

2/80

U. S. T. A

ECOLE NATIONALE

MARJ BOUMEDIENE

POLYTECHNIQUE

nea

département électricité

filière d'ingénieur en électrotechnique



PROJET DE FIN D'ETUDE



PROJET DE CONCEPTION

DE L'ALIMENTATION EN ENERGIE

ELECTRIQUE D'UNE USINE

Proposé et dirigé par :

étudié par :

Mr W. MICHALAC

H. BENACER

Promotion Juin 1980

U. S. T. A
MARI BOUMEDIENE

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE

département électricité
filiale d'ingénieur en électrotechnique
.....

PROJET DE FIN D'ETUDE

PROJET DE CONCEPTION
DE L'ALIMENTATION EN ENERGIE
ELECTRIQUE D'UNE USINE

Proposé et dirigé par :

Mr W. MICHALAC

étudié par :

H. BENACER

Promotion Juin 1980

R E M E R C I E M E N T

Je Tiens à Exprimer ma Gratitude à.

Monsieur : W. MICHALAK pour son Aide.

A mes frères et soeurs.

TABLE DES MATIERES

1 - Introduction et caractéristiques du projet	1
2 - Choix des cables à 15 K.V	3
3 - Nombre de stations 15/0,38 et 15/3 et Puissance des transfo	7
4 - Reseau d'alimentation H.T	11
5 - Station de Transfo mation 15/0,38 et 15/3 KV description des locaux- Transfo- Distributeur.BT et HT.....	12
6 - Courants de court-circuit. a/Triphasés - b/ monophasés	14
7 - Protection du reseau	21
8 - Choix des appareils de protection	28
9 - Protection des Transfo	29
10 - Schemas et dessins	32
10 - Conclusion	40

1 - -INTRODUCTION -

On se propose de concevoir une alimentation en energie électrique d'une usine. Le but est de trouver un schema d'alimentation fiable et technologiquement realisable.

Il necessite le choix des canalisations, le calcul des charges électriques en regime de fonctionnement normal et en cas d'avarie. Ceci d'une part, et d'autre part il necessite le choix de la protection et sa verification. Néanmoins ces calculs sont approximatifs, mais peuvent être pris comme directives pour un projet Technique, dans lequel les parties essentielles de ce Travail seront prises en consideration.

Toute fois, le coût du projet n'a pas été estimé faute de données.

2- Carracteristiques du projet.

Projet de conception de l'alimentation en energie électrique d'une usine

Une usine sera établie sur un terrain dont la superficie en forme d'un rectangle est égale à 400 m x 700 m.

La consommation de l'energie électrique de pointe sera la suivante:

a) à la tension 3000V - 3 MW, $\cos = 0,8$

b) à la tension 380V - 4 MW, $\cos = 0,85$

Le régime de production exige que dans le cas d'une avarie du côté HT l'alimentation de 60% de la charge soit garantie.

Les récepteurs BT seront repartis d'une façon approximativement uniforme sur le terrain.

Les récepteurs HT seront localisés dans la partie marquée sur le plan.

L'alimentation de l'usine sera effectuée par des cables souterrains 15 KV sortant d'une station de transformation 110/15 KV, éloignée de 10 Km du centre de l'établissement.

La station 110/15 KV est équipée de deux transformateurs de 20 MVA chacun et n'a qu'un jeu de barres de chaque côté.

La puissance de court-circuit du côté 110 KV est égale à 2500 MVA.

Les transformateurs ont le couplage étoile-trianphe, le second du côté 15 KV.

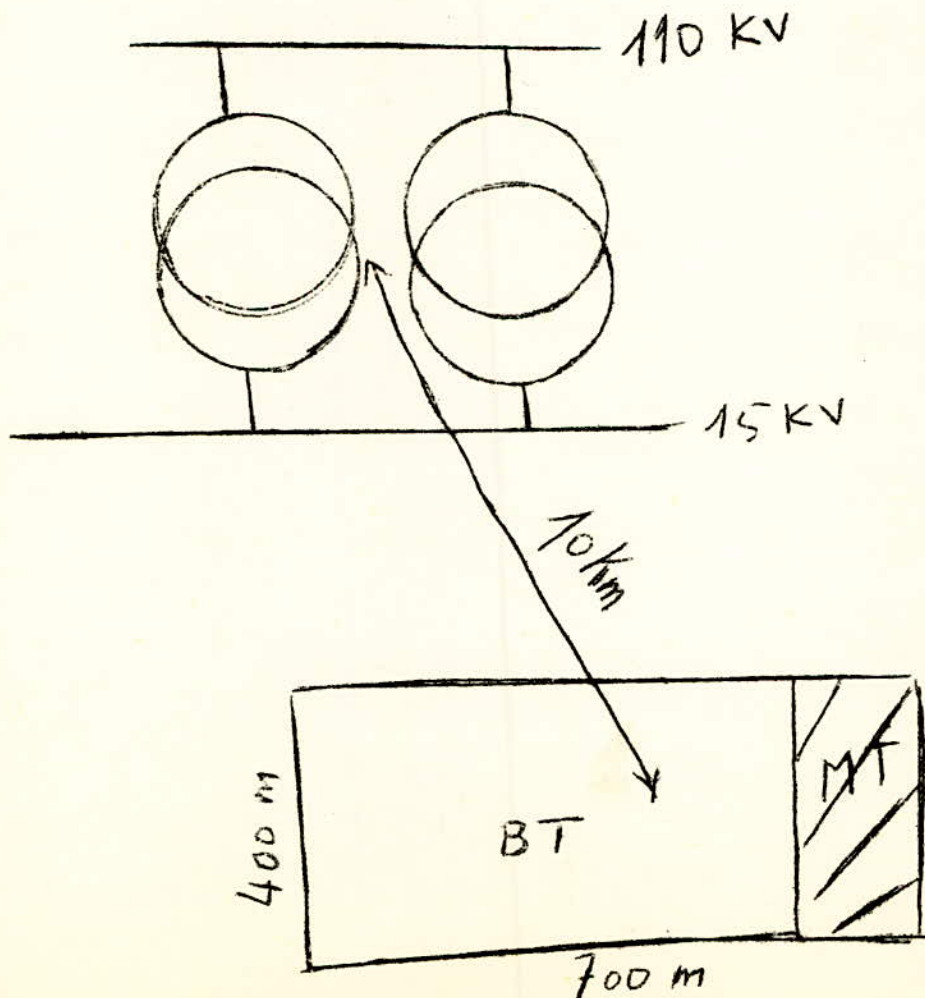
Le réseau 15 KV alimenté de la station contient 80 Km de lignes aériennes et 50 Km de cables le courant capacitif de court-circuit monophasé étant compensé d'une bobine Bauch.

La bobine possède une réserve de puissance pour couvrir la charge supplémentaire de nouvelles lignes.

Le problème à élaborer est le suivant :

Elaborer un projet de conception de l'alimentation en énergie électrique de l'usine, en particulier :

- 1) Déterminer le nombre et l'emplacement approximatif des postes de transformation sur le terrain.
- 2) Déterminer le nombre et les puissances des transformateurs.
- 3) Déterminer le nombre et les sections des câbles 15 KV.
- 4) Faire le schéma de postes.
- 5) Choisir les appareils essentiels.
- 6) Dresser les plans des postes.
- 7) Proposer les protections des lignes et des transformateurs contre les surcharges et les courts-circuits. Choisir les transformateurs de courant et de tension, les relais et élaborer les schémas développés.



3- Choix des sections des cables souterrains à 15 KV.

Les cables ont été déterminés suivant les conditions de Travail.

La section du cable est fonction de :

- 1) la tension d'utilisation.
- 2) la densité optimale du courant dans les conditions normales.
- 3) si l'intensité parcourant le cable est supérieure à l'intensité max. compatible avec la section nominale , celle-ci sera déterminée par l'échauffement du cable.

A partir de ces critères, et après vérification des chutes de tension et l'échauffement du cable en régime normal, et en cas d'avarie nous pouvons juger si la section choisie est valable ou pas.

On a choisie la densité optimale du courant :

$$j_{opt} = 1,2 \text{ A/ mm}^2$$

d'après le tableau (1) et les calculs faits, opté pour la section Al 95 mm², et en va vérifier les critères cités avant, sur cette section.

$$S \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{I}{J_{opt}} = \frac{I}{1,2}, \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} \cos \phi} \text{ : courant parcourant chaque Tronçon}$$

$$Q = P \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi} - 1}$$

Coté 0,38 kv

Coté 3 kv

P (MW)	4	3
S (MVA)	4,7	3,74
Q (MVAR)	2,48	2,25
cos φ	0,85	0,8
I (A)	181	144
S mm ² calculée	151	120
S mm ² choisie	95	95
Nombre de cable.	2	2

Tableau (1)

pour alimenter le coté BT (0,38 KV) nous avons opté pour deux cables triphasé Al 95, et la même chose pour le coté MT (3 KV).

Nous allons essayer de verifier l'echauffement en fonctionnement normal et en cas d'avarie, en calculant I_{fictif} et I_{charge}, Ainsi que les chutes de Tension dans les cables.

$$\Delta U = \sqrt{3} (I R \cos \varphi + I x \sin \varphi)$$

$$I \text{ charge} = \frac{I \cdot 60 \%}{K_1 K_2}$$

$$I \text{ fictif} = \frac{I/2}{K_1 K_2}$$

$$R = R' l \quad R' = \frac{30}{S} \quad \Omega/\text{km.}$$

$$l = 10 \text{ km} \quad S : \text{Section (mm}^2\text{)}.$$

	S Al mm ²	K %/km	R Ω/km	I adm (A)	ΔU %	I fictif (A)	I charge (A)	cos φ	sin φ
Cote 0,38 kv	95	0,095	0,31	200	3,46	137,7	165,2	0,85	0,52
Cote 3 kv	95	0,095	0,31	200	2,6	109,5	131,4	0,8	0,6

Tableau 2

$K_1 = 0,913$ est le coeff. de temperature ambiante.

$K_2 = 0,72$ est un coeff. relatif au nombre de cables mis en une seule Tranchée.

Pour 4 cables $K_2 = 0,72$. Cette tranchée relie le poste de transformation (110/15) KV et l'usine. A l'entrée de l'usine les cables se séparent deux à deux pour alimenter les differentes consommations BT et MT.

D'après le tableau (2) Nous remarquons que dans les deux cas de fonctionnement Normal et en cas d'avarie (sur l'un des deux cables) les courants sont toujours inferieurs au courant admissible de même que les chutes de tensions dans ces cables sont inferieures aux valeurs admissibles.

Ces cables triphasés sont à isolation en papier imprégné gaine de pb (Plomb). Le champ électrique est normal aux couches isolantes (cables à surfaces équipotentielles.)

donc le champ électrique est radial.

Principales caracteristiques du cable choisie :

	papier imprégné
Temperature maximale admissible (C.E.I) (°C)	65
" de court-circuit (C.E.I) (°C)	150
Permittivité relative ϵ (pour Tmax)	4
Facteur de pertes $\frac{t}{\delta} (10^4)$	30 à 100
Resistivité Thermique (°C cm/w)	600
Epaisseur de l'enveloppe isolante (15 KV) mm	5
Gradient maximal au conducteur (KV/mm)	2 à 3,6

Principales caracteristiques de l'aluminium:

Resistivité à 20°C ($\Omega \text{mm}^2/\text{m}$)	0,0282
coeff. de variation de la resistance (par °C)	0,004
Resistance à la rupture (daN/mm^2)	13 à 17
allongement à la rupture (%)	0,5 à 2,5
Masse Volumique à 20°C (Kg/dm^3)	2,72
coeff. de dilatation lineaire (par °C)	0,000023

4 - Choix du nombre de stations 15/0,38 KV

Dans ce qui suit,

On va déterminer le nombre de stations (15/0,38) et les puissances des transformateurs et ceci. En utilisant la méthode suivante:

Connaissant la puissance consommée, on détermine le courant total du côté B.T

$$I_t = \frac{\sum P}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n} K_1 \cdot K_2$$

où : $\sum P$: puissances actives

U_n : Tension (380 V)

$\cos \varphi_n$: Facteur de puissance

$K_1 = 1,2$ coefficient de réserve.

