_b}{U_b^2} \quad ; \quad X_b^* = X \frac{S_b}{U_b^2}$$

Les grandeurs nominales réduites :

$$S_n^* = \frac{S}{S_n} ; U_n^* = \frac{U}{U_n} ; I_n^* = \frac{I}{I_n} ; X_n^* = \frac{X}{X_n} \quad \text{d'où les}$$

grandeurs réduites de base s'écriront :

$$S_b^* = S_n \frac{S_n}{S_b} ; U_b^* = U_n \frac{U_n}{U_b} ; I_b^* = I_n \frac{I_n}{I_b} ; Z_b^* = \frac{Z_n}{Z_b} Z_n^* ;$$

2) Méthode directe de calcul des courants de C.C.^t:

Le schéma électrique de l'installation doit être transformé en un schéma équivalent avec toutes les réactances de tout les éléments exprimées en grandeurs réduites de base. A l'aide des processus de transfiguration des schémas électriques, le schéma équivalent sera lui même transformé jusqu'à obtenir une seule réactance entre le lieu du C.C.^t et la source. Ce sera donc la réactance globale (équivalente) notée X_e^*

A $t = 0$, le courant total en grandeur réduite sera

$$I''^* = \frac{E''^*}{X_e^*} = \text{courant surtransitoire}$$

E''^* est la tension surtransitoire de la source Dans les calculs pratiques elle est considérée comme égale à

$$E'' = I, I U_n \rightarrow E''^* = I, I \frac{U_n}{U_b} \quad \text{et comme on prend toujours}$$

$$U_b = U_n \quad \text{alors} \quad E''^* = I, I \rightarrow I''^* = \frac{I, I}{X_e^*}$$

A l'aide de cette méthode on ne peut pas calculer les courants de court-circuits, pour divers temps de déclenchement, et le courant de durée (stabilité).

Pour cela il faut avoir les courbes de variation des réactances des machines synchrones en fonction du temps. (page 17)

Il existe la méthode des courbes de calcul qui simplifie le problème en donnant directement la valeur de la

composante périodique du courant de $C^t.C^t$ triphasé, en grandeur réduite en fonction des réactances de calcul, et du temps. Cette méthode est utilisée suivant 2 cas.

3) Méthode des courbes de calcul:

3-1) Calcul dans l'hypothèse de la variation générale:

On considère dans ce cas, qu'on a une seule réactance générale. La méthode est la suivante:

- On détermine la réactance relative résultante du schéma.

- on détermine la réactance relative de calcul avec:

$$X_c^* = X_{b_z}^* \cdot \frac{S_{n_z}}{S_b} \quad ; \quad \text{avec:}$$

$X_{b_z}^*$ = réactance résultante du schéma en grandeur réduite, rapportée à la puissance de base.

S_{n_z} = somme des puissances nominales des générateurs qui participent à l'alimentation du $C^t.C^t$. (en MVA)

S_b = puissance de base (en MVA)

On détermine à l'aide des courbes de calcul les courants $I_{p.c.c.t}^*$ pour divers instants.

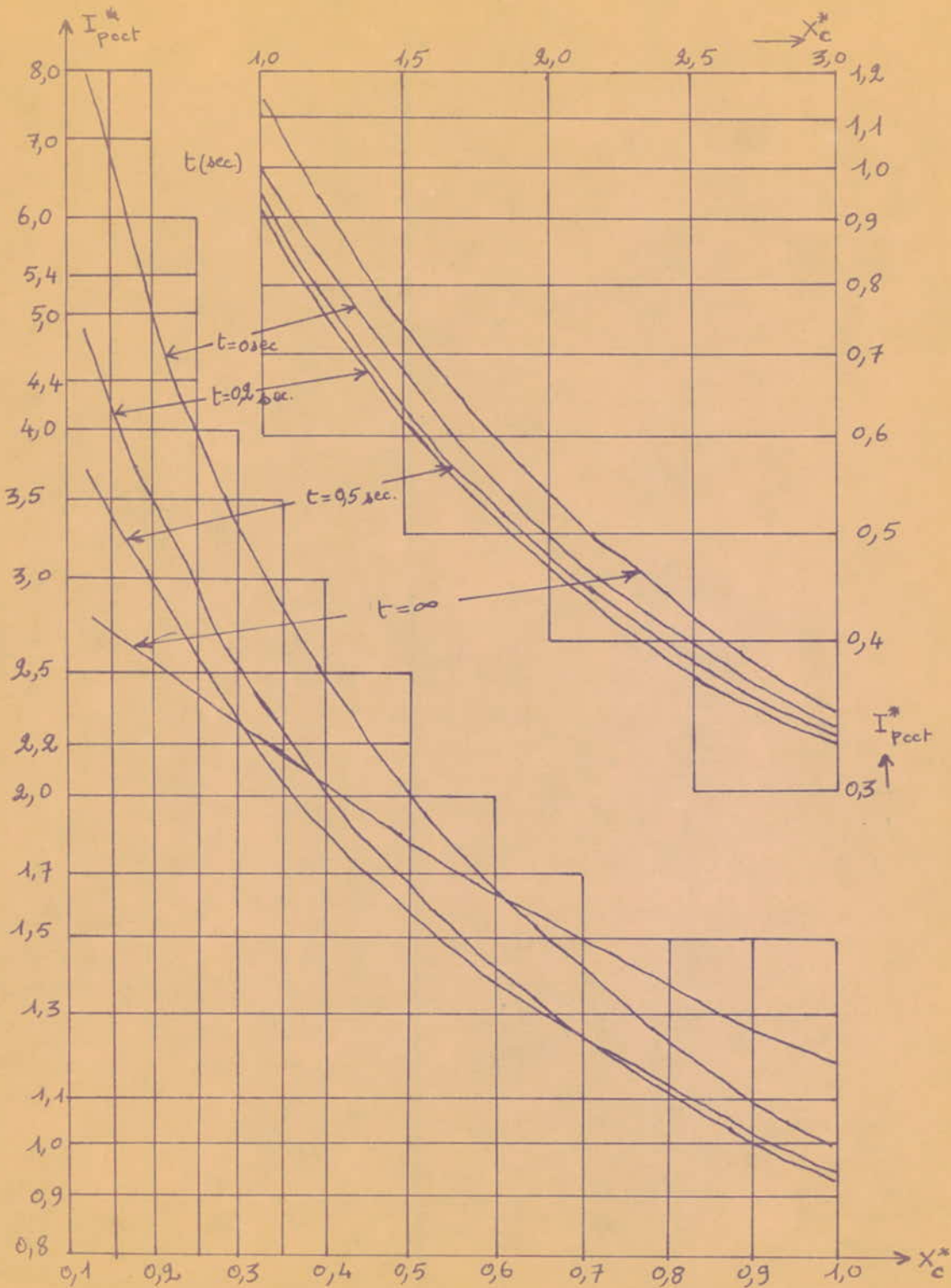
- on détermine la valeur de la composante périodique du courant de $C^t.C^t$ triphasé I_{pcct} (en A ou en KA), avec:

$$\underline{I_{pcct}} = \underline{I_{pcct}^* \cdot I_{n_z}} \quad \left(\begin{array}{l} I_{n_z} = \text{courant nominal total} \\ \text{des sources (A ou KA)} \\ = S_{n_z} / \sqrt{3} \cdot U \end{array} \right)$$

3-2) Calcul dans l'hypothèse de la variation séparée:

Ce cas est appliqué dans la situation où générateurs ou les sources, ont des conditions différentes par rapport au point de $C^t.C^t$.

On doit alors grouper les sources qui ont les caractéristiques suivantes:



Courbes de Calcul Pour Des.

Turbogénérateurs avec R.A.T.

- a) Les générateurs sont du même type, situés à des distances approximativement égales par rapport au lieu de C.^tC.^t
- b) Les générateurs sont du même type, ou de types différents, séparés de grandes impédances; quand $X_c^* > 1$.
- c) Les générateurs de même type, liés directement avec le point de C.^tC.^t, situés sur des branches indépendantes.

La méthode de calcul est la suivante dans ce cas:

- On détermine la réactance globale, en grandeur réduite à l'aide des transfigurations du schéma.
- On calcule les coefficients de distribution C_i
- On calcule les réactances de calcul de chaque branche avec la formule suivante:

$$X_{c(i)}^* = \frac{X_{bz}^* \cdot I_n(i)}{C_i \cdot I_b} = \frac{X_{bz}^* \cdot S_n(i)}{C_i \cdot S_b}$$

i : détermine la branche.

- on détermine les courants dans chaque branche, I_{pct}^* en grandeurs réduites, et ceci à l'aide des courbes de calcul. (graphie de la page 17)

- On calcule la composante périodique du courant de C.^tC.^t triphasé avec:

$$I_{pct} = I_{pct}^* \cdot I_n(i) \quad \text{avec} \quad I_n(i) = \frac{S_n(i)}{\sqrt{3} U_{med}}$$

U_{med} est la tension pour laquelle on calcule le C.^tC.^t

Si la valeur de la réactance de calcul d'une branche est supérieure à 3, on considère que le courant ne s'amortit pas, et sa valeur est donné par la relation:

$$I_p = I'' \approx I_\infty = \frac{I_b}{X_b^*}$$

Les courants de C.^tC.^t dans la branche de liaison avec le système énergétique, sont considérés non amortis et ils sont donnés par

la relation :

$$I_{p \text{ système}} = \frac{I_b}{X_{\text{syst.}b}^*}$$

- DETERMINATION du SCHEMA EQUIVALENT

de la CENTRALE en GRANDEURS REDUITES -

En considérant le schéma de la centrale d'ALGER-PORT, on voit qu'on a un schéma radial. Et un court-circuit en un point quelconque, de ce schéma sera alimenté, d'une part par les deux turbo-générateurs de la centrale, d'autre part par le système énergétique national, connecté sur les jeux de barres de 60 KV de la centrale.

I) Caractéristiques des éléments du schéma (Fournies par SONEELGAZ

-Alternateurs IGP et 2GP :

$$S_m = 75 \text{ MVA} ; U_m = 10,3 \text{ KV} ; I_m = 4210 \text{ A} ; \cos \varphi = 0,8$$

$$X_d'' = 19,8 \%$$

-Système énergétique :

Les puissances de C.C^t S_{cc} sur le jeu de barres 60 KV , relevées sur le simulateur du HAMMA

$$S_{cc \text{ max}} = 426 \text{ MVA} ; S_{cc \text{ min}} = 197 \text{ MVA}$$

-Transformateurs :

$$\text{-ITP} = 2\text{TP} : 10,3/60 \text{ KV} ; S_m = 75 \text{ MVA} ; U_{cc} = 9,7 \%$$

$$\text{-ITAt} = 2\text{TAt} : 10,3/5,5 \text{ KV} ; S_m = 5,5 \text{ MVA} ; U_{cc} = 7,6 \%$$

$$\text{-TAD I} : 60/5,5 \text{ KV} ; S_m = 5,5 \text{ MVA} ; U_{cc} = 7,6 \%$$

$$\text{-TAD 2} : 60/5,5 \text{ KV} ; S_m = 11 \text{ MVA} ; U_{cc} = 20,4 \%$$

$$60/11 \text{ KV} ; S_m = 30 \text{ MVA} ; U_{cc} = 12,5 \%$$

$$\text{-ITAc} = \text{ITAm} = \text{I2TAi} = \text{I2TAc} = 2\text{TAm} = 2\text{TAc} :$$

$$5,5/0,38 \text{ KV} ; S_m = 400 \text{ KVA} ; U_{cc} = 4,5 \%$$

-Cables (sections et longueurs) : voir tableau de la données page 21 et le schéma de la page 22

Le tableau de la page 24 donne aussi les impédances des câbles
Ces impédances ont été déterminées à l'aide des courbes

$r = f(s)$ et $x = f(s, U)$. L'impédance d'un câble est donnée

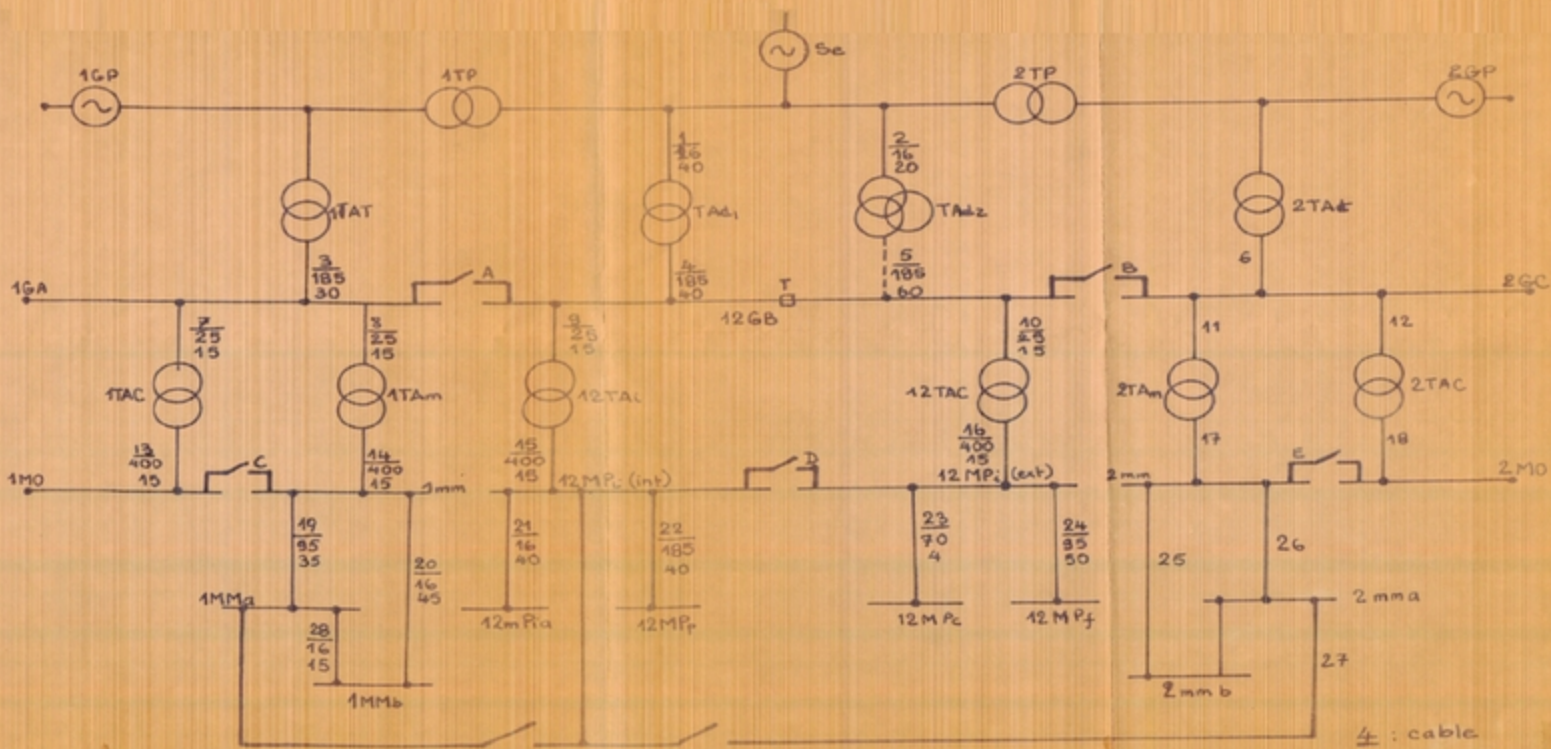
par : $Z = \sqrt{r^2 + x^2} \cdot L$

r et x étant les résistances
et réactances linéiques des
câbles données par les courbes.

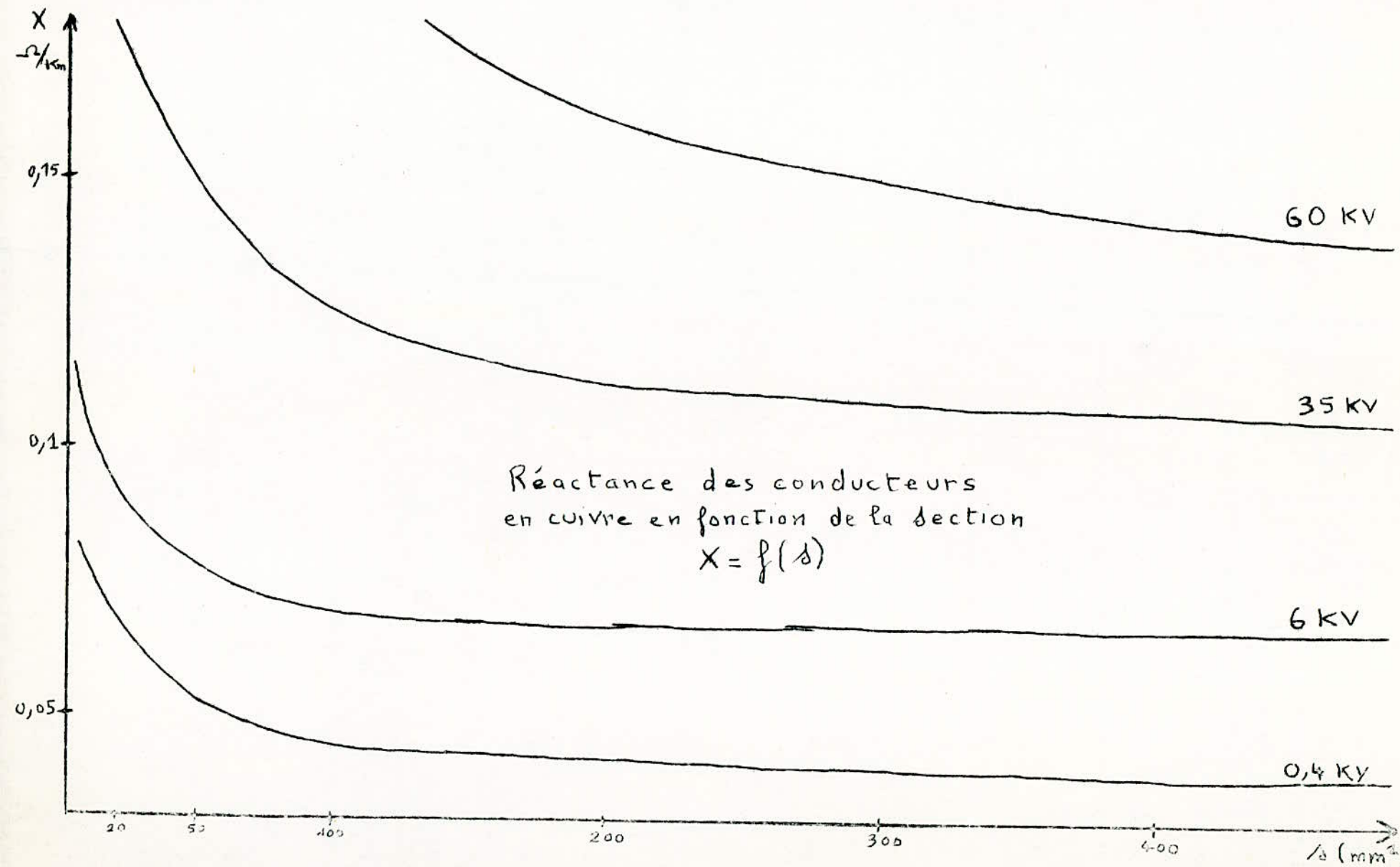
L = longueur du câble.