$K_2 = 1,1$ facteur de diversité de charge.

En divisant la valeur obtenue par la charge admissible d'un câble. On a obtenu le nombre nécessaire de câbles pour alimenter tous les récepteurs B.T.

On a envisagé l'utilisation éventuelle, de trois sections de câbles, Al 95, Al 70, Al 50.

Les résultats sont groupés dans le tableau (3).

Courtant Total : $I_t = \frac{4\ 000}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 1,1 \cdot 1,3$		
Section S (Al) mm ²	Courant admissible (A)	nombre de câbles nécessaires
95	200	47
70	170	56
50	155	61

Tableau (3).

Nous remarquons que le nombre de cables sera considérable dans le choix du nombre de stations:

Choisir deux stations nous laissé sortir de chaque station en moyenne 30 cables. Ce qui est pratiquement difficile à effectuer, du point de vue encombrement. Si on utilise de gros cables (ce qui diminue le coût de la station), mais la capacité de charge des cables diminue, car ces cables s'entrechaufferaient.

Le reseau B.T ne fait pas partie de ce sujet. Il sera traité dans le projet technique, mais quelque sont cette solution, la reduction de Feeders sortants d'une station ne pourra être reduite.

Tout au contraire en pratique les sections devront être diversifiées selon les exigences locales. Par exp: il faudra alimenter l'éclairage extérieur dans la demande de puissance est relativement faible, pour conséquent en section du cable sera reduite, de plus, il existe des recepteurs qui seront alimenter individuellement ou separément...

Tenant compte de ces arguments principaux, on a décidé d'appliquer 4 (quatre) stations.

Elles seront localisées sur le terrain, de l'usine. fig 1, de telle façon que la longueur totale des cables B.T soit la moindre possible.

Bien sûr, la localisation des stations dependra encore de la localisation des batiments de la fabrique, mais nous essayons toujours de prendre consideration des critères de determination du point d'alimentation:

- a) facilité de passage des principales canalisations d'alimentation.
- b) Emplacement defini par: visibilité, facilité de manoeuvres etc...
- c) Proximités des accès du personnel ou service de garde.
- d) Emplacement qui permet la réalisation aux moindres frais, par reduction des longueurs des conducteurs ... et par conséquent la minimisation des chutes de tension.

5 - Choix de puissances des transfo 15/0,38 KV

La puissance totale à fournir, du côté 0,38 KV est égale a:

$$S = \frac{4}{0,85} = 4,7 \text{ MVA}$$

Etant donné qu'on a choisi 4 stations. La puissance totale de chaque Transfo est de:

$$P = \frac{4,7}{4} = 1,175 \text{ MVA}$$

La puissance la plus proche standardisée des Transfo est : 1250 KVA.

donc: dans chaque station on a placé un transformateur de 1250 KVA et de $\Delta U\% = 5\%$ ce qui donne une puissance totale de 4×1250 KVA il yaura une puissance de reserve d'utilisation de Transfo de 300 KVA.

L'avantage du choix des Transformateurs à puissances modérées, consiste en la limitation des courants de court-circuit, ceci nous permet d'utiliser un appareillage de protection (disjoncteurs, fusible,) dont la puissance n'est pas trop grande, ce qui limite les frais d'installation.

6 - Choix du nombre de stations 15/3 KV

Le Terrain sur lequel les recepteurs à 3 KV sont groupés est relativement petit.

On n'aura pas le problème, ni avec le nombre de stations ,ni avec le nombre de cables, pour cette raison on a prévu une seule station de 15/3.

$$S = \frac{3}{0,8} = 3,75 \text{ MVA} \quad I_t = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 0,8} = 1032 \text{ A}$$

Section S (Al) mm ²	courant admissible (A)	ncmbre de cables nécessaires
95	200	5
70	170	6
50	155	7

Tableau (4)

7 - Choix de la puissance des transfo 15/3 KV

La puissance de pointe est égale a:

$$P = \frac{3}{0,8} = 3,75 \text{ MVA}$$

On a choisi deux Transfo de 2 MVA chacun ($\Delta U\% = 7\%$).

De cette façon la condition de l'alimentation de 50% de la charge du côté 3 KV est assurée, dans le cas d'une avarie sur l'un des deux transfo ou cables.

1- Réseau d'alimentation HT (15 KV)

Après avoir déterminé le nombre de câbles 15 KV, ainsi que le nombre de stations sur le terrain, nous pouvons dresser le schéma de l'installation d'alimentation fig (2).

Nous allons résoudre le problème d'alimentation de l'usine en discutant les points suivants:

- 1) L'alimentation en état de fonctionnement normal.
- 2) L'alimentation en état d'avarie.
- 3) Fiabilité de l'alimentation.

a) Alimentation des stations 15/0,38 KV

1) En état de fonctionnement normal:

Pour alimenter les stations 15/0,38 KV on a prévu deux câbles Al 95 mm². Ces deux câbles, forment une boucle ouverte fig (2). Chaque câble alimente deux stations.

La capacité de transmission d'un câble Al 95 mm² est:

$$P = \sqrt{3} \cdot 181 \cdot 15 = 4702 \text{ KVA}$$

ou : 181 : courant parcourant le câble Al 95 mm² si l'autre câble est en panne.

15 : est la tension du réseau.

Un tel câble peut alimenter les 4 (quatre) stations mais ce sont les conditions d'avarie qui décident.

2) Alimentation en cas d'avarie:

En cas d'avarie sur l'un des deux câbles à 15 KV, nous pouvons alimenter les 4 stations à l'aide d'un seul câble en utilisant (K) prévu entre les deux câbles fig (2).

3) Fiabilité de l'alimentation:

On a prévu une réserve dans les câbles, et les transfo, sur les câbles on a une réserve de 100% et de 80% sur les transfo.

La condition d'alimentation de 60% de la charge, et en cas d'avarie est remplie. L'avarie sur les deux cables est exclue.

b) Alimentation de la station 15/3 KV

Afin d'unifier les sections des cables on a choisi des cables Al 95 mm², bien que la demande de la puissance du côté 3 KV soit inferieure à celle du côté B.T.

Deux cables Al 95 ont été choisis pour remplir les conditions d'alimentation. En cas d'avarie sur l'un des deux cables l'autre assure l'alimentation.

On pourrait discuter la possibilité d'utilisation de reserve existante dans la reserve de cables alimentants les stations 15/0,38, mais la raison pour laquelle on a renoncé a une telle solution est qu'on voulait séparer les deux groupes de recepteurs.

2- Station de Transformation 15/0,38 KV

a) Description des locaux:

La station 15/0,38 est un poste ouvert maçonné les appareils électriques sont separés dans les cellules, fixés contre ou sur des parois maçonnées.

Pour réaliser cette station:

On doit au préalable:

- 1) Etudier le bâtiment destiné au poste, local spécialisé obligatoire, ainsi que ses aménagements (cloisons, caniveaux etc).
- 2) Le schéma électrique du poste et la définition des appareils à approvisionner.
- 3) Ceci est fait, on supposant que l'installateur connaisse bien les problèmes pratiques H.T, l'appareillage, les schémas, et les normes relatives à ces ouvrages, la législation doit être respectée point par point.

L'installateur doit choisir l'appareillage en friction:

- a) des indications générales données dans la réglementation Technique.
- b) des caractéristiques du réseau fourni (15 KV)

Le positionnement des appareils doit être effectués suivant les indications de la norme C 13 100.

On doit assurer la sécurité du personnel par l'éloignement des points sous tension.

Le respect de ces distances se traduit par un dimensionnement important du poste.

fig : 3a

b) Transformateur:

Le transformateur est de puissance nominale 1250 KVA le rapport de transformation est de 15/0,38 KV, et de Type à bain d'huile intérieur.

Le couplage des enroulements du Transformateur Δ/Δ (- Triangle - zig-zag) Triangle du côté HT et le zig-zag du côté B.T ce dernier pour rendre la charge des phases équilibrée.

Les dimensions du Transfo sont représentées sur fig: 3 b.

c) Distributeur: BT.

Le Transformateur sera connecté au jeu de barre par l'intermédiaire d'un disjoncteur automatique.

Ce disjoncteur servira de protection pour le Transformateur contre les surcharges.

Il est discutable l'utilisation des appareils de mesure afin de contrôler l'équilibre de charge de phase.

Il serait souhaitable d'utiliser Trois Transformateurs de courant, mais cela sera décidé dans le projet Technique. Les Feeders B.T seront équipés de fusible et de disjoncteurs .

d) Distributeur H.T.

On prévoit quatre cellules H.T, une pour l'appareillage du Transfo, deux pour l'appareillage de lignes, et une de réserve. Cette dernière est prévue pour les Transfo, de mesure si l'on va décider de mesurer les courants et les Tensions.

Dans la cellule du Transfo, il y'aura des fusibles HT, de grandes puissances, le sectionneur de puissance et un transfo de courant pour la mesure du courant.

Les fusibles constitueront la protection du Transfo contre les court circuit: Le sectionneur de puissance est introduit parceque la puissance du Transformateur est telle que, même à vide il ne peut pas être déconnecté à l'aide d'un sectionneur simple.

Dans l'équipement de lignes on ne prévoit que des sectionneurs. fig (4)

1- Courants de court-circuit

Deux Types de courant de court-circuit devraient être pris en consideration entre phases ou "franc" et monophasé (phase-terre).

On a calculé ces courants, mais les valeurs étaient trop grandes, ce qui necessitait l'utilisation de selfs pour limiter ces courants.

Ces selfs sont phasées sur chaque depart, du côté cable ceci pour permettre des revisions sur ces bobines (fig 4).

Les courants de court-circuit monophasé-terre, ne servent que pour le choix des Transfo de courant ferranti pour la protection du reseau H.T.

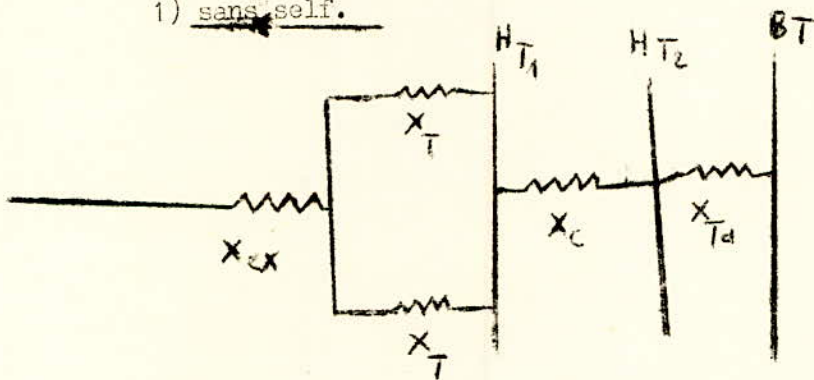
Les résultats et les methodes sont presentes aux points:

- a) pour les courants Triphasés.
- b) pour les courants monophasés.

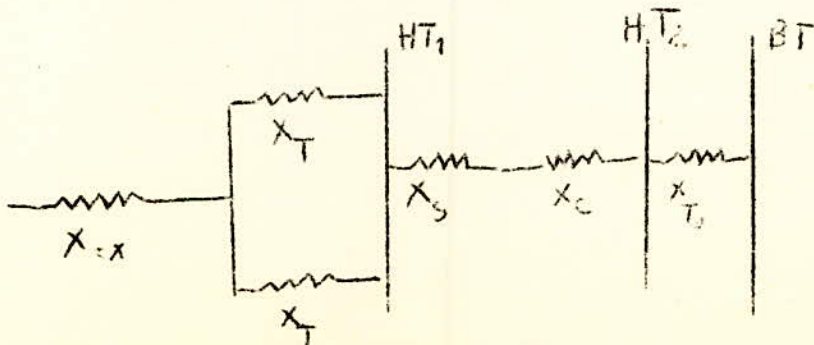
a) courants de court-circuit Triphasés.

Le schema du reseau présenté par la figure 2 a pour schema équivalent:

1) sans self.



2) avec self.

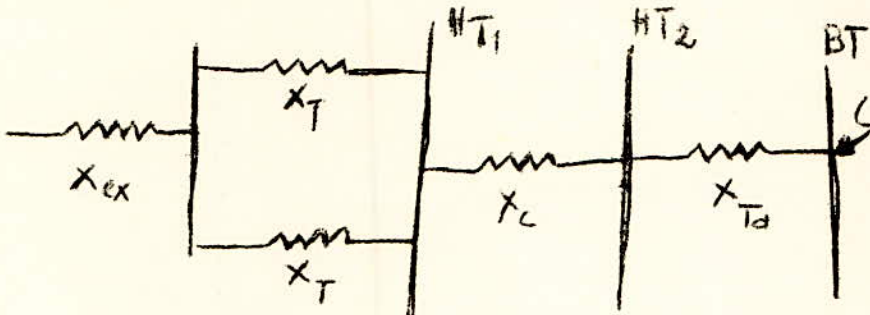


pour calculer les courants de court-circuit sur les schemas ci-dessus nous devons tenir compte de ce qui suit:

- Les parties actives des impedances peuvent être negligées.
- même chose pour les jeux de barre.
- on tient compte uniquement des réactances des transfo, cables, et selfs (Bobine de protection).

On calcule les courants de court circuit de la manière suivante:

soit à calculer le courant de court circuit sur le jeu de barre B.T.



donc : on a : $X_{ex} = \frac{1,1 U_n^2}{\sqrt{3} P_{cc\ ex}}$

$P_{cc} = 2500 \text{ MVA}$

$P_{cc} = 3 U_n I_{cc}$

$I_{cc} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} X_{et.}}$

$= \frac{1,1 (110)^2}{2500} = 5,32 \ \Omega.$

cette reactance se trouve du côté 110 kv

Transfo 110/15 : $X_{T,110} = \frac{u}{100} \cdot \frac{U_n^2}{20} = \frac{8 (15)^2}{100 \cdot 20} = 0,9 \ \Omega$

Cette reactance se trouve du côté 15 kv

cable Al 95 : $X_L = X_L' \cdot l = 0,095 \cdot 10 = 0,95 \ \Omega$

$l = 10 \text{ km}$

mais on prend $l = 11 \text{ km}$ pour être plus large dans la reserve.

donc : $X_L = 1,04 \ \Omega.$

Cette réactance se trouve du côté 15 kv.

Transfo 15/0,38 kv

$$X_{T\ 15/0,38} = \frac{7}{100} \cdot \frac{(0,38)^2}{1,25} = 0,00809 \ \Omega .$$

Pour calculer le courant de court circuit sur le jeu de barre B.T. il faut tout d'abord ramener toutes les réactances a ce lieu.

Tableau (5).

$$\begin{aligned} \text{donc : } X_{ex}^{(ram)} &= X_{ex110} \left(\frac{15}{110} \right)^2 \cdot \left(\frac{0,38}{15} \right)^2 \\ &= 5,32 \left(\frac{15}{110} \right)^2 \left(\frac{0,38}{15} \right)^2 = 0,000063 \ \Omega . \end{aligned}$$

Cette reactance passe deux fois par la transformation.

$$X_{T110}^{(ram)} = 0,9 \left(\frac{0,38}{15} \right)^2 = 0,0006 \ \Omega .$$

Cette réactance se trouve au niveau de 15 kv

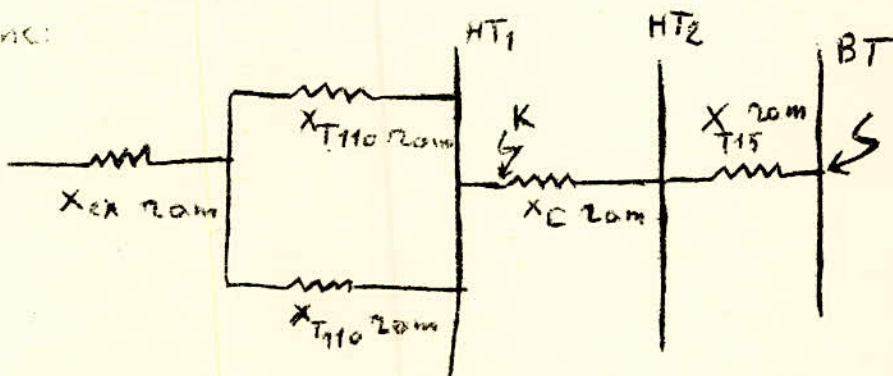
alors elle passe une seule fois par la transformation.

$$X_L = 1,04 \left(\frac{0,38}{15} \right)^2 = 0,00066 \ \Omega$$

X_L : Se trouve du coté 15 elle passe par une seule transformation.

$X_{T15/0,38} = X_{T15/0,38}^{(ram)} = 0,00809 \ \Omega$ elle est déjà au niveau de la B.T.

donc:



donc : $\sum X_i = 0,000063 + \frac{1}{2} 0,0006 + 0,00066 + 0,00809 = 0,0090 \Omega$.

Le Tableau (5) donne les réactances des différents éléments aux niveaux des tensions 15 kv et 0,38 kv

d'où : Le courant de court-circuit

$$I_{BT} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} X_i} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 0,0090} = 26,8 \text{ kA}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} U_n I_{BT} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 26\ 800 = 17,6 \text{ MVA}$$

Pour les autres courants de court-circuit sur les jeux de barres les résultats sont rassemblés dans le Tableau (6).

Element	Paramètres	Symbole	X (Ω)	
			Niveau 15 kv	BT (380 V)
Reseau exterieur	Pcc = 2500 MVA	X_{ex}	0,099	0,000063
Transfo 110/15kv	110/15 P = 20 MVA X = 8%	X_{Teq}	0,45	0,0003
Self	$I_n = 250 \text{ A}$ X = 400	X_S	1,4	0,0009
Cable	Al 95 l = 11 km	X_c	1,04	0,00066
Transfo 15/0,38	P = 1250 KVA X = 5%	X_{Td}	0,00809	0,00809
Transfo 15/3	P = 2000 KVA x = 7%	X_{Tdeq}	0,36	0,00023

Tableau (5)

Lieu	Sans self		Avec self	
	I (KA)	Pcc MVA	I (KA)	Pcc MVA
Jeu de Barre B.T	26,8	17,6	22,2	14,62
Jeu de Barre HT ₂	5,99	155,6	3,2	82,8
Sur cable K	17,36	450	7,02	182
Jeu de Barre HT ₁	17,36	450	17,36	450

Tableau (6)

Comment déterminer la valeur de la self ?

Nous savons que le courant admissible dans la section Al 95 mm² est de 200 A.

En cas de court circuit, cette section peut supporter

$$I_{cc} = 95 \times 85 = 8,075 \text{ KA} \quad \text{pendant 1 sec}$$

où : 85 représente la densité de courant par unité de section (85 A/mm²).

Nous avons calculé les courants de court-circuit avec et sans la bobine de protection, Tableau (6).

cette bobine a pour valeur:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} I_n X}{U_n} \cdot 100 = X\%$$

$$X = \frac{\Delta U\%}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n}$$

$$= \frac{4}{100} \cdot \frac{15\,000}{\sqrt{3} \cdot 250} = 1,4$$

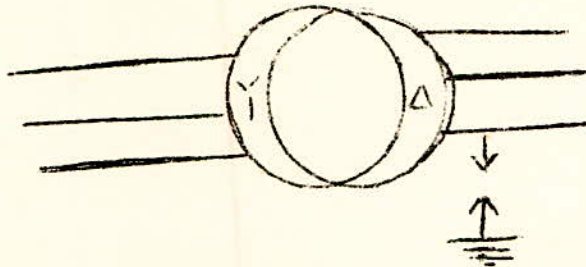
250 A : est le courant admissible correspondant a

$\Delta U\% = 4\%$ d'après norme polonaise.

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

b) courants de court circuit monophasés

Methode:

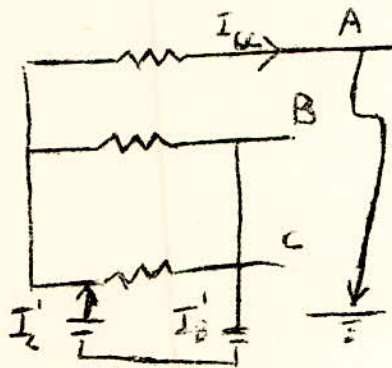


Neutre isolé:

C'est un neutre inaccessible, aucune liaison électrique n'est réalisé intensio-
mnellement entre le pt neutre et la terre.

Lors d'un defaut monophasé, il est necessaire d'assurer la distribution il ne
faut pas couper la distribution.

La bobine Bauch introduite entre le neutre et la terre, compense le courant
capacitif, cette bobine est sous tension de phase sa puissance doit être telle que
la somme du courants inductifs soit égale au courant capacitif.



$$I_{cc} = I'_c + I'_b$$

Le reseau 15 KV contient 80 km de lignes aériennes et 50 km de cables qui partent
vers d'autre horizons, aussi que le 4 cables de notre sujet.

Pour ces 4 cables de 15 kv et de distance = 11 km, le courant capacitif est
compensé par la bobine de Bauch.

On va calculer le courant de court circuit monophasé dans ce reseau (neutre isolé)
le pt neutre à le même potentiel que la terre quand le circuit est équilibré.

Pour un cable ma :
$$I_c = \frac{U_l}{10} \quad (A)$$

U : Tension entre phase en kv.

ℓ : Longueur du cable en km.

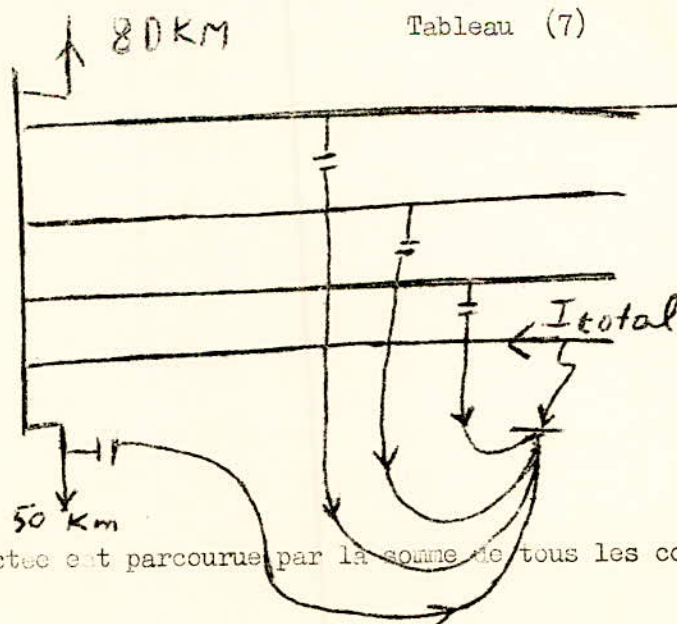
donc : $I_c = \frac{15 \cdot 11}{10} = 16,5 \text{ A}$ pour une seul cable

Pour une ligne aérienne : $I_c = \frac{U1}{450} = \frac{15 \cdot 80}{450} = 2,66 \text{ A}$

Nous pouvons dresser le Tableau (7) qui resume ces courants dans les differents elements du reseau Total.