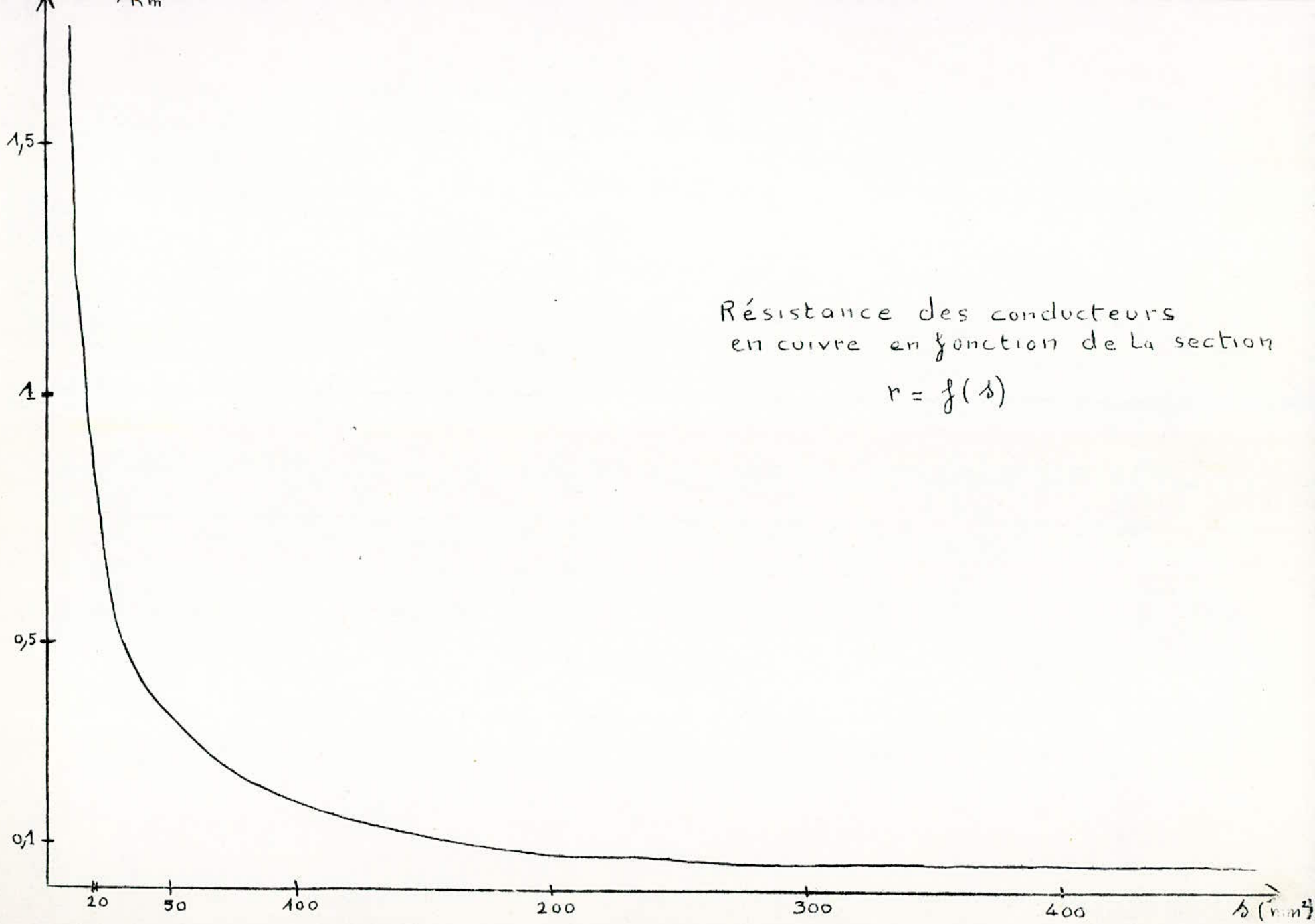
Cables	Sections mm ²	r (Ω/Km)	U (KV)	x (Ω/Km)	L(m)	Z (Ω)
I	I6	I,2	60		40	0,014
2	I6	I,2	60		20	0,022
3	I85	0,1	6	0,066	30	0,004
4	I85	0,1	6	0,066	40	0,005
5	I85	0,1	6	0,066	60	0,007
6	I85	0,1	6	0,066	30	0,004
7	25	0,7	6	0,094	I5	0,01
8	25	0,7	6	0,094	I5	0,01
9	25	0,7	6	0,094	I5	0,01
I0	25	0,7	6	0,094	I5	0,01
II	25	0,7	6	0,094	I5	0,01
I2	25	0,7	6	0,094	I5	0,01
I3	400	0,05	0,4	0,04	I5	0,001
I4	"	"	"	"	"	0,001
I5	"	"	"	"	"	"
I6	"	"	"	"	"	"
I7	"	"	"	"	"	"
I8	"	"	"	"	"	"
I9	95	0,2	"	0,04	35	0,007
20	I6	I,2	"	0,058	45	0,054
2I	I6	I,2	"	0,058	40	0,048
22	I85	0,1	"	0,04	40	0,004
23	70	0,25	"	0,043	4	0,01
24	95	0,2	"	0,041	50	0,01
25	I6	I,2	"	0,058	45	0,054
26	95	0,2	"	0,04	35	0,007
27	I6	I,2	"	0,058	I5	0,018
28	I6	I,2	"	0,058	I5	0,018

CARACTÉRISTIQUES DES CABLES



4 : cable
 185 : section en mm²
 40 : longueur en m





2) Calcul des réactances en grandeurs réduites:

- Puissance de base: $S_b = 1000$ MVA

- Tensions de base:

$U_{b1} = 10,3$ KV	$I_{b1} = 56$ KA
$U_{b2} = 60$ KV	$I_{b2} = 9,6$ KA
$U_{b3} = 5,5$ KV	$I_{b3} = 105$ KA
$U_{b4} = 0,380$ KV	$I_{b4} = 1521$ KA

Réactances en grandeurs réduites des éléments:

2-1) Générateurs 1GP et 2GP :

$$X_d'' = 19,8 \% \quad ; \quad S_m = 75 \text{ MVA}$$

$$X_d'' = 100 X_{ng}^* \rightarrow X_{ng}^* = X_d'' / 100 = \frac{19,8}{100} = 0,198$$

$$\text{d'ou } X_{G1}^* = X_{G2}^* = X_{ng}^* \frac{S_b}{S_m} = 0,198 \frac{1000}{75}$$

$$\underline{X_{G1}^* = X_{G2}^* = 2,64}$$

2-2) Système énergétique :

$$\begin{cases} X_{cc \text{ max}}^* = \frac{S_b}{S_{cc \text{ max}}} = \frac{1000}{426} = 2,35 \\ X_{cc \text{ min}}^* = \frac{S_b}{S_{cc \text{ min}}} = \frac{1000}{197} = 5,075 \end{cases}$$

2-3) Transformateurs:

$$X_{mt}^* = \frac{U_{cc} (\%)}{100} \quad \text{et} \quad X = X_{mt}^* \cdot \frac{S_b}{S_m}$$

a) 1TP et 2TP : $U_{cc} (\%) = 9,7$; $S_m = 75$ MVA

$$X_{1TP}^* = X_{2TP}^* = 0,097 \frac{1000}{75} = 1,3$$

b) ITAt = 2TAt = TAD I : $U_{cc}(\%) = 7,6$; $S_n = 5,5$ MVA

$$X_{m\ ITAt}^* = X_{m\ 2TAt}^* = X_{m\ TADI}^* = 0,076$$

$$X_{ITAt}^* = X_{2TAt}^* = X_{TADI}^* = 0,076 \frac{1000}{5,5} = 13,8$$

c) TAD2 : $U_{cc}(\%) = 20,4$; $S_n = 11$ MVA

$$X_{m\ TAD2}^* = 0,204 \rightarrow X_{TAD2}^* = 0,204 \frac{1000}{11} \cdot \frac{11}{30} = 6,78$$

d) ITAc = ITAm = I2TAi = I2TAe = 2TAc = 2TAm :

$$U_{cc}(\%) = 4,5$$
 ; $S_n = 0,4$ MVA

$$X_{m\ ITAc}^* = X_{n\ ITAm}^* = \dots = 0,045$$

$$X_{ITAc}^* = X_{2TAm}^* = \dots = 0,045 \frac{1000}{0,4} = 112,5$$

$$X^* = 112,5$$

2-4) Conducteurs : $X^* = X_m \cdot \frac{S_b}{U_b^2}$

(S_b en MVA et U_b en KV)

$$X_{Im} = 0,044 \ \Omega \rightarrow X_I^* = 0,044 \frac{1000}{60^2} = 0,012$$

$$X_{n2} = 0,022 \ \Omega \rightarrow X_2^* = 0,022 \frac{1000}{60^2} = 0,0061$$

$$X_{n3} = X_{m6} = 0,004 \ \Omega \quad X_3^* = X_6^* = 0,004 \frac{1000}{5,5^2} = 0,132$$

$$X_{m4} = 0,005 \ \Omega \rightarrow X_4^* = 0,005 \frac{1000}{5,5^2} = 0,165$$

$$X_{m5} = 0,007 \ \Omega \rightarrow X_5^* = 0,007 \frac{1000}{5,5^2} = 0,23$$

$$X_{n7} = X_{n8} = X_{n9} = X_{n10} = X_{n11} = X_{n12} = 0,01 \Omega \rightarrow$$

$$X_7^* = X_8^* = X_9^* = X_{10}^* = X_{11}^* = X_{12}^* = 0,01 \frac{1000}{5,5^2} = 0,33$$

$$X_{m13} = X_{n14} = X_{m15} = X_{n16} = X_{m17} = X_{n18} = 0,001 \Omega \rightarrow$$

$$X_{13}^* = X_{14}^* = X_{15}^* = X_{16}^* = X_{17}^* = X_{18}^* = 0,001 \frac{1000}{7} = 7$$

$$X_{m19} = X_{n26} = 0,007 \Omega ; X_{19}^* = X_{26}^* = 0,007 \frac{1000}{0,380^2} = 48,5$$

$$X_{n20} = X_{n25} = 0,054 \Omega ; X_{20}^* = X_{25}^* = 0,054 \frac{1000}{0,380^2} = 374$$

$$X_{m21} = 0,048 \Omega \rightarrow X_{21}^* = 0,048 \frac{1000}{0,380^2} = 330$$

$$X_{m22} = 0,004 \Omega \rightarrow X_{22}^* = 0,004 \frac{1000}{0,380^2} = 27,7$$

$$X_{m23} = X_{n24} = 0,01 \Omega ; X_{23}^* = X_{24}^* = 0,01 \frac{1000}{0,380^2} = 70$$

$$X_{m27} = X_{n28} = 0,018 \Omega ; X_{27}^* = X_{28}^* = 0,018 \frac{1000}{0,380^2} = 124,5$$

(voir schéma en grandeurs réduites, page 27)

CALCUL des COURANTS de $C^t.C^t$

En considérant le schéma de la centrale, on voit qu'on a une quarantaine de lieux de $C^t.C^t$ possible. Et pour chaque lieu, on doit étudier tout les cas possible de cheminement des courants, alors pour simplifier on ne fera pas les calculs pour les lieux de $C^t.C^t$ pour lesquels on obtient des valeurs intermédiaires. Par exemple pour un $C^t.C^t$ en K_5 , la valeur du courant est, à priori comprise entre les valeurs des courants de $C^t.C^t$ des points K_{II} et K_8 . Il en est de même pour K_3, K_4, K_6 et K_7 dont les valeurs sont intermédiaires à celles de K_2 et K_9 . On remarque aussi qu'on a des points de $C^t.C^t$ dont les valeurs des courants seront égales, par exemple on a $K_8 = K_8' = K_9 = K_9'$. D'autre part il y a des points qui sont symétriques (cas des points de $C^t.C^t$ des auxiliaires de tranche I et de tranche 2) Donc à partir de ces considérations on fera les calculs pour les points suivants :

$K_I (= K_I')$; $K_2 (= K_2')$; $K_8 (= K_8' = K_9 = K_9')$; $K_{IO} (= K_{II} = K_{I2} = K_{I2}' = K_{II}' = K_{IO}')$; $K_{I3} (= K_{I4} = K_{I5} = K_{I5}' = K_{I4}' = K_{I3}')$; $K_{I6} (= K_{I7} = K_{I8} = K_{I8}' = K_{I7}' = K_{I6}')$; $K_{I9} (= K_{I9}')$; $K_{24} (= K_{24}')$; K_{20} ; K_{2I} ; K_{22} et enfin K_{23} . (voir schéma des lieux de $C^t.C^t$, page 2+)

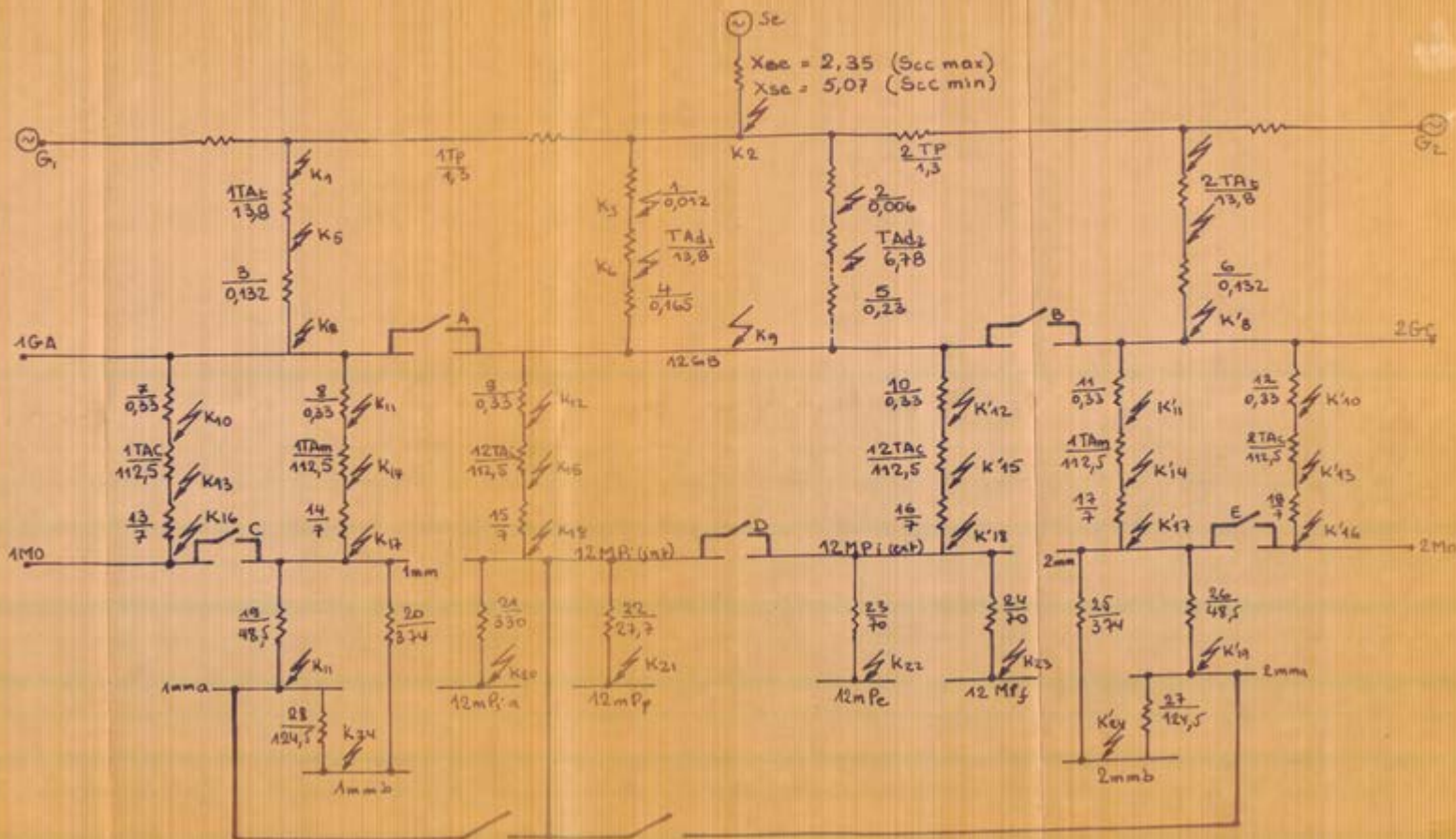
Pour ces lieux de $C^t.C^t$ nous feront les calculs dans les deux cas suivants :

- Cas ou les courants de $C^t.C^t$ sont maximums (cas défavorables), ceci pour pouvoir dimensionner l'appareillage électrique.

- Cas ou les courants de $C^t.C^t$ sont minimums et cela pour l'étude de la protection électrique de l'installation.

- SCHEMA DE LIEUX DE COURT-CIRCUIT -

réactances réduites



I) Gas des Courants Maximums

On calculera les courants surtransitoires I'' , par la méthode directe.

Pour les courants maximums, il faut toujours chercher le cheminement des courants, qui donnera une réactance équivalente la plus petite possible.

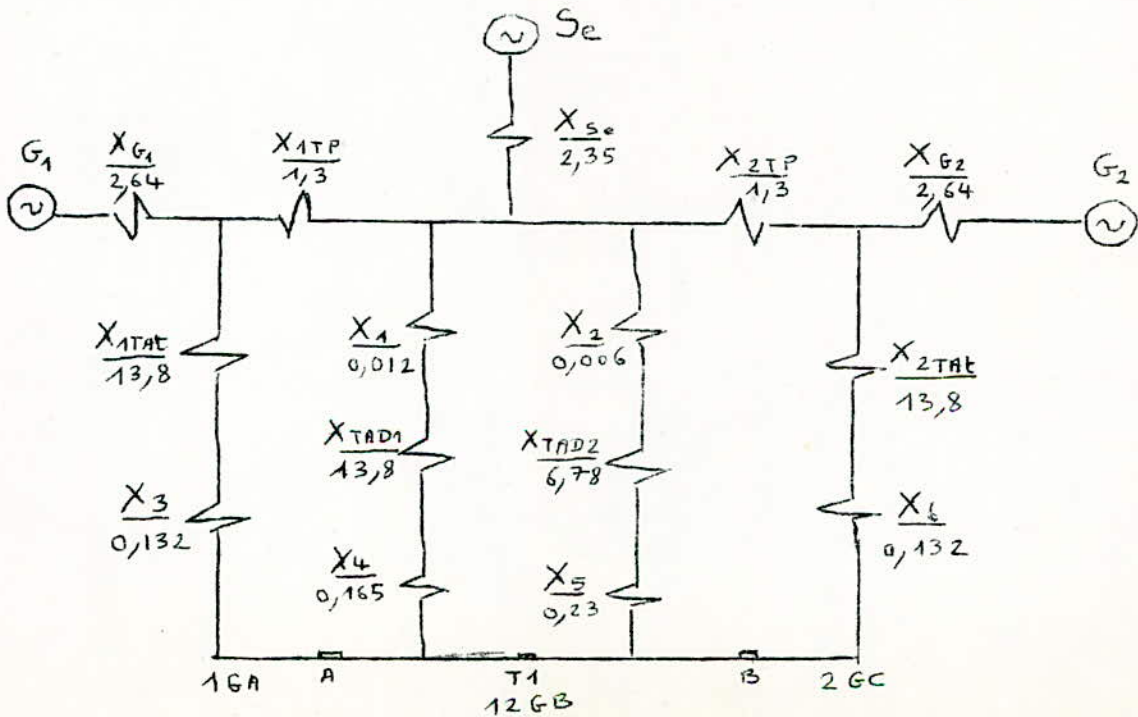
Le schéma étant radial, un C.C^t en un point quelconque sera maximum, lorsque les 3 sources d'énergie sont connectées.

Donc du point de vue des sources nous avons une seule variante c'est lorsque ces 3 sources sont en service : $G_1 + G_2 + S_e$.

Pour le système énergétique, dans cette situation on prendra $S_{cc} = S_{cc \max} = 426 \text{ MVA}$ donc $X_{S_e} = 2,35$

A) Court-Circuit en K_I :

Les courants de C.C^t sont maximums, lorsque le jeu de barres 5,5 KV est alimenté simultanément par les 4 transformateurs (1TAt, 2TAt, TAD1 ET TAD2). Les disjoncteurs A, T_I et B sont fermés. D'où le schéma :



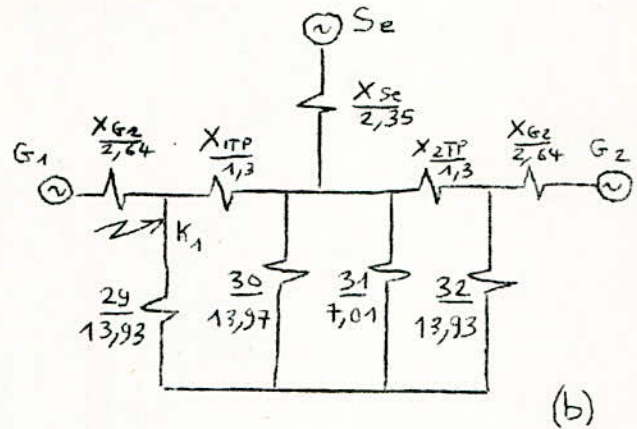
Groupons les réactances en série:

$$X_{29} = X_{ITAt} + X_3 = 13,93$$

$$X_{30} = X_I + X_{TADI} + X_4 = 13,97$$

$$X_{3I} = X_2 + X_{TAD2} + X_5 = 7,01$$

$$X_{32} = X_{2TAt} + X_6 = 13,93$$



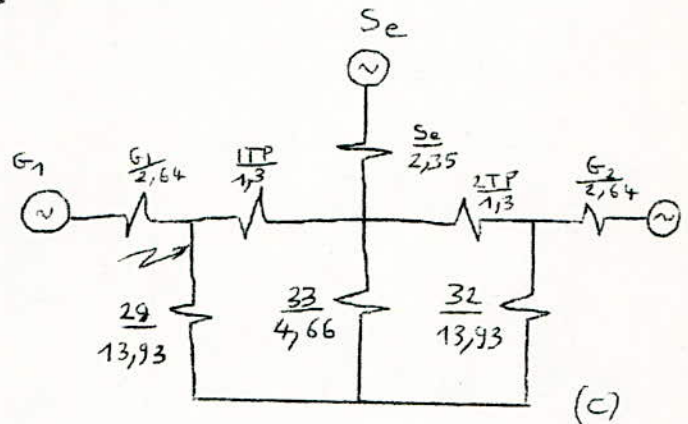
(b)

X_{30} et X_{3I} sont en parallèle:

$$X_{33} = X_{30} // X_{3I}$$

$$X_{33} = \frac{X_{30} \cdot X_{3I}}{X_{30} + X_{3I}}$$

$$X_{33} = \frac{13,97 \cdot 7,01}{13,97 + 7,01} = 4,66$$

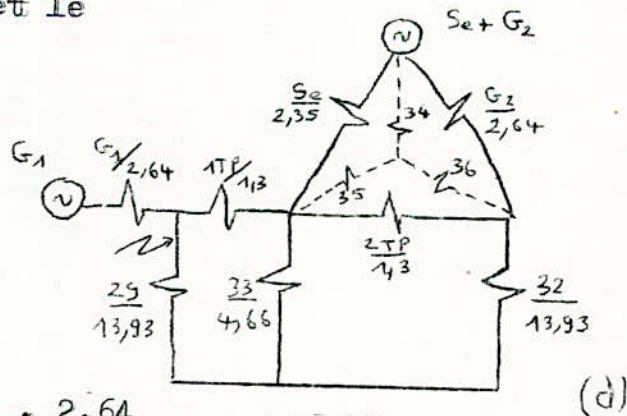


(c)

Groupons le générateur G_2 et le système énergétique S_e . Et transformons le triangle

(X_{Se} , X_{2TP} , X_{G2}) en

étoile (34, 35, 36)



(d)

$$X_{34} = \frac{X_{Se} X_{G2}}{X_{Se} + X_{G2} + X_{2TP}} = \frac{2,35 \cdot 2,64}{2,35 + 2,64 + 1,3} = 0,985$$