Et ceci en considerent la densité de courant capacitif en A/km d'après la norme Polonaise et ceci pour un cable à champ radial.

Elements des reseaux	Longueur Km	I_c A/km	I Total.
Cable alimentants l'usine	4 X 11	1,2	66
autres cables	50	1,2	60
lignes aériennes	80	0,033	2,66



La ligne affectee est parcourue par la somme de tous les courants capacitifs du reseau.

$$I_{\text{Total}} = 66 + 60 + 2,66 = 128,66 \text{ A.}$$

2- Protection du reseau

L'évaluation des intensités du courant de court-circuit aux différents points d'une installation est indispensable. Ceci nous permet de choisir le pouvoir de coupure, des protections, tenue des câbles aux sur intensités, sélectivité etc

Les sections des câbles sont choisis pour les valeurs du courant à maximum de durée.

Le dépassement de ces valeurs à pour conséquence un échauffement excessif des conducteurs qui détruit l'isolement.

C'est pour cela que les installations doivent être protégées contre les surcharges de durée, et les court-circuits. Pour notre installation on a utilisé les dispositifs suivant: Disjoncteurs, sectionneurs fusibles, Transfo T.C et ferranti.

Ces dispositifs sont placés aux sorties des tableaux, aux ramifications, aux entrées des tableaux, en avant des circuit de commande et de signalisation.

L'appareillage de protection est destiné à limiter les conséquences destructrices des défauts et à séparer le reste de l'installation de la partie defectueuse.

I/ Détection des défauts:

Il existe 3 principes des défauts qui permettent la protection à installer:

- 1) un reseau ne doit jamais être maintenu sous tension après apparition d'un défaut même si celui ci n'empêche pas la distribution de l'énergie.
- 2) un réseau doit compter deux systèmes de protection: l'un pour les défauts entre phases et l'autre pour les défauts à la terre.
- 3) les protections contre les défauts entre phases ne doivent jamais être considérées comme protections contre les surcharges.

En effet les surcharges ont des effets purement thermiques, et ne sont dangereuses qu'après un certain temps.

La protection doit être sélective: c'est à dire qu'elle ne doit éliminer que l'élément du reseau qui est en défauts. Elle doit être rapide.

c'est le groupe de relais qui surveille en permanence une partie du reseau. Les relais surveillent la ligne et desqu'il ya un défaut quelconque, ils donnent l'ordre aux disjoncteurs de s'ouvrir.

II Protection du côté 0,38 KV :

Pour le côté 0,38 KV de notre installation l'alimentation se fait dans un sens bien déterminé. Quand l'alimentation est normale ce côté présente un réseau radial, nous pouvons utiliser la protection à maximum de courant, qui utilise des dispositifs simples et économiques : les relais ampermetriques.

a) Protection contre les défauts entre phases :

Pour protéger les câbles des court-circuits entre phases on a placés sur chaque phase un Transformateur de courant muni d'un relais Amper-métrique.

Le relais Ampermetrique accompagné d'un relais temporisé. Une fois le défaut se produit entre deux phases ou entre les trois phases. Le relais auxiliaire est excité, ce dernier actionne le disjoncteur tripolaire qui coupe juste à temps. fig (5)

Le (+ et -) sont les bornes de la batterie qui alimente les relais de protection.

Nous devons régler les relais par rapport au courant Seuil : I_S qui provoque le fonctionnement du relais.

avec : $I_S > I_n \text{ max}$ $I_n \text{ max} = 1,5 I_n.$

Pour assurer la selectivité de la protection il faudrait que seule la protection la plus proche du défaut puisse fonctionner.

Pour protéger notre réseau contre les court-circuits :

Pour câble 15 KV :

(après avoir installé les bobines sur chaque départ (pour amortir les courants de court-circuit.)

Nous plaçons un disjoncteur Tripolaire (300 A, 600 MVA), sur chaque phase nous plaçons un Transfo ferrauti.

Ceci pour protéger contre les court-circuits monophasés ainsi qu'un sectionneur sur chaque phase.

Ceci au départ du poste 110/15 KV.

Au poste de Transformation 15/0,38 KV et à l'entrée du câble nous plaçons un sectionneur de puissance. fig (5).

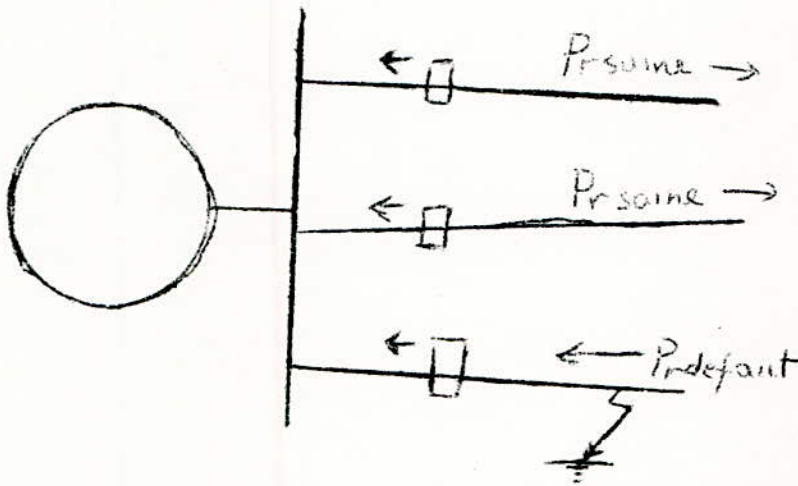
Pour Transfo : Le fusible (60 A , 400 MVA) constitue la protection principale du Transfo, les autres dispositifs : Transfo de courant, .. Sectionneur de puissance sont des protections de reserves.
fig (5)

b) Protection contre les defauts à la terre :

Dans ce cas on tient compte du fait qu'on a un neutre isolé :

On fait appel a la protection directionnelle.

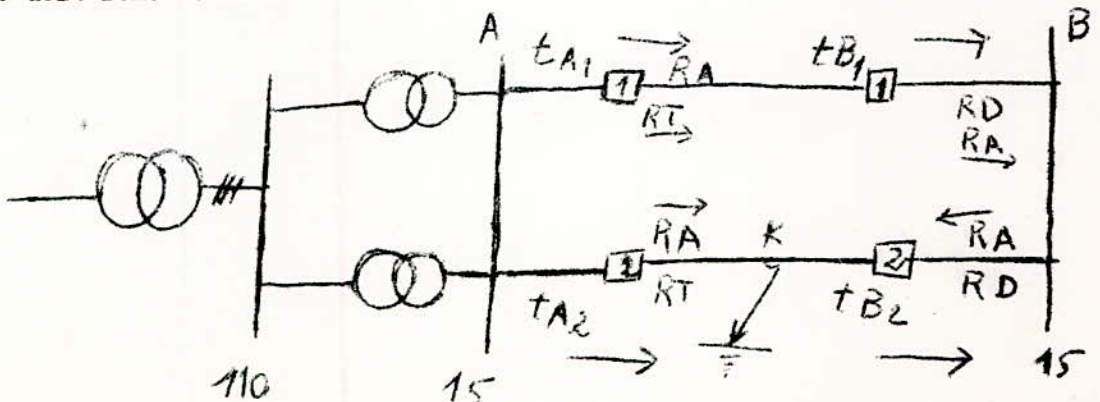
L'étude des courants monophasés a neutre isolé montre que les puissances résiduelles circulant sur un défaut sain et sur un départ en défaut sont de sens contraires.



← □ sens d'orientation des relais.

III. Protection du côté 3 KV:

On a à protéger deux cables qui travaillent en parallèles : si l'un est en défaut l'autre doit fonctionner.



- sens de transport de puissance \rightarrow
defaut au pt K :

- sens de puissance en cas d'avarie \leftarrow

en cas de defaut au pt K: $t_{A_1} > t_{B_1}$ RB_1 et RB_2 fonctionnent
 $t_{A_2} > t_{B_2}$

la continuité d'énergie n'est pas assurée.

mettons alors les relais directionnels RD_{B_1} et RD_{B_2}

RD_{B_2} isole le defaut du jeu de Barre B, mais le defaut continue à être alimentée par le jeu de Barre A.

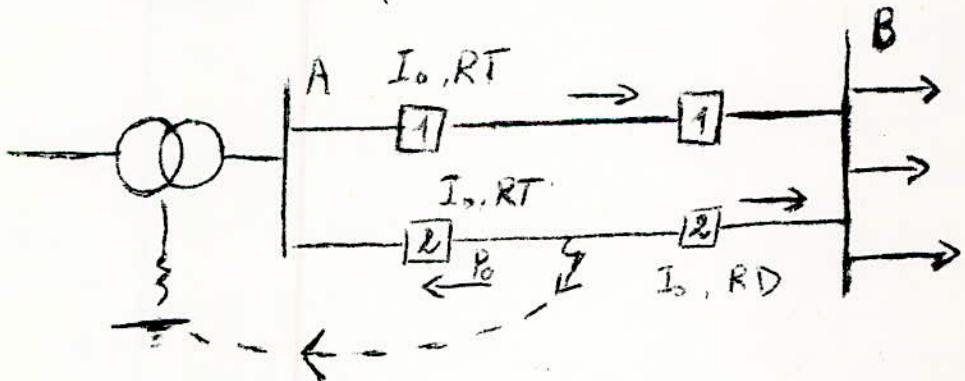
Donc un relais RA s'impose.

Un defaut au point K $\Rightarrow A_1, A_2$ et B_2 sont sollicités A_1 et A_2 sont temporisés par rapport à B_1 et B_2 par la même Temporisation (T).

Pour augmenter la sensibilité des RD on adjoint à ces derniers des relais Ampermetrique RA instantanés chargés de la detection du defaut uniquement, une fois le defaut detecté, ces relais mettent en Route les relais RD.

Pour augmenter la sensibilité il suffit de diminuer $U_r < U_n$.

Pour la protection contre les defauts monophasés :



La detection du defaut à la terre (monophasé) s'effectue en faisant appel à la puissance homopolaire I_0 qui circule du pt de defaut vers le pt de mise à la terre du neutre.

IV/ Mode et intervention des relais

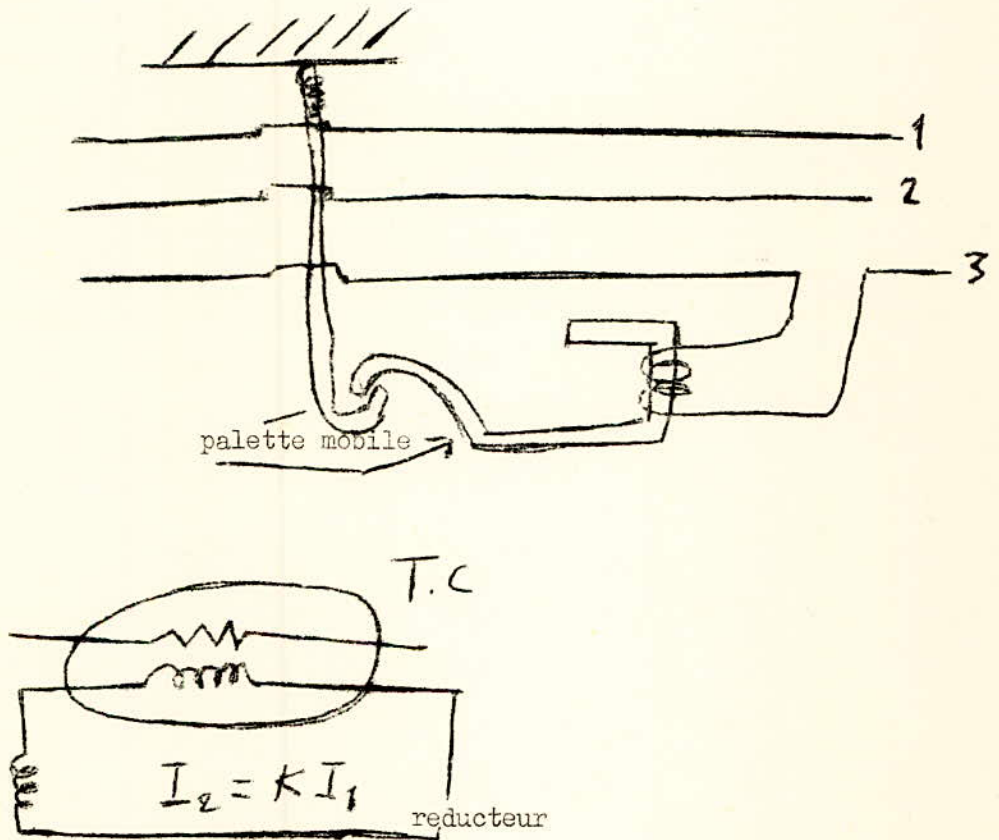
Selon les particularités de leur alimentation (primaire-secondaire) et leurs mode d'action sur les disjoncteurs on classe les relais en :

- * Relais primaires ou secondaires
- * Declencheurs primaires ou secondaires

primaire : si est alimenté par le reseau courant tension

secondaire : si est alimenté par un reducteur de courant tension

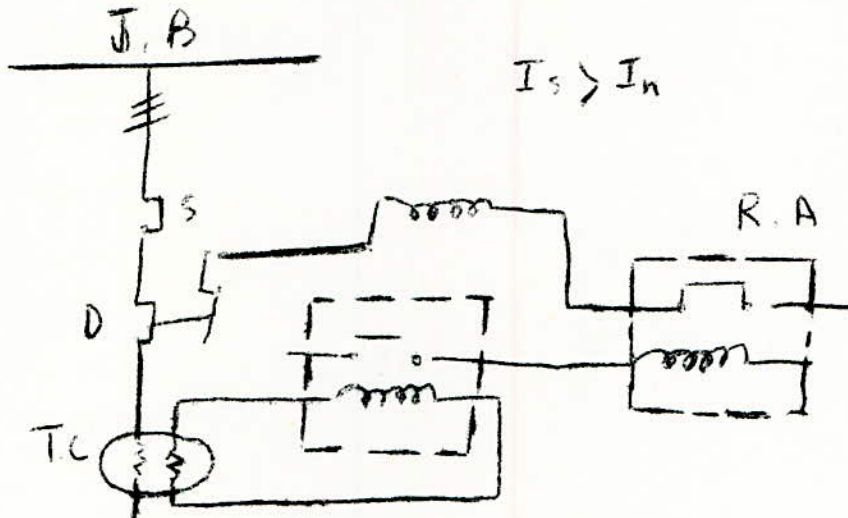
a) declencheurs :



Comment agit un relais secondaire:

C'est un dispositif mecanique relié au disjoncteur qui libere son dispositif de retenue et permet son ouverture.

Le contact auxiliaire sert à proteger le contact du relais ampermetrique qui est fragile et difficile à entretenir (entre les etincelles de ruptures du courant circulant dans la bobine).



- JB : jeu de Barre
- TC : Transfo de coupure
- RC : Relais de courant
- Bd : Bobine declenchement
- D : Disjoncteur
- RA : Auxiliaire

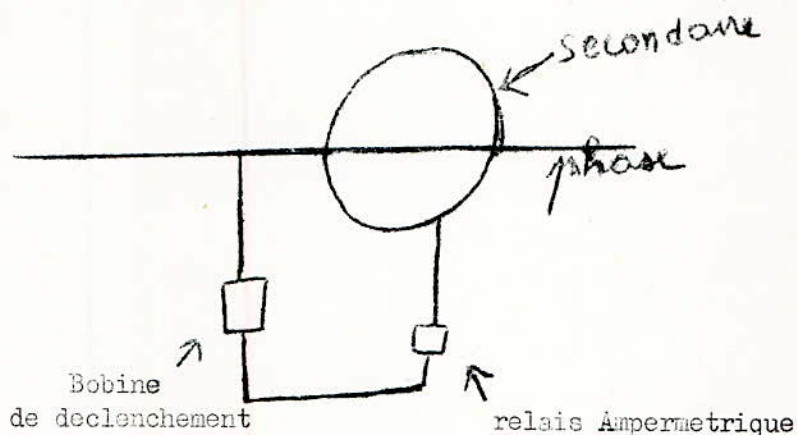
Le temps qui s'écoule entre l'instant où l'ordre est donné et le début de séparation des contacts représente le retard propre de l'interrupteur (temps de transmission) à ce retard s'ajoute la durée d'extinction de l'arc la somme de ces deux Temps varie selon le type de Disj. de 0,05 à 0,8 sec.

V / Le Disjoncteur :

Assure la protection contre les surcharges par déclencheurs thermiques et contre les court-circuit par déclencheurs électromagnétiques, les caractéristiques du réseau définissent: Tension nominale courant nominal, pouvoir de coupure. De plus les disjoncteurs doivent fonctionner sélectivement.

VI/ Protection Ferranti :

Ce sont des T.C (Transfo de tension) qui n'ont pas d'enroulement primaire. C'est le conducteur de la phase qui en tient lieu. Le secondaire est constitué d'un tore magnétique dans lequel passe la phase, dèsqu'il ya un défaut de phase, le relais Ampermetrique



actionne le relais auxiliaire, ce dernier est muni d'un signal qui peut nous indiquer le défaut

VII/ Autres Moyens de protection :

Pour la protection de reserve nous pouvons utiliser un transfo de courant, et aussi :

- a) Mise à la terre du neutre du côté B.T qui empêchera l'apparition de la H.T dans le reseau B.T.
- b) Moyens supplémentaires mais nécessaires :
 - neutralisation (connection des enveloppes avec le conducteur neutre).
 - utilisation de disjoncteurs de protection contre electrocution.
 - isolation du lieu de Travail.
 - isolation du personnel (gants, chaussures ...)
 - isolation double des installations, enveloppe et blindage.
 - établissement d'un niveau équipotentiel de la tension.
 - diminution de la tension de service.
 - cloture
 - placement des appareils assez haut (loin de la la porté humaine).
 - passages assez larges, permettant d'obtenir et d'entretenir les installations electriques sans difficultés.

3 - Choix des appareils de Protection H.T.

Les appareils ont été choisis Tenant compte des conditions normales de travail et des conditions d'avarie et des courants de court-circuits.

Au tableau (8) sont présentées les valeurs des charges normales et d'avarie du courants de court-circuit et les paramètres des appareils choisis.

Appareils	Chargés					
	Paramètres nominaux			normale	d'avarie	court circuit
	I_n (A)	pouvoir de coupure		(A)	(A)	I_A
		I_A	P_{NVA}			
Sectionneur HT ₂ .	300	-	-	95	190	3200
fusible HT ₂ .	60	15400	-	48	48	3200
Sectionneur de puissance HT ₂	300	●	-	48	48	3200
Transfo de mesure HT ₁	200	-	-	95	190	1700
Disjoncteur HT ₁	300	-	300	95	190	3200

Tableau 8

Les appareils de protection choisis sont représentés dans la figure (6).

4. Protection des transformateurs

Pour terminer les protections, nous essayons de voir les différentes et essentielles protections des transfo.

Les Tr. Mo H.P., M.T peuvent être :

- mal refroidis
- surchargés
- affectés de court-circuits internes

court-circuit :

- entre spires d'une même phase.
- entre prises de deux phases différentes
- entre prises et masse.

Pour cela, sont prévues des protections preventives:

a/ - Protection pour contrôler le système de refroidissement.
et protéger le transfo contre les surcharges

bb/ Protection contre les défauts d'isolement, c'est à dire contre les court-circuits internes a savoir :

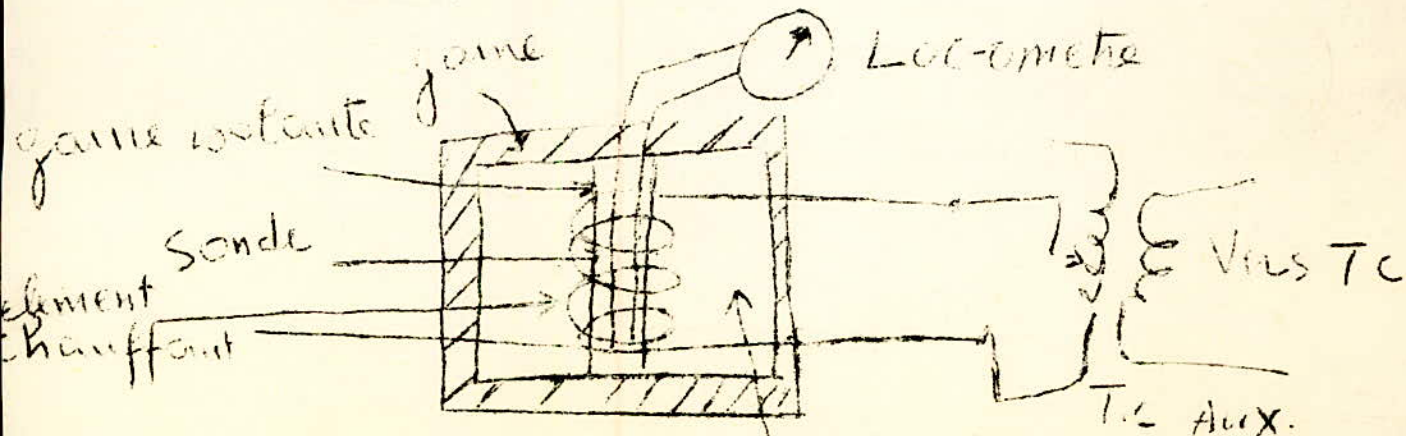
- 1/ Protection Bucholtz
- 2/ Protection de la masse de la cuve
- 3/ Protection différentielles

a-1- Pour contrôler la température d'huile, nous utilisons la protection thermométrique de la terre.

Elle est assurée soit par un thermomètre a quadrant, soit par un thermomètre à bilame qui assurent :

- le contact alarme a $t = 70^{\circ}\text{C}$
- et déclenchement a $t = 80^{\circ}\text{C}$

a-2- Les échauffements anormaux dues aux surcharges peuvent amener rapidement à la détérioration des isolants ce qui nous oblige à placer une protection à temps thermique, en mesurant la température du point le plus chaud de l'enroulement.



Un écran isolant représentant la constante de temps: cuivre huile un logomètre gradué directement en température à mesurer son avantage est de donner en permanence la température de l'enroulement à protéger.

Mais ne possède pas un système déclencheur, il nécessite l'intervention du personnel.

b- protection contre les défauts d'isolement .