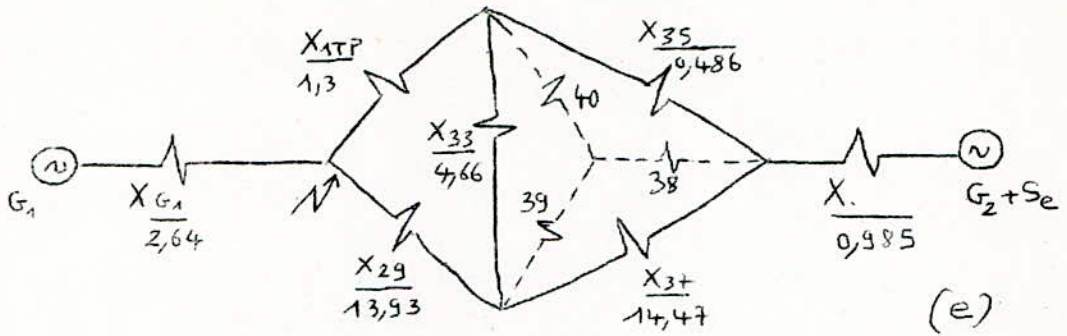
$$X_{34} = 0,985$$

$$X_{35} = \frac{X_{Se} X_{2TP}}{X_{Se} + X_{G2} + X_{2TP}} = \frac{2,35 \cdot 1,3}{6,29} = 0,486$$

$$X_{35} = 0,486$$

$$X_{36} = \frac{X_{G2} X_{2TP}}{X_{Se} + X_{G2} + X_{2TP}} = \frac{2,64 \cdot 1,3}{6,29} = 0,545$$

$$X_{36} = 0,545$$



$$X_{37} = X_{36} + X_{32} = 0,545 + 13,93 = 14,47$$

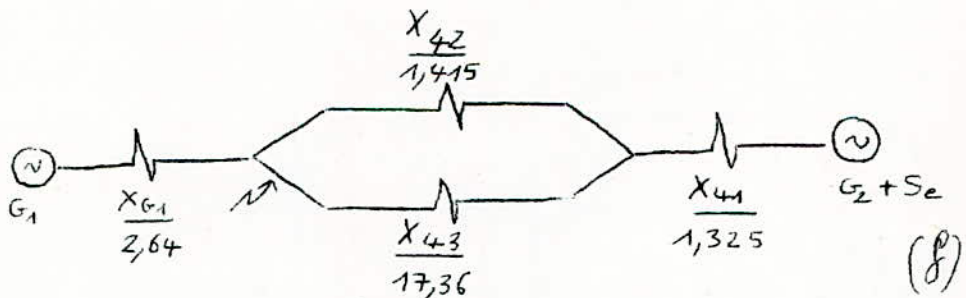
Transformons le triangle (33, 35, 37) en étoile (38, 39, 40)

$$X_{38} = \frac{X_{35} \cdot X_{37}}{X_{35} + X_{33} + X_{37}} = \frac{0,486 \cdot 14,47}{0,486 + 4,66 + 14,47} = 0,35$$

$$X_{39} = \frac{X_{33} \cdot X_{37}}{\text{"}} = \frac{4,66 \cdot 14,47}{19,62} = 3,43$$

$$X_{40} = \frac{X_{33} \cdot X_{40}}{\text{"}} = \frac{4,66 \cdot 0,486}{19,62} = 0,115$$

En groupant les réactances qui sont en série, X_{38} et X_{34} , X_{ATP} et X_{40} , X_{29} et X_{39} , alors on obtient le schéma (f)



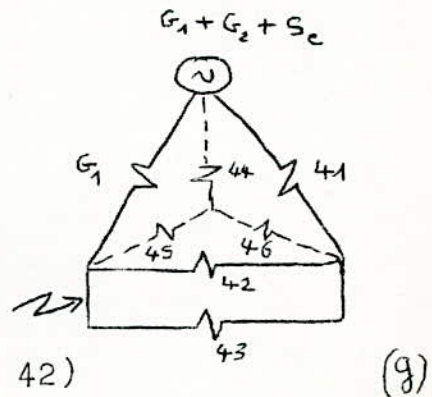
$$X_{41} = X_{38} + X_{34} = 0,35 + 0,985 = 1,325$$

$$X_{42} = X_{ATP} + X_{40} = 1,3 + 0,115 = 1,415$$

$$X_{43} = X_{29} + X_{39} = 13,93 + 3,43 = 17,36$$

En groupant la 3^{ème} source G_I avec les 2 autres déjà réunies ($G_2 + S_e$) on obtient le schéma (g)

Transformons alors le triangle (G_I , 41, 42) en étoile (44, 45, 46)

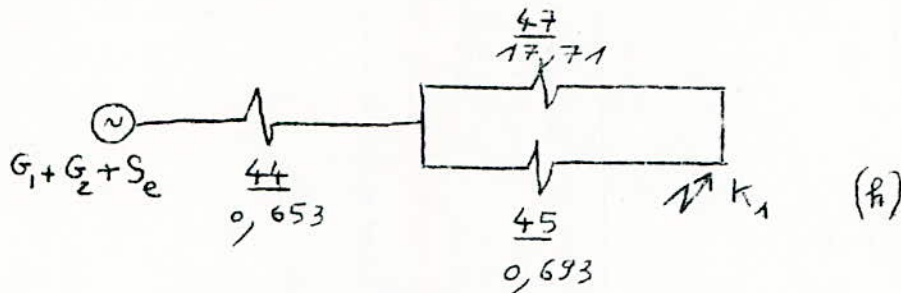


$$X_{44} = \frac{X_{G1} \cdot X_{41}}{X_{G1} + X_{41} + X_{42}} = \frac{2,64 \cdot 1,335}{2,64 + 1,335 + 1,415} = 0,653$$

$$X_{45} = \frac{X_{G1} \cdot X_{42}}{X_{G1} + X_{41} + X_{42}} = \frac{2,64 \cdot 1,415}{5,39} = 0,693$$

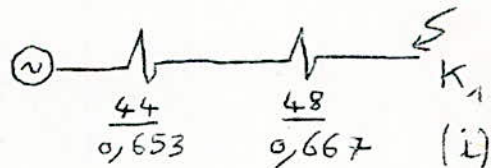
$$X_{46} = \frac{X_{41} \cdot X_{42}}{X_{41} + X_{42}} = \frac{1,335 \cdot 1,415}{2,75} = 0,35$$

Les réactances X_{46} et X_{43} sont en series, en les groupant on aura $X_{47} = 17,36 + 0,35 = 17,71$



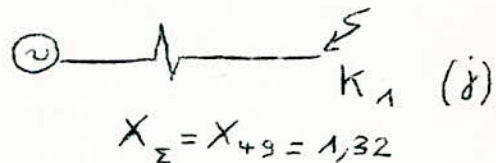
$$X_{48} = X_{47} // X_{45} = \frac{X_{45} \cdot X_{47}}{X_{45} + X_{47}} = \frac{0,693 \cdot 17,71}{0,693 + 17,71} = 0,667$$

$$X_{49} = X_{44} + X_{48} = 0,653 + 0,667$$



Donc on obtient la réactance équivalente :

$$\underline{X_{49}^* = X_{\Sigma}^* = 1,32}$$



2) Courant I'' au point de C.C^t K_{II} :

$$I''^* = \frac{I_2 I}{X_{\Sigma}^*} = \frac{I_2 I}{1,32} = 0,833$$

$$I''_{KI} = I''^* \cdot I_{bII} = 0,833 \cdot 56,12 = 46,747 \text{ KA}$$

Donc $I_{KI}'' = 46,747 \text{ KA}$

3) Détermination des coefficients de répartition :

Ces coefficients de répartition nous donnent les valeurs des courants dans toutes les branches, qui participent à l'alimentation du C.C.^{tt}. On doit vérifier que la somme des coefficients des branches des générateurs est égale à I : $C_{G1} + C_{G2} + C_{Se} = I$

On a : $C_{49} = C_{48} = C_{44} = I$

$$C_{48} = C_{45} // C_{47} \Rightarrow \begin{cases} \frac{C_{48} X_{48}}{X_{45}} = \frac{0,667}{0,693} = 0,962 \\ \frac{C_{48} X_{48}}{X_{47}} = \frac{0,667}{17,71} = 0,0376 \end{cases}$$

$X_{47} = X_{43} + X_{46} \Rightarrow C_{47} = C_{43} = C_{46} = 0,0376$

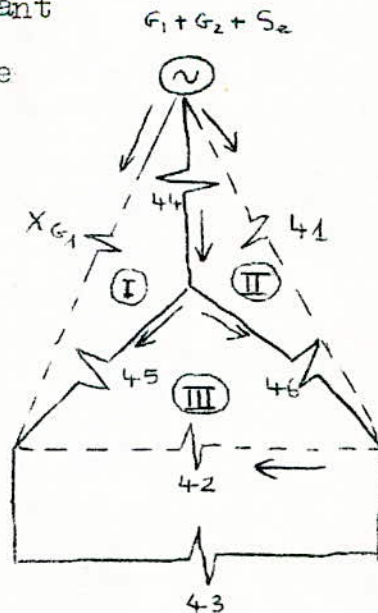
A l'aide du schéma (g), on détermine les coefficients C_{G1} , C_{41} et C_{42} en passant de l'étoile (44, 45, 46) au triangle (G1, 41, 42).

$$\begin{cases} C_{44} = I \\ X_{44} = 0,653 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_{45} = 0,962 \\ X_{45} = 0,693 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_{46} = 0,037 \\ X_{46} = 0,35 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{G1} = 2,64 \\ X_{41} = 1,335 \\ X_{42} = 1,415 \end{cases}$$



En utilisant les lois de Kirchoff, on aura :

- Maille I : $C_{G1} = \frac{C_{45} \cdot X_{45} + C_{44} \cdot X_{44}}{X_{G1}} = \frac{0,962 \cdot 0,693 + 0,653}{2,64} = 0,5 = (0,4996)$

$$\text{Maille II : } C_{41} = \frac{C_{46}X_{46} + C_{44}X_{44}}{X_{41}} = \frac{0,037 \cdot 0,35 + 0,653}{1,335} = 0,5 \quad (\neq 0,4988)$$

$$\text{Maille III: } C_{42} = \frac{C_{45}X_{45} - C_{46}X_{46}}{X_{42}} = \frac{0,962 \cdot 0,693 - 0,037 \cdot 0,35}{1,415} = 0,46$$

Donc : $C_{GI} = 0,499$; $C_{41} = 0,498$; $C_{42} = 0,46$;

En passant du schéma (f) au schéma (e), on sépare les réactances qui étaient groupées en série :

$$X_{41} = X_{38} + X_{34} \rightarrow C_{41} = C_{38} = C_{34} = 0,498$$

$$X_{42} = X_{ITP} + X_{40} \rightarrow C_{42} = C_{ITP} = C_{40} = 0,46$$

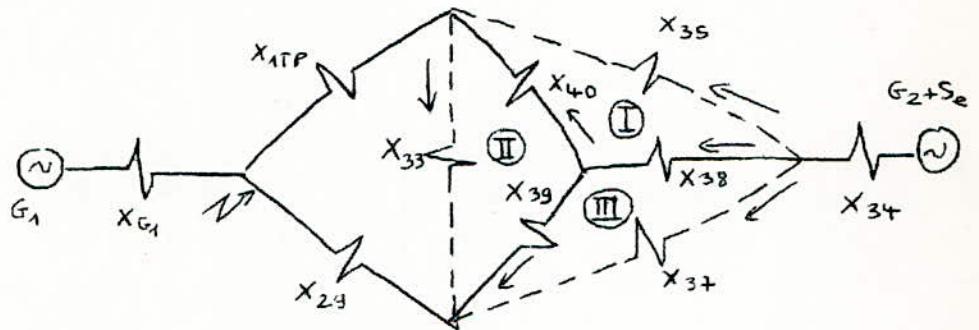
$$X_{43} = X_{29} + X_{39} \rightarrow C_{43} = C_{29} = C_{39} = 0,037$$

En séparant la source G_I , on retrouve le schéma (e). Il nous faut donc passer de l'étoile (38, 39, 40) au triangle (33, 35, 37).

$$\begin{cases} C_{38} = 0,498 \\ X_{38} = 0,35 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_{39} = 0,037 \\ X_{39} = 3,43 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_{40} = 0,46 \\ X_{40} = 0,115 \end{cases}$$



$$X_{33} = 4,66 ; X_{35} = 0,486 ; X_{37} = 14,47$$

$$\text{-Maille I: } C_{35} = \frac{C_{40}X_{40} + C_{38}X_{38}}{X_{35}} = \frac{0,46 \cdot 0,115 + 0,498 \cdot 0,35}{0,486} = 0,467$$

$$\text{-Maille II: } C_{33} = \frac{C_{39}X_{39} - C_{40}X_{40}}{X_{33}} = \frac{0,037 \cdot 3,43 - 0,46 \cdot 0,115}{4,66} = 0,015$$

$$\text{-Maille III: } C_{37} = \frac{C_{39}X_{39} + C_{38}X_{38}}{X_{37}} = \frac{0,037 \cdot 3,43 + 0,498 \cdot 0,35}{14,47} = 0,02$$

$$C_{33} = 0,015 ; C_{35} = 0,467 ; C_{37} = 0,02 ;$$

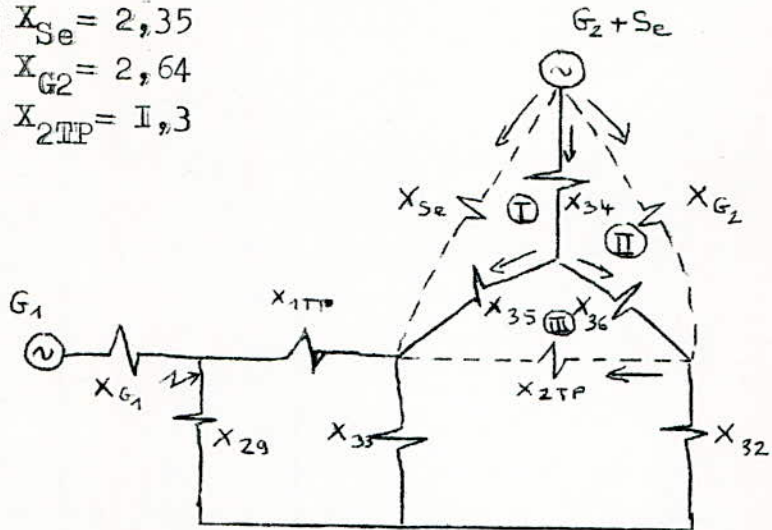
$$X_{37} = X_{32} + X_{36} \rightarrow C_{37} = C_{32} = C_{36} = 0,02$$

On transforme enfin l'étoile (34, 35, 36) en triangle (Se, G₂, 2TP)

$$\begin{cases} C_{34} = 0,498 \\ X_{34} = 0,985 \end{cases} \quad \begin{cases} X_{Se} = 2,35 \\ X_{G2} = 2,64 \\ X_{2TP} = 1,3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_{35} = 0,467 \\ X_{35} = 0,486 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_{36} = 0,02 \\ X_{36} = 0,545 \end{cases}$$



- Maille I :

$$C_{Se} = \frac{C_{35} X_{35} + C_{34} X_{34}}{X_{Se}} = \frac{0,227 + 0,49}{2,35} = 0,305$$

- Maille II :

$$C_{G2} = \frac{C_{34} X_{34} + C_{36} X_{36}}{X_{G2}} = \frac{0,49 + 0,011}{2,64} = 0,189$$

- Maille III :

$$C_{2TP} = \frac{C_{35} X_{35} - C_{36} X_{36}}{C_{2TP}} = \frac{0,227 - 0,011}{1,3} = 0,166$$

Pour obtenir le schéma (a), il nous reste donc à décomposer la réactance X_{33} en 2 réactances parallèles de départ X_{30} et X_{3I}

$$C_{3I} = \frac{C_{33} X_{33}}{X_{3I}} = \frac{0,015 \cdot 4,66}{7,01} = 0,01 \quad \text{et} \quad C_{30} = \frac{C_{33} X_{33}}{X_{30}} = \frac{0,015 \cdot 4,66}{13,97} = 0,0053$$

On a ainsi les coefficients de répartition de toutes les branches. On vérifie que la somme des coefficients des branches des 3 sources est égale à 1 :

$$C_{G1} + C_{G2} + C_{Se} = 0,499 + 0,305 + 0,189 = 0,993 \neq 1$$

On peut maintenant déterminer les courants circulant dans chaque branche pendant le C.C.^t;

$$I_i'' = I'' \cdot C_i \cdot I_b$$

$$(I'' = 0,833)$$

I_i'' : courant dans la
branche i

I'' : Courant au lieu de $C \cdot C^t$
en valeur réduite

C_i : coefficient de répartition
de la branche i

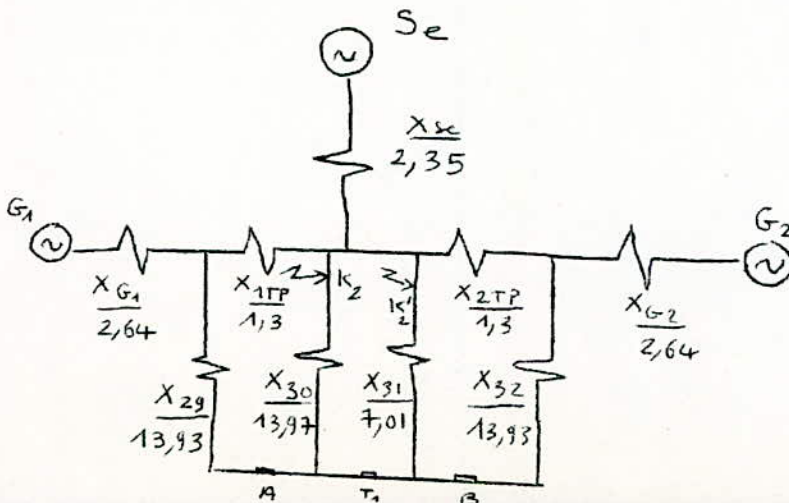
I_b : courant de base

branches	C_i	I_b (KA)	I_i'' (KA)
X_{G1}	0,499	56,12	23,323
X_{G2}	0,189	56,12	8,833
X_{Se}	0,305	9,63	2,446
K_I	I	56,12	46,747
X_I	0,0053	9,63	0,0425
X_2	0,0105	9,63	0,084
X_3	0,037	105	3,24
X_4	0,0053	105	0,464
X_5	0,0105	105	0,92
X_6	0,02	105	1,75

B) $C \cdot C^t$ en K_2 :

Le $C \cdot C^t$ en K_2 est maximum pour le meme schéma que celui de K_I (schéma A, a).

I) Transfiguration du schéma :



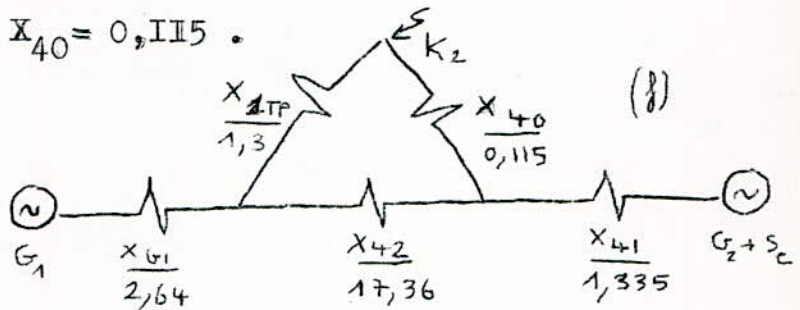
Jusqu'au schéma (e), on a les mêmes transfigurations qu'en (A) avec les mêmes valeurs des réactances et qui sont:

$$X_{33} = 4,66 ; X_{34} = 0,985 ; X_{35} = 0,486 ; X_{36} = 0,545 ; X_{37} = 14,47$$

$$X_{38} = 0,35 ; X_{39} = 3,43 ; X_{40} = 0,115 .$$

$$X_{41} = X_{38} + X_{34} = 1,335$$

$$X_{42} = X_{29} + X_{39} = 17,36$$



On groupe la 3^{ème} source avec les 2 autres $G_I + G_2 + S_e$ et on transforme le triangle ($G_I, 4I, 42$) en étoile (43,44,45)

$$X_{43} = \frac{X_{GI} X_{4I}}{X_{GI} + X_{4I} + X_{42}} = 0,165$$

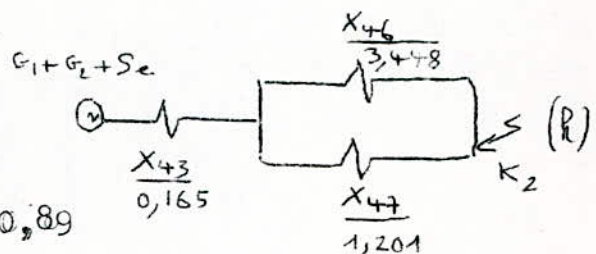
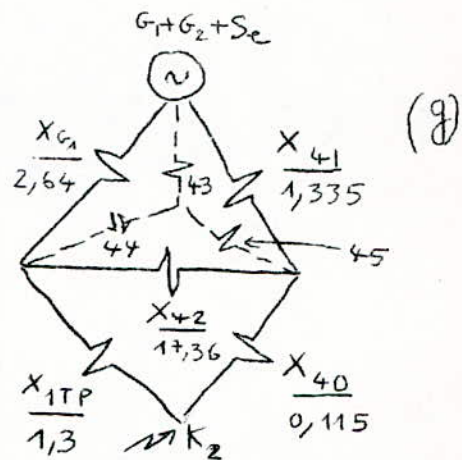
$$X_{44} = \frac{X_{GI} X_{42}}{''} = 2,148$$

$$X_{45} = \frac{X_{4I} X_{42}}{''} = 1,086$$

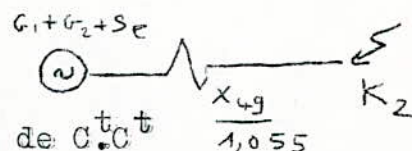
$$X_{46} = X_{44} + X_{1TP} = 3,448$$

$$X_{47} = X_{45} + X_{40} = 1,201$$

$$X_{48} = X_{46} // X_{47} = \frac{1,201 \cdot 3,448}{1,201 + 3,448} = 0,89$$



Enfin on obtient : $X_{\Sigma} = X_{49} = 1,055$



2) Courant surtransitoire I'' au lieu de $C \cdot C^t$

$$I''^* = \frac{I \cdot I}{1,055} = 1,04$$

$$I''_{K2} = 1,04 \cdot 9,63 = 10 \text{ KA}$$

$$(I_b = 9,63 \text{ KA})$$

3) Détermination des coefficients de répartition:

$$C_{49} = C_{48} = C_{43} = I$$

$$C_{48} = C_{47} // C_{46}$$

$$C_{47} = \frac{0,89}{1,2} = 0,74$$

$$C_{46} = \frac{0,89}{3,448} = 0,258$$

$$C_{46} = C_{44} = C_{IIP} = 0,258$$

$$C_{47} = C_{45} = C_{40} = 0,74$$

En passant de l'étoile (43,44,45) au triangle (GI,4I,42):

$$C_{GI} = \frac{0,554 + 0,165}{2,64} = 0,272$$

$$C_{4I} = \frac{0,803 + 0,165}{1,335} = 0,725 = C_{38} = C_{34}$$

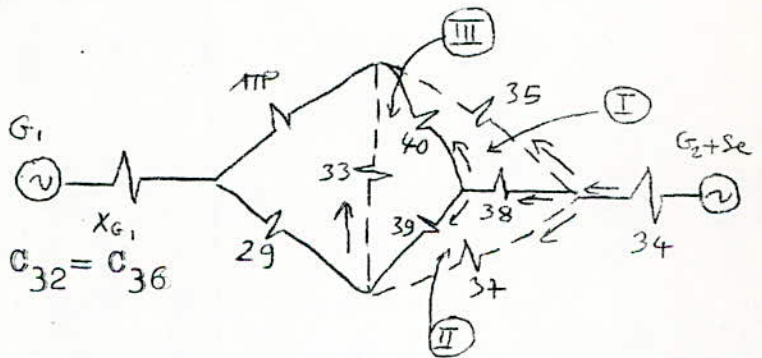
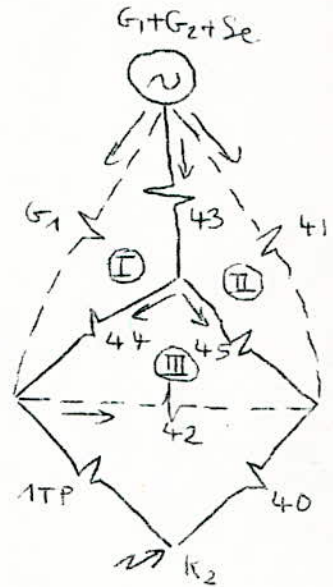
$$C_{42} = \frac{0,803 - 0,554}{17,36} = 0,014 = C_{29} = C_{39}$$