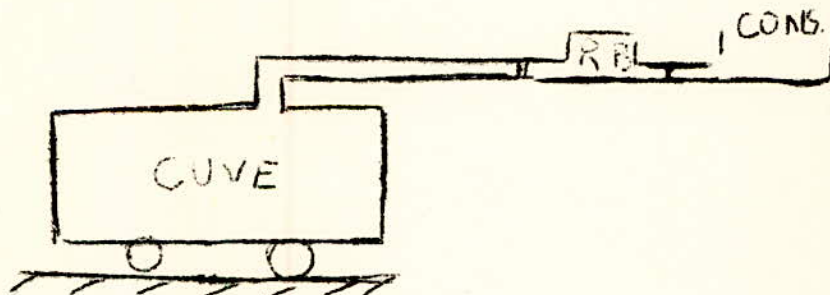
malgré les protections preventives, les court-circuits les surcharges et les surtensions, risquent de faire apparaître des défaut à l'intérieur du transfo. Ces défauts sont généralement dus à une faiblesse de l'isolement, qui peut conduire soit à un amorçage soit à une rupture de l'isolement par conséquent il ya :

- soit : - mise à la terre d'une phase.
- court-circuit entre spires d'une même phase.
- court-circuit entre phases

Pour cela nous utilisons :

b-1 Protection Buchholtz :

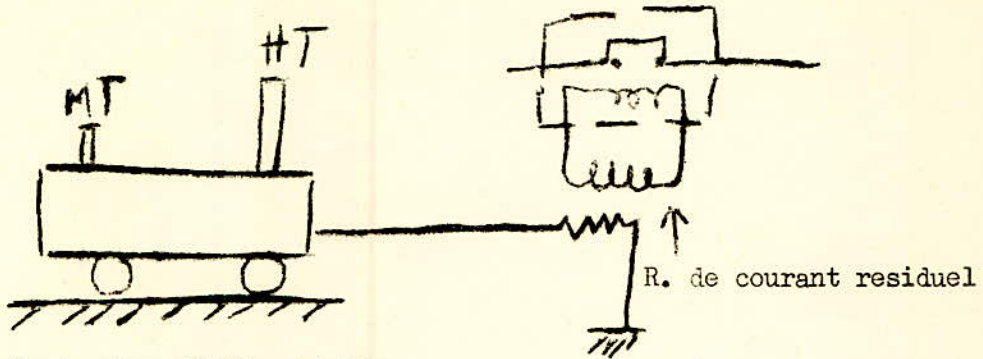
Les arcs qui apparaissent à l'intérieur de la cuve du transfo décomposent une certaine quantité de l'huile et provoquent un dégagement gazeux vers la partie supérieure de la cuve et vers le conservateur d'huile. Il suffit donc d'installer entre la cuve et le conservateur d'huile un relais Buchholtz.



b-2 Protection de cuve à la masse :

Tout contournement de la cuve en transformateur, tout amorçage d'éclateurs ou défaut de la cuve produit un courant passant par la mise à la terre du neutre et revenant par la cuve du transformateur .

Il suffit donc de relier la cuve à la masse par un T.C accompagné par un relais résiduel. En cas de défaut un système d'alarme, ou un dispositif déclencheur nous indique le défaut .



C- Protection différentielle:

Cette protection intervient dans le cas de court-circuits entre spires de même phase ou entre phases.

Le principe de cette protection est de contrôler en permanence la constance du rapport du courant primaire au courant secondaire qui est sensiblement égal au rapport de transformation.

Plan d'alimentation

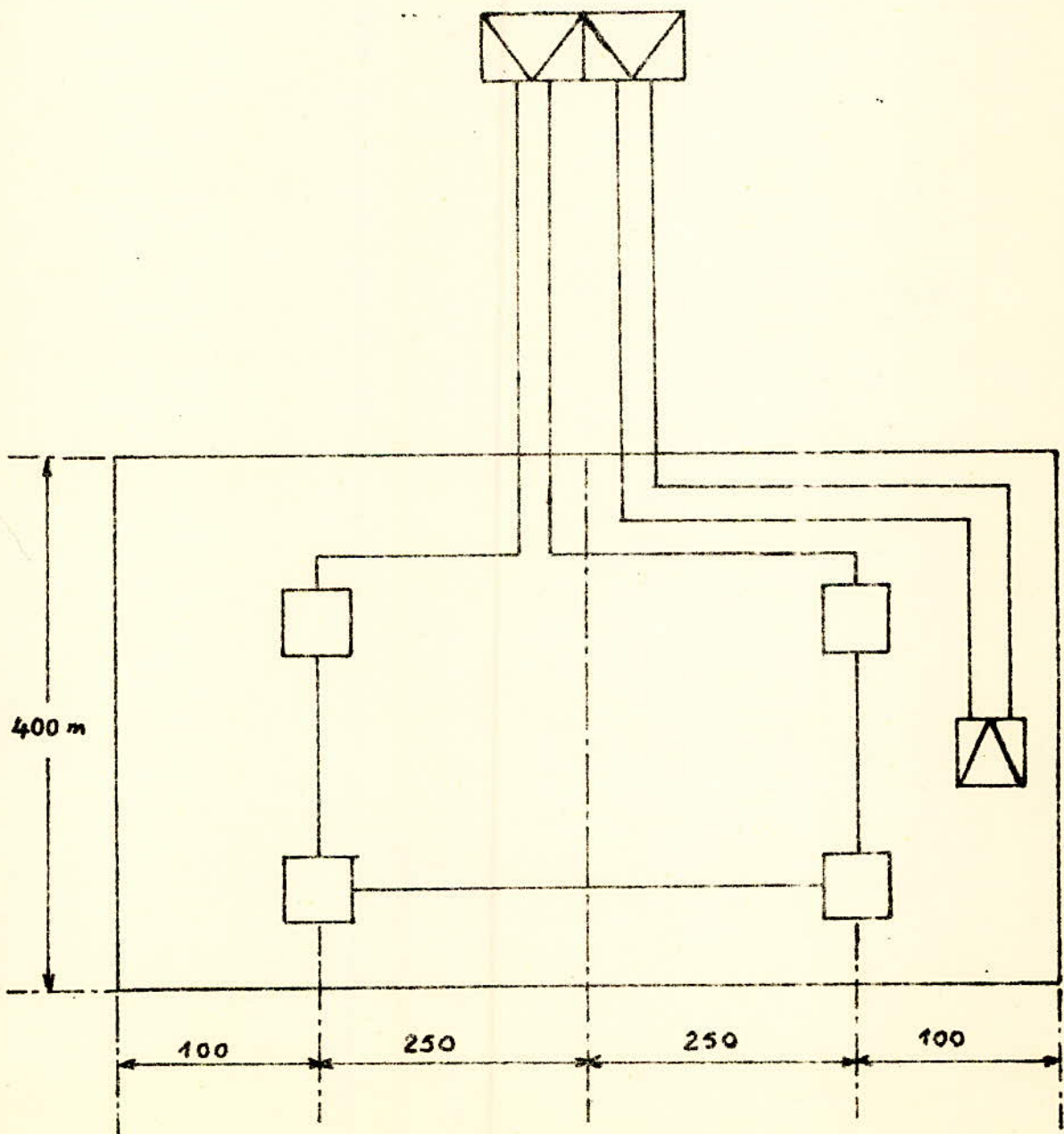
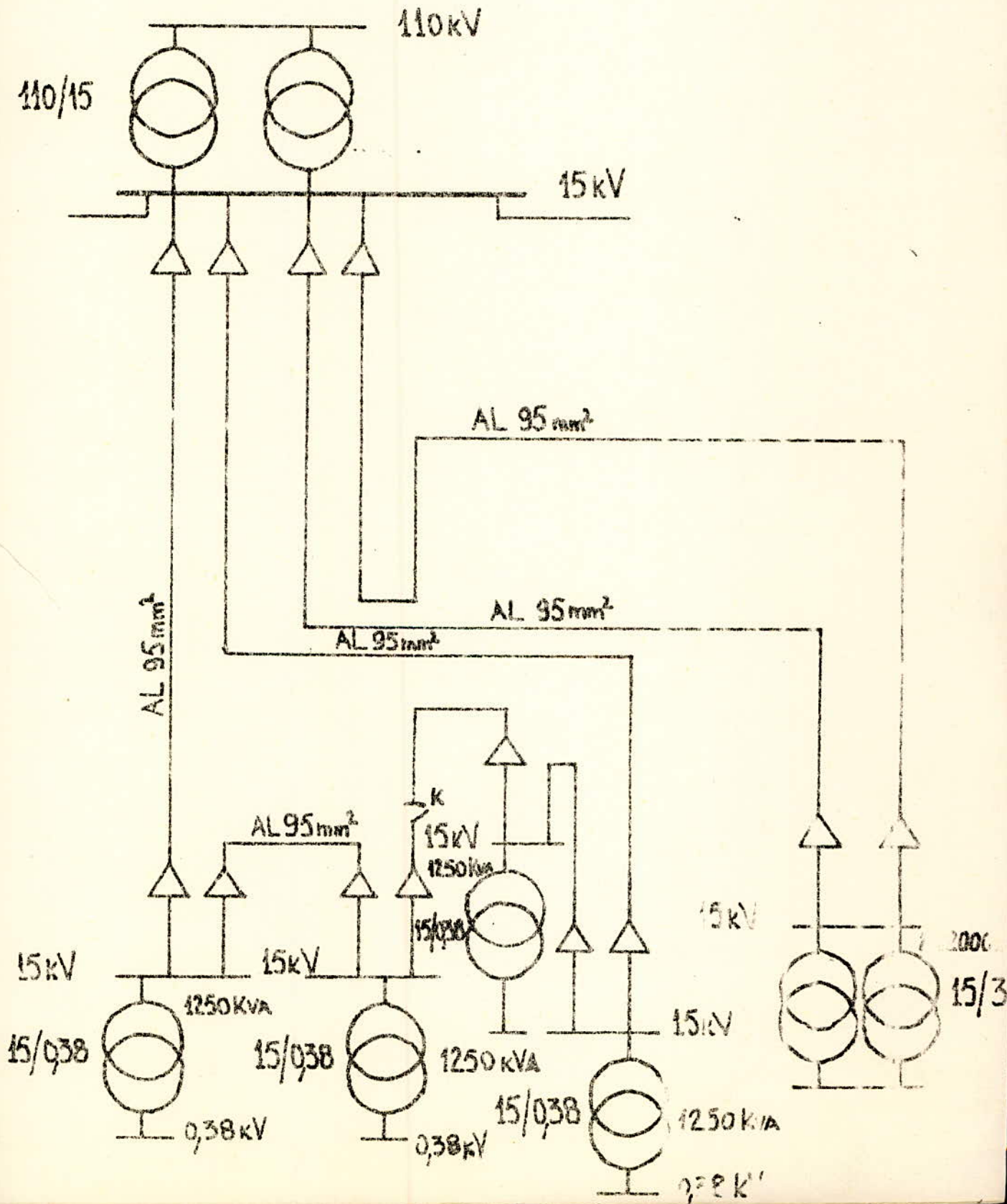


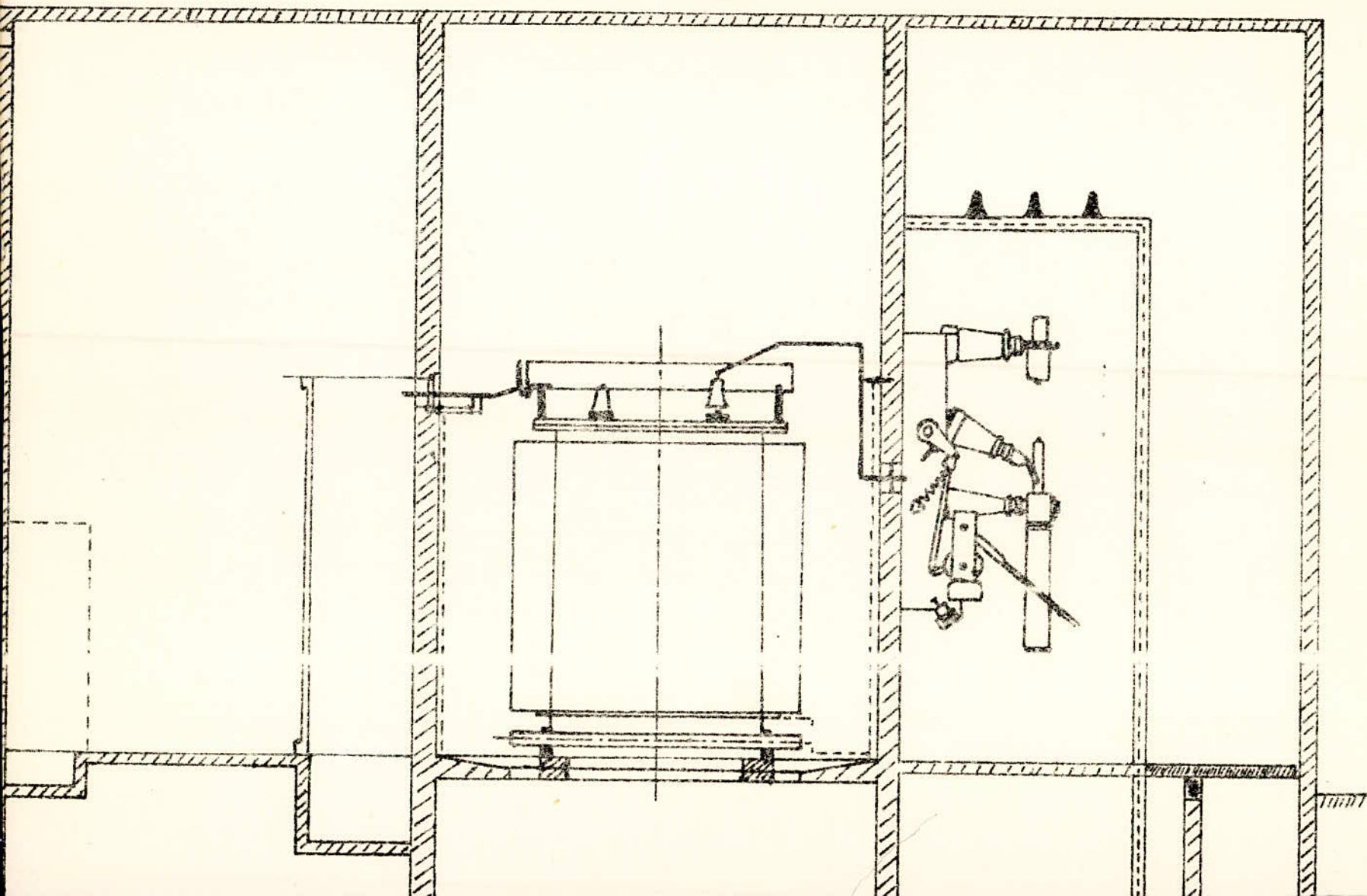
Fig:1

SCHEMA D'ALIMENTATION



POSTE DE TRANSFORMATION

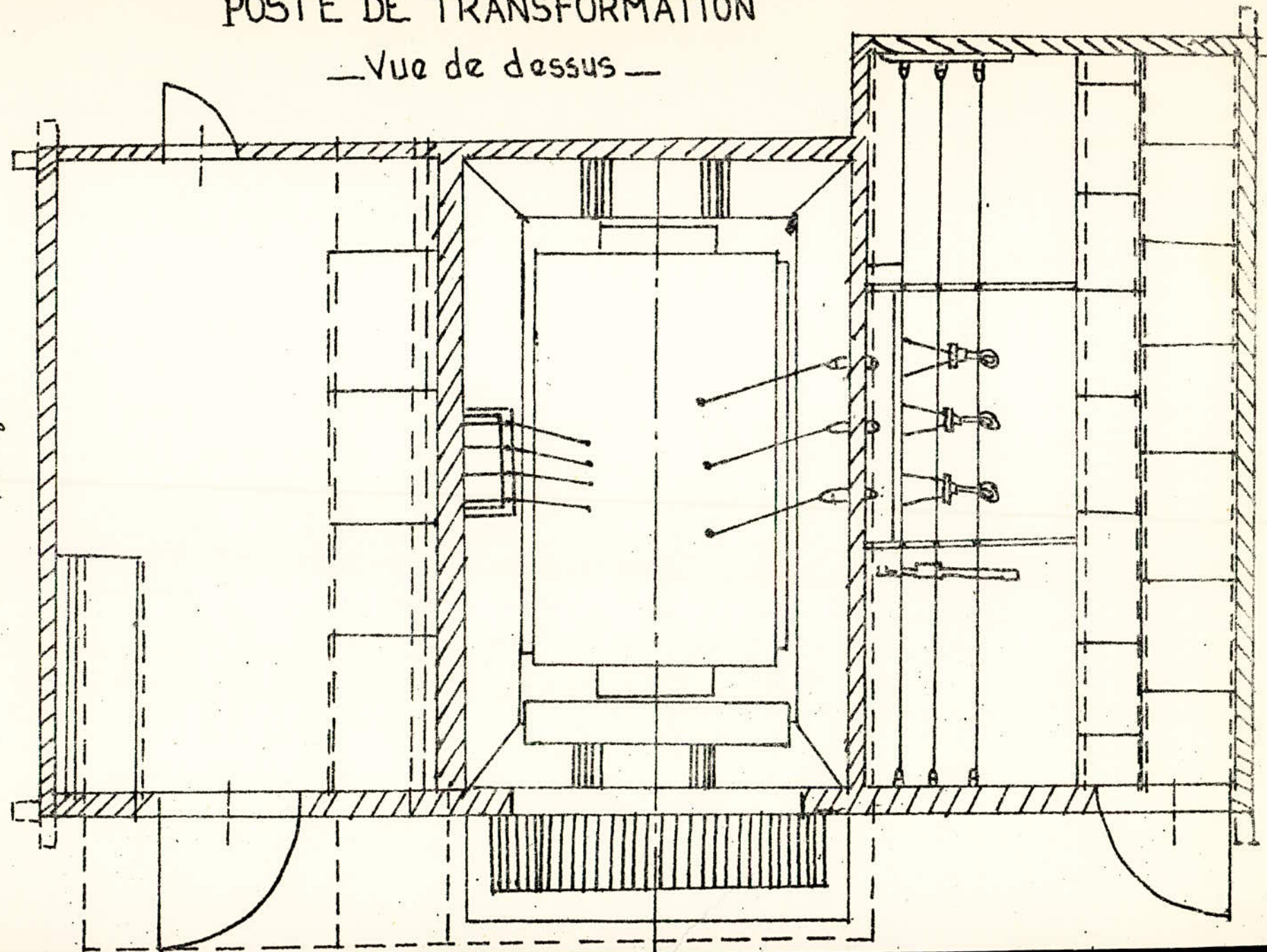
— Vue de face —



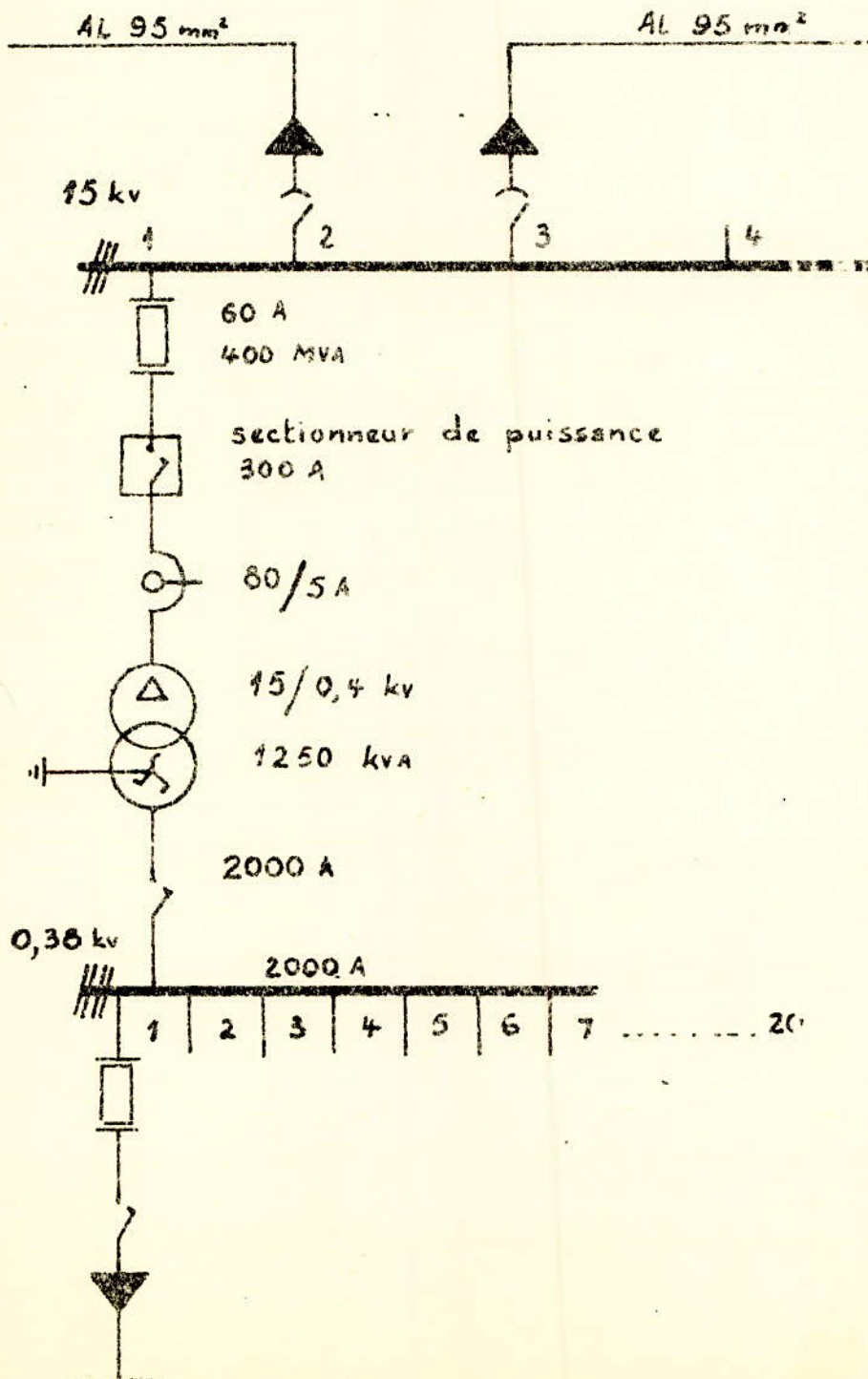
POSTE DE TRANSFORMATION

— Vue de dessus —

fig 3b.