- En passant de l'étoile (38,39,40) au triangle (33,35,37) on aura:

$$C_{35} = \frac{0,085 + 0,253}{0,486} = 0,695$$

$$C_{33} = \frac{0,085 - 0,048}{4,66} = 0,008$$

$$C_{37} = \frac{0,048 + 0,253}{14,47} = 0,02 = C_{32} = C_{36}$$



Enfin en passant de l'étoile (34,35,36) au triangle (Se, G2, 2TP)

$$C_{Se} = \frac{0,337 + 0,714}{2,35} = 0,446$$

$$C_{G2} = \frac{0,011 + 0,714}{2,64} = 0,274$$

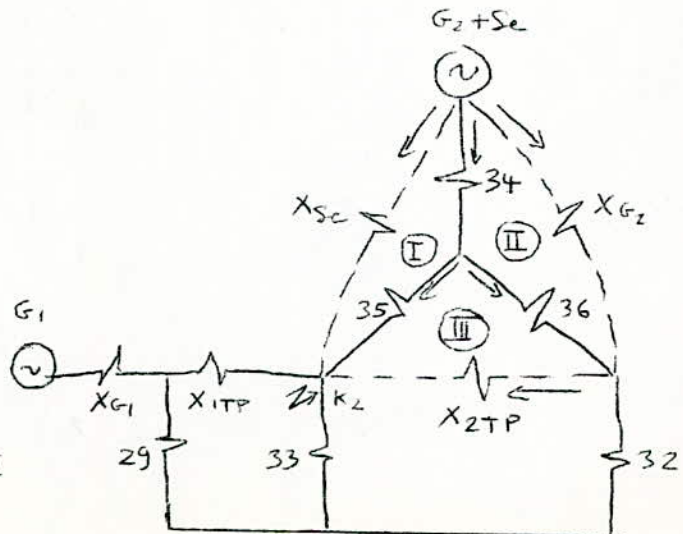
$$C_{2TP} = \frac{0,337 - 0,011}{1,3} = 0,25$$

On a $C_{33} = C_{30} // C_{3I}$

$$C_{30} = 0,0026$$

$$C_{3I} = 0,0053$$

$$C_{GI} + C_{G2} + C_{Se} = 0,992 \neq I$$



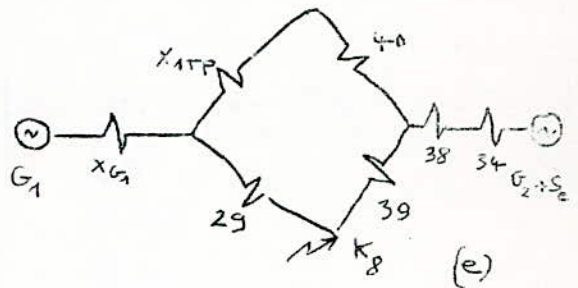
Courants dans les branches:

branches	C_i	I_b (KA)	I''_i (KA)
X_{GI}	0,272	56,12	15,87
X_{G2}	0,274	56,12	16
X_{Se}	0,446	9,63	4,464
K_2	I	9,63	10
X_I	0,0026	9,63	0,026
X_2	0,0053	9,63	0,053
X_3	0,0144	105	1,57
X_4	0,0026	105	0,284
X_5	0,0053	105	0,56
X_6	0,02	105	2,18

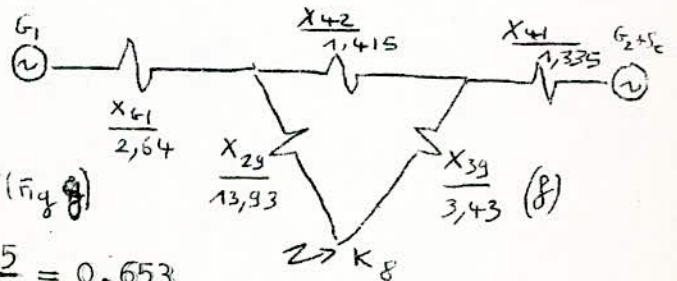
c) $C.C^t$ en $K_8 = K_9 = K_8^i = K_9^i$

On a le même schéma de départ qu'en (A) et (B)
Avec aussi les mêmes transfigurations, on arrive au schéma (e)

$$\begin{aligned}
 X_{29} &= 13,93; X_{30} = 13,97; X_{31} = 7,01 \\
 X_{32} &= 13,93; X_{33} = 4,66; X_{34} = 0,985 \\
 X_{35} &= 0,486; X_{36} = 0,545; X_{37} = 14,47 \\
 X_{38} &= 0,35; X_{39} = 3,43; X_{40} = 0,115 \\
 X_{41} &= 1,335; X_{42} = X_{ITP} + X_{40} = 1,415
 \end{aligned}$$



Groupons les 3 sources et déterminons les branches de l'étoile équivalente (43,44,45) (\bar{n}_4)



$$X_{43} = \frac{X_{GI} X_{41}}{X_{GI} + X_{41} + X_{42}} = \frac{2,64 \cdot 1,335}{3,97} = 0,653$$

$$X_{44} = \frac{X_{GI} X_{42}}{X_{GI} + X_{4I} + X_{42}} = 0,693$$

$$X_{45} = 0,35$$

$$X_{46} = X_{44} + X_{29} = 14,62$$

$$X_{47} = X_{45} + X_{39} = 3,78$$

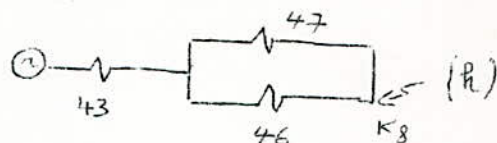
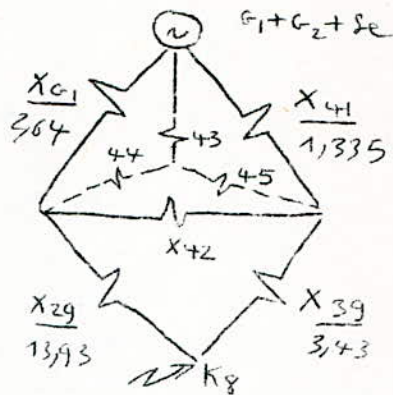
$$X_{48} = X_{46} // X_{47} = \frac{14,62 \cdot 3,78}{18,4} = 3$$

Enfin $X_{\Sigma} = X_{49} = X_{43} + X_{48} = 3,65$

2) Courant I'' au lieu de C.C.t

$$I_{K8}'' = I_{K9}'' = \frac{I_2 I}{3,653} = 0,3$$

$$I_{K8}'' = I_{K9}'' = 0,3 \cdot 105 = 31,527 \text{ KA}$$



3) Coéfficients de répartition:

$$C_{49} = C_{48} = C_{43} = 1 ; C_{46} = \frac{C_{48} X_{48}}{X_{46}} = 0,205 ; C_{47} = \frac{C_{48} X_{48}}{X_{47}} = 0,793$$

$$C_{46} = C_{44} = C_{29} = 0,205 ; C_{47} = C_{45} = C_{39} = 0,793$$

On doit retourner au schéma (e), pour cela on transforme l'étoile (43,44,45) en triangle (GI,4I,42)

-Maille I: $C_{GI} = \frac{C_{44} X_{44} + C_{43} X_{43}}{X_{GI}} = 0,301$

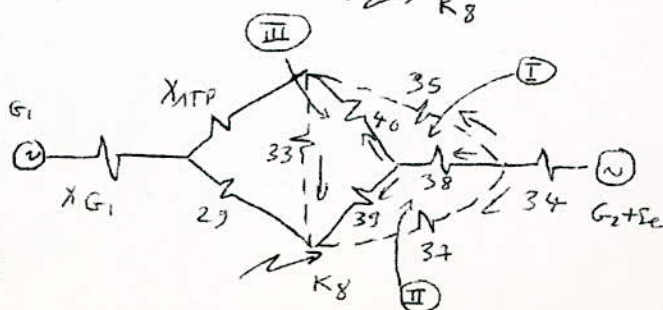
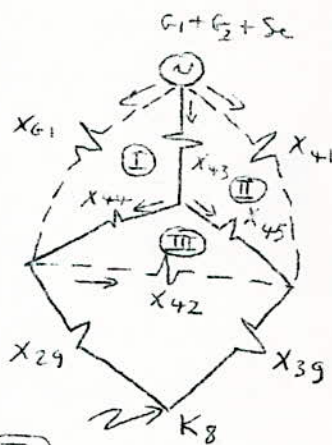
-Maille II: $C_{4I} = \frac{C_{45} X_{45} + C_{43} X_{43}}{X_{4I}} = 0,696$

-Maille III: $C_{42} = \frac{C_{45} X_{45} - C_{44} X_{44}}{X_{42}} = 0,095$

$$C_{4I} = C_{38} = C_{34} = 0,696$$

$$C_{42} = C_{ITP} = C_{40} = 0,095$$

On sépare la source G_I et on détermine les coefficients des branches du triangle (33,35,37)



-Maille I: $C_{35} = \frac{C_{40}X_{40} + C_{38}X_{38}}{X_{35}} = 0,522$

-Maille II: $C_{37} = \frac{C_{39}X_{39} + C_{38}X_{38}}{X_{37}} = 0,204$

-Maille III; $C_{33} = \frac{C_{39}X_{39} - C_{40}X_{40}}{X_{33}} = 0,581$

$C_{37} = C_{36} = C_{32} = 0,204$

Il faut maintenant déterminer les C_i

les branches du triangle

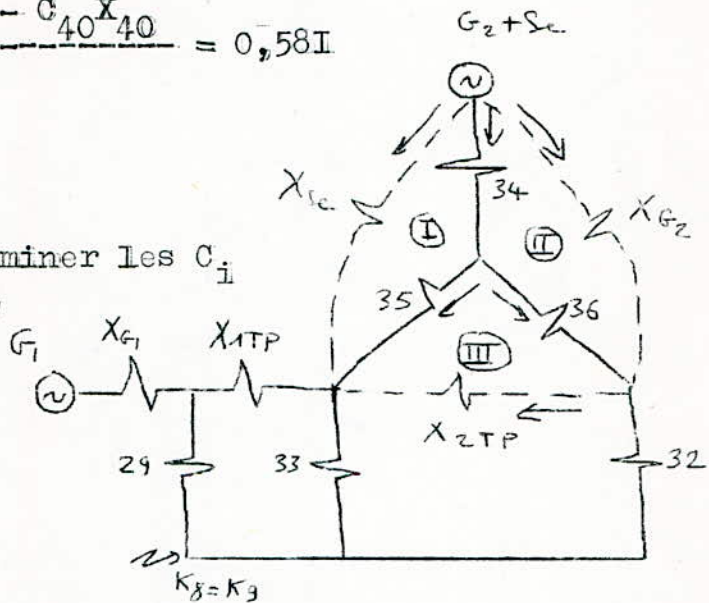
(X_{Se}, X_{G2}, X_{2TP})

Toujours à l'aide des lois des mailles, on obtient:

$C_{Se} = 0,399$; $C_{G2} = 0,301$

$C_{2TP} = 0,109$

Enfin on a $C_{30} // C_{3I} = C_{33}$



$C_{30} = \frac{C_{33}X_{33}}{X_{30}} = 0,193$

$C_{3I} = \frac{C_{33}X_{33}}{X_{3I}} = 0,385$

Ainsi on aura les courants dans les différentes branches;

On vérifie tout d'abord que $C_{GI} + C_{G2} + C_{Se} = 1$, en effet:

$0,301 + 0,301 + 0,399 = 1,001 \approx 1$

Courants dans les branches : $I_i'' = I''^* \cdot C_i \cdot I_b$

($I''^* = 0,3$)

$X_{GI} : 5,064 \text{ KA}$

$X_{G2} : 5,064 \text{ ''}$

$X_{Se} : 1,15 \text{ ''}$

$X_1 : 0,555 \text{ ''}$

$X_2 : 1,108 \text{ ''}$

$X_3 : 6,46 \text{ ''}$

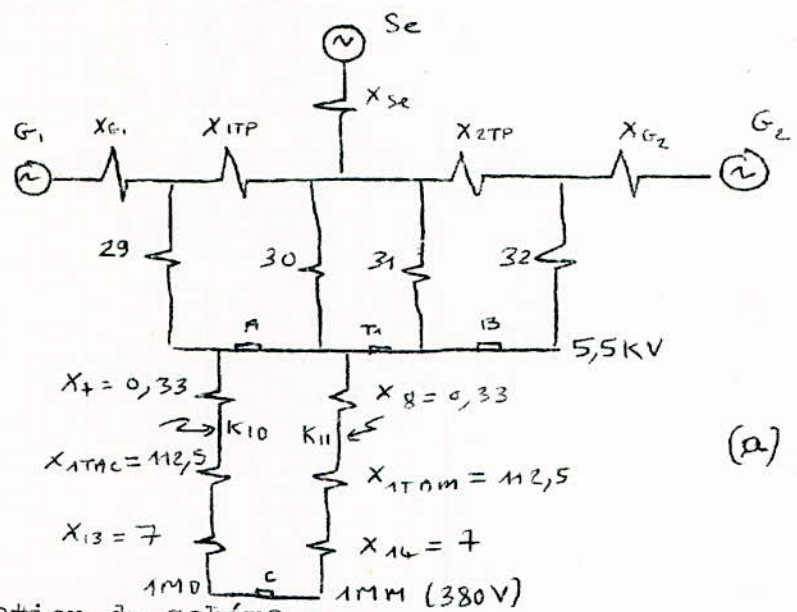
$X_4 : 6,08 \text{ ''}$

$X_5 : 12,135 \text{ KA}$

$X_6 : 6,43 \text{ ''}$

D) C.C^t en $K_{I0} = K_{II} = K_{I2}$:

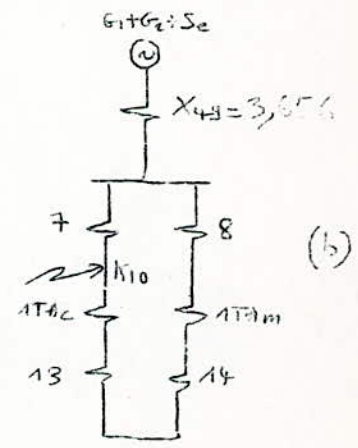
Les courants de C.C^t en ces lieux sont maximums quand les auxiliaires 380 V seront alimentés par 2 transformateurs (5000/380 V) en parallèle. Le jeu de barres 5,5 KV étant toujours alimenté par les 4 transformateurs ITAt, 2TAt, ITAD, TAD2.



I) transfiguration du schéma :

On a vu que les transfigurations de la partie supérieure du schéma nous donnait une réactance équivalente $X_{49} = 3,656$. Pour ce cas puisque c'est le même schéma (avec les mêmes coefficients de répartition), on ne refera pas les calculs.

Ainsi le schéma (a) devient :

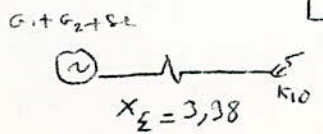


$$X_{50} = X_8 + X_{ITAm} + X_{14} + X_{13} + X_{ITAc} = 247$$

$$X_{5I} = X_{50} \parallel X_7 = \frac{X_7 \cdot X_{50}}{X_7 + X_{50}} = \frac{0,33 \cdot 247}{247,33} = 0,329$$

Donc $X_{\Sigma} = X_{52} = 3,98$

2) Courant I'' au lieu de C.C^t



$$I''^* = \frac{I_{11}}{3,98} = 0,276$$

$$\frac{I''_{K10}}{I05} = 0,276 \cdot I05 = 29 \text{ KA}$$

3) Coéfficients de répartition:

$$C_{52} = C_{51} = C_{49} = 1$$

$$C_{51} = C_{50} // C_{71} \rightarrow \begin{cases} C_{71} = \frac{C_{51} X_{51}}{X_{71}} = 0,3295/0,33 = 0,998 \\ C_{50} = \frac{C_{51} X_{51}}{X_{50}} = 0,3295/2471 = 0,0013 \end{cases}$$

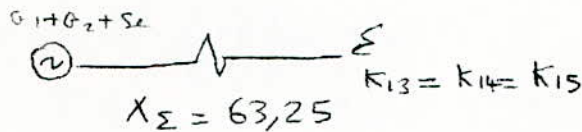
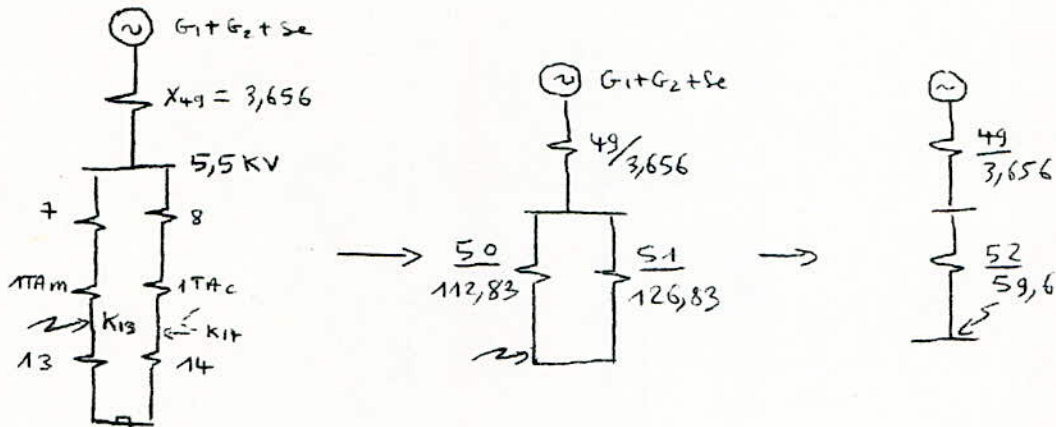
$$C_{50} = C_8 = C_{ITAm} = C_{I4} = C_{I3} = C_{ITAc} = 0,0013$$

Tout les autres coéfficients des autres branches sont les mêmes que pour le C.C^t en K₈.

Courants dans les branches:

	branches	C _i	I _b (KA)	I'' _i (KA)
X	X _{G1}	0,301	56,12	4,66
	X _{G2}	0,301	56,12	4,66
	X _{Sc}	0,399	9,63	1,06
	X ₃	0,205	I05	5,94
	X ₁	0,193	9,63	0,513
	X ₄	0,193	I05	5,6
	X ₂	0,385	9,63	1,023
	X ₅	0,385	I05	11,166
	X ₆	0,204	I05	5,916
	X ₇	0,998	I05	28,946
	K _{I0}	1	I05	29
	X _{I3}	0,0013	I05	0,037
	X ₈	"	"	"
	X _{I4}	"	"	"

E) C.C^t en $K_{I3} = K_{I4} = K_{I5}$: Toujours avec le même schéma qu'en (D), avec les mêmes transfigurations on détermine la réactance globale, les coefficients de répartition et les courants dans les différentes branches.

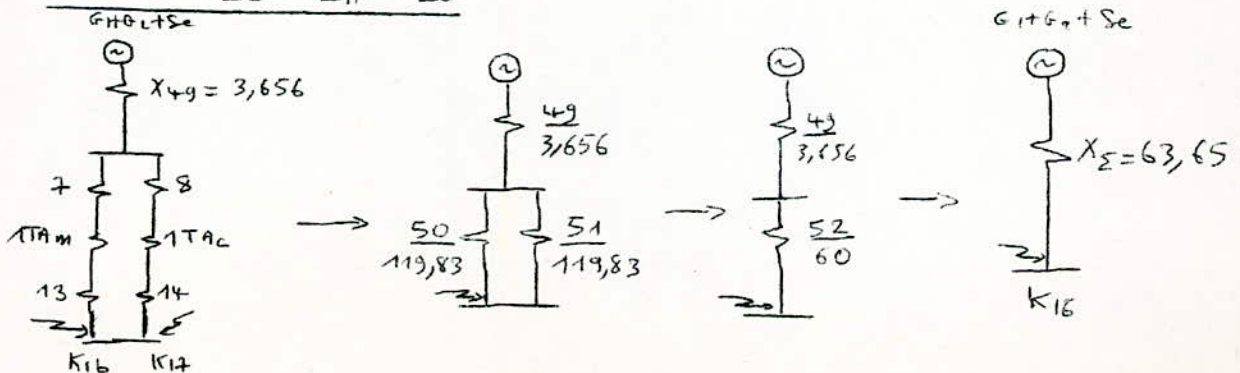


$$I''^* = \frac{1,1}{63,25} = 0,0174 \Rightarrow I''_{K_{I3}} = 0,0174 \times 1521 =$$

$$I''_{K_{I3}} = 26,467 \text{ KA}$$

Dans le tableau de la page 49 on trouvera tout les résultats des C.C^t. Pour chaque branche on indiquera tout les courants maximums qui y circulent lors d'un C.C^t, et le courant le plus grand de ces courants maximums, servira pour les dimensionnements des appareils.

F) C.C^t en $K_{I6} = K_{I7} = K_{I8}$:

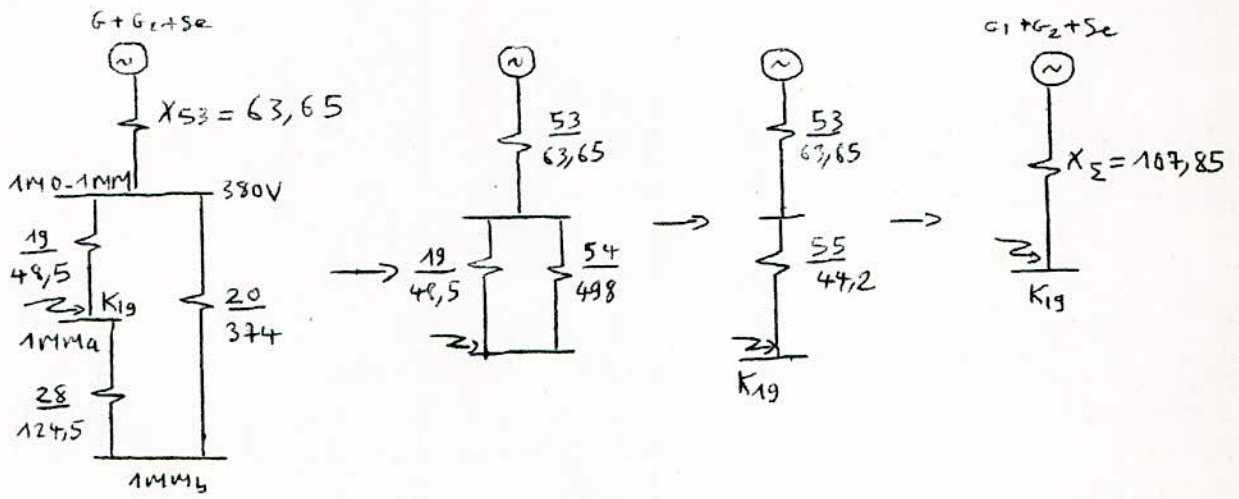


$$I''^* = \frac{1,1}{63,65} = 0,01728 \Rightarrow I''_{K16} = I''_{K17} = I''_{K18} =$$

$$0,01728 \times 1521 = 26,315 \text{ KA}$$

$$\underline{I''_{K16} = 26,315 \text{ KA}}$$

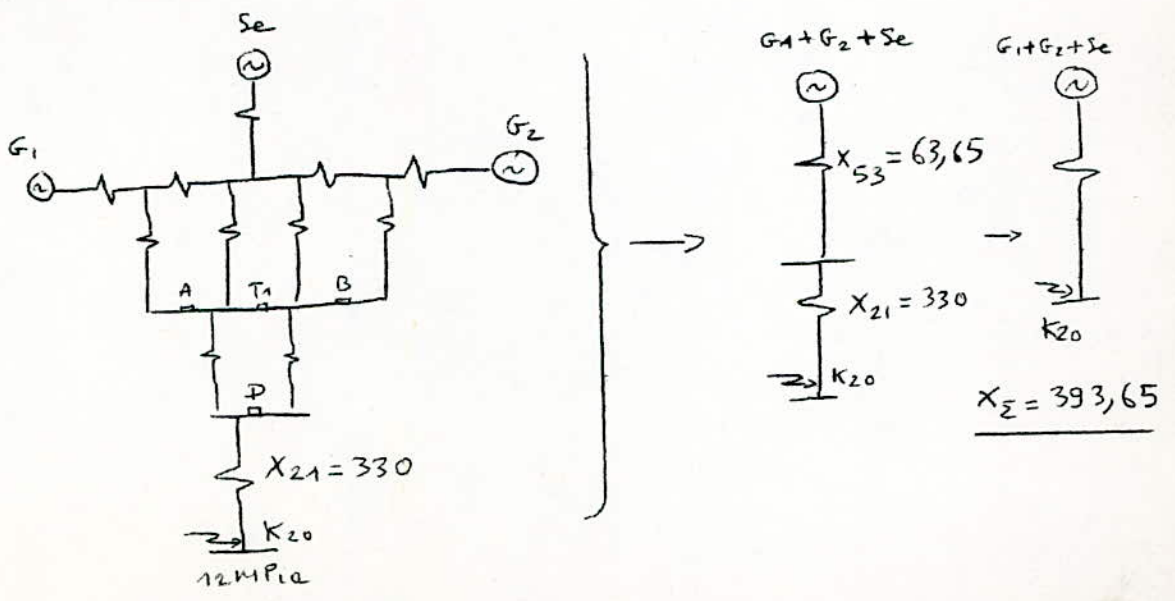
G) C.C.C^t em K₁₉ :



$$I''^* = \frac{1,1}{107,85} = 0,0102 \rightarrow$$

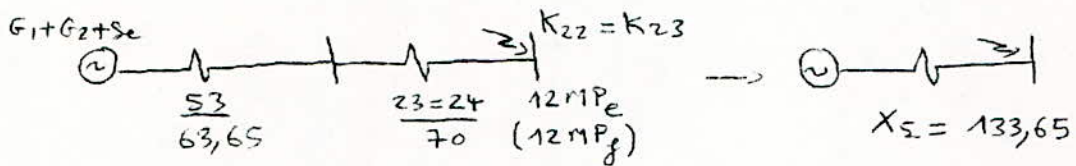
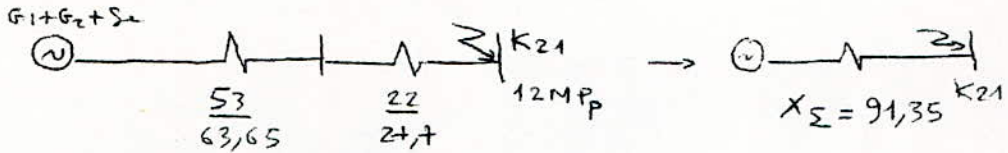
$$\underline{I''_{K19} = 0,0102 \cdot 1521 = 15,515 \text{ KA}}$$

H) C.C.C^t em K₂₀



$$I''^* = \frac{1,1}{393,65} = 0,00279 \rightarrow \underline{I''_{K20} = 0,00279 \cdot 1521 = 4,244 \text{ KA}}$$

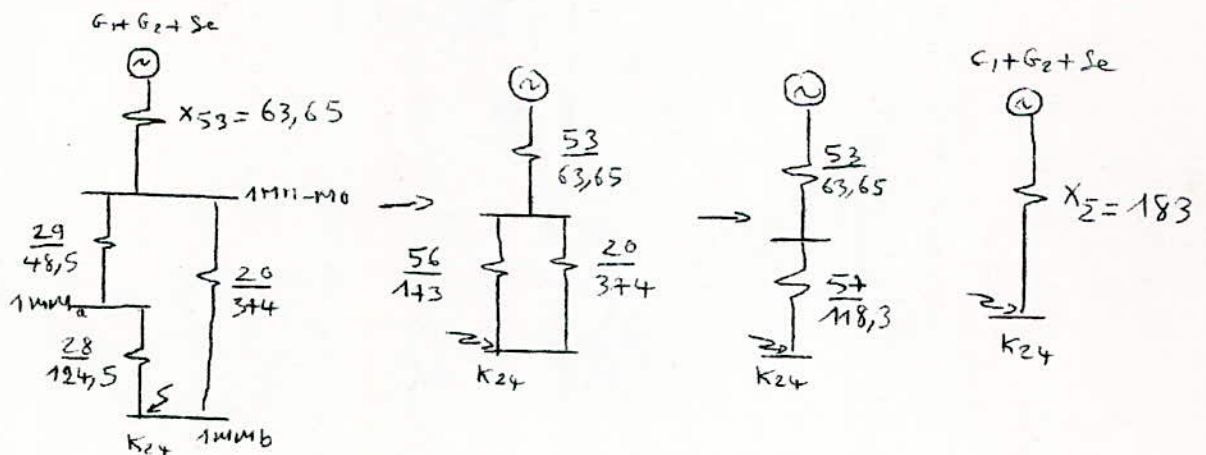
I) C.C.C^t em K₂₁ et K₂₂ = K₂₃



$$I''^*_{K21} = 0,012 \rightarrow \underline{I''_{K21} = 0,012 \cdot 1521 = 18,253 \text{ KA}}$$

$$I''^*_{K22} = I''^*_{K23} = 0,0082 \rightarrow \underline{I''_{K22} = I''_{K23} = 12,473 \text{ KA}}$$

J) C.C.C^t em K₂₄



$$I''^* = \frac{1,1}{183} = 0,0082 \rightarrow \underline{I''_{K24} = 12,473 \text{ KA}}$$

2) Cas des Courants Minimums

Pour la recherche des courants minimums, on a les 5 variantes suivantes: 3 sources connectées, 2 générateurs connectés, 1 générateur et le système énergétique, 1 générateur seulement en service (G_1 ou G_2) et enfin le cas où les 2 générateurs ne sont pas en service, seul le système énergétique alimente les circuits de la centrale.

Il est clair que les courants de $C.C^t$ seront minimums dans le cas où le nombre de sources alimentant les circuits est le plus petit possible. Ainsi, les calculs de $C.C^t$ ne seront faits que pour les 3 variantes suivantes:

1) le générateur en service + le système énergétique;

2) le générateur seul en service;

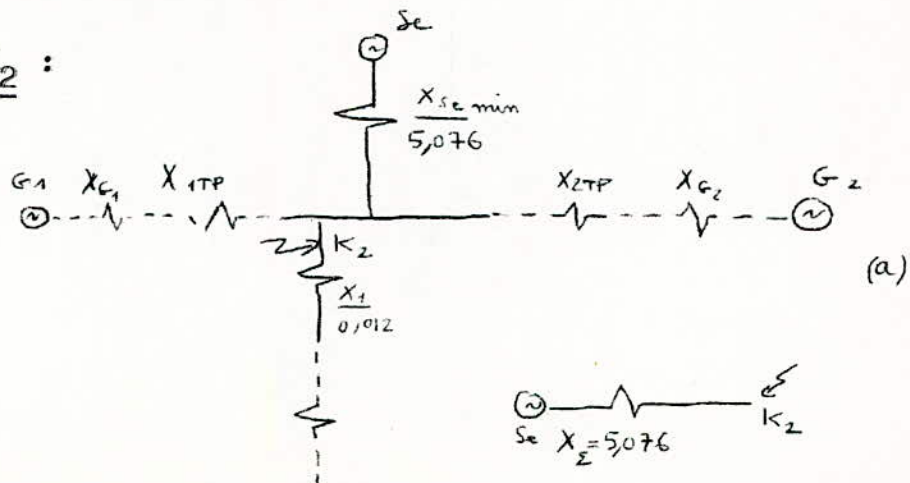
3) le système énergétique seul, les 2 générateurs étant déconnectés.

Et comme la méthode de calcul est la même, on ne présentera les calculs du dernier cas (S_e seul alimentant les circuits)

Pour cette situation, on cherchera toujours le cheminement du courant à travers les circuits, qui aboutira à une réactance globale la plus grande possible.

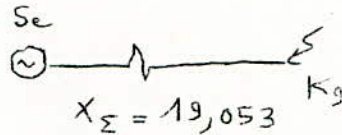
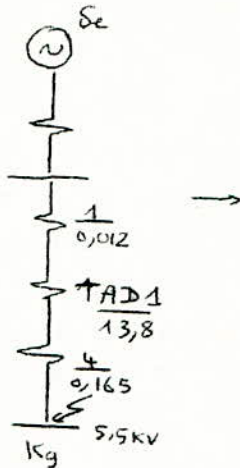
Dans le tableau de la page 49 seront groupés tous les résultats. Pour chaque branche on y indiquera le courant minimum qui circule; ce courant sera tiré à partir des calculs des 3 variantes déjà citées.

A) $C.C^t$ en K_2 :



$$I'' = \frac{1,1}{5,076} = 0,217 \rightarrow I''_{K_2 (mini)} = 0,217 \cdot 9,63 = 2,08 \text{ KA}$$

B) C.C^t en $K_8 = K_9$: Pour avoir une réactance grande, on considèrera que seul le transformateur TAD I fonctionne. A, T_I, B sont fermés.



$$I''^* = \frac{1,1}{19,053} = 0,058 \rightarrow$$

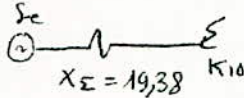
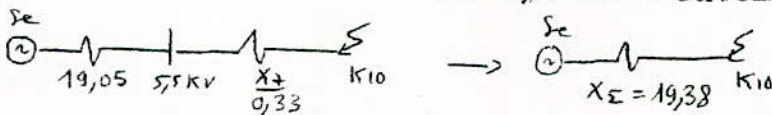
$$I''_{K_8} = I''_{K_9} = 0,058 \cdot 105 = 6,08 \text{ KA}$$

Courants dans les branches:

branches	I_b (KA)	I''_i (KA)
X_{Se}	9,63	0,55
X_I	"	"
X_4	105	6,08

On a $C_i = I$

C) C.C^t en $K_{10} = K_{11} = K_{12}$: Les disjoncteurs A, T_I, B sont fermés et C, D et E ouverts.

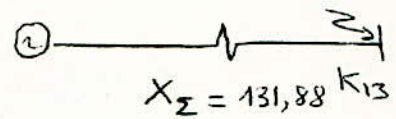
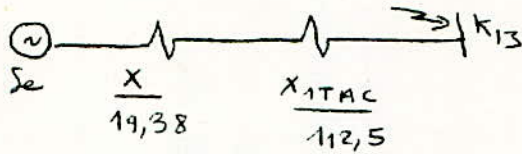


$$I''^* = 0,0566 \rightarrow I''_{K_{10}} = I''_{K_{11}} = I''_{K_{12}} = 5,95 \text{ KA}$$

Courants dans les branches:

branches	I_b (KA)	I''_i (KA)
$X_I = X_{Se}$	9,63	0,546
$X_4 = X_7$	105	5,95
$K_{10} = K_{11} = K_{12}$	"	"

D) C.C^t en $K_{13} = K_{14} = K_{15}$:



$$\bar{I}''^* = \frac{1,1}{131,88} = 0,0083 \rightarrow I''_{K13} = I'_{K14} = I''_{K15} = 12,68 \text{ KA}$$

Les courants dans les branches seront $I''_i = 0,0083 \cdot I_b$
 Pour tout les autres lieux de C.C^t on procédera de la même
 manière. On donne les résultats seulement des courants /

C.C ^t	en	$K_{I6} = K_{I7} = K_{I8}$:	$I'' = 12 \text{ KA}$
"	"	K_{I9}	:	$I'' = 8,9 \text{ KA}$
"	"	K_{20}	:	$I'' = 3,56 \text{ KA}$
		K_{21}	:	$I'' = 10 \text{ KA}$
		$K_{22} = K_{23}$:	$I'' = 8 \text{ KA}$
"	"	K_{24}	:	$I'' = 3,26 \text{ KA}$

3) Courants permanents I_{∞} dans le cas défavorable

On détermine ces courants à l'aide de la méthode des courbes de calcul dans l'hypothèse de la variation séparée.

$$I_{\infty K1}: \begin{array}{lll} C_{G1} = 0,5 & X_c^*(G1) = 0,198 & I_{pcc}^*(G1) = 2,56 \\ C_{G2} = 0,189 & X_c^*(G2) = 0,524 & I_{pcc}^*(G2) = 1,8 \\ C_{Se} = 0,305 & X_c^*(Se) = 4,31 & I_{\infty Se} = 13,02 \text{ KA} \end{array}$$

$$I_{\infty G1} = I_{pcc}^*(G1) \cdot I_m(G1) = 2,56 \cdot 4,2 = 10,77 \text{ KA}$$

$$I_{\infty G2} = I_{pcc}^*(G2) \cdot I_m(G2) = 1,8 \cdot 4,2 = 7,57 \text{ KA}$$

D'où $I_{\infty K1} = 10,77 + 7,57 + 13,02 = 31,36 \text{ KA}$

$$\underline{I_{\infty K1} = 31,36 \text{ KA}}$$

$$I_{\infty K2}: \begin{array}{lll} C_{G1} = 0,272 & X_c^*(G1) = 0,291 & I_{pcc}^*(G1) = 2,3 \\ C_{G2} = 0,274 & X_c^*(G2) = 0,289 & I_{pcc}^*(G2) = 2,3 \\ C_{Se} = 0,446 & X_c^*(Se) = 2,36 & I_{\infty Se} = 9 \text{ KA} \end{array}$$

$$I_{\infty G1} = 0,94 \text{ KA} = I_{\infty G2}$$

Et $I_{\infty K2} = 9 + 0,94 + 0,94 = 11 \text{ KA}$

$$\underline{I_{\infty K2} = 11 \text{ KA}}$$

$$I_{\infty K8} = I_{\infty K9}: \begin{array}{lll} C_{G1} = 0,301 & X_c^*(G1) = 0,91 & I_{pcc}^*(G1) = 1,27 \\ C_{G2} = " & X_c^*(G2) = " & " " \\ C_{Se} = 0,399 & X_c^*(Se) = 9,16 & I_{\infty Se} = 11,4 \text{ KA} \end{array}$$

$$I_{\infty G1} = I_{\infty G2} = 9,98 \text{ KA}$$

$$I_{\infty K8} = I_{\infty K9} = 9,98 + 9,98 + 11,4 = 31,36 \text{ KA}$$

$$I_{\infty K10}: \begin{array}{lll} C_{G1} = 0,301 & X_c^*(G1) = 0,99 & I_{pcc}^*(G1) = 1,2 \\ C_{G2} = " & (G2) = " & (G2) = " \\ C_{Se} = 0,399 & X_c^*(Se) = 9,97 & I_{\infty Se} = 10,5 \text{ KA} \end{array}$$

$$I_{\infty G1} = I_{\infty G2} = 9,45 \text{ KA} \quad \text{d'où} \quad I_{\infty K10} = 9,45 + 9,45 + 10,5 =$$

$$\underline{\underline{I_{\infty K10} = I_{\infty K11} = I_{\infty K12} = 26,4 \text{ KA}}}$$

Pour tout les autres C.C^t on a les réactances de calcul qui sont supérieures à 3, alors on utilise la formule:

$$I_{\infty} = \frac{I_b}{X_{\Sigma}^*}$$

$$- K_{13} = K_{14} = K_{15}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{63,25} = 24,1 \text{ KA}$$

$$- K_{16} = K_{17} = K_{18}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{63,65} = 23,8 \text{ KA}$$

$$- K_{19}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{107,85} = 14,1 \text{ KA}$$

$$- K_{20}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{393,65} = 3,87 \text{ KA}$$

$$- K_{21}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{91,35} = 16,7 \text{ KA}$$

$$- K_{22} = K_{23}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{133,65} = 11,4 \text{ KA}$$

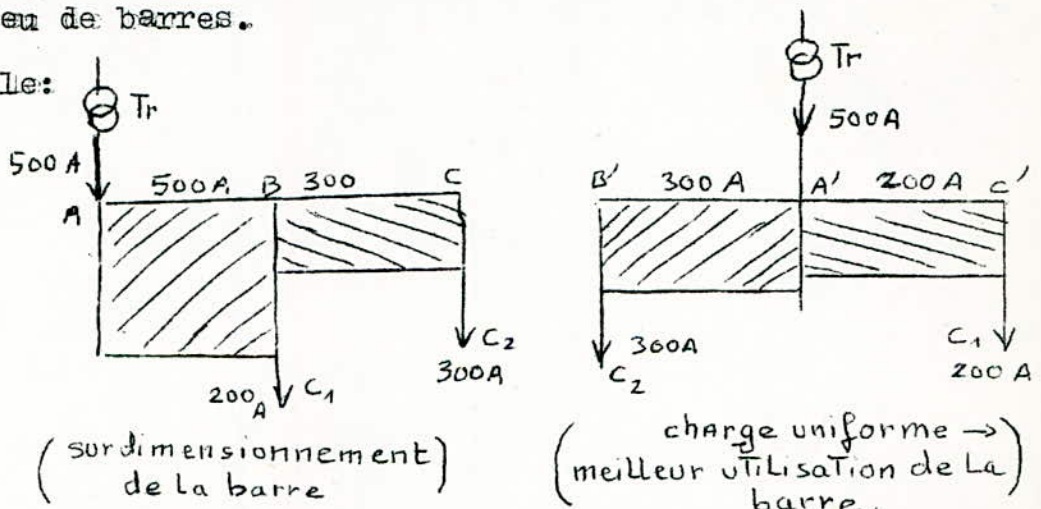
$$- K_{24}: \quad I_{\infty} = \frac{1521}{184} = 8,27 \text{ KA}$$

PRINCIPE de DIMENSIONNEMENT

des JEUX de BARRES

Les barres collectrices étant traversées, par des courants forts, il faut donc éviter les liaisons de tronçons de barres de sections différentes, qui sont les points faibles des installations électriques. Ainsi il faut faire en sorte que la barre ait une section constante. Pour cela il faut, répartir convenablement les départs et arrivées, de manière à avoir un courant uniforme circulant dans le jeu de barres.

Par exemple:



Donc la circulation du courant le long des barres collectrices dépend de l'ordre de placement des divers cellules: départs et arrivées.

Pour établir une bonne circulation du courant, donc une bonne utilisation de la section du jeu de barres, on doit prévoir les régimes suivants :

- Le régime normal de fonctionnement
- Les régimes d'avarie (générateur, transformateur déconnectés)
- Le régime particulier pour trouver la solution évitant le sacrifice des divers consommateurs dans le cas de limitation d'énergie (charges excessives)

A chaque cas de placement, correspond un maximum de courant pour un tronçon. Parmi tout les maximums de courant, on prend le plus petit d'eux, pour dimensionner les barres .

Des tableaux donnent la section des barres en fonction des courants admissibles avec la température inférieure à 70°C. Les valeurs des sections sont indiquées pour une température du milieu ambiant égale à 25°C . (voir tableau page 54)

Les sections trouvées doivent vérifier les conditions des efforts électrodynamiques et thermique.

A cause de la complexité des circuits auxiliaires (plusieur départs vers les moteurs) et aussi à cause du manque de données (courbes de charge, courants maximums circulant vers les différents moteurs, etc ...), on n'a pas pu faire le dimensionnement des jeux de barres. Mais comme cette étude est une simple vérification des circuits, alors on a pris les sections des barres existantes à la centrale comme données, auxquelles on fait les vérifications aux efforts thermiques et électrodynamiques.

Sections des jeux de barres (fournies par SONELGAZ)

- Jeu de barres 5,5 KV : 500 mm² (b = 10 mm, h = 50 mm)
- " " 380 V : 400 mm² (b = 10 mm, h = 40 mm)

Largeur mm.	Epaisseur mm.	Section mm ²	I adm. en. A. 1. barre élémentaire de Cuivre.
15	3	45	210
20		60	275
25		75	340
30		90	405
30	4	120	475
40		160	625
40	5	200	700
50		250	860
60		300	1025
50	6	300	955
60		360	1125
80		480	1480
100			1810
60	8	480	1320
80		640	1690
100		800	2080
120		960	2400
60	10	600	1475
80		800	1900
100		1000	2310
120		1200	2650

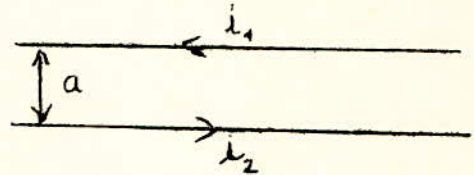
EFFORTS ELECTRODYNAMIQUES

Deux barres parallèles parcourues par des courants électriques i_1 et i_2 sont soumises à des forces électrodynamiques.

La force électrodynamique par unité de longueur est:

$$f = \frac{\mu_0}{2\pi a} i_1 \cdot i_2$$

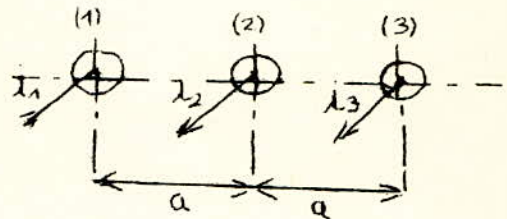
μ_0 : perméabilité de l'air



Pour les circuits triphasés : barres parallèles et dans le même plan, les forces s'exerçant sur les barres sont:

$$f_1 = f_3 = \frac{\mu_0}{2\pi a} i_1 \cdot i_2 + \frac{\mu_0}{2\pi a} i_1 \cdot i_3$$

$$f_2 = - \frac{\mu_0}{2\pi a} i_2 \cdot i_3 - \frac{\mu_0}{2\pi a} i_1 \cdot i_2$$



Equations des courants:

$$i_1 = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3})$$

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

On considérera le cas particulier où $\alpha - \varphi = 0$

Les forces deviennent:

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

$$f_2 = - \frac{\mu_0}{2\pi a} I_m^2 (\sin(\omega t - 2\pi/3)) \left[(\sin(\omega t - 4\pi/3) - \sin \omega t) \right]$$

Force de choc:

Les valeurs extrêmes de ces forces s'obtiennent en annulant les dérivées premières:

$$f_1 = f_3 = 0,8 \cdot \frac{\mu_0}{2\pi a} I_m^2 \quad \text{et} \quad f_2 = 0,87 \cdot \frac{\mu_0}{2\pi a} I_m^2$$

La plus grande force sera sur la barre du milieu donc f_2 .
 On doit étudier le cas le plus défavorable, et ce cas correspond au moment où les barres sont traversées par le plus grand courant, qui est le courant de choc.
 Ce courant est défini par les équations suivantes:

$$I_m = 0 ; t = 0 ; \alpha = 0 \quad (\text{circuit inductif et fonctionnement à vide avant le C.C.})$$

A cette situation correspondra une force maximum qui est la force de choc $f_{2\text{choc}}$.

Les courants circulant dans les barres seront à ce moment:

$$i_1 = I_{pm} \left[\sin(\omega t + \psi) - e^{-t/Ta} \sin \psi \right]$$

$$i_2 = I_{pm} \left[\sin(\omega t + \psi - 2\pi/3) - e^{-t/Ta} \sin(\psi - 2\pi/3) \right]$$

$$i_3 = I_{pm} \left[\sin(\omega t + \psi - 2\pi/3) - e^{-t/Ta} \sin(\psi - 4\pi/3) \right]$$

$$I_{pm} = \sqrt{2} I'' \quad \psi = \alpha - \varphi_k$$

Alors f_2 s'écrira:

$$f_2 = \frac{\mu_0}{2\pi a} 2I''^2 \left[\sin(\omega t + \psi - 2\pi/3) - e^{-t/Ta} \sin \psi - \frac{2\pi}{3} \right]$$

$$\times \left[\sin(\omega t + \psi - 4\pi/3) - \sin(\omega t + \psi) - e^{-t/Ta} (\sin(\psi - 4\pi/3) - \sin \psi) \right]$$

$$f_2 = \frac{\mu_0}{2\pi a} 2 I''^2 \sqrt{3}/2 \left[\sin(2\omega t + 2\psi - \pi/3) - 2e^{-t/Ta} \sin(\omega t + 2\psi - \pi/3) + e^{-t/Ta/2} \sin(2\psi - \pi/3) \right]$$

Analyse de l'expression de f_2 :

$f_{2\text{choc}}$ est donnée par 3 composantes :

- Une composante périodique de fréquence double (terme en 2ω) et d'amplitude constante.
- Une composante périodique de fréquence normale (terme en ω)

mais d'amplitude variable (amortie).

- Une composante apériodique amortie .

Donc f_2 est de la forme:

$$f_2 = a(C_1 + C_2 + C_3) = h(t, \psi)$$

Pour simplifier l'étude de cette force, on va considérer le cas ou: $2\psi - \pi/3 = 0$, alors f_2 sera :

$$f_2 = \frac{\mu_0}{2\pi a} 2 I''^2 \sqrt{3}/2 \left(\underbrace{\sin 2\omega t}_{C_1} - 2e^{-t/Ta} \underbrace{\sin \omega t}_{C_2} \right)$$

D'après l'étude de la courbe, on remarquera que f_2 est maximum pour:

$$\omega t = \pi ; t = 0,01 \text{ sec} ; \psi = -\pi/12 .$$

Donc le maximum de la force de choc (correspondant au courant de choc), s'exerçant sur la barre sera

$$f_{2 \text{ choc maxi}} = \frac{\mu_0}{2\pi a} 2 I''^2 \sqrt{3}/2 \left[(\sin 2\pi - 2\pi/12 - \pi/3) - \right.$$

$$\left. (e^{-0,01/Ta} \sin(\pi - 2\pi/12 - \pi/3)) + (e^{-0,01/Ta/2} \sin(-2\pi/Ta - \pi/2)) \right]$$

$$f_2 = \frac{\mu_0}{2\pi a} 2 I''^2 \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\sin \frac{3\pi}{2} - 2e^{-0,01/Ta} \sin \frac{\pi}{2} + e^{-0,01/Ta} \sin -\frac{\pi}{2} \right]$$

$$= -0,87 \frac{\mu_0}{2\pi a} 2 I''^2 \underbrace{(1 + e^{-0,01/Ta})}_K^2$$

K_{choc}^2

Finalement la force de choc s'écrira :

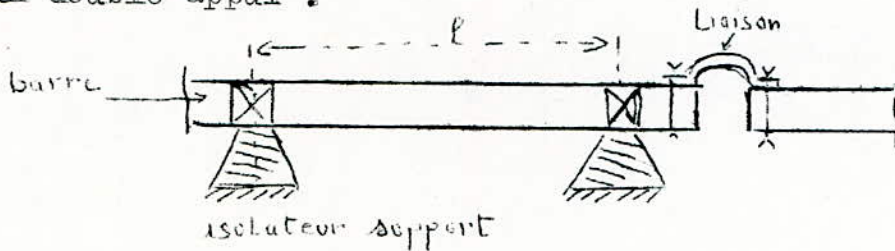
$$f_{2 \text{ choc}} = -0,87 \cdot \frac{\mu_0}{2\pi a} 2 I''^2 \cdot K_{\text{choc}}^2$$

avec $K_{\text{choc}} = 1,8$

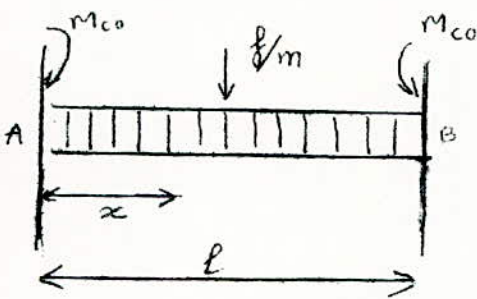
- EFFORTS STATIQUES -

Dans les installations électriques de type intérieure, les barres collectrices sont rigides. Du point de vue physique, elles sont rectangulaires et posées sur des isolateurs supports. Ainsi on peut considérer qu'une portion entre deux isolateurs supports consécutifs, la barre est soumise à un effort statique uniformément réparti.

Pour la portion qui est la plus proche du point fixe; on peut dire que la barre est encastree, donc pour cette portion on a un double encastrement. Mais si on considère le cas limite, vers la fin de la barre on aura le cas d'un double appui.



Cas du double encastrement:

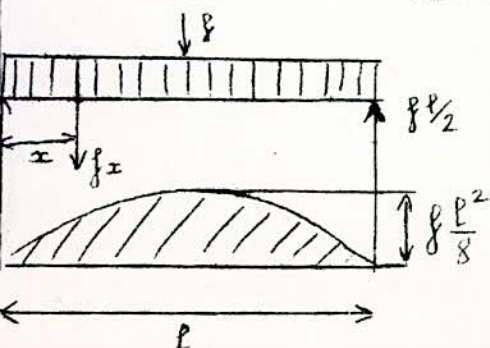


Pour une distance x on a:
Le moment de courbure M_{cx} ,

$$M_{cx} = M_{co} + f l \frac{x}{2} + f \frac{x^2}{2}$$

$$M_c \max = f \frac{l^2}{12}$$

Cas du double appui:



$$M_{cx} = f \frac{1}{2} x - f \frac{x^2}{2}$$

On a $M_c \max$ pour $x = l/2$

$$\text{alors: } M_c \max = f \frac{l^2}{8}$$

Le moment de courbure maximum peut être calculé avec une relation qui correspond à une situation intermédiaire de ces deux cas :

$$M_c \text{ max} = f \cdot \frac{l^2}{10}$$

Cette expression du couple maximum nous permet de déterminer la contrainte statique maximale σ_{stat} auquel sera soumise une barre :

$$\sigma_{\text{stat}} = M_c \text{ max} / w \quad w \text{ étant le module de résistance de la barre}$$

Pour une barre rectangulaire : $w = \frac{bh^2}{6}$



Donc il faut vérifier pour la barre que :

$$\sigma_{\text{stat max}} \leq \sigma_{\text{adm}} \leq \sigma_{\text{rupture}}$$

Pour le cuivre : $\sigma_{\text{adm}} = 2400 \text{ kgf/cm}^2$

" aluminium : $\sigma_{\text{adm}} = 700$ "

- EFFORTS DYNAMIQUES -

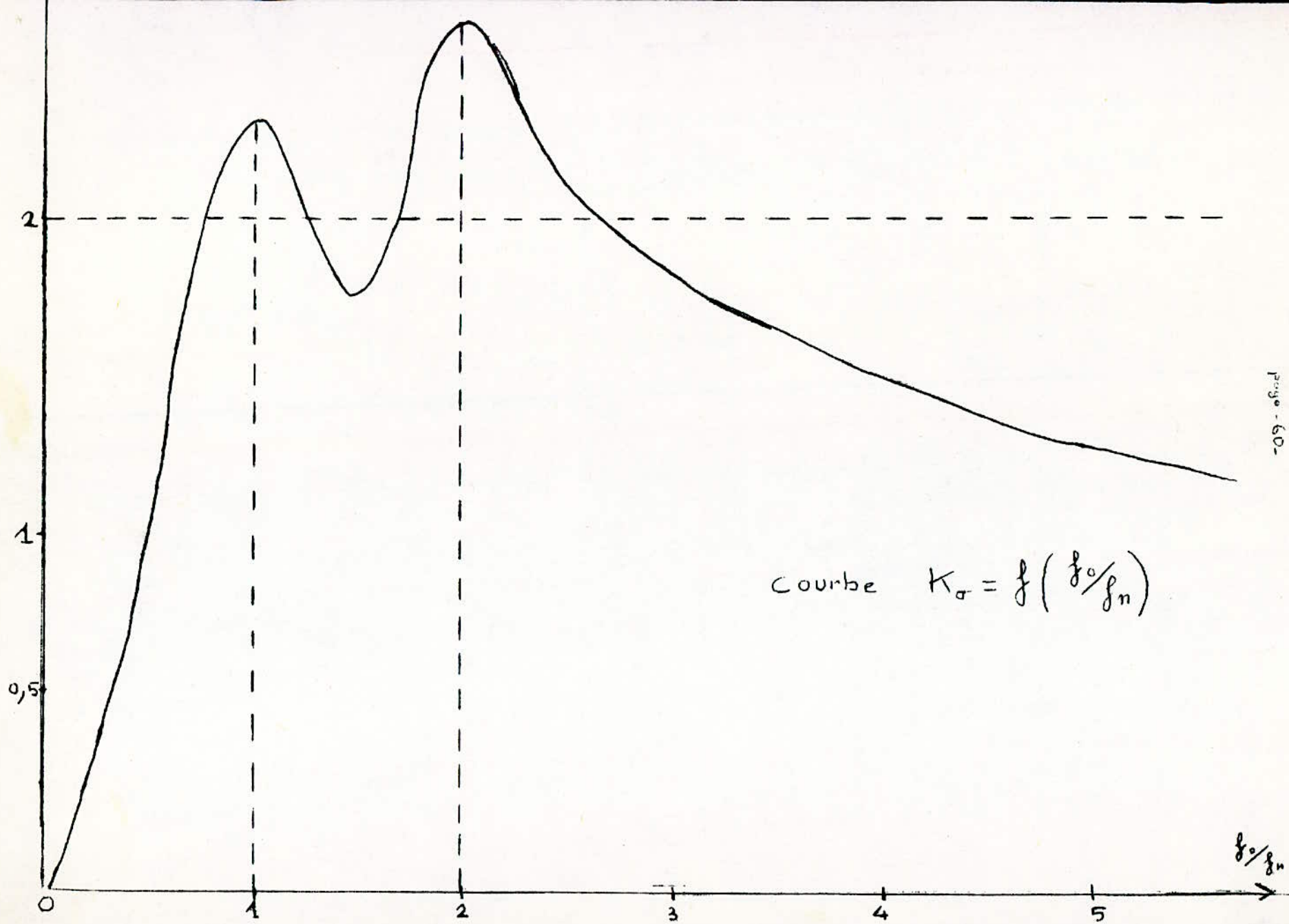
La barre comme on l'a vu est soumise à la force de choc qui a deux composantes périodiques (f et $2f$), et comme la barre elle-même a une fréquence propre d'oscillation; alors il y a toujours le risque d'avoir le phénomène de résonance.

La contrainte maximum dynamique est donnée par l'expression: $\sigma_{\text{max dyn}} = K_{\sigma} \sigma_{\text{max stat}}$

K_{σ} est donné par une courbe en fonction du rapport f_0/f_n ($p^{\text{u}}g=60$)

On voit sur cette courbe que si f_0/f_n est égale à 1 ou 2, alors K_{σ} serait supérieure à 2, d'où les sollicitations dynamiques seront 2 fois plus grandes que les sollicitations statiques.

Ainsi il est préférable d'avoir $K_{\sigma} < 1 \Rightarrow$



page - 60 -

C'est à dire il faut que $\begin{cases} f_0/f_n < 0,5 \\ f_0/f_n > 3 \end{cases}$

Calcul de la fréquence propre f_0 de la barre:

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

$C_1 = 1$ pour une barre simple .

$C_2 =$ coefficient qui tient compte des barres de dérivation

$E =$ module d'élasticité E (cuivre) = 13000 kgf/mm²

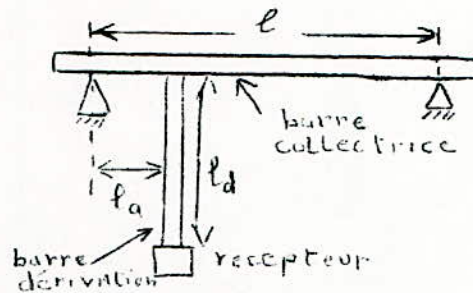
$J =$ moment d'inertie pour la section considérée de la barre

$$J = cd^3/12$$

$\rho =$ densité du matériau (cuivre) = 8,9 10³ kgf/m³

$q =$ section de la barre .

Détermination de C_2 :



Deux cas se présentent pour les barres de dérivation, elles peuvent être rigides ou élastiques .

D'après les études faites on considère que la barre est rigide pour les deux situations suivantes:

- Si $J_d = J_p$ et $l_d \leq 0,6 l$
- Si $J_d < J_p$ et $l_d < 0,3 l$

Si on a pas ces deux conditions, alors on considèrera que la barre est élastique .

C_2 est donné dans les deux cas par les expressions suivantes:

$$C_{2r} = \sqrt{\frac{I + \frac{I}{64} \cdot \frac{J_r}{J} \left(\frac{l}{l_{dr}}\right)^3 u_r}{I + 0,6 \frac{q_r \cdot l_r}{q} \cdot \frac{l_r}{I} u_r}}$$

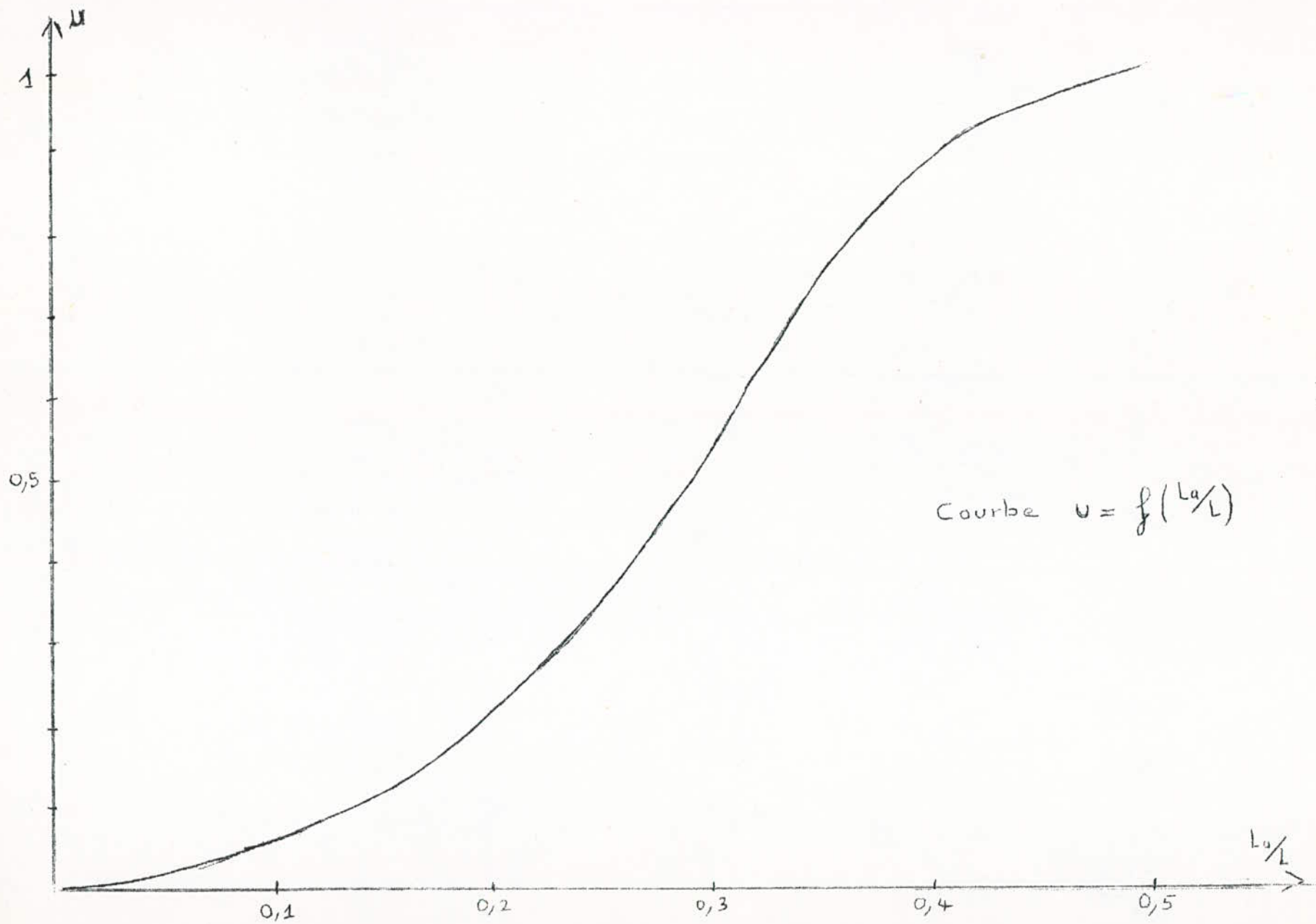
$$C_{2e} = \sqrt{\frac{I + \frac{I}{16} \cdot \frac{J_e}{J} \left(\frac{l}{l_e}\right)^3 u_e}{I + \frac{q_e}{q} \cdot \frac{l_e}{I} u_e}}$$

q_r et q_e sont les sections des barres rigides ou élastiques
 u_r et u_e sont des facteurs de non symétrie, ils sont donnés
 par la courbe $u = f(l_a/l)$. l_a étant la distance
 entre la barre de dérivation et l'isolateur le
 plus proche. (courbe page 63)

Dans le cas de plusieurs barres dérivations rigides et élastiques

$$\text{en a } C_2 = \frac{I + \frac{1}{64} \sum \frac{J_r}{J} \left(\frac{l}{l_r}\right)^3 u_r + \frac{1}{16} \sum \frac{J_e}{J} \left(\frac{l}{l_e}\right)^3 u_e}{I + 0,6 \sum \frac{q_r}{q} \cdot \frac{l_r}{l} u_r + \sum \frac{q_e}{q} \cdot \frac{l_e}{l} u_e}$$

Comme application de cette théorie des efforts électro-
 dynamiques on va vérifier que les sections des jeux de
 barres des circuits auxiliaires sont bien choisies; et cela
 en vérifiant que les contraintes appliquées sur ces barres
 sont inférieures à la contrainte admissible, qui correspond
 à la limite d'élasticité des matériaux utilisés pour les
 barres. Il faut aussi vérifier que le phénomène de résonance
 ne pourra jamais avoir lieu.



APPLICATION: Vérification du jeu de barres 5,5 KV

Force de choc f_{2choc} :

On a vu que: $f_{2choc} = (I,8)^2 \cdot 0,87 \cdot 2 I''^2 \cdot \frac{M_0}{2\pi a}$

$a = 0,5 \text{ m}$

$I'' = 31,5 \text{ KA}$

$M_0 = 4 \cdot 10^{-7}$

$f_{2choc} = (1,8)^2 \cdot 0,87 \cdot 2(31,5)^2 \cdot \frac{4\pi}{2\pi \cdot 0,5} \cdot 10^{-11}$

$f_{2choc} = 2237,5 \text{ N/m}$

Moment statique maximum $M_{c \text{ stat}}$:

$M_{c \text{ stat}} = \frac{f \cdot l^2}{10}$

$M_{c \text{ stat}} = \frac{4,45 \cdot 4}{10} = 1,78 \text{ kgfm}$

puisque

$l = 2 \text{ m}$

$f = 4,46 \text{ kgf/m}$

$M_{c \text{ stat}} = 178 \text{ kgfcm}$

Contrainte statique maximale:

$\sigma_{\text{stat}} = \frac{M_{c \text{ stat}}}{w}$ On a $w = 4,16 \text{ cm}^3 =$ module de résistance de la barre .

$\sigma_{\text{stat}} = \frac{178}{4,16} = 42,7 \text{ kgf/cm}^2$

On a donc $\sigma_{\text{stat}} < \sigma_{\text{adm}}$

Le jeu de barres avec les dimensions indiquées, résistera aux efforts statiques .

Calcul de la contrainte maximale dynamique:

$$\sigma_{\text{dynmaxi}} = K_{\sigma} \sigma_{\text{statmaxi}}$$

K_{σ} étant donné par la courbe

$$K_{\sigma} = f(f_0/f_n)$$

On doit donc calculer la fréquence propre de la barre f_0 .

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

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = 1 \quad (\text{une seule barre élémentaire}) \\ E = 13000 \text{ kgf/mm}^2 \\ J = 10,4 \text{ cm}^4 \\ \rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kgf/m}^3 \\ q = 500 \text{ mm}^2 \\ l = 2 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$f_0 = C_2 \cdot 3/4 \cdot 1/4 \cdot \sqrt{\frac{13000 \cdot 104000}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 500}} = C_2 \cdot 0,1875 \sqrt{303,82}$$

donc $f_0 = 3,26 \cdot C_2$

Il nous reste à déterminer C_2 . On sait que ce coefficient dépend des caractéristiques des barres de dérivation; alors on le calculera pour chaque type de dérivation qui existe.

Sur les barres collectrices des auxiliaires 5,5 KV se trouvent des dérivation vers des transformateurs ($ITA_c, ITA_m, I2TA_1$ etc...) et des départs vers des moteurs des services propres.

I) Départs vers les transformateurs :

On a un seule dérivation entre 2 isolateurs consécutifs:

$$q_d = 25 \text{ mm}^2 ; \quad J_d = 0,0288 \text{ cm}^4 ; \quad w_d = 0,048 \text{ cm}^3$$

$$l_d = 1,5 \text{ m} ; \quad l_a = 0,5 \text{ m}$$

Les 2 conditions des barres de dérivation rigides ne sont pas remplies; puisqu'on a $J_d < J$ et $l_d > 0,31$. Alors on considère que les dérivation sont élastiques.

On tire $u_c = f(l_a/l)$; $l_a/l = 0,5/2 = 0,25$ d'où $u_c = 0,35$

$$C_2 = \sqrt{\frac{1 + \frac{I}{16} \frac{J_{dc}}{J} \left(\frac{l}{l_{dc}}\right)^3 u_c}{1 + \frac{q_{dc}}{q} \cdot \frac{l_{dc}}{l} u_c}} = \sqrt{\frac{1 + \frac{I}{16} \cdot \frac{0,0288}{10,4} \left(\frac{2}{1,5}\right)^3 \cdot 0,35}{1 + \frac{25}{500} \cdot \frac{1,5}{2} \cdot 0,35}}$$

$$C_2 = 0,99 = 1$$

D'où $f_0 = 3,26 \cdot C_2 = 3,26 \text{ Hz}$; $f_0/f_n = \frac{3,26}{50} = 0,065$

On voit que le résultat est acceptable ; puisque ce rapport est inférieure à 0,5 .

on tire K_σ sur la courbe K_σ étant inférieure à 1 donc la résonance n'aura pas lieu ; pour ce cas .

2) Départs vers les moteurs:

On a 2 barres de dérivations qui font les liaisons vers les moteurs entre 2 isolateurs consécutifs. Les caractéristiques de ces dérivations sont les mêmes :

$$q_{d1} = q_{d2} = 60 \text{ mm}^2$$

$$J_{d1} = J_{d2} = 0,200 \text{ cm}^4$$

$$l_{d1} = l_{d2} = 1,5 \text{ m}$$

$$l_{a1} = l_{a2} = 0,6 \text{ m}$$

Ces liaisons sont élastiques

puisque $J_{d1} = J_{d2} = 0,200 \text{ cm}^4 < J$

et $l_{d1} = l_{d2} = 1,5 \text{ m} > 0,3 \text{ l}$

$$l_a/l = 0,6:2 = 0,3 \quad u_c = 0,6$$

Alors C_2 sera :

$$C_2 = \sqrt{\frac{1 + \frac{I}{16} \cdot 2 \frac{0,2}{10,4} \left(\frac{2}{1,5}\right)^3 \cdot 0,6}{1 + 2 \frac{60}{500} \cdot \frac{1,5}{2} \cdot 0,6}}$$

$$C_2 = 0,952 \quad f_0 = 3,26 \cdot C_2 = 3,26 \cdot 0,952 = 3,097 \text{ Hz}$$

$f_0/f_n = 3,09/50 = 0,0618$. Ce résultat est également acceptable ; puisque ce rapport est inférieure à 0,5

K_σ est inférieur à 1 donc les barres n'entreront pas en résonance .

APPLICATION: Vérification du jeu de barres 380 V

Force de choc $f_{2\text{CHOC}}$:

$$f_{2\text{choc}} = (1,8)^2 \cdot 0,87 \cdot 2 \frac{\mu_0}{2\pi a} I''^2$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} ; a = 0,4 \text{ m} ; I'' = 26,3 \text{ KA} ;$$

$$\text{Donc } f_{2\text{choc}} = 3,24 \cdot 0,87 \cdot 2 \frac{4\pi}{2\pi \cdot 0,4} (26,3)^2 10^{-7}$$

$$\underline{f_{2\text{choc}} = 1949,5 \text{ N/m}}$$

Moment statique maximum $M_{c \text{ stat}}$:

$$l = 1,5 \text{ m} ; f = 3,56 \text{ Kg/m} \quad M_{c \text{ stat}} = \frac{3,56 \cdot 2,25}{10}$$

$$M_{c \text{ stat}} = 0,8 \text{ Kg.m} = \underline{80 \text{ Kg.cm}}$$

Contrainte statique maximale

$$\sigma_{\text{stat max}} = \frac{M_{c \text{ stat}}}{w}$$

$$w = 2,66 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{stat max}} = \frac{80}{2,66} = 30 \text{ kgf/cm}^2$$

On a $\sigma_{\text{stat}} < \sigma_{\text{adm}}$: Le jeu de barres résistera donc aux efforts statiques.

Calcul de la contrainte dynamique σ_{dyn} :

$$\text{La fréquence propre de la barre est : } f_0 = C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{3}{4l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{\rho \cdot q}}$$

Pour ce jeu de barres on a: $C_1 = 1$; $q = 400 \text{ mm}^2$; $l = 1,5 \text{ m}$

$$\text{D'où } f_0 = C_2 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{2,25} \sqrt{\frac{13000 \cdot 53300}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 400}}$$

$$\underline{f_0 = 4,6 \cdot C_2}$$

Détermination de C_2 :

DES barres collectrices de 380 v , nous avons des dériviatiions vers des sous-tableaux (I2MP_p, I2MP_{ia} etc..) et d'autres vers les moteurs. Nous allons donc considérer tout ces types de dériviatiions pour déterminer la résonance propre du jeu de barres dans chaque cas.

1) Départ sous-tableau I2MP_p :

Une dériviatiion entre 2 isolateurs qui a les caractéristiques suivantes:

$$q_d = 185 \text{ mm}^2 \quad \text{avec } b = 5 \text{ mm} , h = 40 \text{ mm} \quad \dots \quad J_d = 2,666 \text{ cm}^4$$

$$l_d = 1 \text{ m} ; l_a = 0,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} J_d < J & \quad \text{la dériviatiion est élastique} \\ l_d > 1 & \quad u_e = 0,1 \quad (\text{car } l_d/l = 0,2/1,5 = 0,13) \end{aligned}$$

$$\text{d'ou } C_2 = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{16} \frac{2,66}{5,33} \left(\frac{1,5}{1}\right)^3 \cdot 0,1}{1 + \frac{200}{400} \frac{1}{1,5} \cdot 0,1}} = 0,985$$

$$f_0 = 4,6 \cdot C_2 = 4,6 \cdot 0,985 = 4,53 \quad ; \quad f_0/f_n = 0,09$$

Ce rapport étant inférieur à 0,5 ; donc le résultat est acceptable . La courbe nous donne un K_σ très faible alors les barres auront des sollicitations électrodynamiques acceptables et elles ne pourront pas entrer en résonance.

2) Départ sous-tableau I2MP_{ia}:

Une seule dériviatiion entre 2 isolateurs :

$$q_d = 24 \text{ mm}^2 \quad \text{avec } b = 2 \text{ mm et } h = 12 \text{ mm} \quad J_d = 0,0288 \text{ cm}^4$$

$$l_a = 0,20 \text{ m} ; l_d = 1 \text{ m} \quad u_e = 0,1$$

$$\sqrt{\frac{1 + \frac{1}{16} \frac{0,0288}{5,33} \left(\frac{1,5}{1}\right)^3 \cdot 0,1}{1 + \frac{24}{400} \frac{1}{1,5} \cdot 0,1}} = 1$$

Donc $f_0 = 4,6$. $C_2 = 4,6$ hz ; $f_0 : f_n = 4,6/50 = 0,09$

Ainsi K_g est faible et les barres résisteront aux efforts électrodynamiques.

3) Départs pour les moteurs :

Nous avons 3 dérivations entre 2 isolateurs consécutifs avec les même caractéristiques:

$q_{d1} = q_{d2} = q_{d3} = 60 \text{ mm}^2$ avec : $b = 3 \text{ mm}$ et $h = 20 \text{ mm}$

$J_{d1} = J_{d2} = J_{d3} = 0,200 \text{ cm}^4$
 $l_{d1} = l_{d2} = l_{d3} = l_m$ } Les barres sont élastiques

On a $l_a = 0,20 \text{ m}$ $\rightarrow \frac{P}{\rho l} = 0,133 \Rightarrow u_e = 0,1$

$$C_2 = \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{0,22}{5,33} \cdot \left(\frac{1,25}{1}\right)^3 \cdot 0,1}{1 + 3 \cdot \frac{60}{400} \cdot \frac{1}{1,5} \cdot 0,1}} = 0,985$$

D'ou $f_0 = 4,6$. $C_2 = 4,6 \cdot 0,985 = 4,53$

$f_0/f_n = 4,53/50 = 0,09$ D'ou les conditions sont vérifiées puisque K_g est très faible

Ainsi le jeu de barres de 380 V , avec une section de 400 mm² vérifie les conditions de la stabilité électrodynamique.

- EFFORTS THERMIQUES -

Les éléments d'une installation électrique s'échauffent pendant un court-circuit; la chaleur dégagée dans le conducteur est très intense et peut entraîner sa fusion. D'où la nécessité de vérifier les sections choisies à la stabilité thermique.

La chaleur totale produite par effet Joule est:

$$P dt = Ri^2 dt = C M d\tau + \lambda S \tau dt \quad (1)$$

$C M d\tau$ = Chaleur emmagasinée dans le conducteur; avec:

C: Chaleur spécifique du matériau

M: Masse du matériau

$d\tau$: Différence de température entre le milieu ambiant et le conducteur.

$\lambda S \tau dt$ = Chaleur transmise au milieu ambiant au temps t.

λ : Coefficient de transmission de la chaleur vers le milieu ambiant

S: Surface latérale

τ : Echauffement du conducteur

Ce deuxième terme est négligeable ; donc on pourra écrire:

$P dt = Ri^2 dt = C M d\tau \quad (2)$. On peut aussi faire l'approximation suivante : $d\tau = d\theta$.

(La chaleur étant proportionnelle à la température)

On a également : $C = C_0 (1 + \beta \theta)$ et $R = R_0 (1 + \alpha \theta)$

L'expression (2) devient:

$$R_0 (1 + \alpha \theta) i^2 dt = C_0 (1 + \beta \theta) M d\theta \quad (3)$$

R_0 = résistance à 0°C = $\rho \frac{L}{S}$

C_0 = chaleur spécifique à 0°C

$M = \gamma L S$, γ : masse spécifique

On aura alors : $i^2 \rho (1 + \alpha \theta) \frac{L}{S} dt = C_0 (1 + \beta \theta) \gamma L S d\theta \quad (4)$

La séparation des variables t et θ , nous donne :

$$\frac{I}{S^2} i^2 dt = \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \cdot \frac{I + \beta \theta}{I + \alpha \theta} d\theta \quad (5) \quad \text{Pour } t = \text{durée du } C^t C^t$$

on aura:
$$\frac{I}{S^2} \int_0^t i^2 dt = \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \int_{\theta_i}^{\theta_f} \frac{I + \beta \theta}{I + \alpha \theta} d\theta \quad (6) \quad \text{avec :}$$

θ_i : température initiale

θ_f : température finale

L'intégration du second membre nous donne :

$$\begin{aligned} \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \frac{I + \beta \theta}{I + \alpha \theta} d\theta &= \frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(I + \alpha \theta_f) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_f \right] \\ &\quad - \left[\frac{C_0 \gamma}{\rho_0} \frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(I + \alpha \theta_i) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_i \right] \\ &= A(\theta_f) - A(\theta_i) \quad \text{Donc la relation (6)} \end{aligned}$$

devient :

$$\frac{I}{S^2} \int_0^t i^2 dt = A(\theta_f) - A(\theta_i) \quad (7)$$

$A(\theta)$ est une fonction donnée par des courbes (graphie, page 72)

Il faut donc calculer la valeur de l'intégrale $\int_0^t i^2 dt$

LE COURANT i à deux composantes ; l'une périodique i_p ,

l'autre apériodique i_a : $i = i_p + i_a$ donc:

$$\int_0^t i^2 dt = \int_0^t (i_p + i_a)^2 dt = \int_0^t i_p^2 dt + \int_0^t i_a^2 dt$$

En négligeant $\int_0^t 2i_p i_a dt$

$$\int_0^t i^2 dt = \int_0^t I_p^2 dt + \int_0^t I_a^2 dt$$

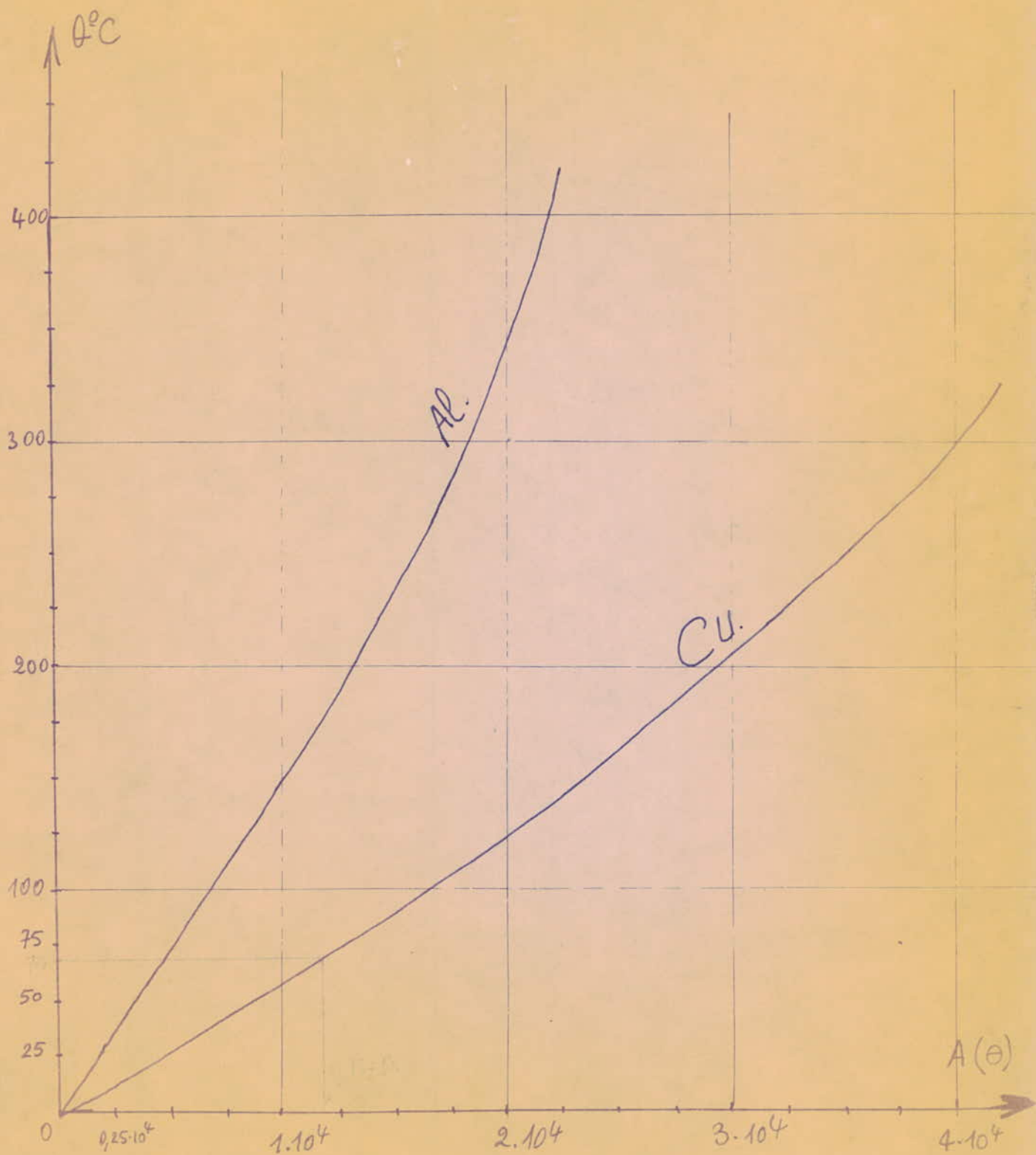
$\int_0^t I_p^2 dt$ ne peut pas être calculée, mais elle est déterminée

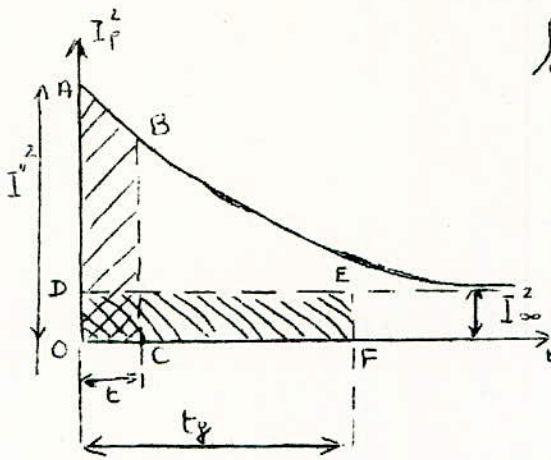
à l'aide des diagrammes avec le temps fictif t_f :

C'est le temps nécessaire pour que la chaleur dégagée

sous le courant périodique stabilisé I_∞ , soit égale à

celle dégagée pendant le temps réel, et sous le courant I''





$\int_0^t I_p^2 dt = \text{Surface (OABC)}$ qui est proportionnelle à la chaleur dégagée; d'où on détermine la surface (ODEF) égale à la surface (OABC)
 $OC = t = \text{durée du C.C}^t$
 $OF = t_f = \text{temps fictif}$
 $OD = I_\infty^2$; $OA = I''^2$

Le diagramme nous donne donc : $I_\infty^2 t_{fp} = \int_0^t I_p^2 dt$ (9)

t_{fp} est le temps fictif pour la composante périodique, et est donné par la courbe $t_{fp} = f(\beta'')$ avec $\beta'' = \frac{I''}{I_\infty}$ (courbe, page 74)

De même pour la détermination de $\int_0^t I_a^2 dt$, on utilise le temps fictif aperiodique t_{fa} ; et on obtient aussi :

$$I_\infty^2 t_{fa} = \int_0^t I_a^2 dt$$

t_{fa} est déterminé analytiquement : On a $I_a = \sqrt{2} I'' e^{-t/T_a}$

$$\begin{aligned} \text{D'où } t_{fa} &= \frac{I_\infty^2}{I_a^2} \int_0^t (2I'' e^{-t/T_a})^2 dt = \\ &= 2 \left(\frac{I''}{I_\infty} \right)^2 \int_0^t (e^{-2t/T_a}) dt = \beta''^2 T_a (1 - e^{-2t/T_a}) \end{aligned}$$

La constante de temps est prise égale à 0,05 sec, et t égale à 0,1 sec soit:

$$e^{-2t/T_a} = e^{-2 \cdot 0,1 / 0,05} = e^{-4} = 0$$

Donc :

$$t_{fa} = \beta''^2 T_a = 0,05 \beta''^2$$

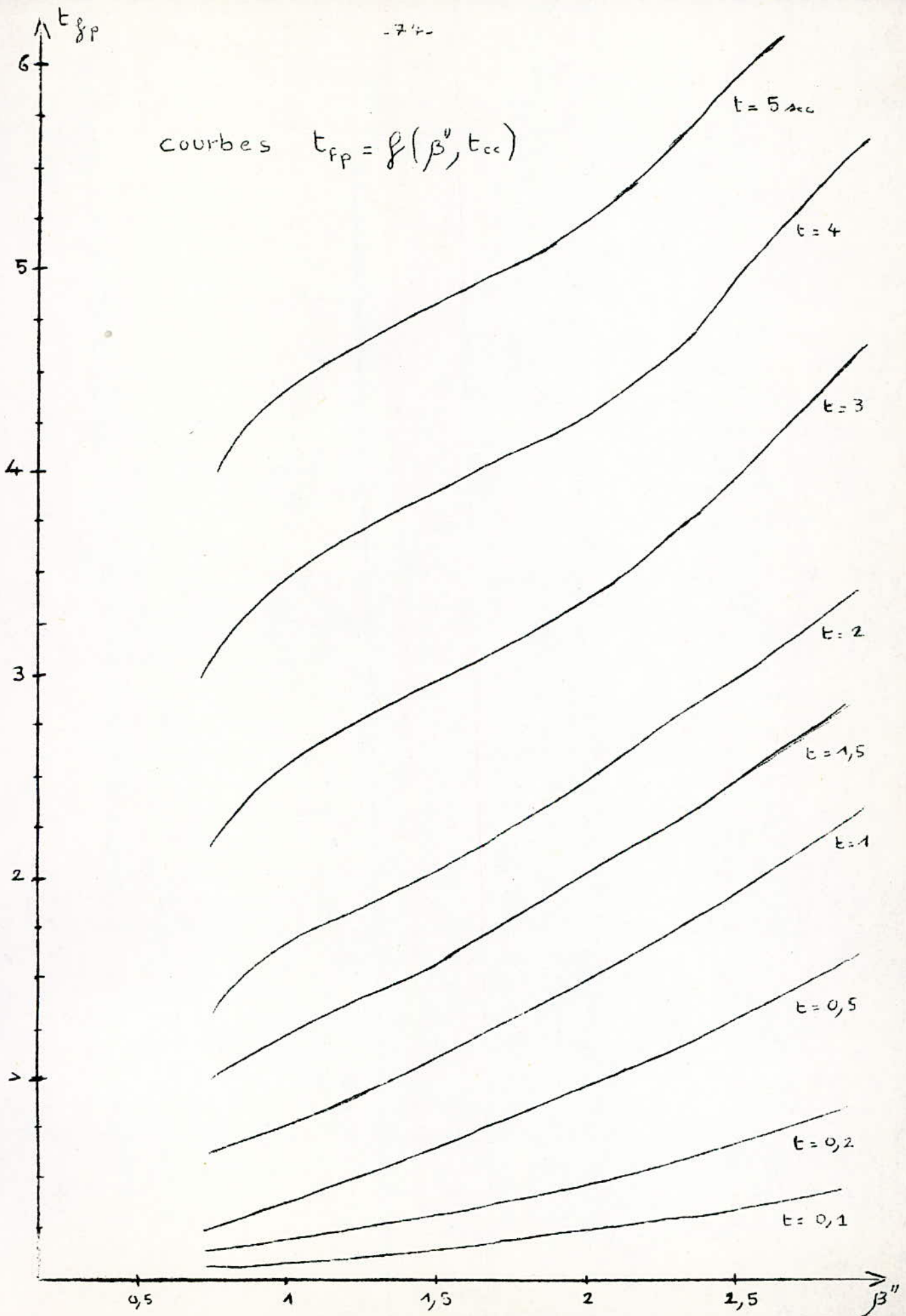
Connaissant donc t_{fp} et t_{fa} on pourra déterminer $\int_0^t i^2 dt$

$$\int_0^t i^2 dt = \int_0^t I_p^2 dt + \int_0^t I_a^2 dt \quad \text{et grace aux relations (9) et (10)}$$

on écrira : $\int_0^t i^2 dt = I_\infty^2 (t_{fp} + t_{fa}) = I_\infty^2 t_f$ avec $t_f = t_{fp} + t_{fa}$

Et si on considère la relation (7), nous aurons finalement:

$$-\frac{I}{S^2} \int_0^t i^2 dt = A(e_f) - A(e) = -\frac{I}{S^2} I_\infty^2 t_f$$



$$S = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_f}}{\Lambda(\theta_f) - \Lambda(\theta_i)} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_f}}{C} \quad (II)$$

$\Lambda(\theta_f) - \Lambda(\theta_i) = C$; C est donné en fonction de la température limite qui est de 250°C pour le cuivre pendant un court-circuit.

En régime de fonctionnement normale la température maximum admissible est de l'ordre de 70°C, avec la température du milieu ambiant comprise entre 25°C et 30°C .

	Cables à U 10KV	Cables à U: 20-35KV
Cu	C=140	C=110
Al	C=85	C=70

Comme application , nous calculerons les sections S_{cc} qui doivent résister pendant un $C \cdot C^t$, et ainsi voir si les sections des jeux de barres existant déjà à la centrale d'ALGER-PORT vérifient la stabilité thermique. Nous déterminerons aussi le temps t_{cc} pendant lequel la section des jeux de barres résistera au $C \cdot C^t$. Et enfin nous nous proposons de calculer la température finale lors d'un $C \cdot C^t$.

I) Vérification du jeux de barres 5,5 KV :

Section du jeux de barres 5,5 kv : $S = 500 \text{ mm}^2$

$I'' = 31,5 \text{ KA}$ En régime défavorable

$I_{\infty} = 31,36 \text{ KA}$

$$\beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}} = \frac{31,5}{31,36} = 1$$

A l'aide de la courbe $t_{fp} = f(\beta'')$ on tire t_{fp} pour un temps de $C \cdot C^t$, $t_{cc} = 0,2 \text{ sec}$ et $\beta'' = 1$

On a $t_{fp} = 0,2 \text{ sec}$ $t_{fa} = \beta''^2 \cdot T_a = 1^2 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ sec}$

Donc: $t_f = t_{fp} + t_{fa} = 0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ sec}$

$$S_{cc} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_f}}{C} = \frac{31360 \cdot \sqrt{0,25}}{140} = 112 \text{ mm}^2$$

On a pris $C = 140$ (voir tableau)

Donc la section qui résistera pendant le $C \cdot C^t$ sera $S_{cc} = 112 \text{ mm}^2$

Ce qui veut dire que la section du jeu de barres de 5,5KV , $S = 500 \text{ mm}^2$ résistera à ce $C \cdot C^t$.

Dans le cas où l'on trouverait une section S_{cc} supérieure à la section choisie (S_n) , on augmenterait cette dernière à la section normalisée immédiatement supérieure à S_{cc} .

Détermination de t_{cc} :

Temps maximum pour lequel la section choisie résistera au $C \cdot C^t$.

Pour trouver t_{cc} on fait le chemin inverse; c'est à dire connaissant S , (section choisie) on calcule t_{fp} .

$$S_n = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_f}}{C} \quad t_f = \left(\frac{S_n \cdot C}{I_{\infty}} \right)^2 = t_{fp} + t_{fa}$$

$$t_{fp} = \left(\frac{S_n \cdot C}{I_{\infty}} \right)^2 - t_{fa} \quad \text{avec } t_{fa} = \beta''^2 \cdot T_a$$

$$t_f = \frac{500 \cdot 140}{31360} = t_{fp} + t_{fa} = (2,23)^2 \quad \text{donc}$$

$$\underline{t_f = 4,97 \text{ sec}}$$

$$t_{fa} = \beta''^2 \cdot T_a = I^2 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ sec}$$

On aura alors:

$$t_{fp} = 4,97 - 0,05 = \underline{4,92 \text{ sec}}$$

Sur les courbes $t_{fp} = f(\beta'' ; t_{cc})$, on détermine t_{cc} connaissant β'' et t_{fp} .

$$\left. \begin{array}{l} t_{fp} = 4,92 \text{ sec} \\ \beta'' = I \end{array} \right\} \Rightarrow \underline{t_{cc} = 5,5 \text{ sec}}$$

Donc la section des jeux de barres 5,5 KV, résistera pendant un temps de 5,5 sec au C.C^t.

Calcul de la température finale θ_f :

Pendant un C.C^t, la température des barres ne doit pas dépasser 250°C, pour le cuivre et 150°C pour l'aluminium.

Il faut donc qu'on calcule θ_f pour voir si la section choisie ne sera trop éprouvée par l'augmentation de la chaleur, lors d'un C.C^t.

on a : $S = 500 \text{ mm}^2$; $I = 31360 \text{ A}$; $I'' = 31500 \text{ A}$

$$C^2 = A(\theta_f) - A(\theta_i) = \frac{I''^2}{S^2} \cdot t_f$$

On a vu que $t_f = 0,25 \text{ sec}$, alors :

$$C^2 = \frac{31360^2}{500^2} \cdot 0,25 = 983,45$$

$$\underline{C^2 \equiv 0,0983 \cdot 10^4}$$

Nous prendrons la température initiale θ_i égale à 70°C , ainsi on aura considéré le cas où les barres sont déjà à la température maximum admissible ; donc dans le cas défavorable.

Pour $\theta_i = 70^\circ\text{C}$, la courbe $A(\theta)$ nous donne
 $A(\theta_i) = 1,5 \cdot 10^4$ alors : $A(\theta_f) = C^2 - A(\theta_i)$

$$A(\theta_f) = 1,5 \cdot 10^4 + 0,0983 \cdot 10^4 = \underline{\underline{1,598 \cdot 10^4}}$$

Pour $A(\theta_f) = 1,598 \cdot 10^4$, la courbe $A(\theta)$ nous donne :

$$\underline{\underline{\theta_f = 78^\circ\text{C}}}$$

θ_f étant largement inférieure à la température limite (250°C) alors la section du jeu de barres 5,5KV , vérifie les conditions de la stabilité thermique.

Vérification du jeu de barres 380 V :

$$S = 400 \text{ mm}^2 ; I'' = 26,315 \text{ KA} ; I_{\infty} = 23,8 \text{ KA}$$

$$- \beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}} = \frac{26315}{23800} = 1,105$$

- t_{fp} : pour $t_{cc} = 0,2 \text{ sec}$ et $\beta'' = 1,1$, la courbe

$$t_{fp} = (\beta'', t_{cc}) \text{ nous donne : } \underline{t_{fp} = 0,225 \text{ sec}}$$

$$- t_{fa} = \beta''^2 \cdot T_a = (1,1)^2 \cdot 0,05 = \underline{0,06 \text{ sec}}$$

$$- t_f = t_{fp} + t_{fa} = 0,225 + 0,06 = \underline{0,285 \text{ sec}}$$

$$- S_{cc} = \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_f} = \frac{23800}{140} \sqrt{0,285} = 90,78 = \underline{91 \text{ mm}^2}$$

La section du jeu de barres des auxiliaires 380 V , résistera donc largement aux efforts thermiques dus aux courants de C.C.T; puisque la section S_{cc} est inférieure à la section choisie.

Détermination de t_{cc} :

$$t_f = \left(\frac{S_n \cdot C}{I_{\infty}} \right)^2 = \left(\frac{400 \cdot 140}{23800} \right)^2$$

$$\underline{t_f = 5,52 \text{ sec}}$$

$$- t_{fa} = 0,06 \text{ sec} \text{ d'où } t_{fp} = t_f - t_{fa} = 5,52 - 0,06$$

$$\underline{t_{fp} = 5,46 \text{ sec}}$$

Pour $t_{fp} = 5,46 \text{ sec}$ } la courbe $t_{fp} = (\beta'', t_{cc})$
 $\beta'' = 1,1$ }
nous donne: $t_{cc} = 6 \text{ sec}$

La section de 400 mm^2 du jeu de barres 380 V résistera à un temps $t_{cc} = 6 \text{ sec}$ lors d'un C.C.T.

Calcul de la température finale θ_f :

$$S = 400 \text{ mm}^2 ; I'' = 26315 \text{ A} ; I_{\infty} = 23800 \text{ A}$$

$$t_{fp} = 0,225 \text{ sec} ; t_{fa} = 0,06 \text{ sec} ; t_f = 0,285 \text{ sec}$$

$$C^2 = \frac{I_{\infty}^2}{S^2} \times t_f = \left(\frac{23800}{400} \right)^2 \cdot 0,285 = 993 = 0,0993 \cdot 10^4$$

$$\text{Pour } \theta_i = 70^\circ\text{C} \quad A(\theta_i) = 1,5 \cdot 10^4$$

$$A(\theta_f) = C^2 + A(\theta_i) = (0,0993 + 1,5) \cdot 10^4$$

$$A(\theta_f) = 1,6 \cdot 10^4 \quad \text{Enfin grace à la courbe } A(\theta)$$

$$\text{on tire : } \underline{\theta_f = 80^\circ\text{C}}$$

Donc les conditions aux efforts thermiques sont vérifiées pour le jeu de barres 380 V.

CHOIX des DISJONCTEURS

Les disjoncteurs sont choisis d'après les caractéristiques suivantes :

- Tension nominale
- Courant nominal
- Pouvoir de coupure
- Type d'installation (intérieure ou extérieure)

La tension nominale du disjoncteur correspondra à la tension nominale du système où est placé ce disjoncteur.

Le courant nominal doit être plus grand que la valeur du courant de charge maximum de durée du circuit où se trouve placé l'appareil.

Le courant de coupure est donné par des catalogues. Ce courant doit être plus grand que la valeur efficace du courant de $C.C^t$ au moment de la séparation des contacts du disjoncteur (0,1 sec) A 0,1 sec on peut considérer que la composante apériodique est pratiquement amortie, ainsi on utilisera uniquement la composante périodique.

Donc pour le choix des disjoncteurs, on indiquera les caractéristiques suivantes:

- Tension nominale
- Courant nominal
- Courant de déclenchement: C'est le courant de $C.C^t$ à $t = 0,2$ s (Il est déterminé à l'aide des courbes de calcul, mais on peut voir sur ces courbes que ce courant de déclenchement peut être pris égale à 80 % du courant surtransitoire I'')

Donc
$$\underline{I_d = 0,8 I''}$$

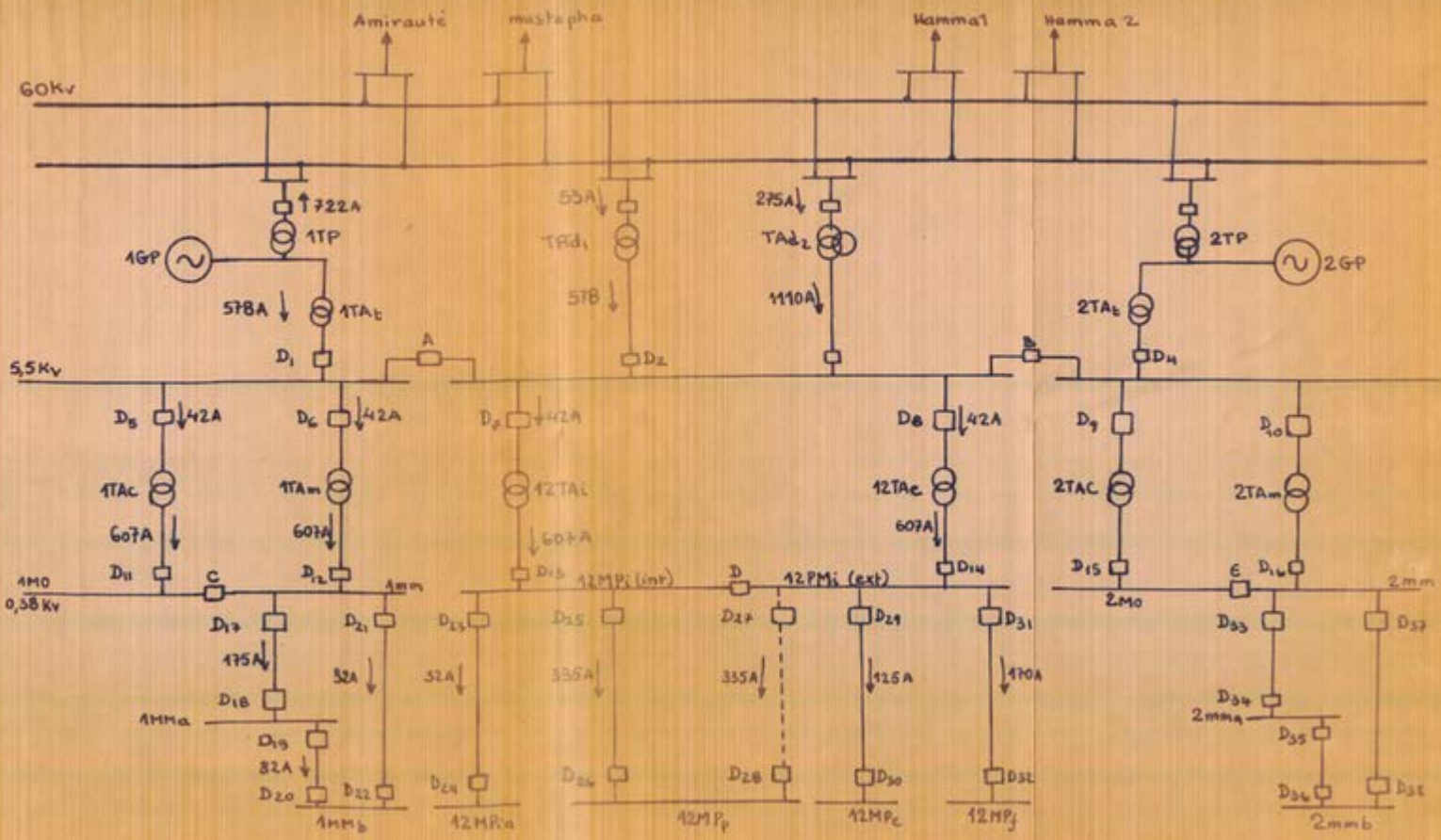
- Pouvoir de coupure: C'est le courant de 'coupure' multiplié par la tension de service.

Le courant de coupure étant le courant I'' (à $t = 0$ s)

multiplié par un coefficient de sécurité: $K_s = 1,2$

$$I_{\text{coupure}} = 1,2 I''$$

DISJONCTEURS - courants nominaux



Disjoncteurs	U_n (KV)	I_n (A)	I_d (KA)	$I_{coupure}$ (KA)
D_1	5,5	578	5,178	7,762
D_2	"	"	4,864	7,296
D_3	"	1110	9,708	14,562
D_4	"	578	5,168	7,762
D_5, D_6, D_7, D_8 D_9, D_{10}	"	42	23,156	34,735
D_{11}, D_{12}, D_{13} D_{14}, D_{15}, D_{16}	0,38	607	10,525	15,788
D_{17}, D_{18} D_{33}, D_{34}	"	175	12,412	18,618
D_{19}, D_{20} D_{35}, D_{36}	"	32	5	7,48
D_{21}, D_{22} D_{37}, D_{38}	"	32	2,3	3,46
D_{23}, D_{24}	"	32	3,4	5,09
D_{25}, D_{26} D_{27}, D_{28}	"	335	14,6	21,9
D_{29}, D_{30} D_{31}, D_{32}	"	170	10	15
A, B, T	5,5		25,2	37,8
C, D, E	0,38		21	31,578

- CONCLUSION -

Les circuits auxiliaires de la centrale d'ALGER PORT vérifient largement, les conditions à la stabilité électrodynamiques et thermiques .

Pour assurer le bon fonctionnement, et par la même occasion de réduire les conséquences (parfois graves), des perturbations (court-circuit); il faut éviter d'une manière générale la mise en parallèle des transformateurs, pour alimenter un jeu de barres. Ainsi les courants de court-circuit seront limités. Les sections des jeux de barres, adoptées à la centrale d'ALGER satisfont également les conditions de stabilité électrodynamiques et thermiques; puisque on a vu que les résultats trouvés étaient loin d'atteindre les valeurs limites admissibles .

Les disjoncteurs du tableau 5,5 KV placés à la centrale, ont un pouvoir de coupure de 250 MVA, soit 26,3 KA. Le courant de coupure des disjoncteurs du tableau des auxiliaires 380 V est de 12000 A .

A partir des résultats du tableau de la page 83, on voit qu'il y a des disjoncteurs qui sont surdimensionnés , tels que :

D_1, D_2, D_3, D_4 etc ... Par contre les disjoncteurs tels que D_5, D_6, D_7 ... sont bien dimensionnés

Le calcul des courants de C.C^t minimums pourra servir à une étude éventuelle de la protection , il permettra de déterminer par exemple les courants de seuil des relais de protection .

Pour les sectionneurs, étant des appareils de coupure à vide ; il suffit pour leur choix de donner les tensions et courants nominaux .