Poste de transformateur de distribution



Protection de la ligne 15 kv et du transformateur de distribution

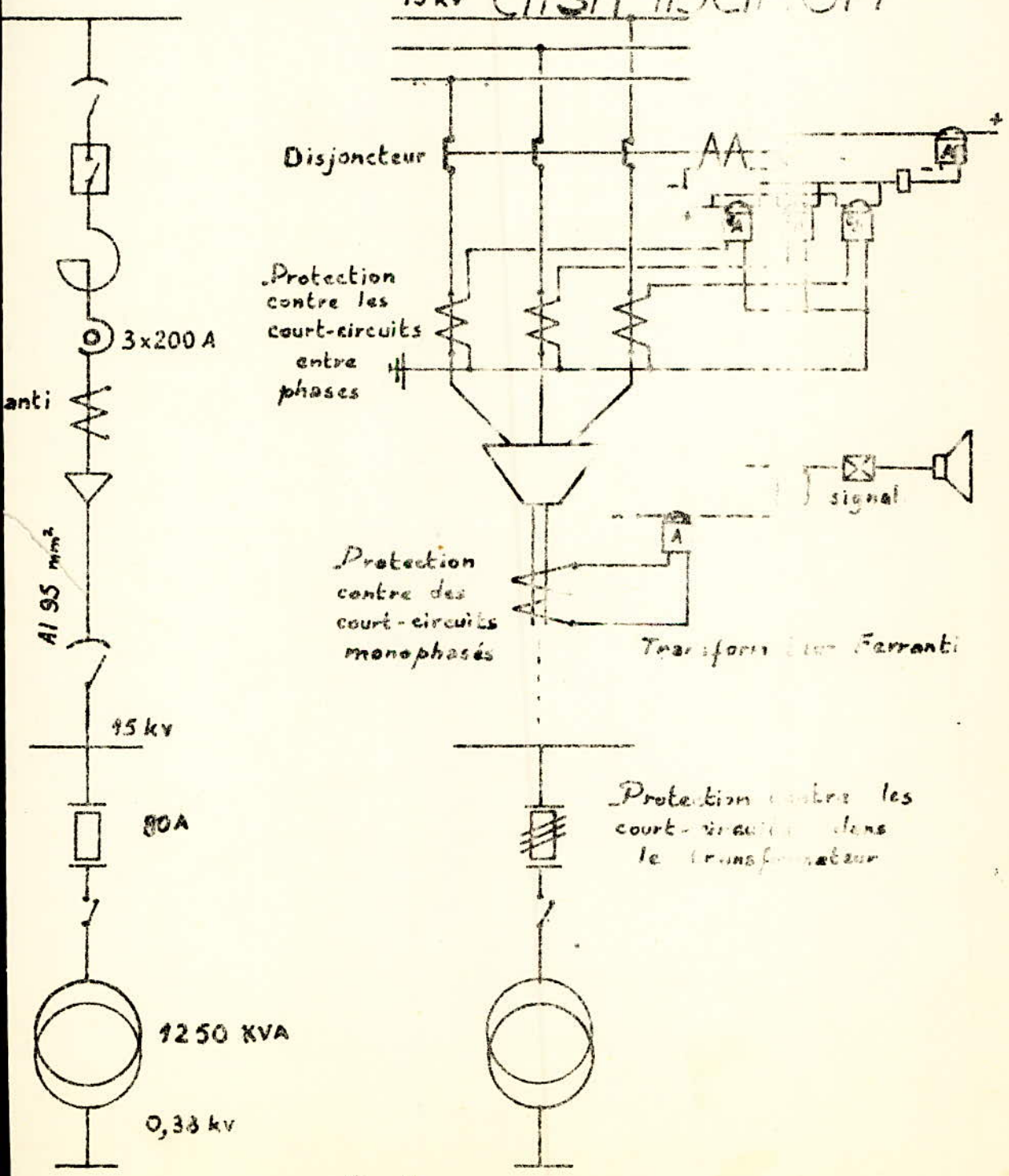


fig. 5

Réseau 15 kv d'alimentation

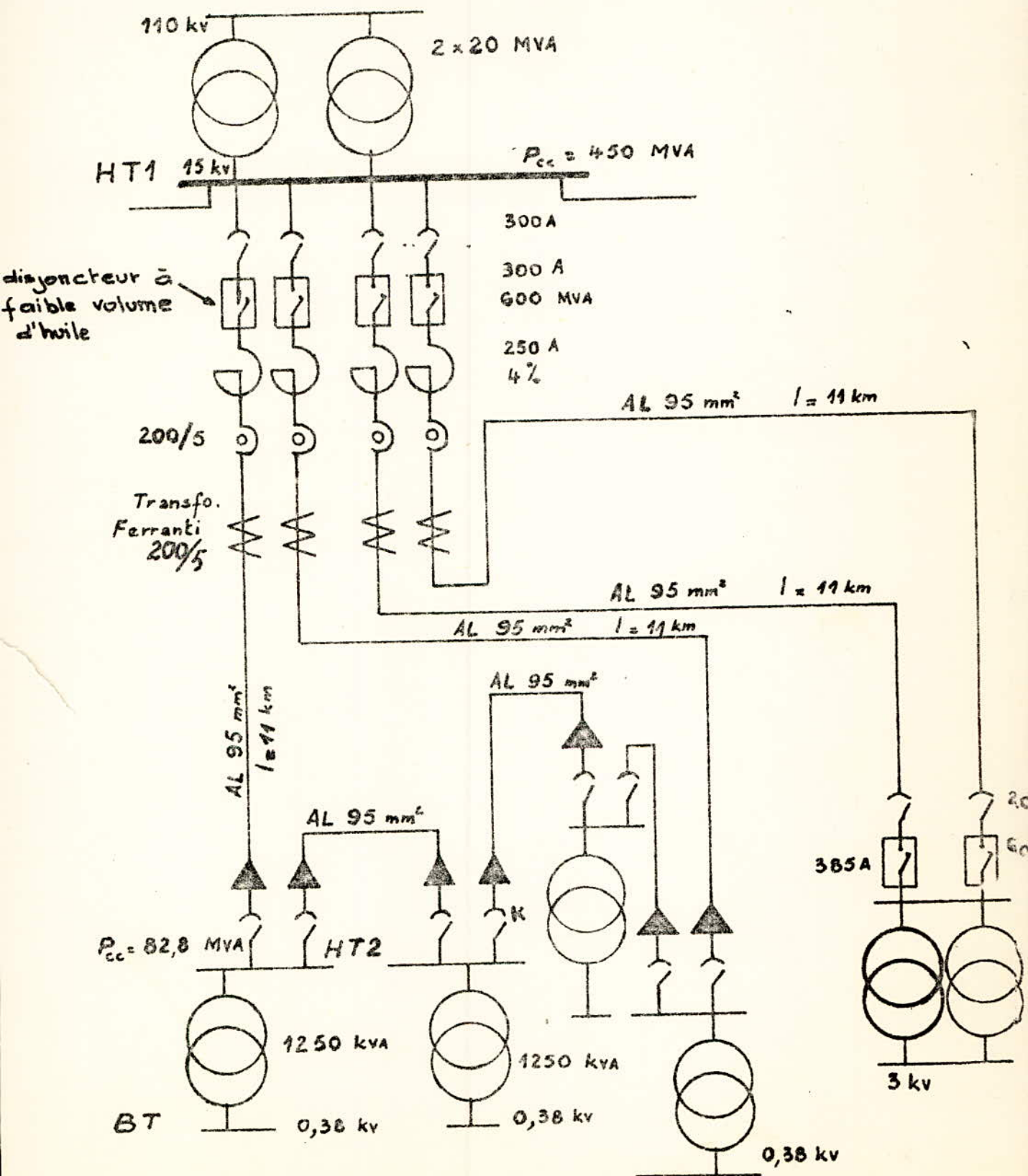


fig 6.

C O N C L U S I O N

Dans une installation à neutre isolé, le réseau doit être bien isolé.

Le neutre isolé ne peut être appliqué dans les réseaux implantés dans les zones humides. Le courant de défaut est très faible du fait qu'il se ferme à travers une impédance de fuite très grande.

Le déclenchement n'est pas nécessairement au premier défaut.

Cette disposition nous est profitable, car on ne distribue pas le neutre, ce qui nous limite à une tension distribuée entre phase.

L'U.T.E. 15 - 118 du 21 - 10 - 1969, écrit (4-2. page 5):

"Dans une installation dont le neutre n'est pas relié directement à la terre, il est fortement recommandé de ne pas distribuer le conducteur neutre."

Car: quand le neutre est distribué : en cas de deux défauts survenant dans une même installation, sur deux circuits de sections différentes, le conducteur neutre de plus faible section est parcouru par des courants de densités supérieures à son courant admissible. De plus, les appareils d'utilisation peuvent être soumis à des tensions supérieures à la tension normale.

Quand le neutre n'est pas distribué la recherche des défauts est facilitée.

Par contre quand le neutre est distribué il est source de défauts probables (phase neutre).

Dans une installation à neutre isolé, dont le neutre n'est pas distribué on peut sélectionner le défaut à l'aide de relais à max de courant qui sont peu coûteux. On peut limiter le courant de défaut à des valeurs suffisamment faibles pour réduire l'élévation du potentiel des masses.

Dans les réseaux H.T le courant est limité à quelque dizaine d'ampères

Dans le réseau à B.T le courant est limité à quelque dixième d'ampères

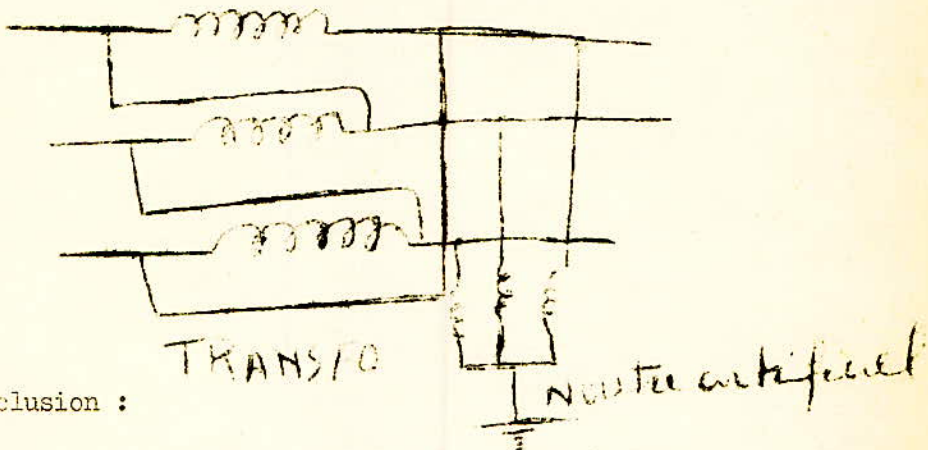
L'avantage le plus considérable quand le neutre est isolé est : particulièrement le déclenchement au 2^e défaut, le premier défaut est signalé ce qui permet de continuer l'alimentation en cherchant le défaut.

Toute impédance branchée entre la terre et le neutre va augmenter artificiellement le courant de fuite à la terre.

Le neutre isolé nous permet de faire l'économie d'une impédance.

Toute fois, pour limiter les effets du courant défaut dans un réseau à neutre isolé.

On place très souvent des réactances sur les dépôts ou à proximité des postes. Ces réactances sont en série avec la ligne ce qui nous permet de créer un neutre artificiel.



en conclusion :

Le régime du neutre au sens strict du terme n'existe pas réellement en effet : l'isolement entre phase et terre et donc et masse n'est jamais infini.

Les capacités et résistances qui existent entre les conducteurs actifs et la terre et constituent une impédance naturelle de fuite.

Ceci exige.

- Inter connection et mise à la terre des masses d'utilisation.
- Limiteur de surtension.
- Contrôleur disolement, signal st.
- Dispositif à max de courant pour coupure au 2^e défaut.
- Eventuellement dispositifs différentiels.
- Emploi d'un dispositif permettant la recherche et la localisation des défauts sans aucune interruption de la distribution d'énergie.

B I B L I O G R A P H I E

- * A Manduit installation électriques à H.T et B.T Tome 1 et 2
- * Guide de l'installation électrique Merlin Guerin
- * Cours d'exploitation des réseaux électriques
G. CIRTINA(polytechnique)
- * R.G.E. (Revue)
- * Normes Françaises
- * Technique de l'ingénieur. t.3
- * R.Pelissier les réseaux d'énergie
- * Cours de Réseaux de MR. MICHALAK
- * Cours de Haute Tension MR. BENCHABANE
- * Cours de MR. KOUROUGLI.

THE
LIBRARY OF THE
MUSEUM OF COMPARATIVE ZOOLOGY
AT HARVARD UNIVERSITY
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS