

22/82

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

2ex

FILIERE D'INGENIEUR EN

ELECTROTECHNIQUE

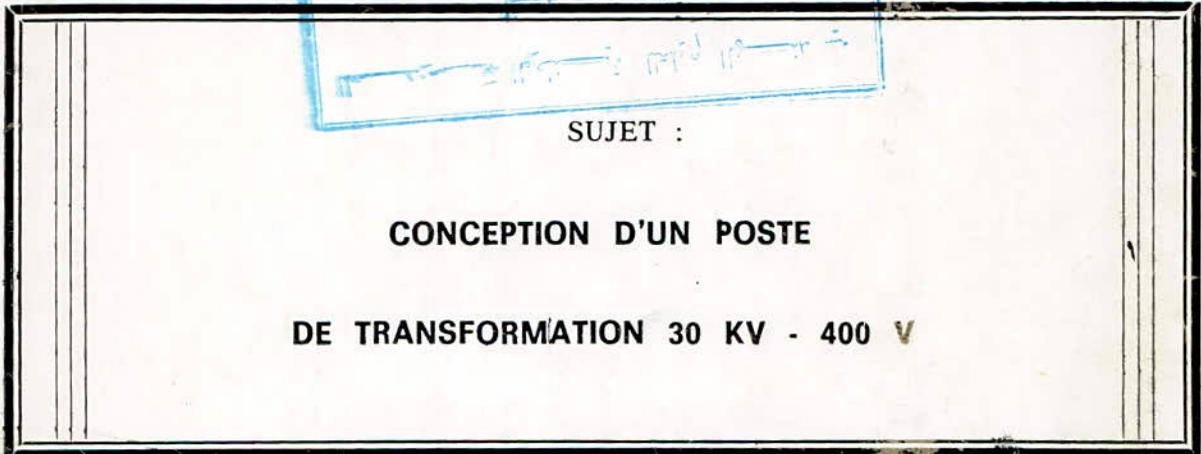
PROJET
DE FIN D'ETUDES



SUJET :

CONCEPTION D'UN POSTE

DE TRANSFORMATION 30 KV - 400 V



2 PLANCHES

PROPOSE PAR : ECOTEC

PROMOTEUR : J. GOTTFRIED

REALISE PAR : B. SAIDJ

K. BELLAOUI

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

FILIERE D'INGENIEUR EN

ELECTROTECHNIQUE

PROJET
DE FIN D'ETUDES

SUJET :

CONCEPTION D'UN POSTE

DE TRANSFORMATION 30 KV - 400 V

PROPOSE PAR : E. COTEC

PROMOTEUR : J. GOTTFRIED

REALISE PAR : B. SAIDI
K. BELLAOUI

-o- DEDICALE -o-

√-2 MES PARENTS
" TOUTE LA FAMILLE
" MES AMIS.

BOUZID

√-2 MES PARENTS
" MES FRERES ET SOEURS
" TOUTE LA FAMILLE
" MES AMIS

KHELIFA

SOMMAIRE

<u>CHAPITRE I</u> - Introduction	2
- Présentation et description du poste	2
<u>CHAPITRE II</u> - Schéma unifilaire	3
- Génie Civil	5
<u>CHAPITRE III</u> - APPAREILLAGES ELECTRIQUES	
III - 1 - Calcul des courants de court-circuit	33
III - 2 - Choix et dimensionnement d'appareillages MT, BT	33
III - 3 - Compensation de l'énergie réactive	44
<u>CHAPITRE IV</u> - DIMENSIONNEMENTS DU JEU DE BARRES	
- IV - 1 - Efforts électrodynamiques	48
IV - 2 - " statiques	50
IV - 3 - " thermiques	54
<u>CHAPITRE V</u> - CANALISATIONS BASSE TENSION	62
<u>CHAPITRE VI</u> - PROTECTIONS	
VI - 2 - Protection du matériel	80
VI - 3 - Protection du personnel	83
VI - 4 - Mise à la terre	84
VI - 5 - Choix du régime de neutre	83
<u>CHAPITRE VII</u> - CONCLUSION	92

CHAPITRE I

I - INTRODUCTION

L'électrification de la cité universitaire de Tizi Ouzou 2000 lits nécessite la conception d'un poste de transformation MT/BT, 30 KV/400V ayant deux transformateurs de puissance de 630 KVA chacun.

Ce poste est raccordé à un poste de livraison par une canalisation souterraine.

I - EMPLACEMENT DU POSTE :

Le poste est situé en bordure d'une voie publique et doit être placé à mesure du possible au centre de gravité des puissances des centres de consommation.

L'emplacement du poste doit être à l'abri des inondations et des infiltrations d'eau. Si le terrain est inondable, le sol du poste doit se trouver au minimum à 0,20 m au dessus du niveau des plus hautes eaux.

2 - DESCRIPTION DU POSTE :

Le poste est du type maçonné et le bâtiment abritant le poste est isolé et exclusivement affecté à celui-ci.

- Le mode de pose des canalisations qui y aboutissent sont souterraines.

- Le mode d'alimentation est en double dérivation.

- Le mode de comptage de l'énergie électrique est mesuré en haute tension, et effectué au poste de livraison.

Le comptage est effectué en H.T. du fait qu'on a deux transformateurs de puissance.

3 - POSTE DE LIVRAISON :

A proximité de cette cité universitaire " 2000 lits " existe une ancienne cité universitaire qui est alimentée par un poste de transformation existant, ayant deux transformateurs de puissance ; l'un alimentant le client (C.U.), l'autre pour distribution publique. Du fait que ces deux cités constituent un seul abonné et que le distributeur (SONELGAZ) exige un seul comptage pour un abonné, d'où nécessité de la construction d'un deuxième bâtiment affecté au poste de livraison.

Ce poste de livraison est constitué par :

- deux cellules d'arrivée

- Une cellule de comptage

- Une cellule protection générale

- trois cellules de départ (deux pour le nouveau poste, et un alimentant le transformateur de l'ancienne cité).

4 - DONNEES PRELIMINAIRES :

- Plan de masse de la C.U.

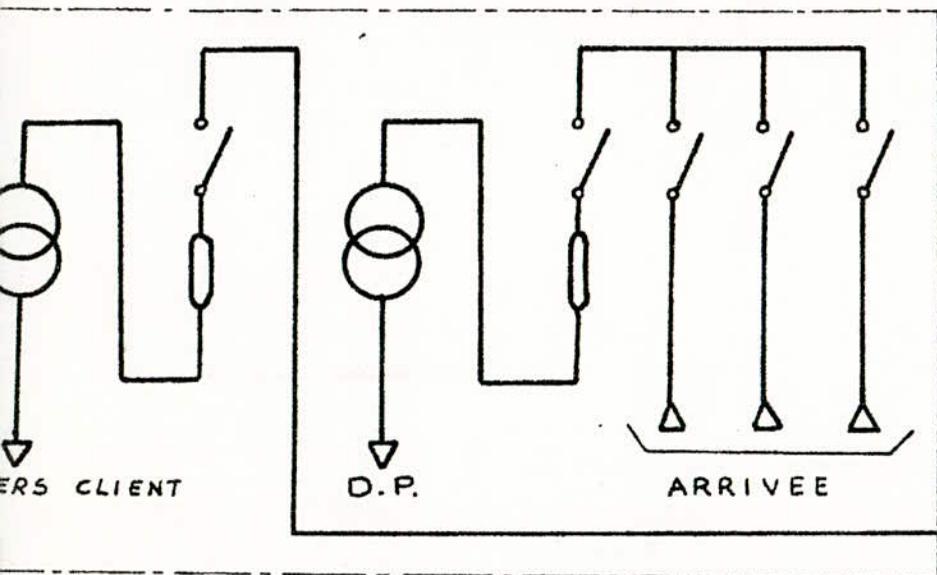
- Puissance demandée par chaque centre de consommation

- Puissance de court circuit

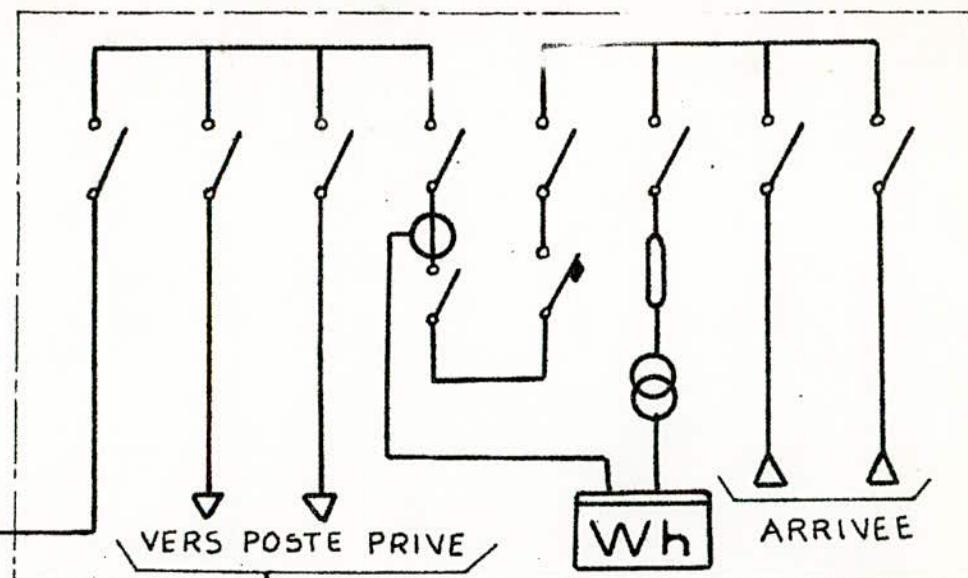
- Tension d'alimentation

SCHEMA UNIFILAIRE

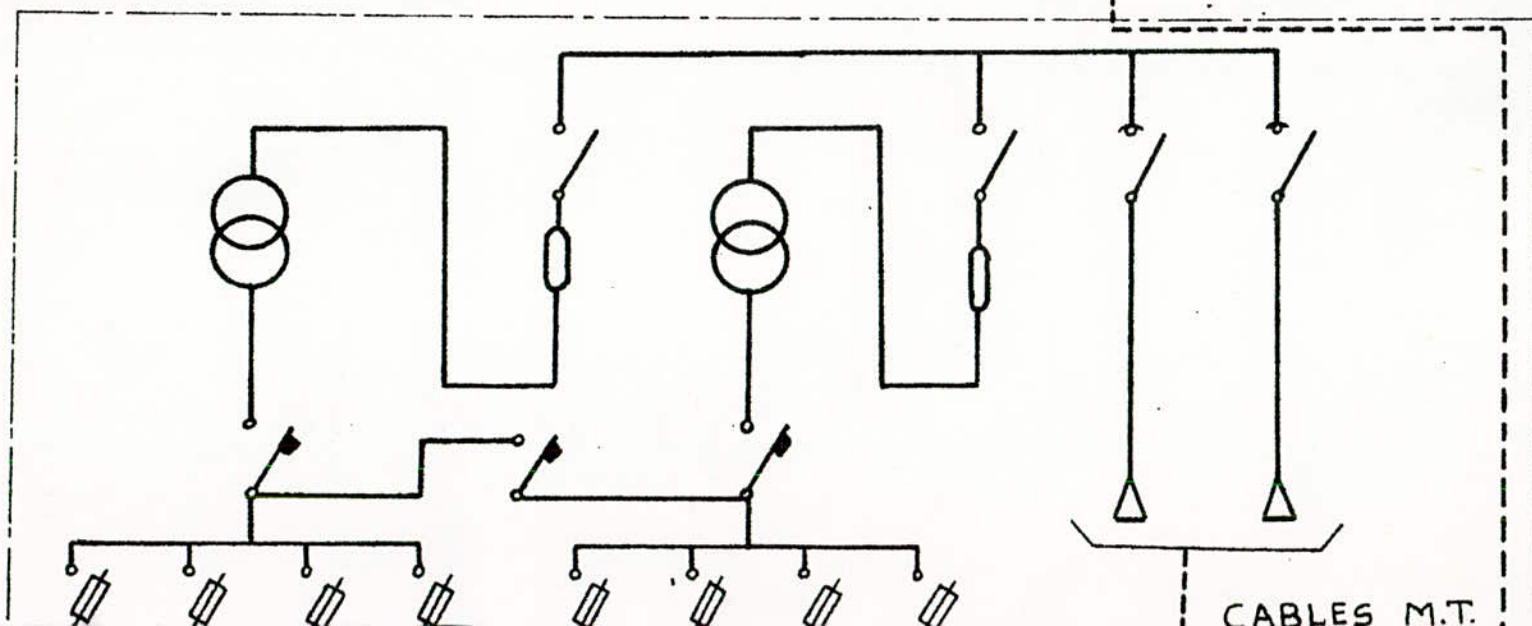
POSTE EXISTANT



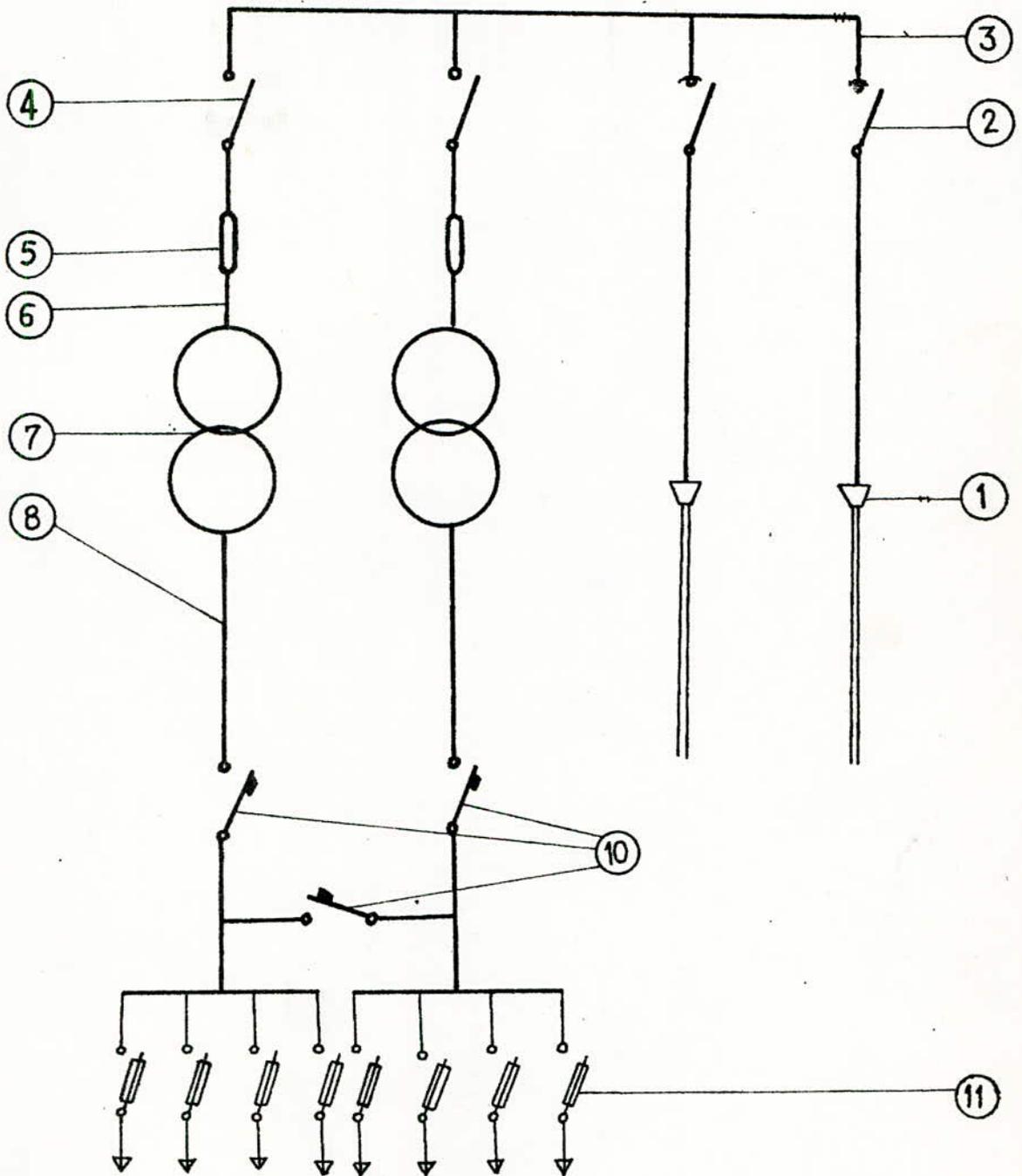
POSTE DE LIVRAISON



STE
VE



SCHEMA UNIFILAIRE



C H A P I T R E II

II.1 - GENIE CIVIL :

1-1. INTRODUCTION :

La construction du bâtiment abritant le poste de transformation nécessite un génie civil relativement important ; tels que :

- Les dimensions intérieures et extérieures du poste.
- " " des cellules intérieures comportant les différents appareillages.

1.2. DESCRIPTION DE LA CONSTRUCTION DU BATIMENT :

Le local contenant le poste doit être entièrement construit en matériaux incombustibles, et être à l'abri de toute humidité.

Les dimensions des cellules constituant le poste seront fonction de l'équipement électrique à installer.

Afin d'avoir une idée plus précise sur le bâtiment abritant le poste on a représenté :

a) - Vue en plan :

Elle indique toutes les dimensions en particulier :

- Dimensions des cellules
- " des murs extérieurs
- " des cloisons
- " des portes

Sur la vue en plan, on a représenté également les différentes buses et caniveaux pour passage de câbles.

- Buses pour câbles reliant les cellules transformateurs et protections transformateurs.

- Buses pour câbles reliant le disjoncteur général au disjoncteur de couplage.

- Buse pour sortie des câbles B.T.
- Caniveaux pour entrée des câbles M.T.
- " " sortie des câbles B.T.

b) coupe A :

Représente la cellule arrivée M.T. (profil) ; avec caniveaux pour entrée M.T.

c) Coupe B :

Représente le détail caniveau M.T.

d) Coupe E :

Représente la cellule M.T. (face)

e) Coupe F :

Représente la cellule B.T. ; avec caniveaux pour sortie de cables B.T.

f) Coupe G :

Représente la cellule transformateur (face)

g) Coupe H :

Représente la cellule B.T., avec buse pour sortie de cables B.T..

h) - AERATION :

Le local du poste est pourvu d'un système d'aération quelque soit les dispositions prévues pour assurer le refroidissement du transformateur.

On dispose d'aération inférieures se trouvant derrière les transformateurs et d'aérations supérieures au dessus des portes.

i) - Portes :

On dispose :

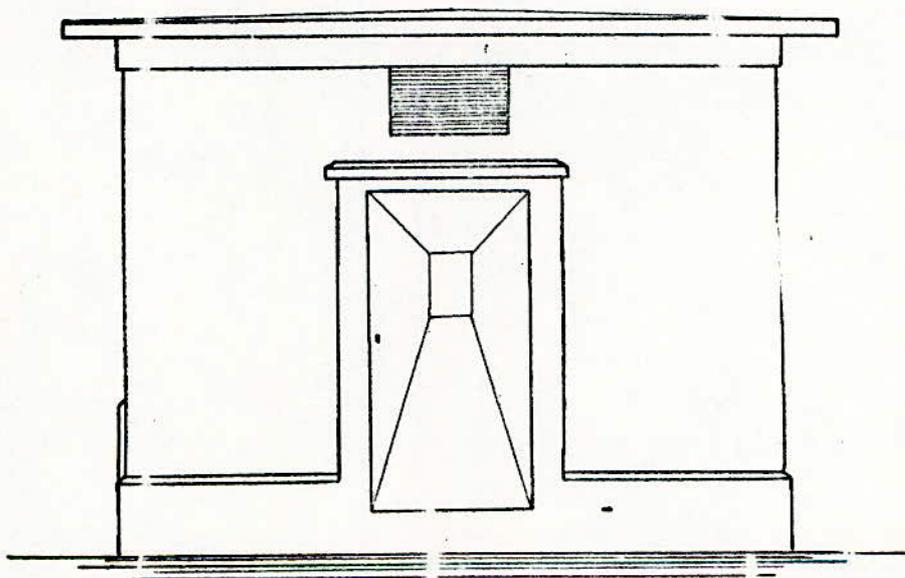
- d'une porte pour accès au poste
- " " de secours.

j) - Toiture :

La toiture est constituée en béton armé d'épaisseur débordant de tous les côtés, elle présente une pente permettant l'écoulement des eaux.

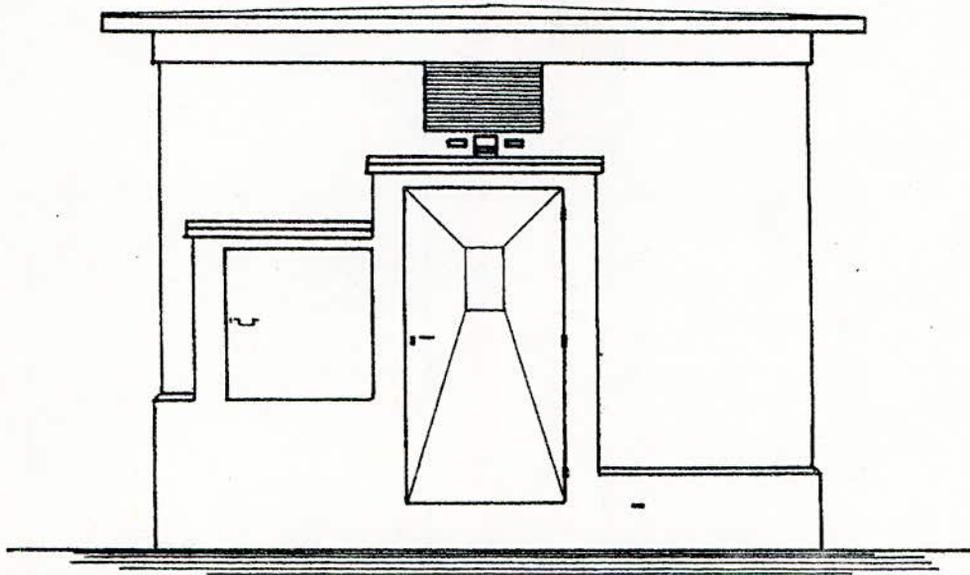
FAÇADE

ENTREE NORD



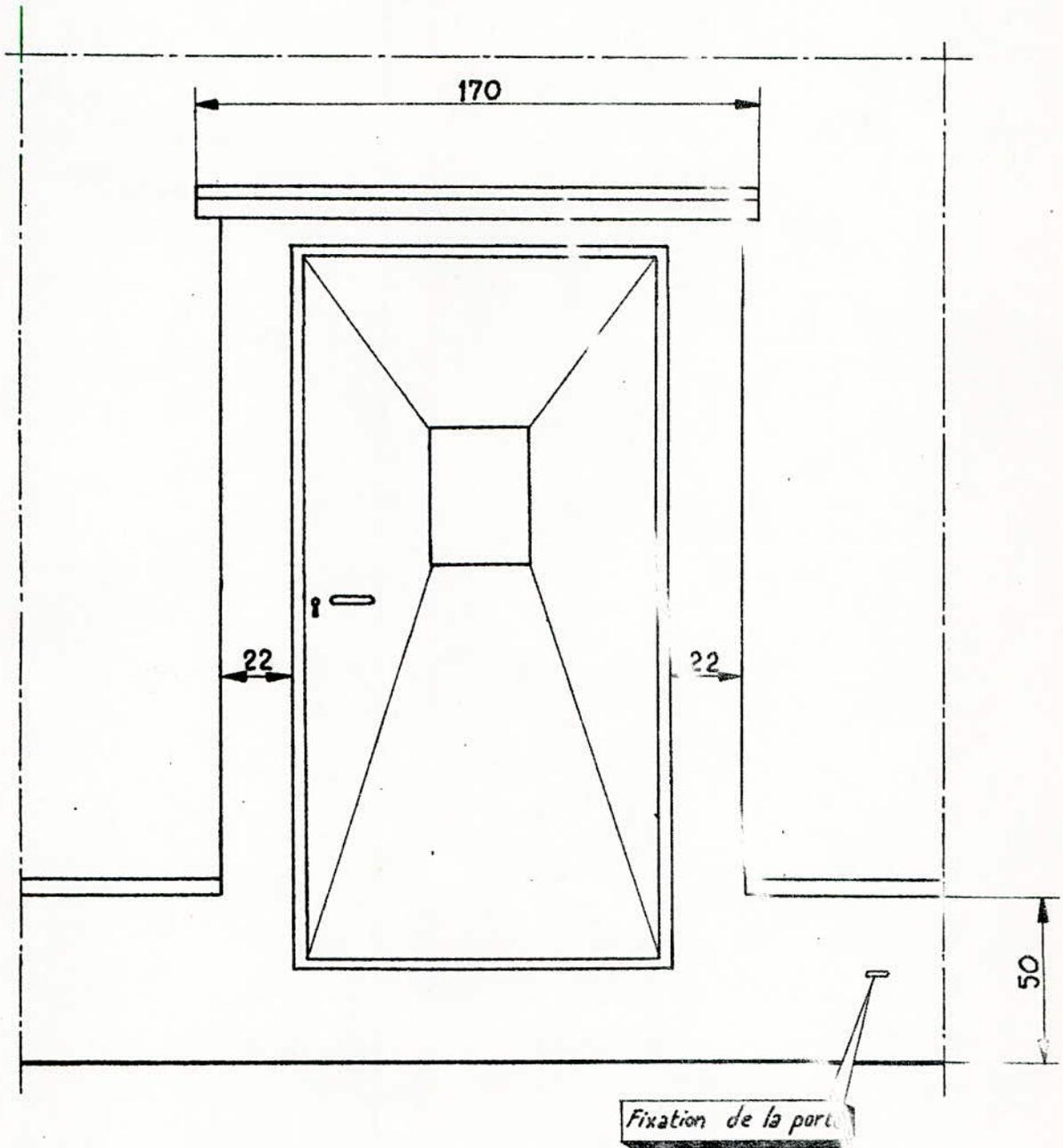
FAÇADE

ENTREE SUD



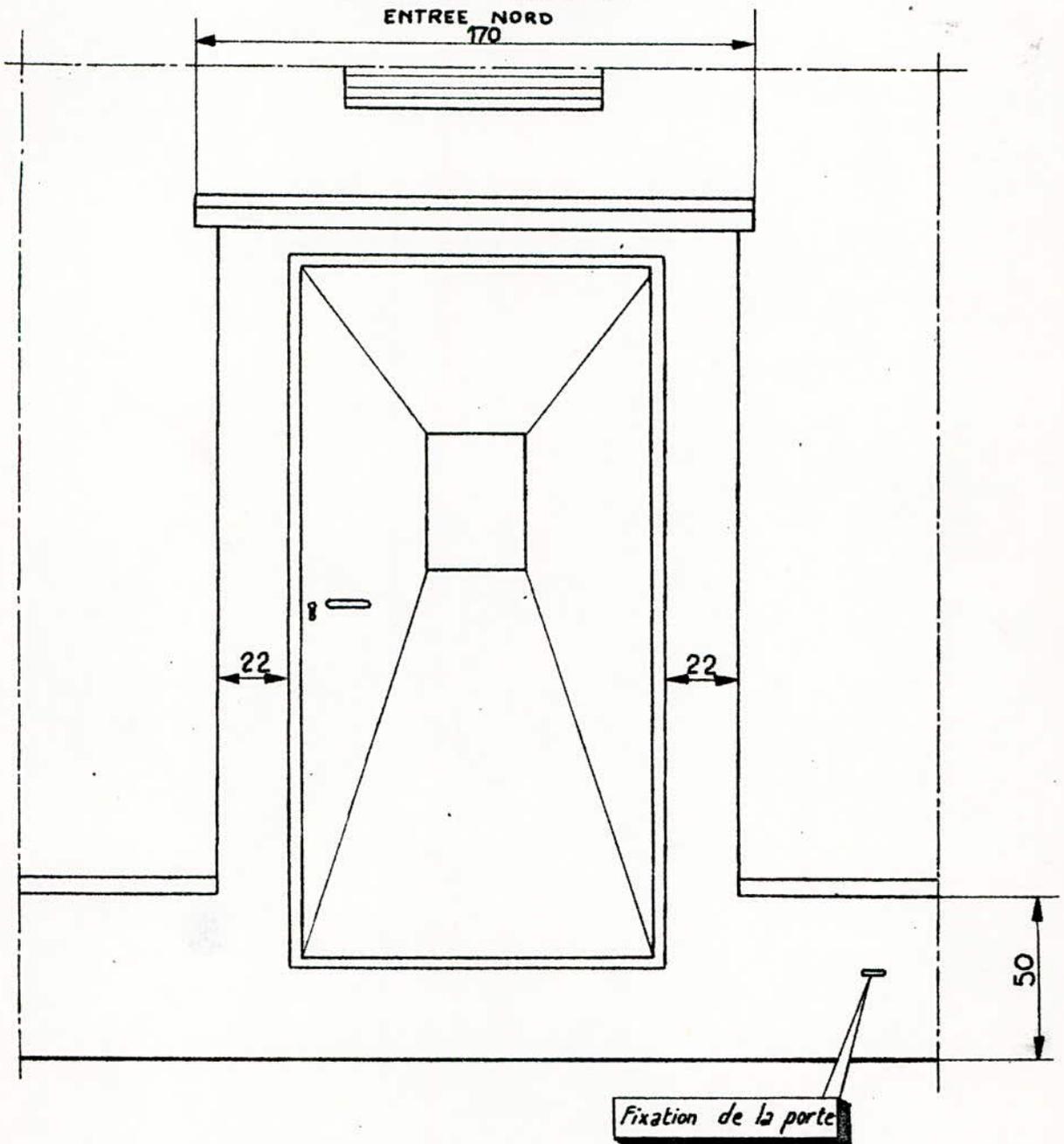
PORTE

VUE EXTERIEURE

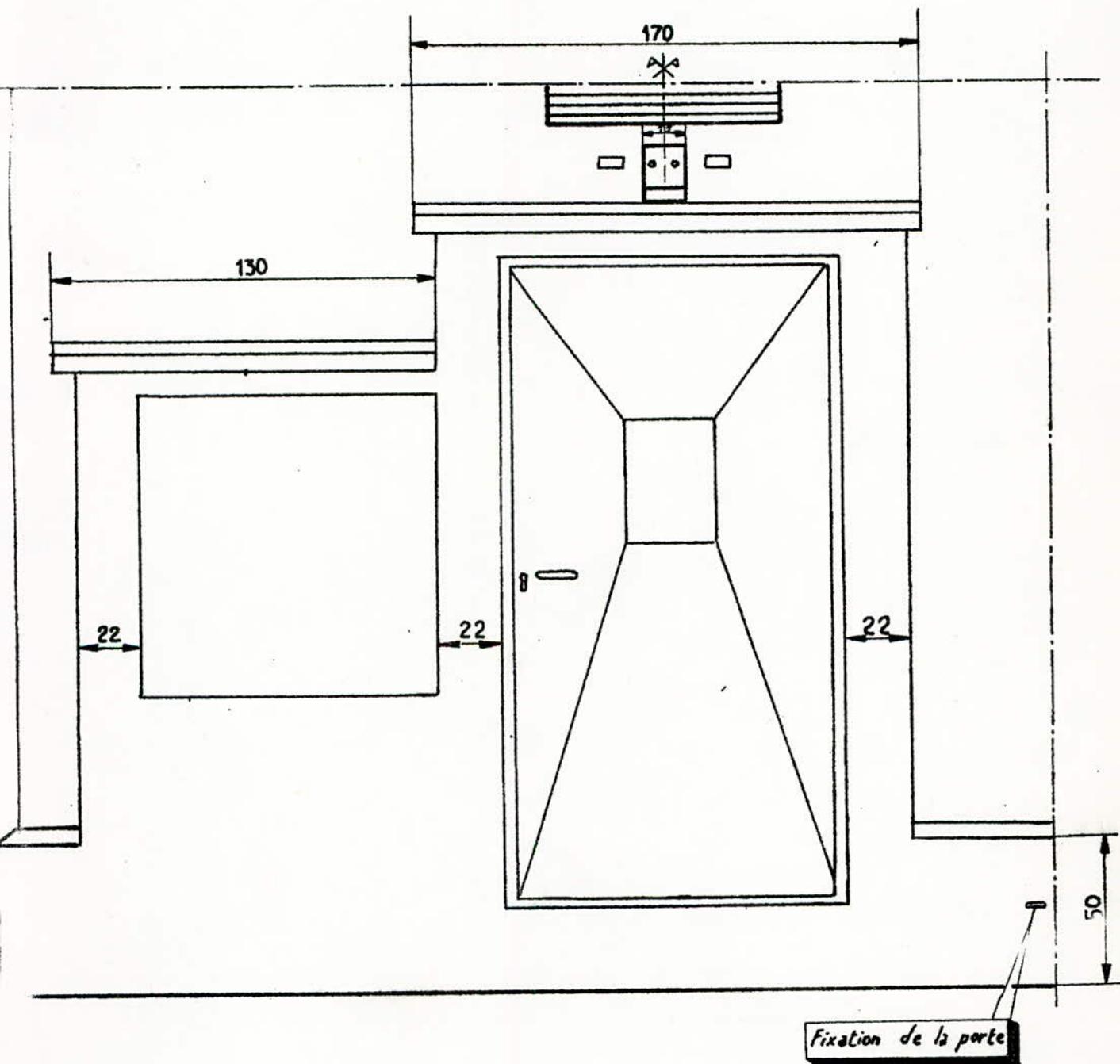


PORTE

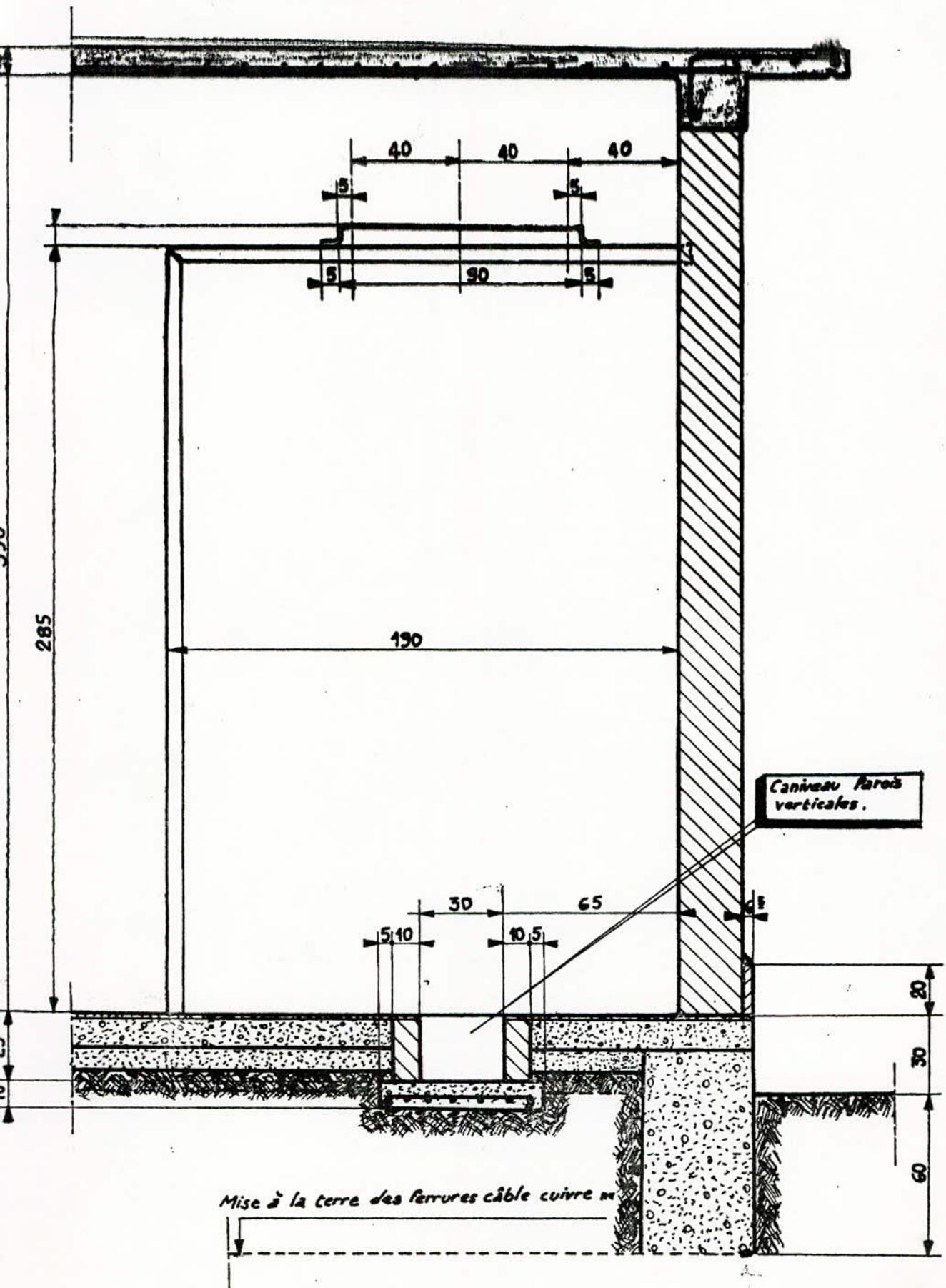
VUE EXTERIEURE



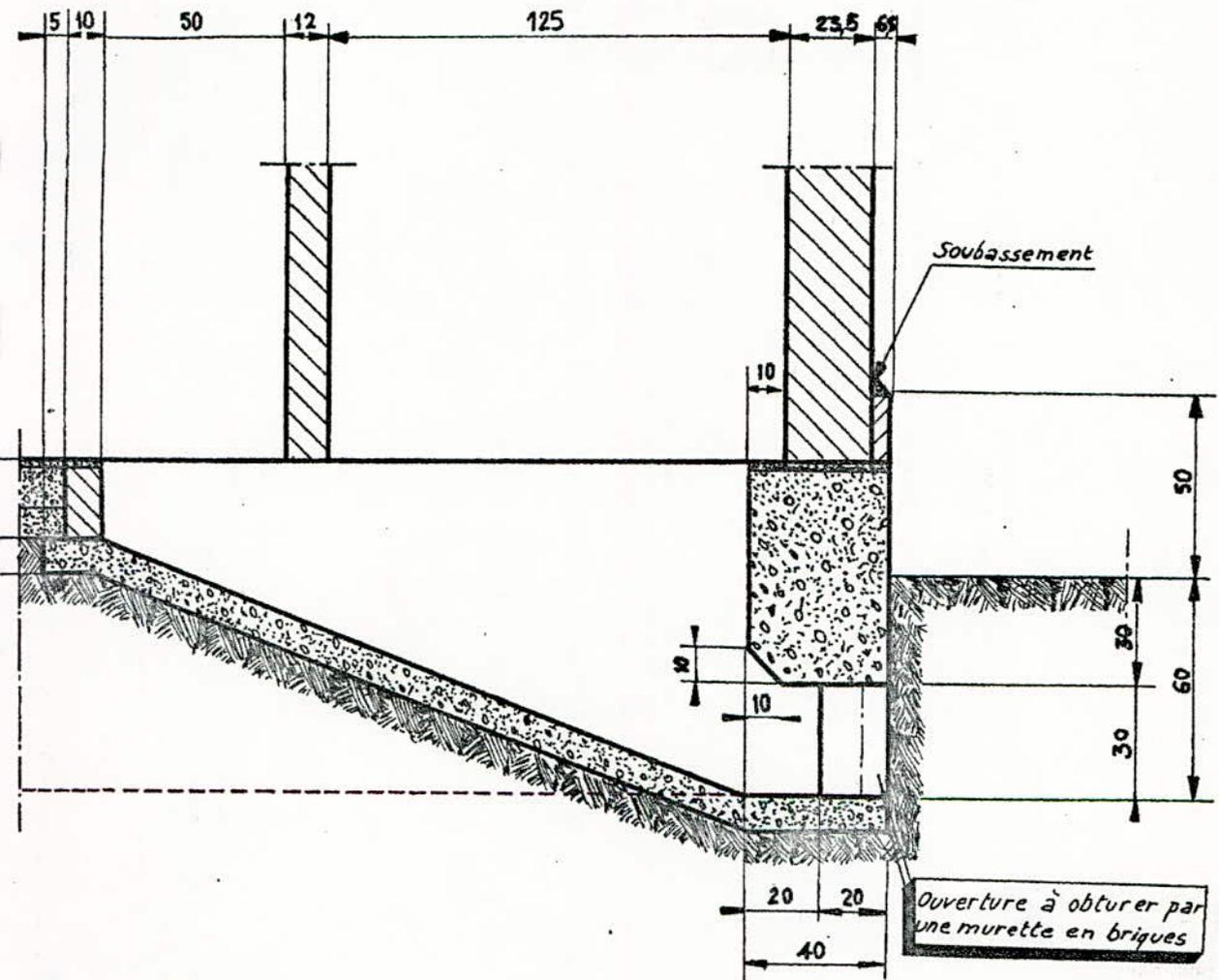
PORTE
VUE EXTERIEURE
ENTREE SUD



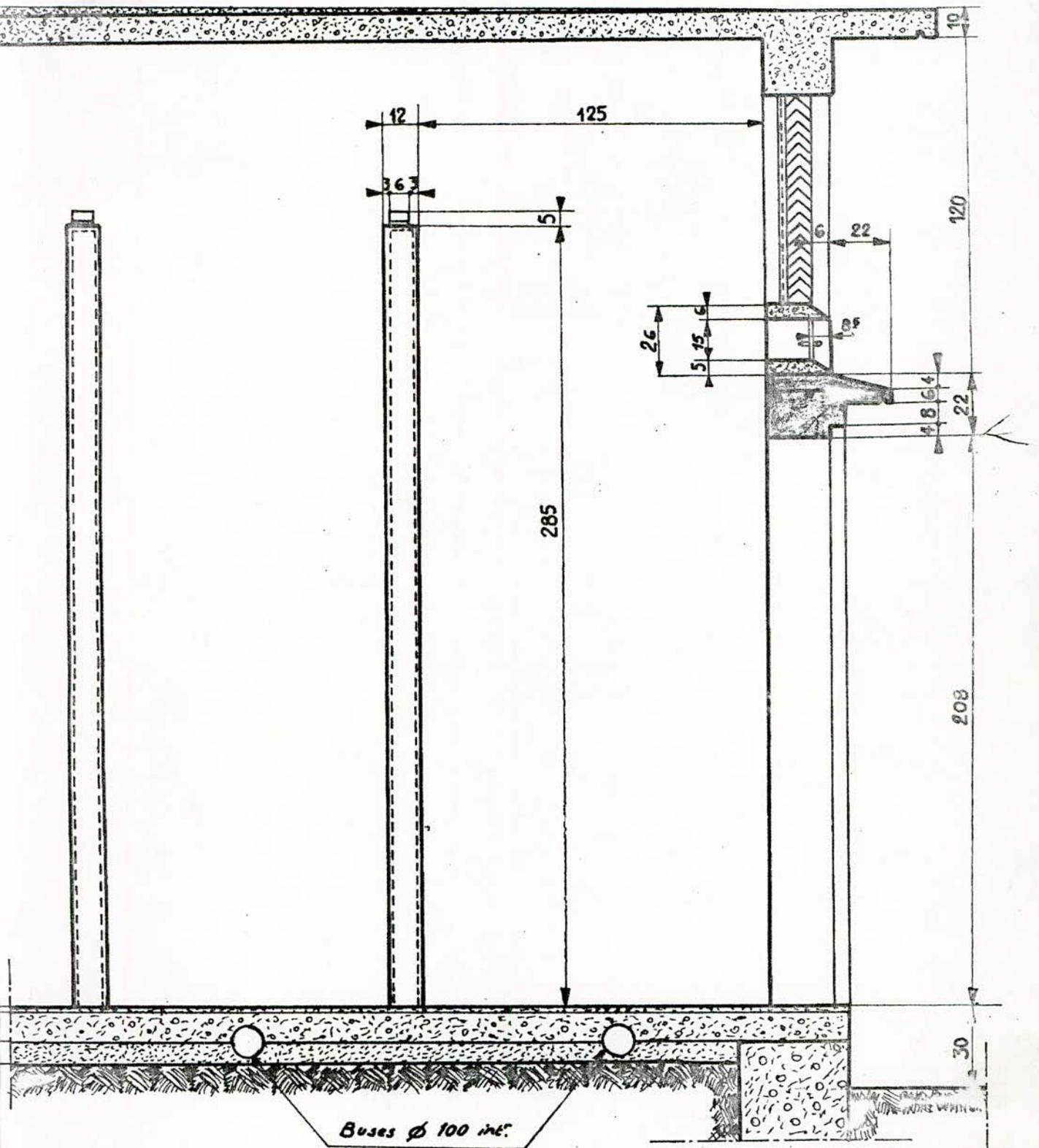
COUPE A



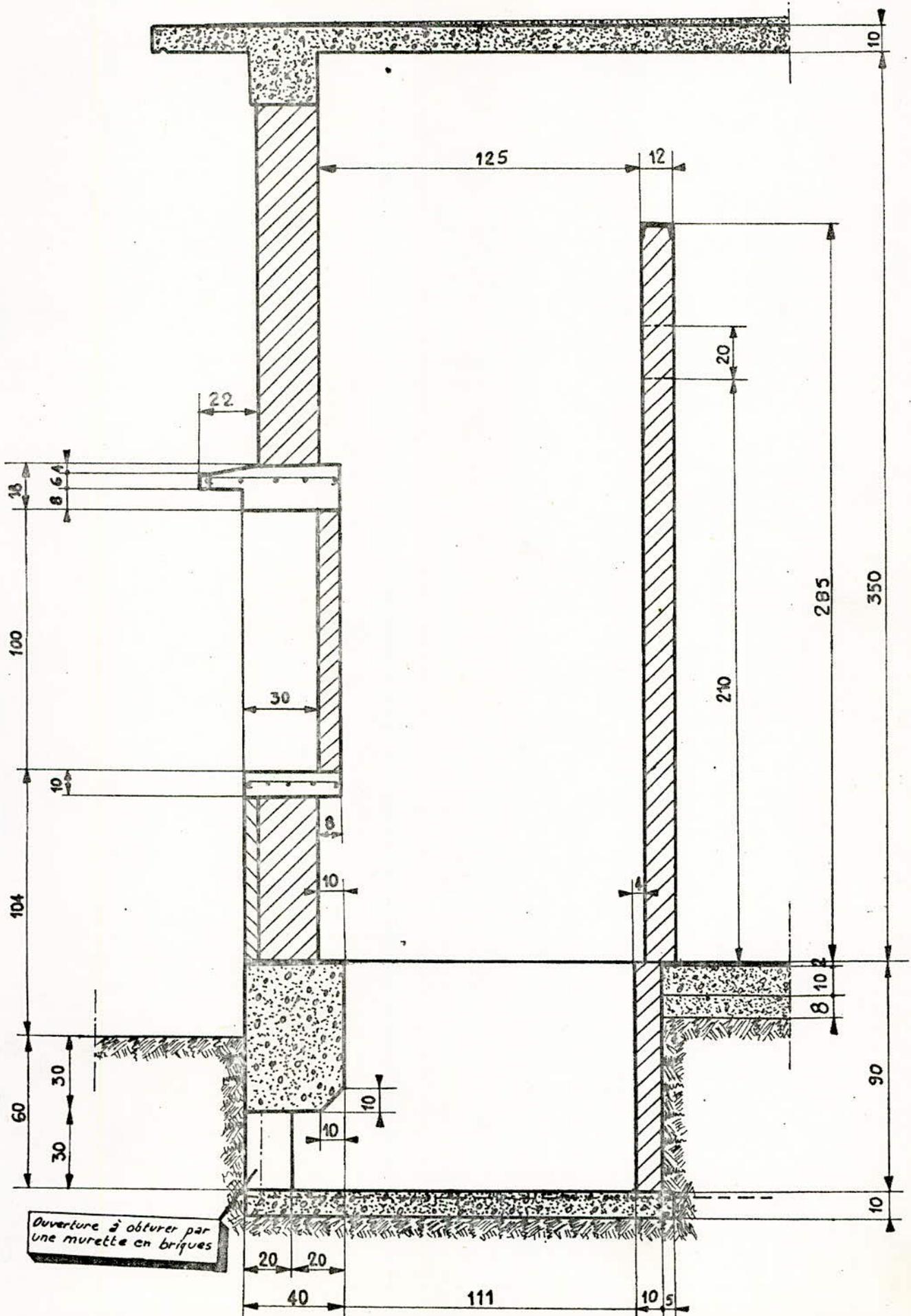
COUPE B



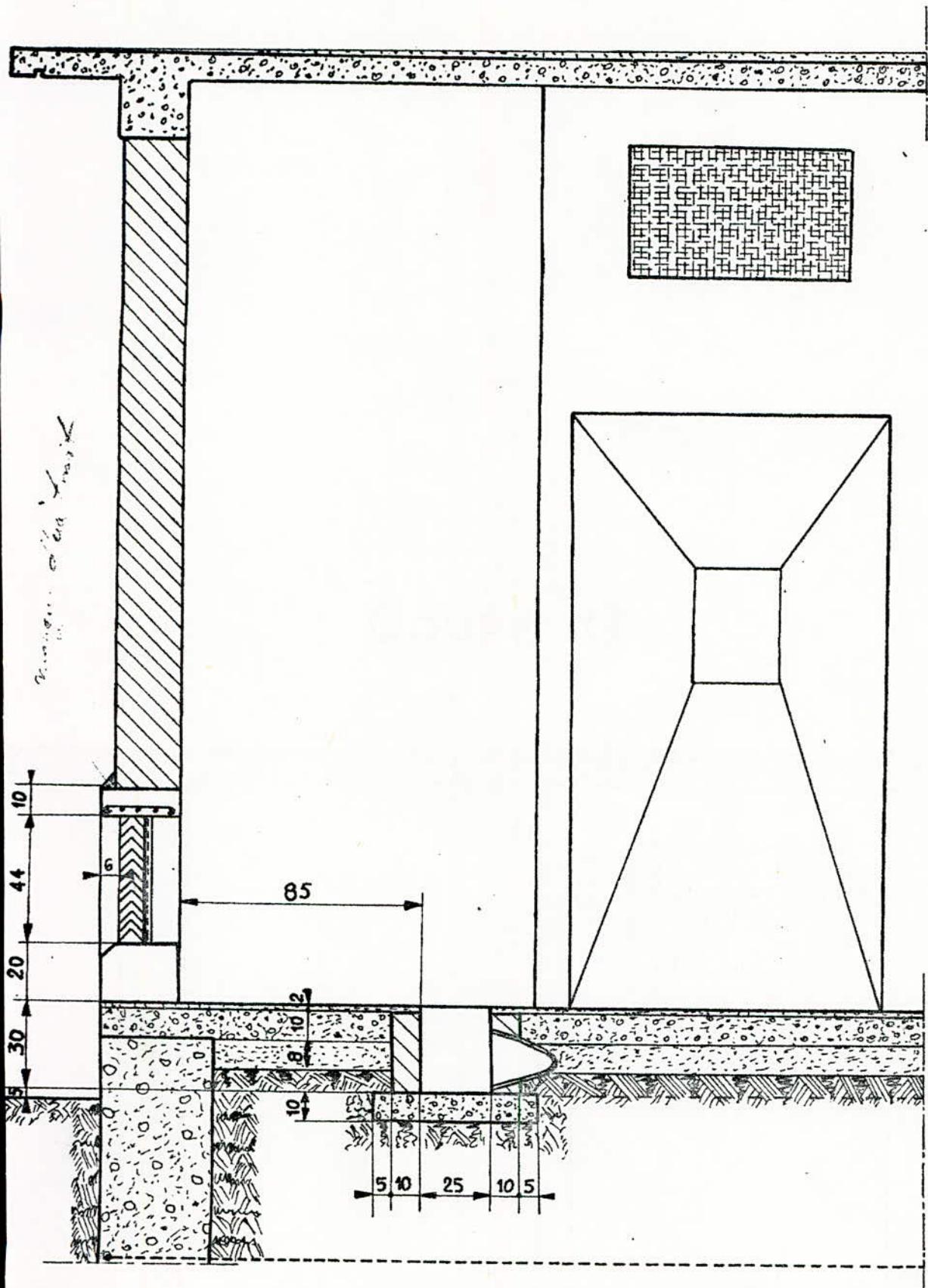
COUPE E



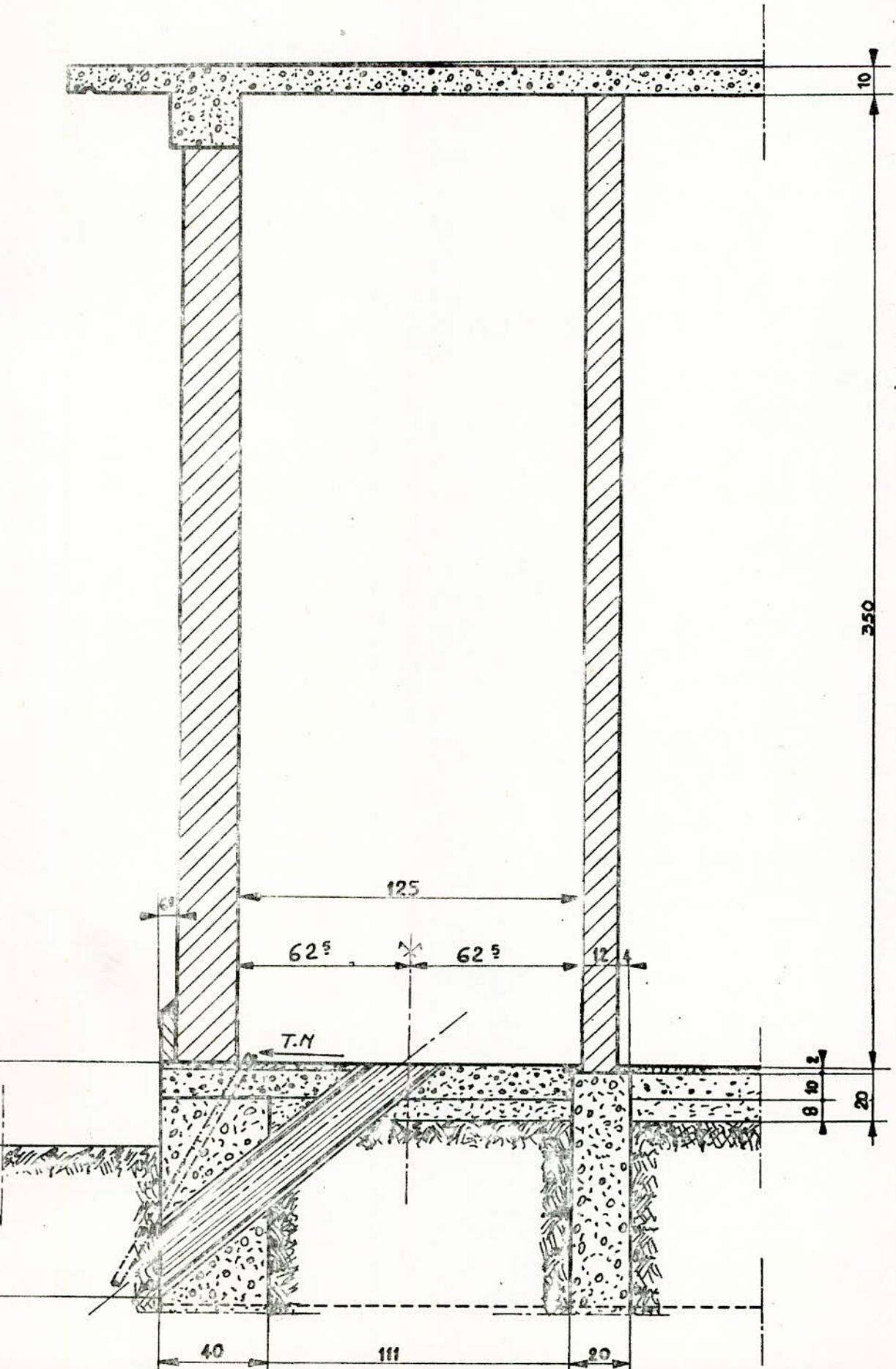
COUPE F



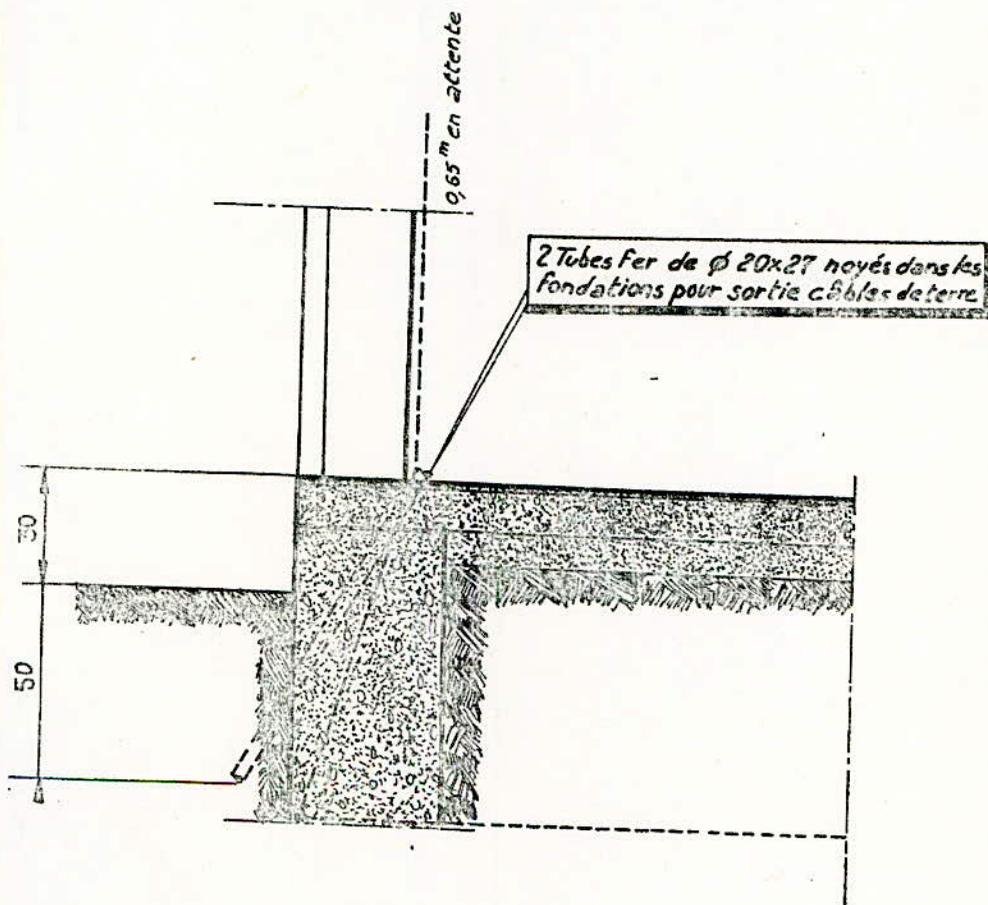
COUPE G



COUPE H



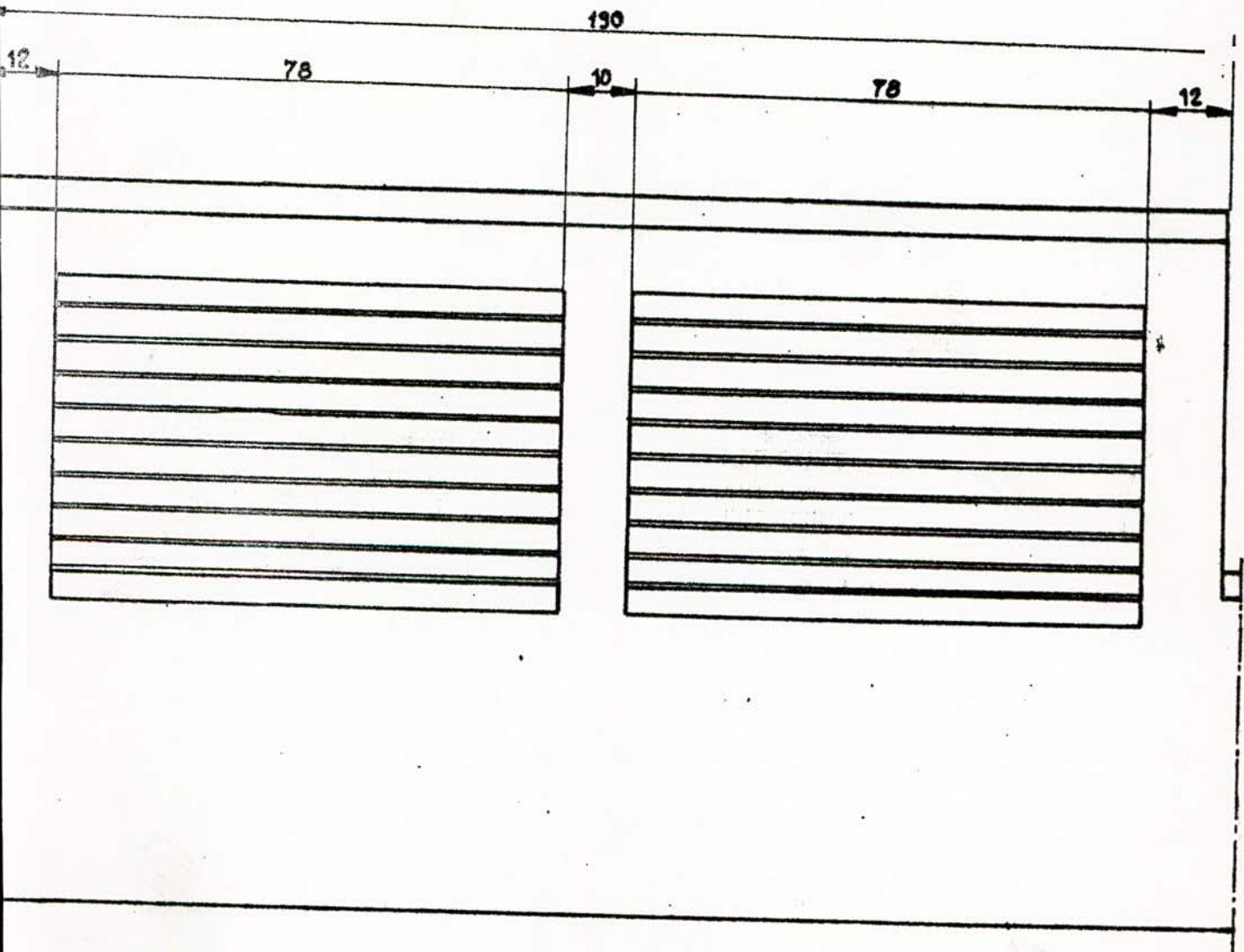
DETAIL DES TUBES DE TERRE



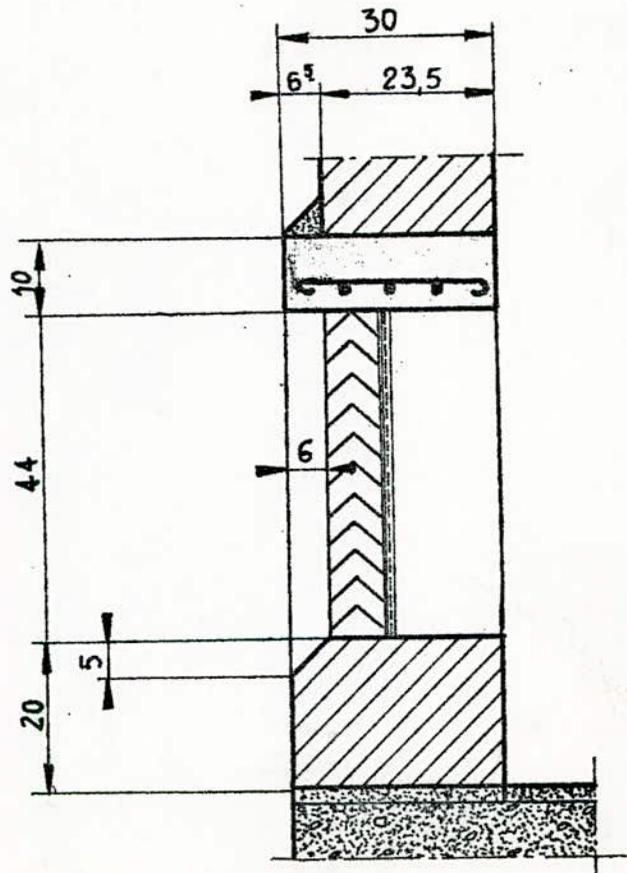
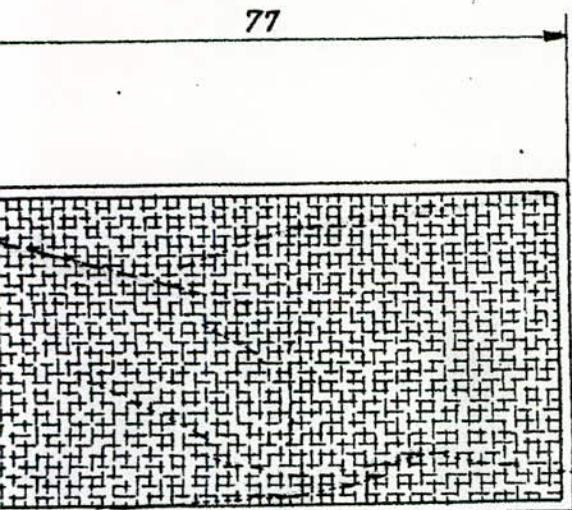
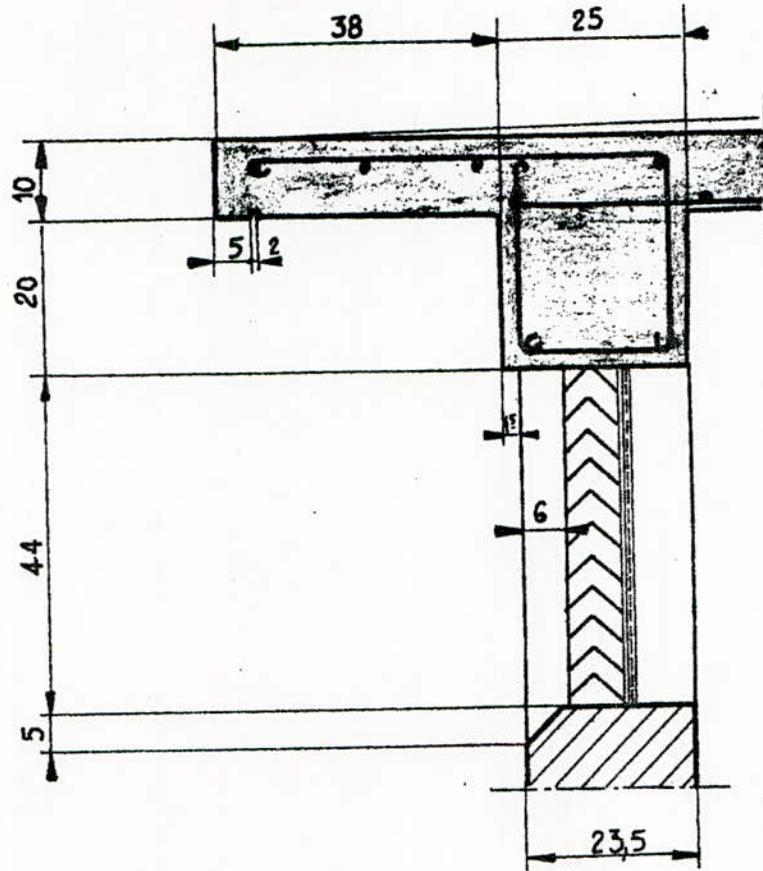
AERATIONS INFERIEURES

VUE EXTERIEURE

ECH:1/10



AERATIONS



II.2. EQUIPEMENTS ELECTRIQUES :

L'équipement électrique d'un poste est déterminé par :

- La puissance que doivent avoir les transformateurs de puissance .
- Le type de poste (maçonné ou préfabriqué)
- l'équipement côté M.T.
- l'équipement côté B.T.

Le bâtiment abritant le poste est constitué de huit cellules (2 cellules B.T. et 6 cellules M.T.) contenant tout l'équipement électrique du poste.

* Cellules M.T.

- 2 cellules d'arrivée avec interrupteurs sectionneurs.
- 2 " protection avec interrupteurs fusibles
- 2 " pour transformateur de puissance.

* Cellules B.T.

- 2 cellules équipées de tableaux B.T.

Une cellule est bordée sur toutes ses faces, autre que la face d'accès par les parois du bâtiment ou par des cloisons.

Les dimensions de chaque cellule sont fonctions de son équipement électrique.

Les portes des cellules sont suivant leurs dimensions à un ou deux vantaux.

- Les portes des cellules transformateurs sont à 2 vantaux
- Les portes des autres cellules sont à un seul vantail.

Lorsqu'elles sont ouvertes, elles doivent laisser un passage libre d'une largeur appropriée au matériel contenu dans la cellule.

Le couloir doit avoir des dimensions tel que l'on peut facilement aménager le matériel.

* VERROUILLAGES :

Ce sont des systèmes simples uniquement mécaniques.

Le but d'utiliser les verrouillages est :

- d'assurer la sécurité du personnel
- de se prémunir contre les fausses manœuvres.

Dans notre poste de transformation, on a à réaliser des verrouillages entre portes d'accès et les interrupteurs sectionneurs ; de façon à :

- Interdire l'ouverture de la porte quand l'appareil de sectionnement n'est pas ouvert.

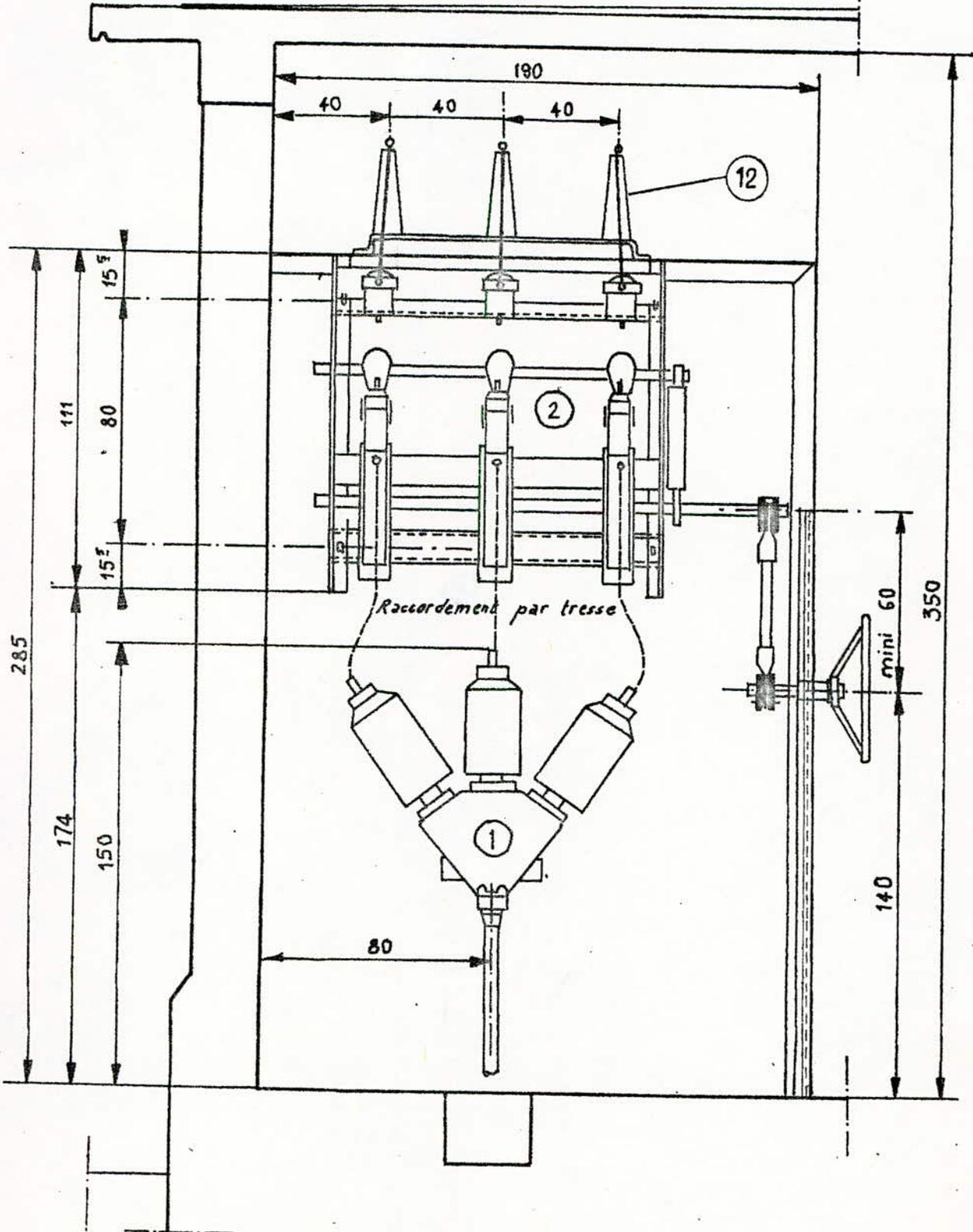
- Interdire la fermeture de la porte quand l'appareil de sectionnement n'est pas fermé.

X Selon la vue en plan " Equipements Électriques " ; on représentera les différentes cellules en coupe :

- Coupe A : Cellule arrivée interrupteur sectionneur (face)
- Coupe C : " protection transformateur (face)
- Coupe D : " arrivée interrupteur sectionneur (profil)
- Coupe F : " protection transformateur (profil)
- Coupe G : " " " "
- Coupe H : " Départ basse tension
- Coupe I : " " " "
- Coupe J : " transformateur (face)
- Coupe K : " " "
- Coupe L : " " (profil)

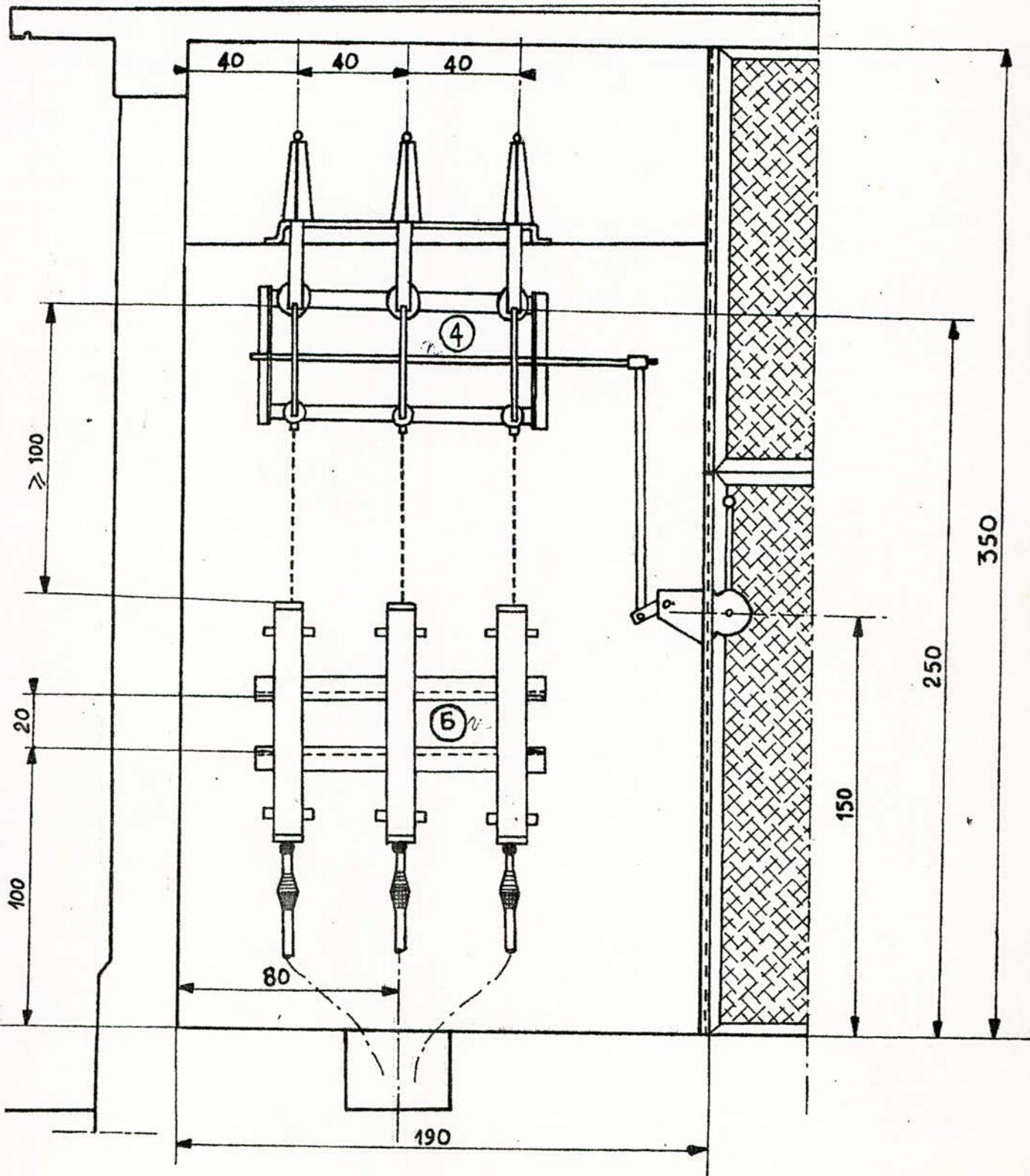
Coupe A

Cellule Arrivee Interrupteur-Sectionneur (Face)



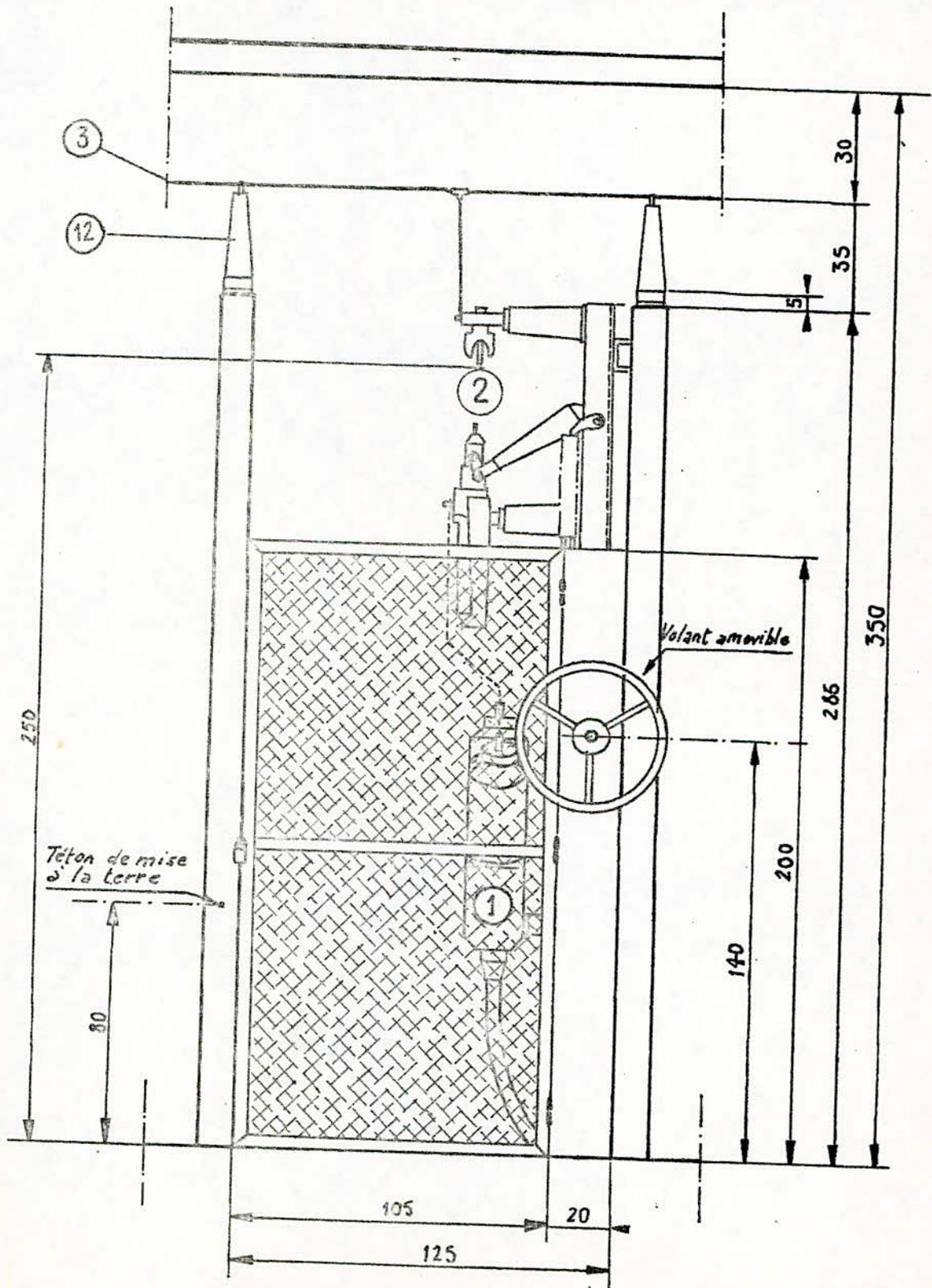
Coupe C

Cellule Protection Transformateur (Face)



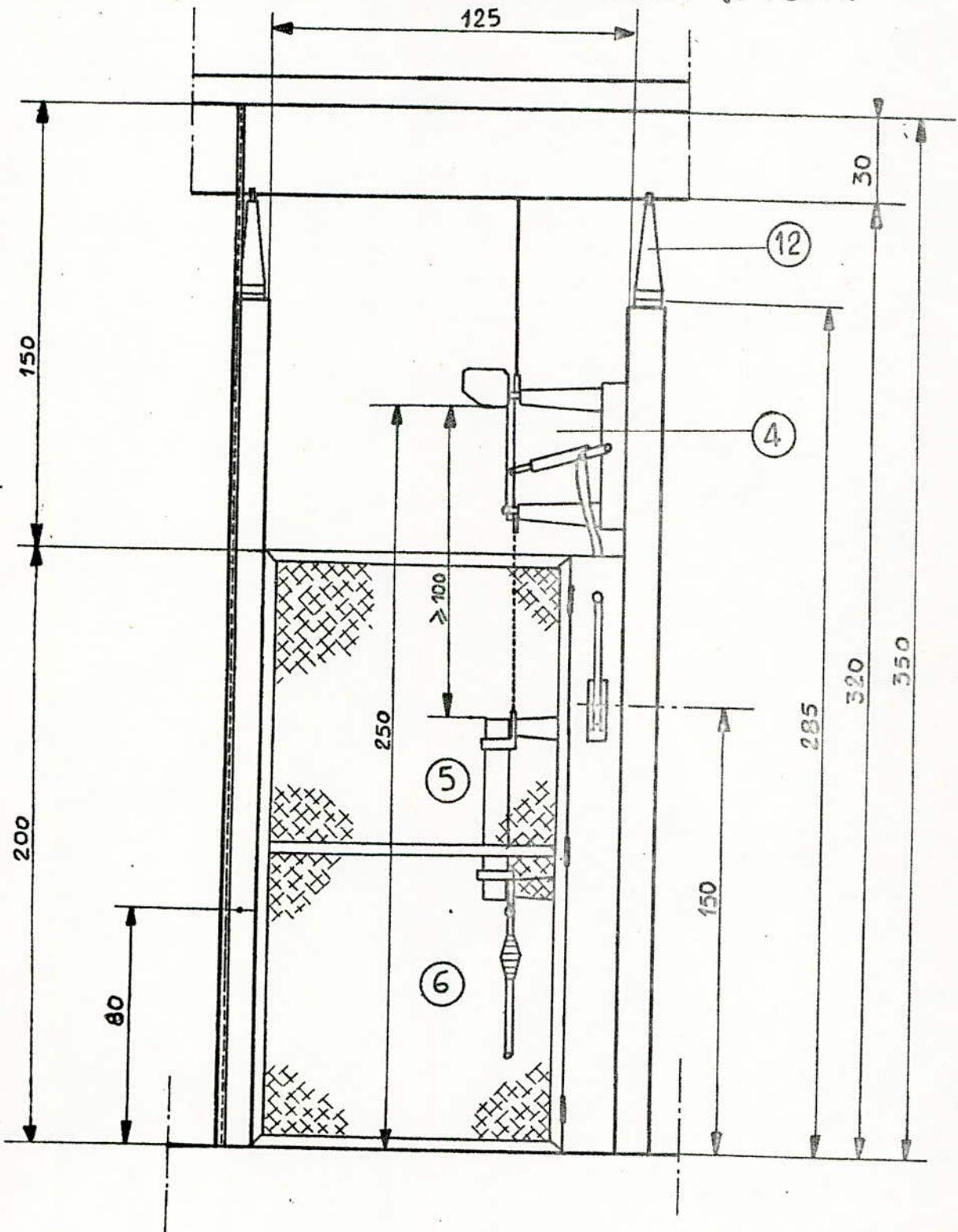
Coupe D

Cellule Arrivee Interrupteur-Sectionneur (Profil)



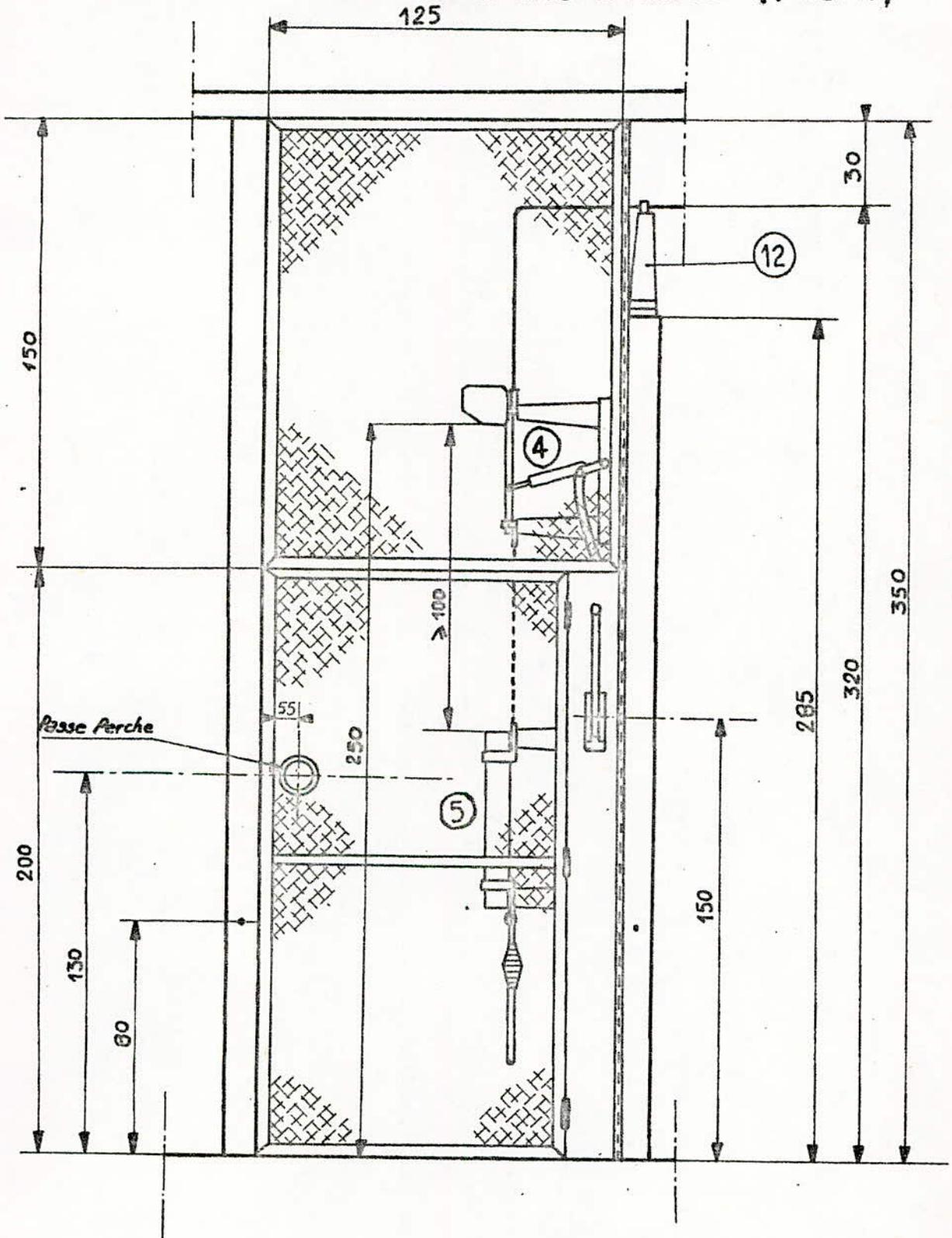
Coupe F

Cellule Protection Transformateur (Profil)



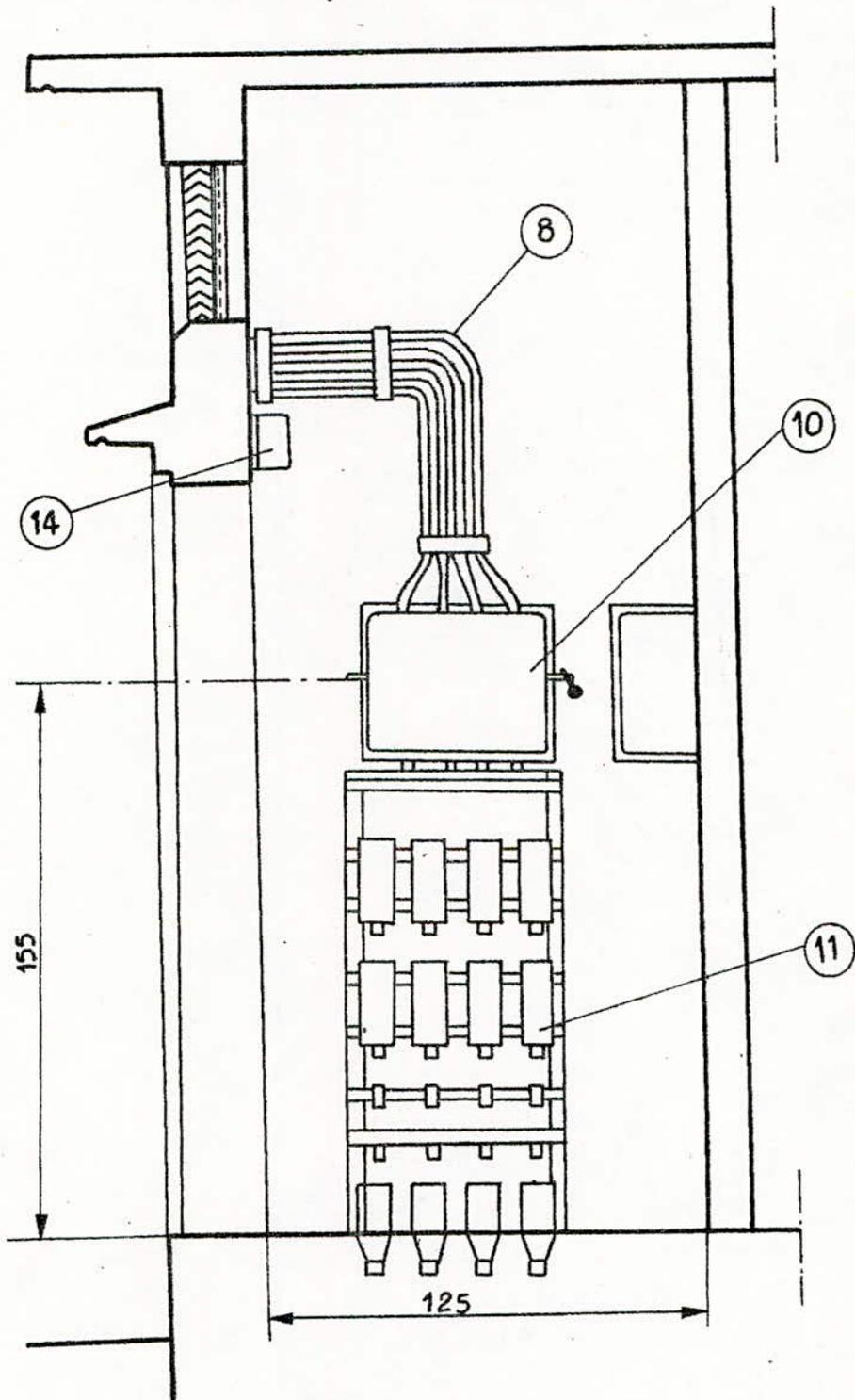
Coupe G

Cellule Protection Transformateur (Profil)



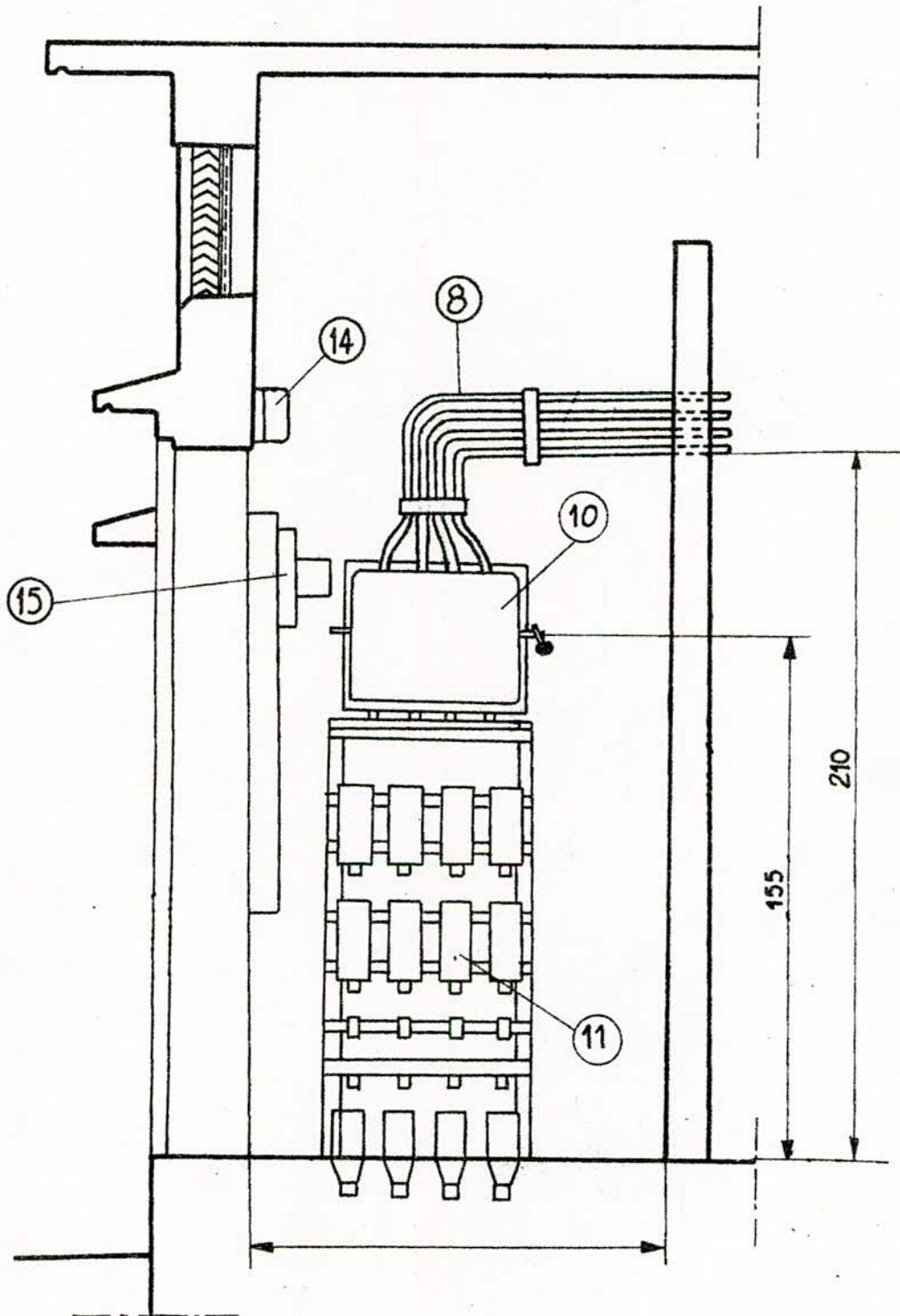
Coupe H

Cellule Depart Basse Tension



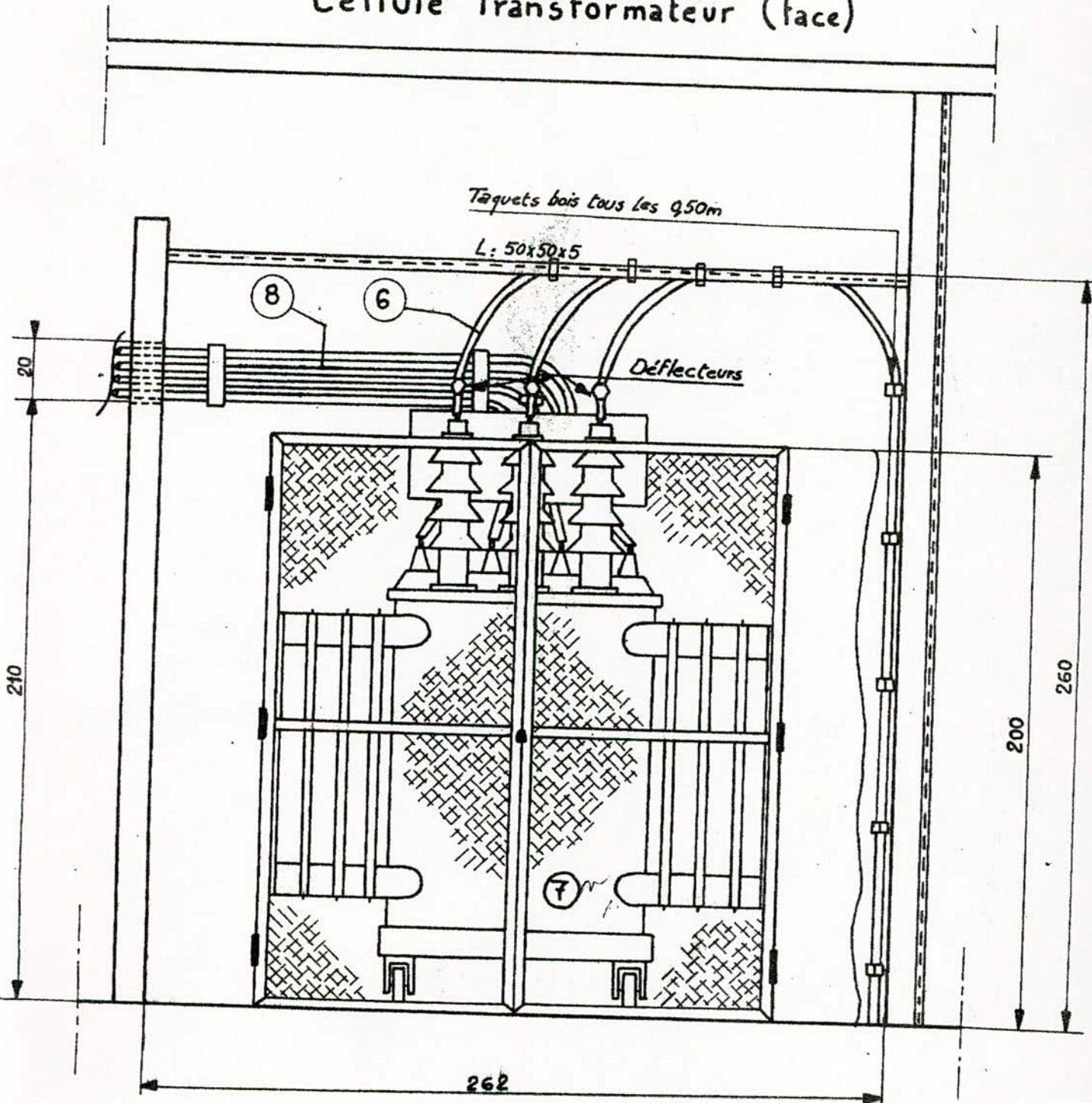
Coupe I

Cellule Depart Basse Tension



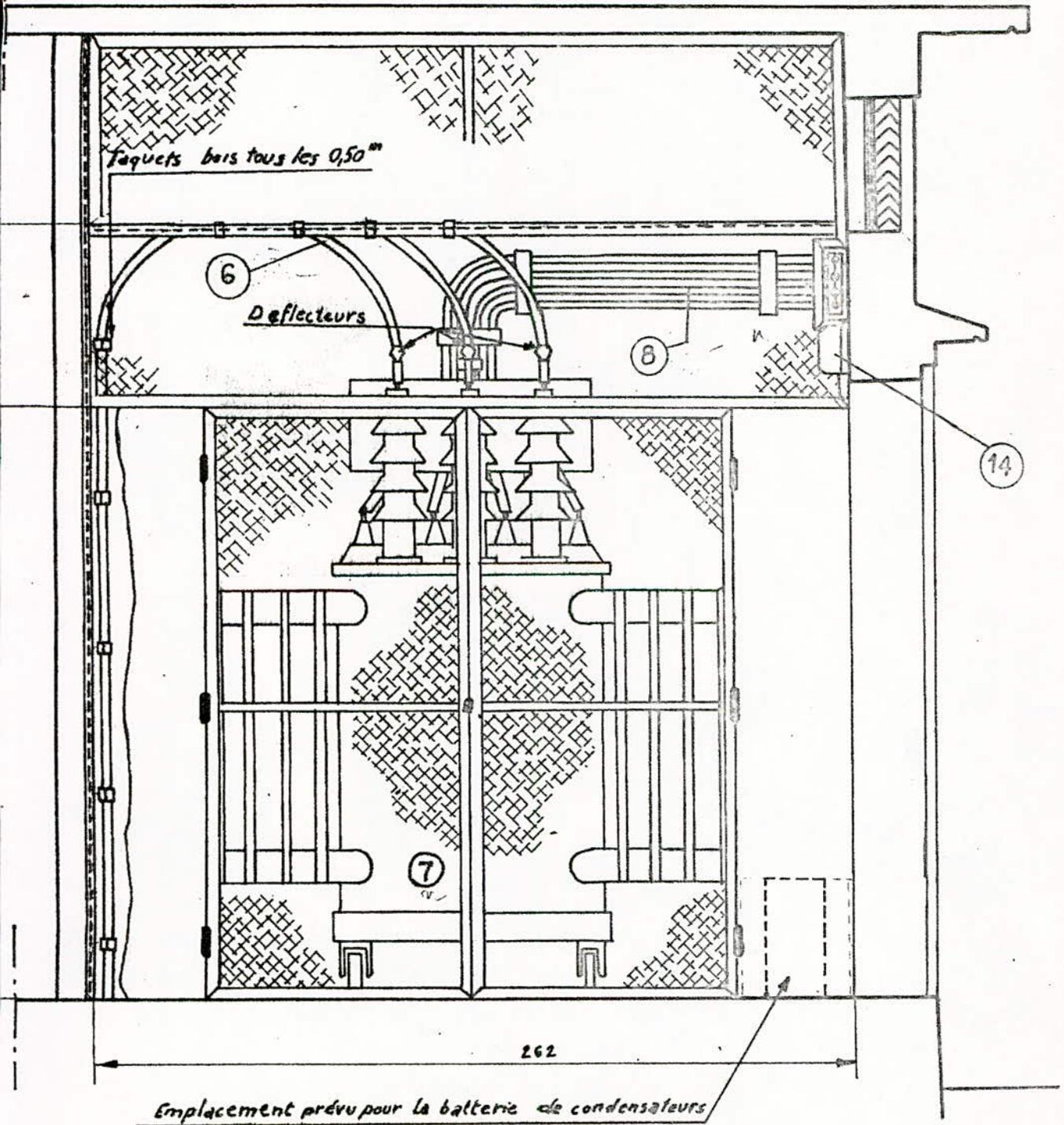
Coupe J

Cellule Transformateur (face)



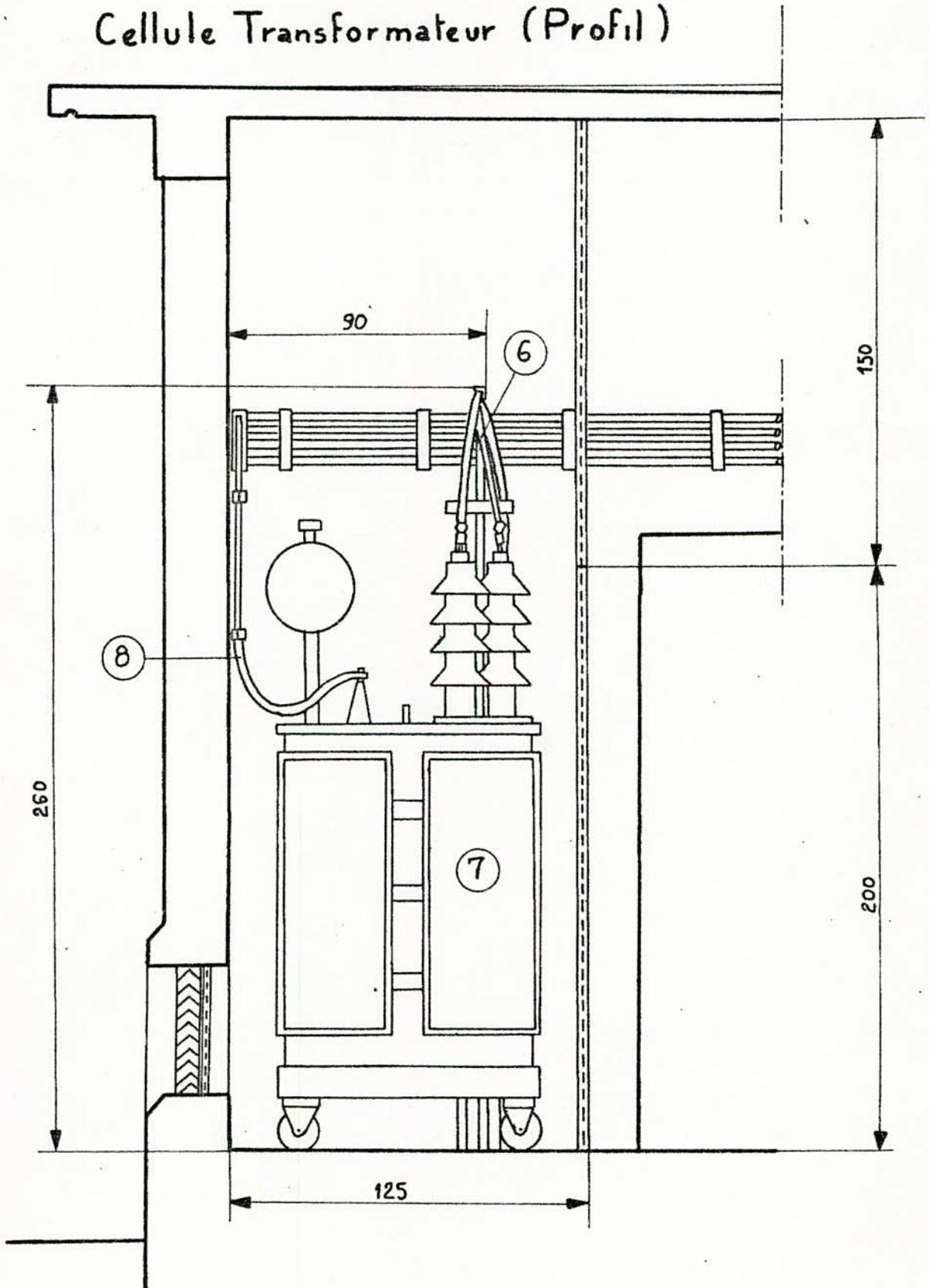
Coupe K

Cellule Transformateur (face)



Coupe L

Cellule Transformateur (Profil)



III - APPAREILLAGES ELECTRIQUES :

III - 1 Calcul des courants de court-circuit

a) définition

Un court-circuit est une liaison entre phases ou entre une phase et la terre.

b) Causes des courants de court-circuit

- Un court circuit peut se produire en raison de :
- dégradation d'isolement à la suite de surtensions
 - causes mécaniques.
 - fausses manoeuvres dans les installations.

c) Effets des courants de court-circuit

On peut classer les effets physiques des court-circuits en trois catégories :

- Effets thermiques
- Effets électrodynamiques
- Effets d'induction.

d) Types de court-circuit :

Suivant le nombre de phases affectées, on a des court-circuits symétriques et non symétriques.

T Y P E S	SYMBOLES	PROBABILITES
Monophasés	P.N.	65 %
Biphasés terre	2 PN	20 %
Biphasés	2 P	10 %
Triphasés	3 P (N)	05 %

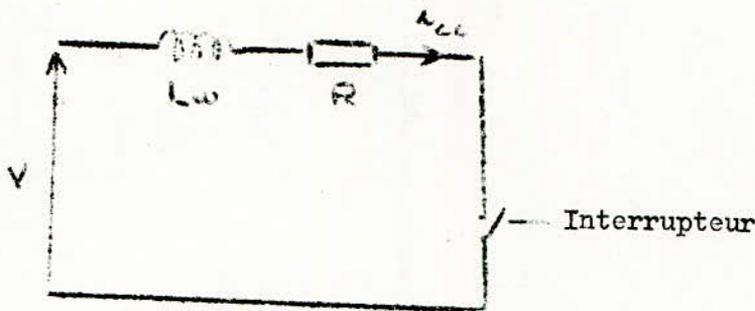
Le calcul de court-circuit triphasé, malgré sa faible probabilité d'apparition représente un élément essentiel dans l'étude des réseaux car il conduit aux défaillances les plus graves .

Comme le calcul exact est assez difficile, on utilise des hypothèses simplificatrices qui sont :

- Les courants de magnétisations des transformateurs sont négligeables.
- Les capacités des cables sont négligeables
- La résistance de l'arc dû au court-circuit est négligeable.

e) Etude du court circuit triphasé :

Soit le circuit d'une phase suivant :



D'après la loi d'Ohm ; on a

$$v = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

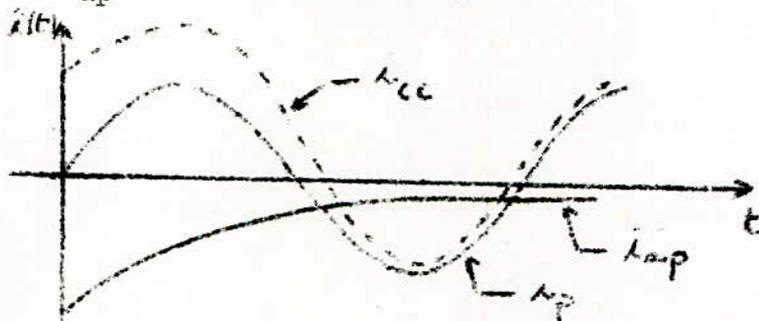
$$= L \frac{di_{cc}}{dt} + R i_{cc}$$

La résolution de cette équation différentielle donne comme solution :

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

$$i_{cc}(t) = i_p + i_{ap}$$

avec i_p : Composante périodique
 i_{ap} : composante apériodique.



étant l'angle de court-circuit tel qu'on ait : $\tan \psi = \frac{L}{R}$

soient :

$$i_p(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \varphi - \psi)$$

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

Cas particuliers

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \quad (\text{c'est à dire } L \rightarrow R)$$

$$\begin{aligned} \text{d'où : } i_{cc}(t) = i_p(t) &= \frac{V_m}{X_{cc}} \cdot \sin \omega t \\ &= \frac{U_m}{\sqrt{3} X_{cc}} \cdot \sin \omega t \end{aligned}$$

$$i_{ap} = 0$$

La valeur des différents types de court circuit est donnée par :

$$I_{cc} = m I_{pd}$$

avec I_{pd} : composante périodique directe.

Court-circuit triphasé : ($m = 1$),
$$I_{pd} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} Z_d}$$

Court-circuit biphasé : $m = \sqrt{3}$,
$$I_{pd} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} (Z_d + Z_i)}$$

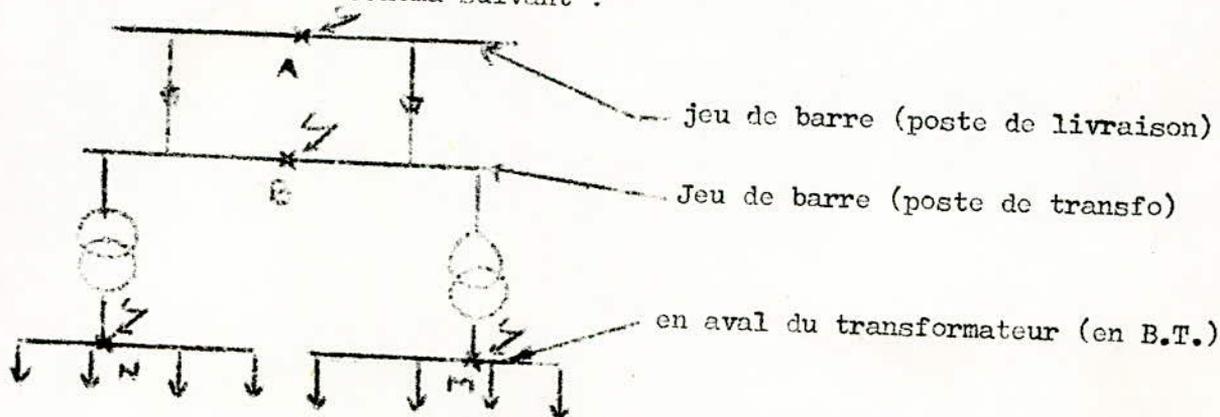
Court-circuit monophasé : $m = 3$,
$$I_{pd} = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} (Z_d + Z_i + Z_o)}$$

avec Z_d : impédance directe
 Z_i : " inverse
 Z_o : " homopolaire

Pour notre calcul de courant de court-circuit, on n'utilisera que la composante directe des impédances.

f) Calcul détaillé du courant de court-circuit

Soit le schéma suivant :



Le défaut triphasé est pratiquement le seul envisagé dans la distribution basse tension celui-ci représente le cas le plus défavorable correspondant à l'intensité de court-circuit la plus élevée.

Les principaux courants de court-circuit à calculer sont les suivants :

f 41 Court-circuit au point A

La réactance en amont du jeu de barre du poste de livraison est donnée par :

$$X_A = \frac{U^2}{P_{cc}}$$

avec : U tension d'alimentation
P_{cc} puissance de court-circuit

$$U = 30 \text{ KV} \quad \text{d'où} \quad X_A = \frac{30^2}{500} = 1,8$$

$$P_{cc} = 500 \text{ MVA}$$

$$\underline{\underline{X_A = 1,8 \Omega}}$$

d'où le court-circuit en A est donné par :

$$I_{ccA} = \frac{I_e U}{\sqrt{3} X_A} = \frac{I_e \cdot 30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,8} = 10,6 \text{ KA}$$

$$\underline{\underline{I_{ccA} = 10,6 \text{ KA}}}$$

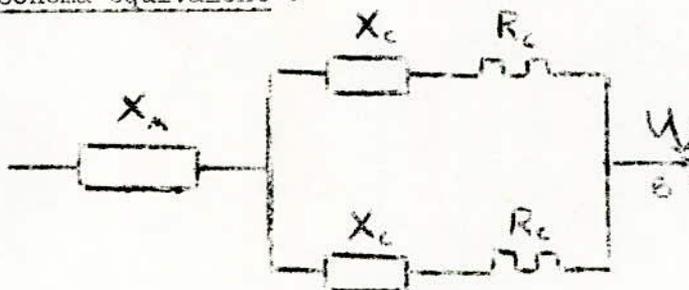
f.2. Court-circuit au point B

Le courant de court-circuit au point B est donné par :

$$I_{ccB} = \frac{I_e \cdot U_n}{\sqrt{3} Z_c}$$

$$\text{avec } Z_c = \sqrt{X_c^2 + R_c^2}$$

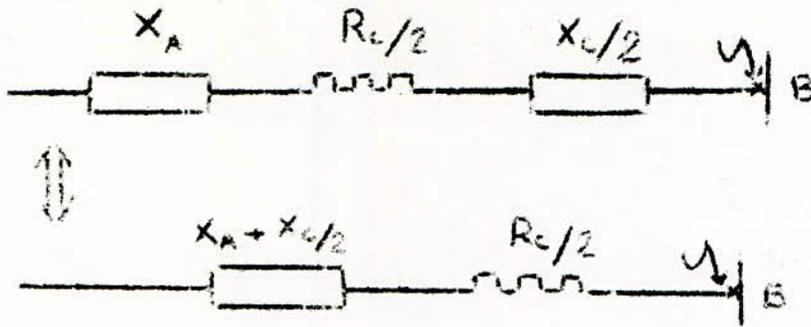
Schéma équivalent :



X_c : réactance du câble MT

R_c : résistance " " "

Ce schéma est équivalent à :



$$\text{d'où } I_{ccB} = \frac{I_1 I_2 U}{\sqrt{3} \sqrt{X_c^2 + R_c^2}}$$

$$\text{avec } X_c = X_A + X_{c/2}$$

$$R_c = R_{c/2}$$

La réactance du câble moyenne tension est :

$$X_c = 0,1 \text{ } \Omega / \text{Km}$$

Longueur du câble est $l = 622 \text{ m}$

$$\text{d'où } X_c = 0,1 \cdot 0,622 = 0,0622 \text{ } \Omega$$

$$\text{d'où } X_c = X_A + X_{c/2} = 1,8 + 0,0311 = 1,83 \text{ } \Omega$$

La résistance du câble est donnée par :

$$R_c = \frac{l}{\gamma S}$$

$$l = 622 \text{ m}$$

$$S = 10 \text{ mm}^2$$

$$\gamma = 56 \text{ m}^{-1} (\text{mm}^2) \text{ } \Omega^{-1} \text{ d'où } R_c = 1,11 \text{ } \Omega$$

d'où

$$I_{ccB} = \frac{I_1 I_2 \cdot 30}{3 \sqrt{(1,83)^2 + (0,555)^2}} = 9,96 \text{ KA}$$

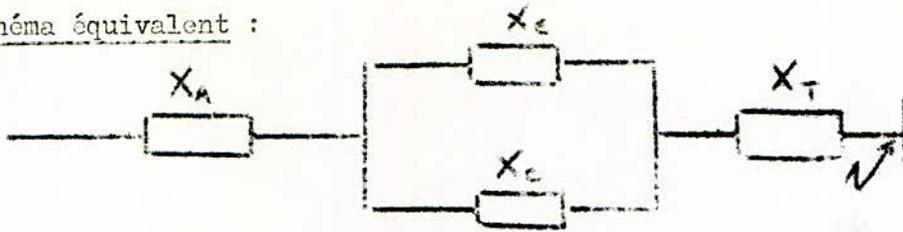
$$\boxed{I_{ccB} = 9,96 \text{ KA}}$$

f.3. Court-circuit au point M

- On négligera les impédances des câbles en amont et en aval du disjoncteur.

- Pour pouvoir faire la somme des impédances série parallèle on ramènera toutes ces impédances au secondaire du transformateur.

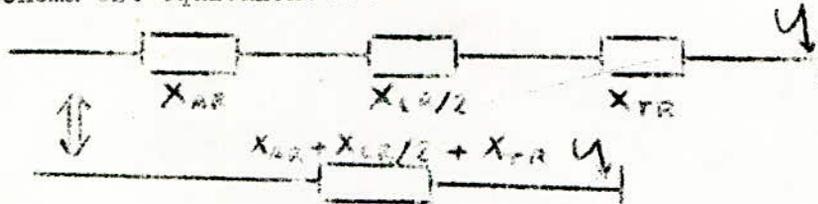
Schéma équivalent :



X_T : réactance du transformateur.

- On négligera les résistances ramenées des câbles moyenne tension.

Ce schéma est équivalent à :



$$X_{AR} = X_A \cdot \left(\frac{400}{30000}\right)^2 = 1,8 \quad \left(\frac{400}{30000}\right)^2 = 0,32 \text{ m}\Omega$$

$$X_{CR/2} = X_C/2 \cdot \left(\frac{400}{30000}\right)^2 = 0,03 \text{ m}\Omega \quad \left(\frac{400}{30000}\right)^2 = 0,006 \text{ m}\Omega$$

$$X_{TR} \approx \frac{U_n^2}{S_n} \cdot U_{cc}$$

$$\begin{aligned} U &= 400 \text{ V} \\ S_n &= 630 \text{ KVA} \\ U_{cc} &= 4\% \end{aligned} \quad \text{d'où : } X_{TR} = \frac{(400)^2}{630} \cdot 4 \cdot 10^{-5}$$

$$X_{TR} = 10,16 \text{ m}\Omega$$

d'où le courant de court circuit en M est donné par :

$$I_{cch} = \frac{I_n U}{\sqrt{3} (X_{AR} + X_{CR/2} + X_{TR})} = \frac{I_n \cdot 400}{\sqrt{3} (0,32 + 0,006 + 10,16)}$$

$$I_{ccM} = 24,22 \text{ KA}$$

III - 2 - CHOIX ET DIMENSIONNEMENT D'APPAREILLAGES MT, BT

2.1. Introduction L'appareillage électrique doit assurer les

fonctions spécifiques suivantes :

- La connexion
- La protection électrique des circuits
- La commande
- Le sectionnement
- La protection des personnes.

Les qualités demandées à l'appareillage dans le poste sont :

- Simplification dans la conception
- Sécurité de fonctionnement
- Diminution de l'encombrement
- Facilité d'installation
- Fiabilité accrue
- Abaissement du prix de revient.

2.2. - Appareillages M.T.

a) Boîtes d'extrémités : Elles servent à raccorder la canalisation souterraine existante entre le poste de transformation et le poste de livraison ; dans le poste de transformation, on dispose de deux boîtes d'extrémité.

On choisit les boîtes d'extrémité de type TD 20.

b) Interrupteurs Sectionneurs :

Ces appareils bénéficient de la coupure sèche et réunissent les deux fonctions d'interrupteurs et de sectionneurs. Leur emploi dans les postes sont courants, ils effectuent les manœuvres en charges ou à vide des transformateurs de puissance ; mais ils ne sont pas en mesure de couper les courants de court-circuit.

On dispose de deux inter-sec, du fait que l'alimentation est en double dérivation.

Le choix des inter-sec est basé sur :

- La tension d'isolement U_i déterminée à partir de la tension nominale du réseau U_n .
- Le courant nominal I_n
- Le courant de coupure en charge I_{ch}

On a : $U_n = 30 \text{ KV}$ d'où $U_i = 36 \text{ KV}$

$$I_n = 400 \text{ A}$$

$$I_{ch} = 400 \text{ A}$$

On choisira les interrupteurs sectionneurs ayant les caractéristiques suivantes :

$$U_i = 36 \text{ KV}$$

$$I_n = I_{ch} = 400 \text{ A}$$

c) Jeux de barres :

C'est un ensemble triphasé disposé sur la longueur du poste. Les jeux de barres doivent résister aux différentes contraintes : aux efforts électrodynamiques, statiques et thermiques lors d'un défaut.

On choisira un jeu de barres en cuivre nu, les barres étant de section rectangulaire.

d) Interrupteurs :

Un interrupteur est un appareil destiné à déterminer l'ouverture ou la fermeture d'un circuit aussi bien à vide qu'en charge.

Le choix des interrupteurs est basé sur :

- La tension d'isolement
- Le courant nominal
- Le courant de coupure en charge.

On dispose de deux interrupteurs précédant chacun trois fusibles pour la protection du transformateur de puissance.

On choisit les interrupteurs ayant les caractéristiques suivantes :

$$U_i = 36 \text{ KV}$$

$$I_n = 200 \text{ A}$$

coupure en charge 32 A

Ces interrupteurs sont à commande mécanique.

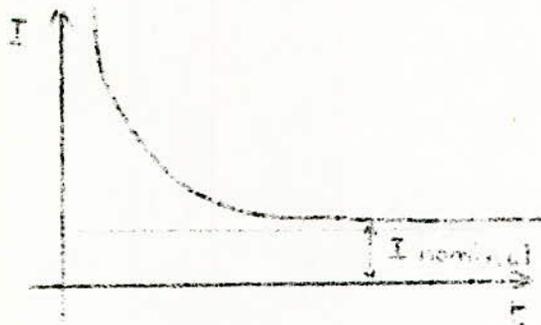
e) Fusibles :

Les coupe-circuits fusibles assurent la protection des transformateurs contre les défauts importants qui peuvent survenir. Les coupe-circuits sont à haut pouvoir de coupure.

Leur choix est basé sur leur pouvoir de coupure et son courant nominal, courant qu'il peut supporter indéfiniment.

Le fusible est constitué par un conducteur, calibré pour fondre à un courant déterminé et couper de ce fait le circuit à protéger.

La courbe donnant les intensités susceptibles d'amener la fusion d'un fusible déterminé, en fonction du temps de passage du courant a la forme suivante :



Pour la protection de chaque transformateur, on dispose de trois fusibles (1 par phase).

On choisit les fusibles à haut pouvoir de coupure,

Calibre I6 A

Type Soléfuse

f) Liaison fusibles - Transformateurs :

Cette liaison est assurée par cable sec ayant les caractéristiques suivantes :

- Tension spécifiée minimum 17,5 KV
- Tension de service 30 KV

g) Isolateurs de barres :

Les isolateurs servent de support pour les barres.



l_i : longueur de l'isolateur

l_b : bras de levier

$$F_i = F_b \cdot \frac{l_b}{l_i}$$

F_b : Force électrodynamique agissant sur la barre.

F_i : Force de flexion agissant sur l'isolateur.

On distingue les isolateurs de type suivant :

CLASSE	O	A	B	C	D
F_{iadm} (Kg)	200	375	750	1200	2000

On dispose de 9 isolateurs dans notre poste de transformation. Leur choix est basé sur la vérification de la condition

$$F_i < F_{iadm}$$

Dans notre cas F_i étant inférieure à 200 kg d'où on choisira les isolateurs :

- de classe O
- de tension d'isolement 36 KV

h) Transformateurs de puissances :

On utilise deux transformateurs de puissance ayant chacun les caractéristiques suivantes :

- Puissance nominale $S_n = 630$ KVA
- Tension primaire $U_{n1} = 30$ KV
- Tension secondaire $U_{n2} = 400$ V
- Fréquence nominale $f = 50$ HZ
- Mode de couplage Δ / Δ , neutre sorti
- Refroidissement à l'huile.

2.3. - APPAREILLAGE B.T.

a) Liaison transfo - Tableau B.T.

Cette liaison est assurée par un câble unipolaire posé sur taquets bois tous les 0,50 m.

Le courant traversant ce conducteur en régime normal est de :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} U} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 400} \cdot 10^3$$

$$\underline{I = 909,4 \text{ A}}$$

On choisira donc le câble de type U I000, de section $6 \times 150 \text{ mm}^2$

b) Disjoncteurs B.T.

Les disjoncteurs basses tension sont destinés à établir et à couper non seulement les courants de charge normale mais aussi les courants de court-circuit.

Ils comportent les organes détecteurs (déclencheurs ou relais) provoquant son fonctionnement en cas de court-circuit ou éventuellement de surcharges.

Le dimensionnement et le choix du disjoncteur sont basés sur la valeur du courant de court-circuit susceptible de le traverser.

Le pouvoir de coupure d'un disjoncteur doit être supérieur ou égal au courant de court-circuit.

Dans le poste on dispose de trois (3) disjoncteurs B.T.

- deux disjoncteurs en aval de chaque transformateur
- un disjoncteur de couplage.

Caractéristiques des disjoncteurs :

On choisira des disjoncteurs sélectifs ayant les caractéristiques suivantes :

- Courant nominal $I_n = 1000 \text{ A}$
- Pouvoir de coupure P.d;c. = 35 KA
- Type selpact D S 3 - 10

c) Tableaux B.T.

Les tableaux basse tension sont destinés à répartir la charge du transformateur suivant un certain nombre de départ B.T.

Ils permettent d'assurer :

- La coupure générale basse tension
- de couper et d'isoler individuellement chacun des départs du transformateur
- La protection des réseaux B.T. et du transformateur de puissance contre les court-circuits.

On dispose de deux tableaux B.T. du type T 4

TABLEAU RECAPITULATIF DE LA NOMENCLATURE DE L'APPAREILLAGE.

REPERES	NOMERES	DESIGNATIONS
1	2	Boite d'extrémité type TD 20
2	2	Interrupteurs sectionneurs 36 KV - 400 A coupure en charge 400 A, à commande mécanique
3		Jeu de barre, cuivre nu 60/10
4	2	Interrupteur 36 KV - 200 A, coupure en charge 32 A, à commande mécanique.
5	6	Coupe circuit fusible calibre I6 A, type Soléfuse.
6		Liaisons fusibles-Transfo : cable sec, tension spécifiée minimum I7,5 KV tension de service 30 KV
7	2	Transfo de puissance à 630 KVA
8	2	Liaison transfo-tableau B.T., cable unipolaire U I000 ; 6 x I50 mm2
9	2	Batterie de condensateurs
I0	3	Disjoncteurs B.T. type DS 3-I0, P.d.c. = 35 KA
I1	2	Tableaux B.T. type T 4
I2	9	Isolateurs de barres 36 KV, classe 0
I3	I	Barrette de sectionnement des terres
I4	2	Hublot d'éclairage.
I5	2	Dispositif pour signalisation de défauts

III - 3 - Compensation de l'énergie réactive :

3.1. - Introduction :

Dans toute installation alimentée en courant alternatif, l'énergie électrique absorbée se décompose en :

- Energie active : (Kwh) transformée en énergie mécanique ou en chaleur.
- Energie réactive : (Kvarh) nécessaire à l'excitation magnétique des récepteurs, inductifs ; tel que : transformateurs, moteurs etc...

* Un mauvais facteur de puissance présente de nombreux inconvénients qui sont :

- Une mauvaise utilisation de la capacité des transformateurs et des cables.

- Un supplément de consommation d'énergie réactive, donc un accroissement de dépense de l'électricité.

- Des dépenses d'énergie réactive qui s'ajoutent sur la facture à celle correspondant à l'énergie active.

D'où pour améliorer le facteur de puissance, on utilise des dispositifs de compensation d'énergie réactive qui peuvent être :

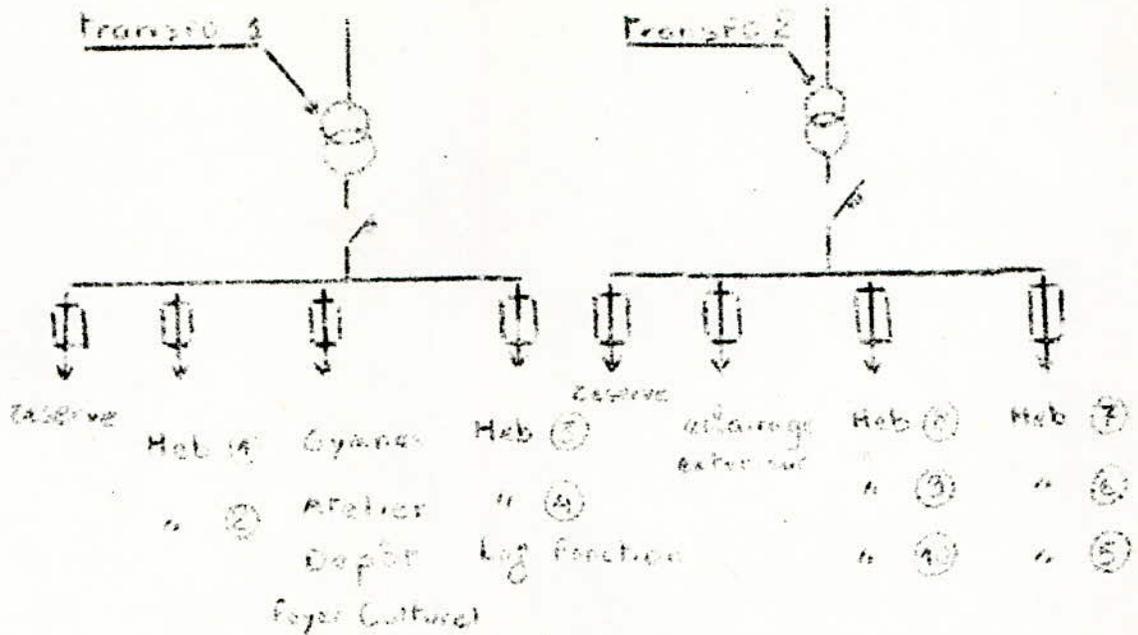
- Des compensateurs synchrones
- Des moteurs `asynchrones - synchronisés
- Des batteries de condensateurs.

La solution la plus économique étant l'utilisation d'une batterie de condensateurs.

En effet, toute compensation d'énergie réactive par la mise en place de condensateurs ne peut que diminuer les investissements en matière d'installation électrique et réduire les dépenses d'exploitation.

* Calcul du facteur de puissance au niveau de chaque transformateur de puissance.

a) - Répartition de la charge sur les deux transformateurs .



b) - Calcul du facteur de puissance au niveau du transfo.1

Récepteurs	P (KW)	Cos φ	Q = P tg φ (KVAR)
Hebergement (1)	33	0,8	24,75
" 2	"	"	"
" 3	"	"	"
" 4	"	"	"
Logt de fonction	28	"	21
Gymnas.	9	0,75	7,92
Foyer culturel	48	0,75	42,33
Atelier	27	0,70	27,4
Dépôt	2,3	0,85	1,423
T O T A L	246,3		199

Le facteur de puissance au niveau du transformateur I est donné par :

$$\cos \varphi = \frac{\sum P}{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} = \frac{246,3}{(246,3)^2 + (199)^2}$$

$$\boxed{\cos \varphi = 0,78}$$

c) Calcul du facteur de puissance au niveau du transfo 2

Récepteurs	P (KW)	Cos ψ	$\Theta = P \operatorname{tg} \psi$ (KVAR)
Hebergement 5	33	0,8	24,75
" 6	"	"	"
" 7	"	"	"
" 8	"	"	"
" 9	"	"	"
" 10	"	"	"
Eclairage ext.	17	0,75	14,99
T O T A L	215		163,49

Le facteur de puissance au niveau du transformateur 2 est donné par :

$$\cos \psi_2 = \frac{\sum P}{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} = \frac{215}{(215)^2 + (163,49)^2}$$

$$\boxed{\cos \psi_2 = 0,79}$$

Le facteur de puissance au niveau de chaque transformateur de puissance étant inférieur à celui admis (0,86) ; d'où nécessité de l'utilisation d'une batterie de condensateurs au niveau de chaque transformateur pour améliorer ces facteurs de puissance.

3.3. - Détermination des puissances réactives des batteries de condensateurs :

a) - à installer en aval du transformateur I.

à l'état initial ; on a $\cos \psi_{i_1} = 0,78 \Rightarrow \operatorname{tg} \psi_{i_1} = 0,8$

à l'état final ; on veut avoir $\cos \psi_{f_1} = 0,86$

$$\operatorname{tg} \psi_{f_1} = 0,6$$

Pour augmenter $\cos \varphi$ de 0,78 à 0,86, c'est à dire diminuer $\text{tg} \varphi$ de 0,8 à 0,6 ; la puissance réactive fournie par la batterie est de :

$$\begin{aligned} Q_{1c} &= P (\text{tg} \varphi_{1i} - \text{tg} \varphi_{1f}) \\ &= 246,3 (0,8 - 0,6) = 49,26. \end{aligned}$$

$$Q_{1c} = 49,26 \text{ KVAR}$$

b) - à installer en naval du transfo 2

à l'état initial; on a : $\cos \varphi_{1i} = 0,79 \Rightarrow \text{tg} \varphi_{1i} = 0,78$

à l'état final ; on a : $\cos \varphi_{1f} = 0,86 \Rightarrow \text{tg} \varphi_{1f} = 0,6$

La puissance réactive fournie par la batterie est de même :

$$\begin{aligned} Q_{2c} &= P (\text{tg} \varphi_{1i} - \text{tg} \varphi_{1f}) \\ &= 215 (0,78 - 0,6) = 38,7 \end{aligned}$$

$$Q_{2c} = 38,7 \text{ KVAR}$$

On choisit des batteries de condensateurs RECTIBLOC de puissance 50 KVAR chacune.

Chaque batterie est reliée par un cable en cuivre :

- de type U 1000 R 2 V
- de section 50 mm^2

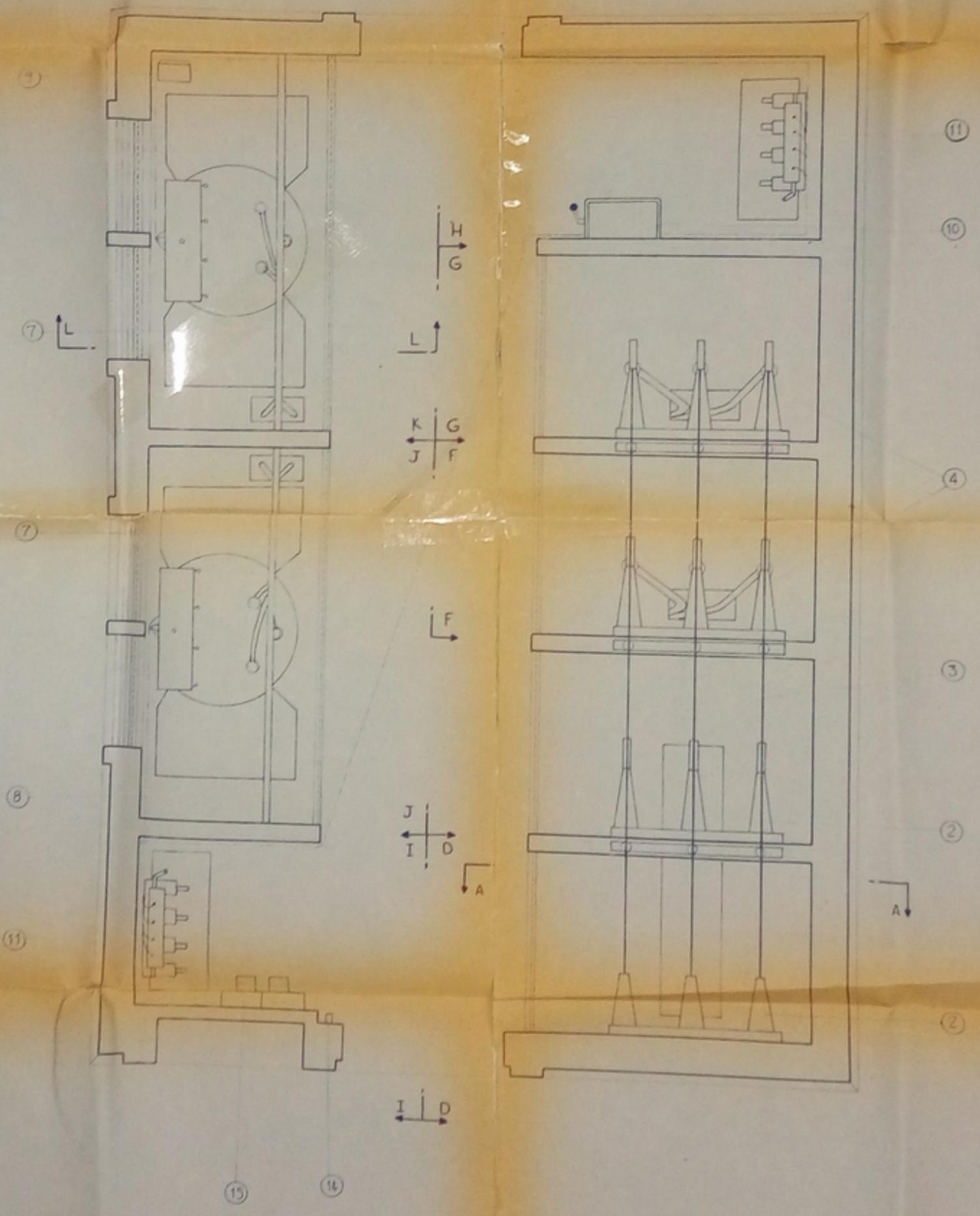
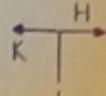
La protection de chaque batterie est réalisée par un disjoncteur de type R I25.

SAIDJ
BELLACOU,
1982



VUE EN PLAN

APPAREILLAGES ELECTRIQUES



Echelle 1/20

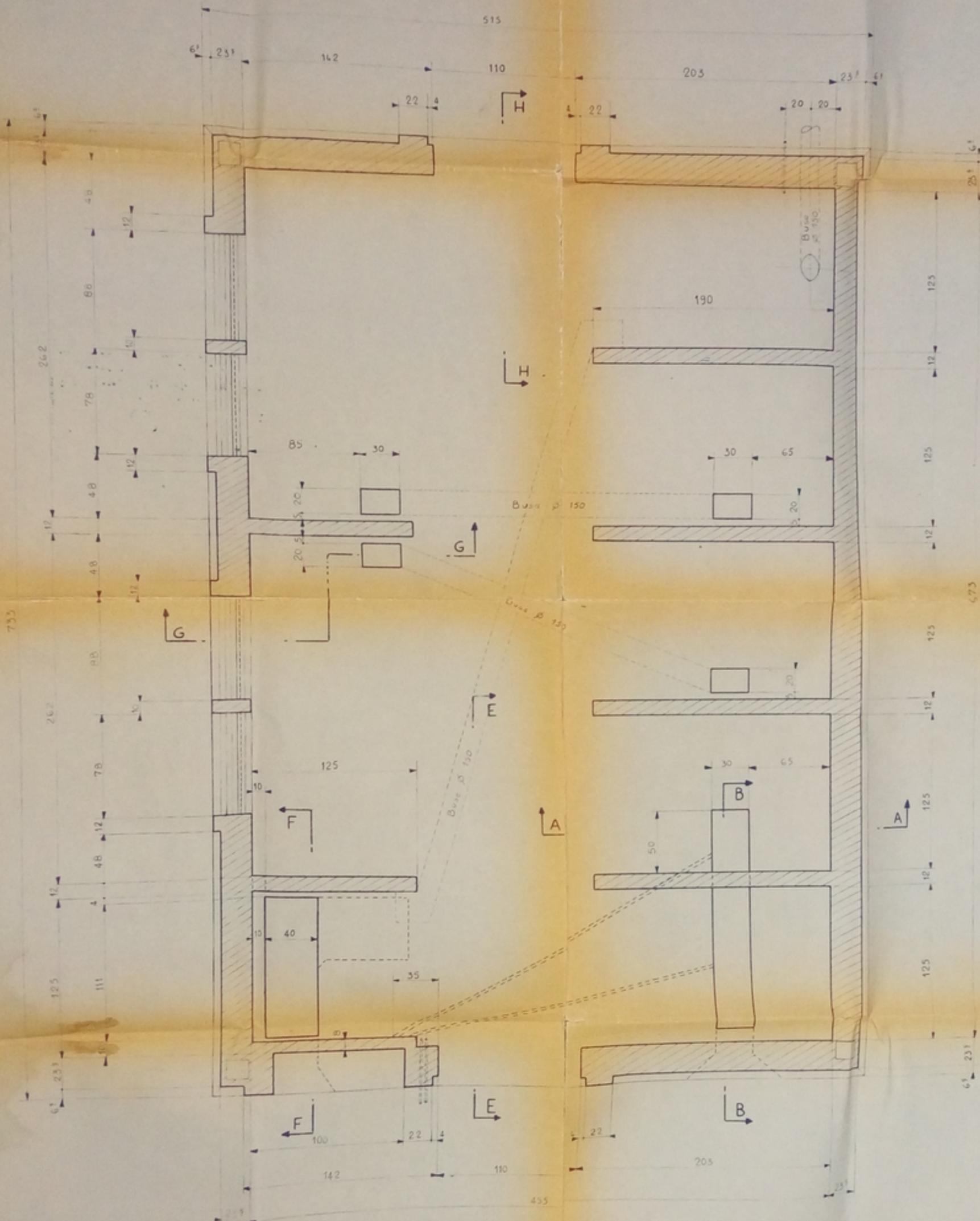
9A02250

Electricité SAIDJ
BELLAOUI
1982



VUE EN PLAN

GENIE - CIVIL



PAQUEL
AV. P. 18

Echelle : 1/20

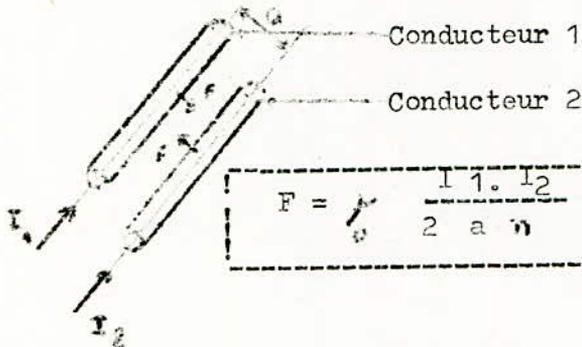
IV - DIMENSIONNEMENT DU JEU DE BARRES

IV - 1. EFFORTS ELECTRO-DYNAMIQUES :

I.1. - DEFINITION :

Deux conducteurs parallèles parcouru par des courants sont soumis à des forces d'attraction ou de répulsion.

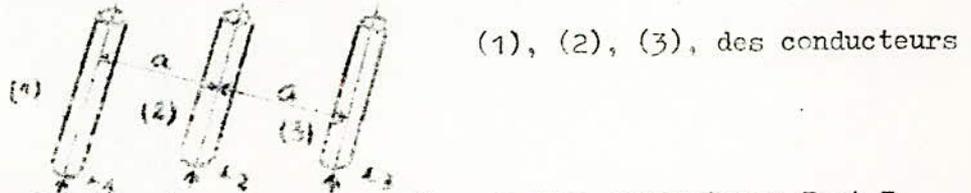
- Si ces courants sont de même sens, il y a attraction.
- Si ces courants sont de sens contraire, il y a répulsion.



μ : perméabilité du vide
 a : distance entre conducteurs
 I_1, I_2 : courants traversant les conducteurs 1 et 2
 F : Intensité de la force.

I.2. Forces Electro-Dynamiques en triphasé :

Pour les circuits triphasés ayant leurs barres parallèles et dans un même plan, sont soumis à des forces uniformément réparties dues au courant qui les traversent.



Les forces électro dynamiques exercées sur les conducteurs 1 et 3 sont de :

$$F_1 = F_3 = \frac{\mu}{2 \pi a} (\frac{i_1 \cdot i_3}{2} + i_1 \cdot i_2)$$

La force électrodynamique exercée sur le conducteur 2 est donnée par :

$$F_2 = \frac{\mu}{2 \pi a} (i_1 \cdot i_2 - i_2 \cdot i_3)$$

$$= \frac{\mu}{2 \pi a} i_2 (i_1 - i_3)$$

Soient les courants triphasés suivants :

$$i_1 = I_m \sin \omega t$$

$$i_2 = I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$i_3 = I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

En remplaçant ces courants dans F_1, F_2, F_3 ; on aura :

$$(I) \quad \begin{aligned} F_1 = F_3 &= - \frac{\gamma_c}{8 \pi} a \quad I_m^2 \sin \omega t \left(3 \sin \omega t + \sqrt{3} \cdot \cos \omega t \right) \\ F_2 &= - \frac{\gamma_c}{8 \pi} a \quad I_m^2 \left(- 3 \cos 2\omega t + \sqrt{3} \cdot \sin 2\omega t \right) \end{aligned}$$

Les valeurs extrêmes des forces électrodynamiques sont obtenues en annulant les dérivées premières de (I)

On aura donc :

$$\begin{aligned} F_{1 \max} = F_{3 \max} &= 0,8 \frac{\gamma_c}{2 \pi} a \quad I_m^2 \\ F_{2 \max} &= - 0,87 \frac{\gamma_c}{2 \pi} a \quad I_m^2 \end{aligned}$$

On constate que la barre la plus sollicitée aux forces électrodynamiques est celle du milieu.

Le courant maximum de court-circuit traversant la barre étant le courant de choc ; sa valeur est donnée par :

$$I_{\text{choc}} = \sqrt{2} K_{\text{choc}} I_{\text{cc}}$$

avec :

K_{choc} : coefficient de choc

$$K_{\text{choc}} = 1 + \exp \left(- t/T_a \right)$$

T_a : constante de temps ; $T_a = L/R = X_E / \omega R_E$

t : temps au bout duquel le courant de choc est atteint.

on aura ainsi :

$$F_{2 \max} = F_{2 \text{ choc}} = - 0,87 \frac{\gamma_c}{2 \pi} a \quad I_{\text{choc}}^2$$

$$F_{2 \text{ choc}} = - 1,74 \frac{\gamma_c}{a} I_{\text{choc}}^2$$

a : distance entre barres.

I.3. Calcul numérique des forces électrodynamiques appliquées sur les barres du poste de transformation :

La force électrodynamique exercée entre barres est maximum quand celles-ci sont parcourues par le courant de choc.

$$F_{1 \max} = F_{3 \max} = 0,8 \frac{4 \pi}{2 \pi} \frac{1}{a} I_{\text{choc}}^2$$

$$r_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ M.K.S.A}$$

$$a = 0,4 \text{ m}$$

$$I_{\text{choc}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{choc}} \cdot I_{\text{cc}} \quad I_{\text{cc}} = 9,96 \text{ KA}$$

$$K_{\text{choc}} = 1 + \exp(-t/T_a)$$

$$t = 0,01 \text{ s}$$

$$T_a = X_{E/\omega} / R_E = \frac{1,83}{314 \cdot 0,555} = 0,011 \text{ s}$$

$$\text{d'où : } K_{\text{choc}} = 1 + 0,4 = 1,4$$

$$\text{d'où : } I_{\text{choc}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 9,96 = 19,71 \text{ KA}$$

$$\text{d'où : } F_{1 \max} = 0,8 \frac{4 \pi}{2 \pi} \frac{10^{-7}}{0,4} (19,71)^2 \cdot 10^6$$

$$\boxed{F_{1 \max} = F_{3 \max} = 155,4 \text{ N/m}}$$

$$F_{2 \max} = -1,74 \frac{10^{-7}}{a} (19,71)^2 \cdot 10^6$$

$$\text{avec } a = 0,4 \text{ m}$$

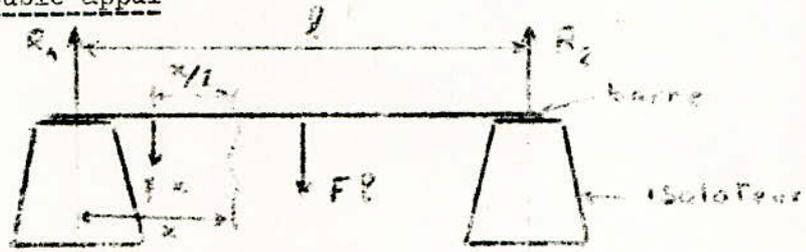
$$\boxed{F_{2 \max} = -169 \text{ N/m}}$$

IV.2. EFFORTS STATIQUES :

Dans le poste de transformation, chaque barre repose sur trois isolateurs supports.

En considérant une portion entre deux isolateurs supports consécutifs la barre est soumise à un effort statique uniformément réparti.

* Cas du double appui



F : poids linéique de la barre

$F.l$: poids de la barre

R_1, R_2 : Réaction des supports sur la barre

$$R_1 = R_2 = F \cdot \frac{l}{2}$$

Le moment fléchissant agissant sur la barre est donné par :

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

Le moment fléchissant maximum est donné en annulant la dérivée première de $M_f(x)$

$$\text{d'où : } \frac{\partial M_f}{\partial x} = f \cdot \frac{l}{2} - f \cdot x = 0$$

$$\text{d'où : } x = \frac{l}{2}$$

$$\text{d'où : } M_{fmax} = M_f\left(\frac{l}{2}\right) = -f \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} + f \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2}$$

$$M_{fmax} = f \cdot \frac{l^2}{8}$$

* Cas du double encastrement :



Le moment fléchissant agissant sur la barre encastree est donné par :

$$M_f(x) = M_{co} + f.l \cdot \frac{x}{2} + f \cdot x \cdot \frac{x}{2}$$

Dans le cas du double encastrement, le moment fléchissant maximum de la barre est de :

$$M_{fmax} = f \cdot \frac{l^2}{12}$$

Du fait qu'on a ni double encastrement, ni double appui, on prendra le moment fléchissant intermédiaire, c'est à dire :

$$M_{fmax} = f \cdot \frac{l^2}{10}$$

La barre est soumise à la contrainte statique suivante :

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

W : module de la résistance de la barre.

La barre étant rectangulaire, d'où le module de la résistance est donné par :

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$



La contrainte statique maximale est donnée par :

$$\sigma_{stat,max} = \frac{M_{fmax}}{W}$$

La résistance à l'effort statique nécessite la vérification de la condition suivante :

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

σ_{rup} : contrainte de rupture de la barre.

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

Pour l'aluminium $\sigma_{adm} = 700 \text{ ''}$

* Application numérique :

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{f\max}}{W}$$

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

$$F = S \cdot \rho \quad \rho = 8890 \text{ Kg/m}^3 \text{ (pour le cuivre)}$$

$$S = 60 \times 10 = 600 \text{ mm}^2$$

$$l = 1,25 \text{ m}$$

d'où :

$$F = 8890 \cdot 600 \cdot 10^{-6} = 5,334 \text{ Kg/m}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{(60)^2 \cdot 10}{6} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

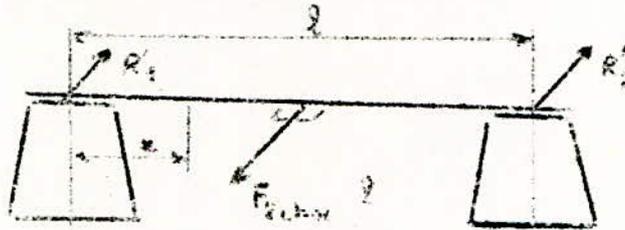
d'où :

$$\sigma_{\max} = \frac{5,334 \cdot (1,25)^2}{10 \cdot 6 \cdot 10^{-6}} = 138900 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 13,9 \text{ Kg/cm}^2$$

On a bien $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{adm}}$

- * Dans le cas où les barres sont soumises aux forces de choc le calcul de la contrainte maximale est le suivant :



$$R'_1 = R'_2 = \frac{1}{2} F_{2 \text{ choc}} \cdot l = F_{2c} \cdot \frac{l}{2}$$

Le moment fléchissant est de :

$$M_{fc}(x) = F_{2c} \cdot \frac{l}{2} \cdot x - F_{2c} \cdot x \cdot \frac{x}{2}$$

D'où le moment fléchissant maximum est de :

$$M_{fc\max} = F_{2c} \cdot \frac{l^2}{10}$$

De la même façon on prendra :

$$M_{fc\max} = F_{2c} \cdot \frac{l^2}{10}$$

$$\text{avec : } \sigma_{\max} = \frac{M_{fc\max}}{W}$$

Application numérique :

$$F_{2\text{choc}} = F_{2c} = 169 \text{ N/m}$$

$$M_{fc\text{max}} = \frac{169 \cdot (1,25)^2}{10} = 26,4 \text{ N.m} = 2,69 \text{ Kgf.m}$$

d'où :

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{2,69}{6 \cdot 10^{-6}} = 0,4483 \cdot 10^6 \text{ Kgf/m}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} = 44,83 \text{ Kgf/cm}^2$$

On a de même :

$$\sigma_{\text{max}} < \sigma_{\text{adm}}$$

Donc la section choisie de la barre vérifie bien la condition de résistance aux efforts statiques.

IV - 3 - EFFORTS THERMIQUES :

Tout élément d'un circuit électrique parcouru par le courant de court circuit est le siège d'un dégagement de chaleur par effet joule relativement important.

Lors de la durée du court circuit, la température finale doit rester inférieure à une certaine limite afin de ne pas réduire la durée de vie du matériel.

La chaleur dégagée par un conducteur homogène est donnée par :

$$P \cdot dt = M \cdot c \cdot d\theta$$

avec :

P : puissance d'échauffement

M : masse du conducteur

c : chaleur spécifique.

avec :

$$P = R \cdot i^2$$

d'où :

$$R \cdot i^2 \cdot dt = M \cdot c \cdot d\theta \quad (1)$$

Variation de la résistance avec la température est :

$$R = R_0 (1 + \alpha \theta)$$

Variation de la chaleur spécifique avec la température est :

$$C = C_0 (1 + \beta \theta)$$

d'où :
$$R_0 (1 + \alpha \theta) i^2 \cdot dt = M \cdot C_0 (1 + \beta \theta) d\theta \quad (2)$$

$$R_0 = \rho \frac{L}{S} \quad \begin{array}{l} \rho : \text{résistivité du conducteur} \\ \rho : \text{masse volumique} \\ L : \text{Longueur du conducteur} \\ S : \text{Séction du conducteur} \end{array}$$

$$M = \gamma L \cdot S$$

En remplaçant R et M dans (2) ; on aura :

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

divisons les deux membres par $(1 + \alpha \theta)$; on aura :

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

d'où :
$$\frac{1}{S^2} \int_{t=0}^t i^2 \cdot dt = \frac{\gamma C_0}{\rho} \int_{\theta_0}^{\theta_f} \frac{1 + \beta \theta}{1 + \alpha \theta} d\theta$$

$t = 0$: temps initial de court circuit

t : durée du court circuit

θ_0 : température initiale du conducteur

θ_f : " finale du conducteur

après intégration, on aura :

$$\frac{1}{S^2} \int_{t=0}^t i^2 \cdot dt = \frac{C_0 \gamma}{\rho} \left\{ \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(1 + \alpha \theta) + \frac{\beta}{\alpha} \theta \right] - \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(1 + \alpha \theta_0) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_0 \right] \right\}$$

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

$$A(\theta_0) = \frac{C_0 \gamma}{\rho} \left[\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2} \ln(1 + \alpha \theta_0) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_0 \right]$$

Soit :
$$\frac{1}{S^2} \int_{t=0}^t i^2 \cdot dt = A(\theta_f) - A(\theta_0)$$

A () est une fonction donnée par les courbes représentées en figure 4.1.

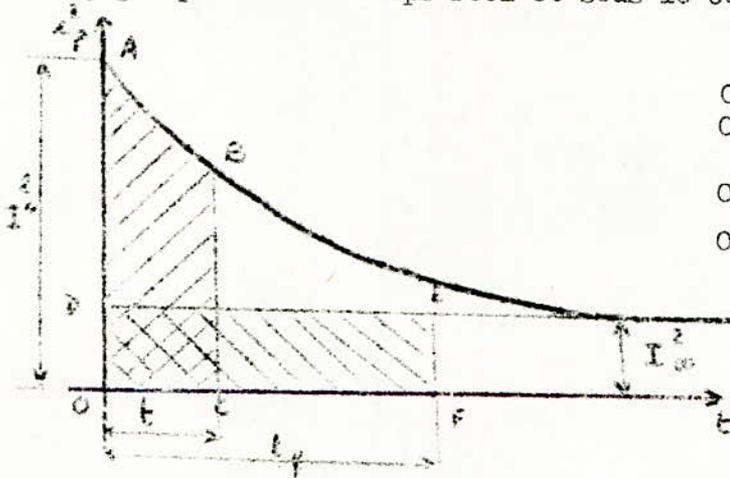
* Calcul de l'expression : $\int_0^t i^2 \cdot dt$

on a : $i = i_p + i_{ap}$ i_p : composante périodique
 i_{ap} : composante aperiodique

$$d'où : \int_0^t i^2 dt = \int_0^t i_p^2 dt + \int_0^t i_{ap}^2 dt + \int_0^t \frac{2i_p \cdot i_{ap}}{\omega} dt$$

L'expression $\int_0^t i_p^2 dt$ ne peut être calculée, elle est déterminée à l'aide des diagrammes avec le temps fictif : t_f

t_f : c'est le temps fictif pendant lequel la chaleur dégagée sous le courant périodique stabilisé I_{∞} , soit égale à celle dégagée pendant le temps réel et sous le courant i



$$OA = I''^2$$

$$OD = I_{\infty}^2$$

$$OC = t \text{ (durée du C.C.)}$$

$$OF = t_f \text{ (temps fictif)}$$

L'aire (OABC) représente la quantité de chaleur dégagée par le conducteur quand il est parcouru par le courant i_p pendant le temps t .

D'où on détermine l'aire (ODEF) égale à l'aire (ABCO)

On aura :

$$I_{\infty}^2 \cdot t_{fp} = \int_0^t i_p^2 \cdot dt$$

t_{fp} : c'est le temps fictif pour la composante périodique et est donné par la courbe :

$$t_{fp} = f(i'') \quad \text{avec : } f'' = \frac{I''}{I_{\infty}}$$

cette courbe est représentée en figure 4.2.

Pour la détermination de l'expression $\int_0^t i_{ap} \cdot dt$, on utilise le temps fictif apériodique t_{fa} ;
on aura :

$$\underline{I_{\infty}^2 t_{fa} = \int_0^t i_{ap}^2 \cdot dt}$$

* Détermination de t_{fa}

$$i_{ap} = \sqrt{2} I'' \exp(-t/T_a)$$

d'où d'après l'équation (3) :

$$\begin{aligned} t_{fa} &= \frac{1}{I_{\infty}^2} \int_0^t (2 I'' \exp(-t/T_a))^2 dt \\ &= 2 \frac{I''^2}{I_{\infty}^2} \int_0^t \exp(-2t/T_a) dt \\ \underline{t_{fa} &= \frac{I''^2}{I_{\infty}^2} T_a (1 - \exp(-2t/T_a))} \end{aligned}$$

Soient : $T_a = \frac{L}{R} = 0,011 \text{ s}$

$t = 0,1 \text{ s}$

d'où : $t_{fa} = \frac{I''^2}{I_{\infty}^2} T_a (1 - \exp(-0,2/0,011))$
 $\approx \beta''^2 T_a = 0,011 \beta''^2$

$$\boxed{t_{fa} = 0,011 \beta''^2}$$

finalement l'expression $\frac{1}{S^2} \int_0^t i^2 \cdot dt$ est égale à :

$$\frac{1}{S^2} \int_0^t i^2 \cdot dt = \frac{1}{S^2} I_{\infty}^2 (t_{fp} + t_{fa}) = \frac{1}{S^2} \cdot t_f \cdot I_{\infty}^2$$

d'où :

$$\boxed{\frac{1}{S^2} \int_0^t i^2 \cdot dt = \frac{1}{S^2} \cdot I_{\infty}^2 \cdot t_f = A(\mathcal{E}_f) - A(\mathcal{E}_t) = C^2} \quad (4)$$

Application numérique :

La section du jeu de barres 30 KV prise est $S = 600 \text{ mm}^2$

Calcul du temps fictif t_f

$$t_f = t_{fp} + t_{fap}$$

En pratique, le courant permanent I_{∞} dans le cas défavorable est peu différent de la composante périodique du courant de court circuit à l'instant $t = 0$.

$$I'' = I_{cc} = 9,96 \text{ KA}$$

$$X_E = 1,83 \Omega$$

I_{∞} est déterminé approximativement, en considérant une déminution de 10 % du courant du court circuit à l'instant $t = 0$.

$$I_{\infty} \approx 0,9 I'' = 0,9 \cdot 9,96 = 8,964 \text{ KA}$$

$$\text{d'où : } \underline{I_{\infty} \approx 8,964 \text{ KA avec } \beta = 1,11}$$

Le courant fictif périodique est donné par la courbe $t_{fp} = f(\beta'')$

$$\text{pour } t_{cc} = 0,2 \text{ s}$$

$$\beta'' = 1,11$$

on tire

$$\underline{t_{fp} = 0,25 \text{ s}}$$

d'où le courant fictif apériodique est donné par :

$$\begin{aligned} t_{fap} &= \beta''^2 T_a \\ &= (1,11)^2 \cdot 0,011 = 0,014 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\underline{t_{fap} = 0,014 \text{ s}}$$

d'où le courant fictif total est :

$$t_f = 0,25 + 0,014$$

$$\underline{\underline{t_f = 0,264 \text{ s}}}$$

* Calcul de la constante C :

$$C = \frac{I_{\text{th}}}{S} \sqrt{t_f}$$

$$= \frac{8964 \cdot \sqrt{0,264}}{600} \quad \text{d'où} \quad \boxed{C = 7,7}$$

La constante C est donnée en fonction de la température limite (250° C pour le cuivre) pendant un court circuit.

En régime de fonctionnement normal, la température maximum admissible est de l'ordre de 70 °C.

Calcul de la température finale

$$C^2 = A(\theta_f) - A(\theta_i)$$

Soit $\theta_i = 70$ °C

d'après le graphe $\theta = f[A(\theta)]$; on tire :

$$A(\theta_i) = 11750$$

d'où :

$$A(\theta_f) = A(\theta_i) + C^2$$

$$= 11750 + 60 = 11810$$

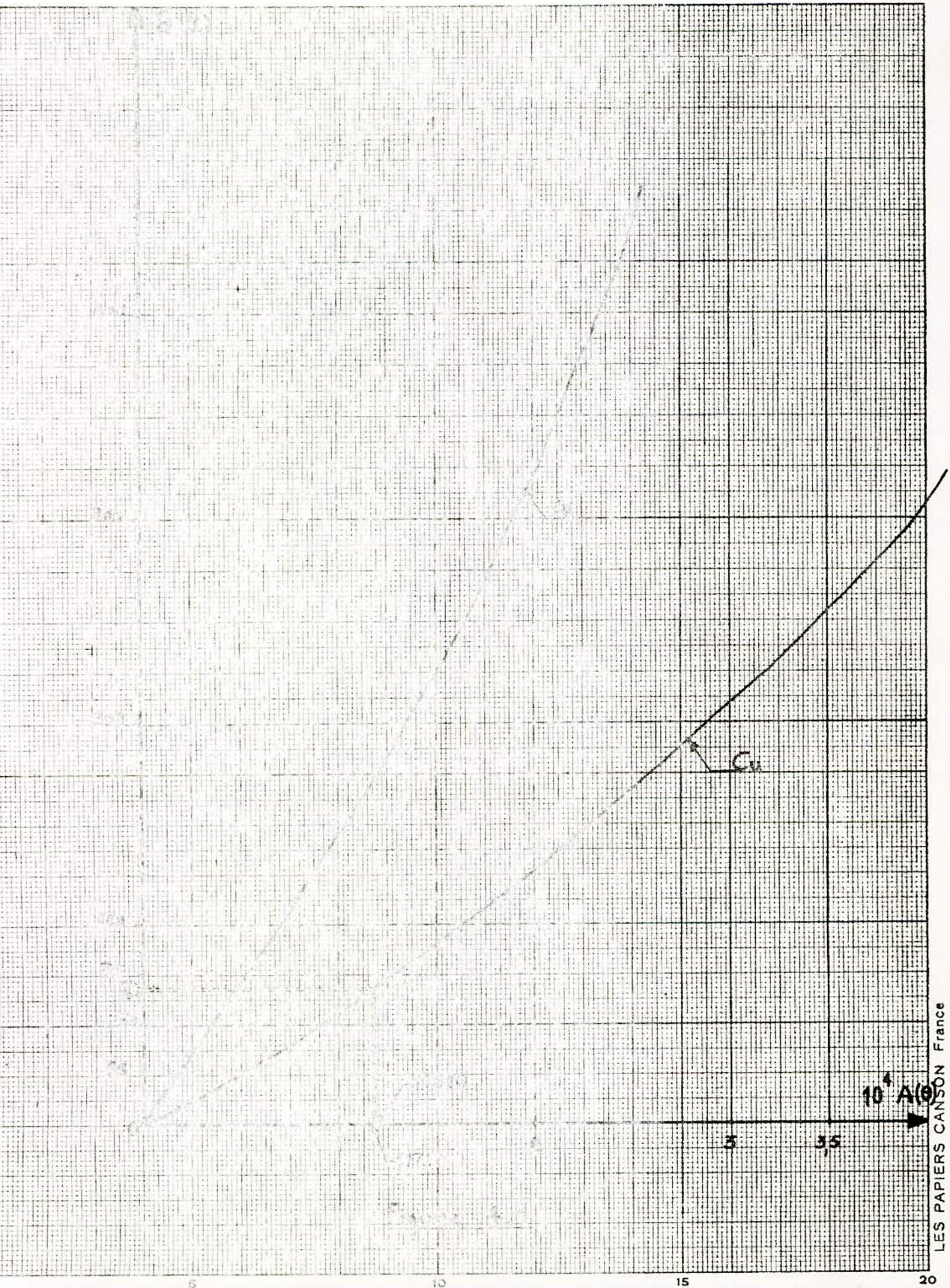
$$\underline{\underline{A(\theta_f) = 11810}}$$

d'après le même graphe on tire :

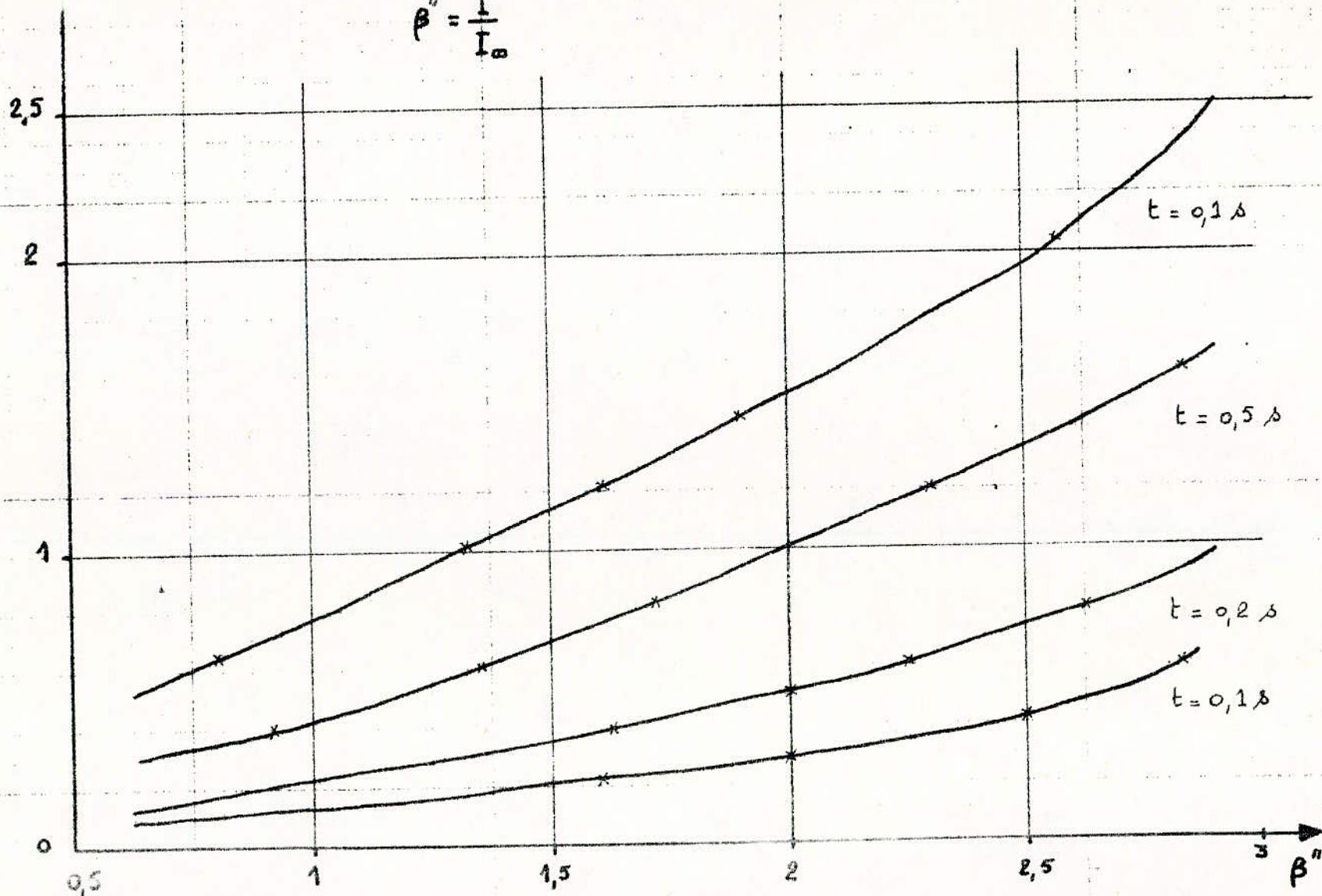
$$\boxed{\theta_f = 71^\circ\text{C}} \quad \theta_f < 250^\circ\text{C}$$

On remarque que la température a variée très peu .

La section du jeu de barres choisie vérifie bien les conditions de stabilité thermique.



$$\beta'' = \frac{I}{I_0}$$



C H A P I T R E V

V. CANALISATIONS BASSE TENSION ; MOYENNE TENSION :

V.1. - Méthode générale de la détermination de la section des conducteurs.

Les considérations qui précèdent permettent de conclure que pour déterminer la section des conducteurs, il faudra tenir compte :

- de l'intensité admissible (I_{adm}) : Section suffisante pour ne pas atteindre une température dangereuse pouvant détériorer l'isolant.)

- De la chute de tension (U) : Section suffisante pour ne pas provoquer une chute de tension supérieure à celle que l'on peut tolérer.

- Eventuellement de la résistance mécanique : section suffisante pour que le conducteur ne se déforme pas.

- De certaines données économiques qui tiennent compte du nombre d'heures par mois de l'utilisation de la ligne et de sa durée en années.

Dans notre choix de section des cables, on ne tiendra compte que de :

- I_{adm} qui nous donnera une section S_1
- U_{adm} qui nous donnera une section S_2

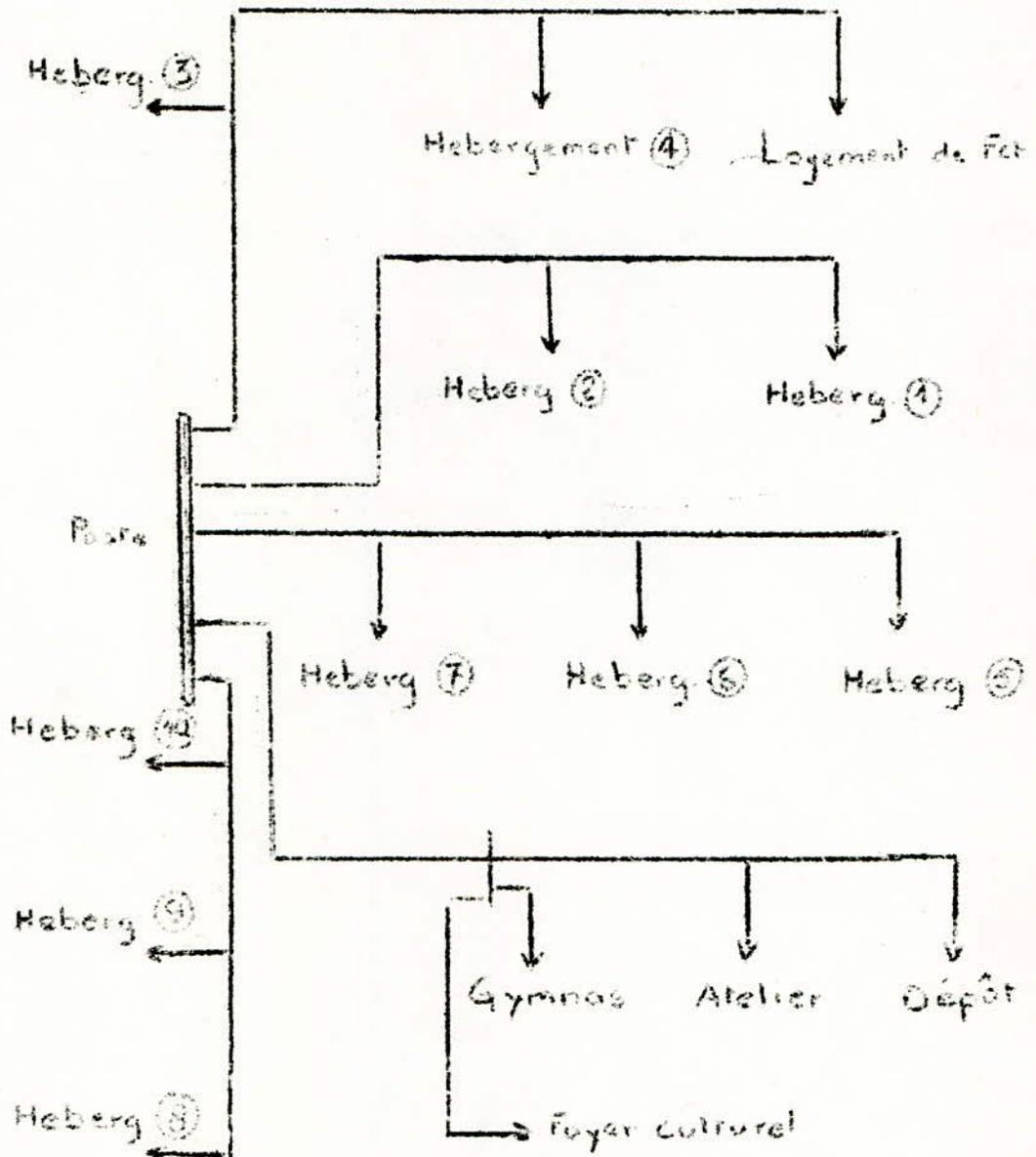
Pour satisfaire aux deux conditions énumérées ci-dessus, on choisira :

$$S = \text{M a x} (S_1 , S_2)$$

V.2. - Calcul des cables B.T.

2.a. - Considérations générales :

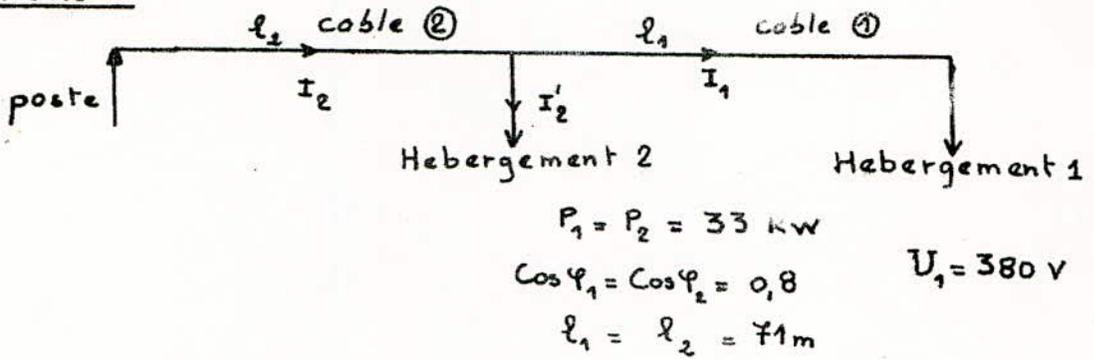
Pour calculer les chutes de tension dans les différents conducteurs, on considère le réseau basse tension suivant :



- On admettra une chute de tension de 3 % sur chaque départ allant du poste de transfo jusqu'au dernier centre de consommation.
- Les longueurs des cables étant mesurées à partir du plan de masse.
- Les puissances et les facteurs de puissance sont donnés.
- On détermine la section du cable à partir du courant

2.b - Calcul des chutes de tension dans les cables

a) - Circuit 1 :



Le courant dans le cable ① est de :

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1} = \frac{33 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 62,67 \text{ A}$$

On prend : $S_1 = 35 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable ① est de :

$$\Delta \bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 = \frac{l_1}{\gamma \cdot S_1} \cdot \bar{I}_1 = \frac{71}{58 \cdot 35} \cdot 62,67 (0,8 - j 0,6)$$

$$= 2,19 (0,8 - j 0,6)$$

$$|\Delta \bar{V}_1| = 2,19 \text{ V}$$

$$\Delta V_1 (\%) = \frac{\Delta V_1}{U_1} \cdot 100 = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta V_1}{U_1} = 0,99 \%$$

d'où $\Delta V_1 = 0,99 \%$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 + \bar{I}'_2$$

$$\bar{I}'_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2}$$

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_1 + \Delta \bar{U}_1$$

$$= 380 + 3,03 - j 2,89 \approx 383 - j 2,89$$

$$\Rightarrow |\bar{U}_2| \approx 383 \text{ V}$$

$$\text{d'où } I'_2 = \frac{33000}{\sqrt{3} \cdot 383 \cdot 0,8} = 62,17 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \bar{I}'_2 = 62,17 (0,8 - j 0,6)$$

$$\text{d'où } \bar{I}_2 = (62,17 + 62,17) (0,8 - j 0,6)$$

$$|\bar{I}_2| = 124,34 \text{ A}$$

On prend $S_2 = 35 \text{ mm}^2$

Calcul de la chute de tension dans le conducteur alimentant l'hébergement ②

$$\begin{aligned} \Delta \bar{V}_2 &= R_2 \bar{I}_2 = \frac{\rho l_2}{\gamma \cdot S_2} \cdot \bar{I}_2 = \frac{71}{35.58} \cdot 124,82 (0,8 - j0,6) \\ &= 4,32 \cdot (0,8 - j0,6) \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow |\Delta \bar{V}_2| = 4,36 \text{ V}$$

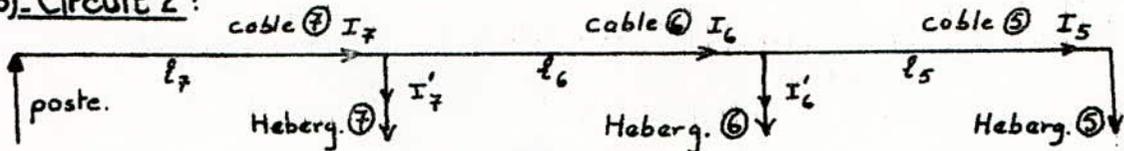
$$\text{d'où } \Delta U_2 (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_2}{U_2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,5}{383} = 1,97 \%$$

$$\boxed{\Delta U_2 = 1,97 \%$$

La chute de tension dans le circuit 1 est de :

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 = 1,97 + 0,99 = \underline{2,96 \%$$

b) - Circuit 2 :



$$P_5 = P_6 = P_7 = 33 \text{ kW.}$$

$$\cos \varphi_5 = \cos \varphi_6 = \cos \varphi_7 = 0,8 \quad ; \quad U_5 = 380 \text{ V}$$

$$l_5 = l_6 = 71 \text{ m} \quad ; \quad l_7 = 33 \text{ m}$$

Le Courant nominal dans le cable alimentant l'hébergement ⑤ :

$$I_5 = \frac{P_5}{\sqrt{3} \cdot U_5 \cos \varphi_5} = \frac{33000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 62,67 \text{ A}$$

$$\bar{I}_5 = 62,67 (0,8 - j0,6) \text{ A}$$

On prend $S = 35 \text{ mm}^2$
La chute de tension dans le cable ⑤ est de :

$$\begin{aligned} \Delta \bar{V}_5 &= R_5 \bar{I}_5 = \frac{\rho l_5}{\gamma \cdot S_5} \cdot \bar{I}_5 = \frac{71}{58.35} \cdot 62,67 (0,8 - j0,6) \\ &= 2,19 \cdot (0,8 - j0,6) \text{ V} \end{aligned}$$

$$\underline{|\Delta \bar{V}_5| = 2,19 \text{ V}}$$

$$\Delta \bar{U}_5 (\%) = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta \bar{V}_5}{U_5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,19}{380}$$

$$\Delta \bar{U}_5 (\%) = 0,99$$

Le courant nominal dans le cable alimentant l'hébergement ⑥ est de:

$$\bar{I}_6 = \bar{I}_5 + \bar{I}'_6$$

$$\bar{I}'_6 = \frac{P_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot \cos \varphi_6}$$

$$\bar{U}_6 = \bar{U}_5 + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_5$$

$$= 380 + \sqrt{3} \cdot 2,19 (0,8 - j 0,6)$$

$$\bar{U}_6 = 383 - j \cdot 2,29$$

$$|\bar{U}_6| = 383,04 \text{ V}$$

$$I'_6 = \frac{33000}{\sqrt{3} \cdot 383,04 \cdot 0,8} = 62,17 \text{ A}$$

$$\text{d'où } \bar{I}_6 = (62,17 + 62,17) (0,8 - j 0,6) = 124,84 (0,8 - j 0,6)$$

$$|\bar{I}_6| = 124,84 \text{ A}$$

On prend $S_6 = 50 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable ⑥ est de:

$$\Delta \bar{V}_6 = R_6 \bar{I}_6 = \frac{l_6}{\gamma \cdot S_6} \cdot \bar{I}_6 = \frac{71}{58 \cdot 50} \cdot 124,84 (0,8 - j 0,6)$$

$$\Delta \bar{V}_6 = 3,05 \cdot (0,8 - j 0,6)$$

$$\text{d'où } |\Delta \bar{V}_6| = 3,05 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \Delta U_6 (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot 3,05}{383,04} \implies \Delta \bar{U}_6 = 1,3\%$$

Le courant dans le cable ⑦ est de:

$$\bar{I}_7 = \bar{I}_6 + \bar{I}'_7$$

$$\text{avec } I'_7 = \frac{P_7}{\sqrt{3} \cdot U_7 \cdot \cos \varphi_7}$$

$$\text{avec } \bar{U}_7 = \bar{U}_6 + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_6 = 383 - j 2,29 + 4,22 - j 3,17$$

$$\bar{U}_7 = (387,25 - j 5,46) \text{ V}$$

$$|\bar{U}_7| = 387,29 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \bar{I}'_7 = \frac{P_7}{\sqrt{3} \cdot U_7 \cdot \cos \varphi_7} = \frac{33\,000}{\sqrt{3} \cdot 387,29 \cdot 0,8} = 61,49 \text{ A}$$

$$\bar{I}_7 = \bar{I}_6 + \bar{I}'_7$$

$$= 124,84 (0,8 - j 0,6) + 61,49 (0,8 - j 0,6)$$

$$|\bar{I}_7| = 186,33 \text{ A}$$

On prend $S_7 = 70 \text{ mm}^2$
La chute de tension dans le câble ⑦ est de :

$$\Delta \bar{V}_7 = R_7 \bar{I}_7$$

$$= \frac{\ell_7}{\gamma \cdot S_7} \cdot \bar{I}_7 = \frac{83}{58 \cdot 70} \cdot 186,33 (0,8 - j 0,6)$$

$$= 1,51 (0,8 - j 0,6)$$

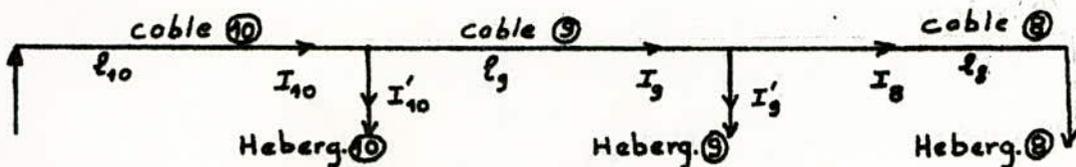
$$|\Delta \bar{V}_7| = 1,51 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \Delta U_7 (\%) = \frac{\sqrt{3} \Delta \bar{V}_7}{U_7} \cdot 100 \implies \boxed{\Delta U_7 = 0,39 \%}$$

La chute de tension dans le circuit 2 est de :

$$\Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 = 2,68 \%$$

c) - Circuit 3 :



$$P_8 = P_9 = P_{10} = 33 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi_8 = \cos \varphi_9 = \cos \varphi_{10} = 0,8$$

$$U_8 = 380 \text{ V}$$

$$\ell_8 = \ell_9 = 71 \text{ m}, \ell_{10} = 107 \text{ m}$$

Le courant dans le cable (B) est de :

$$I_B = \frac{P_B}{\sqrt{3} \cdot U_B \cdot \cos \varphi_B} = \frac{33000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 62,67 \text{ A}$$

$$\bar{I}_B = 62,67 (0,8 - j0,6) \text{ A} \Rightarrow |\bar{I}_B| = 62,67$$

On prend $S_B = 70 \text{ mm}^2$
La chute de tension dans le cable (B) est de :

$$\begin{aligned} \Delta \bar{V}_B &= R_B \bar{I}_B = \frac{l_B}{\gamma \cdot S_B} \cdot \bar{I}_B = \frac{71}{58 \cdot 70} \cdot 62,67 (0,8 - j0,6) \\ &= 1,09 (0,8 - j0,6) \end{aligned}$$

$$|\Delta \bar{V}_B| = 1,09 \text{ V}$$

$$\text{d'où : } \Delta U_B (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot |\Delta \bar{V}_B|}{U_B} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,09}{380}$$

$$\boxed{\Delta U_B = 0,50\%}$$

Le courant dans le cable (C) est de :

$$\bar{I}_C = \bar{I}'_C + \bar{I}_B$$

$$I'_C = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U_C \cdot \cos \varphi_C}$$

$$\text{et } \bar{U}_C = \bar{U}_B + \Delta \bar{U}_B = 381,52 - j1,14$$

$$\text{d'où } |\bar{U}_C| = 381,52 \text{ V}$$

$$I'_C = \frac{33000}{\sqrt{3} \cdot 381,52 \cdot 0,8} = 62,42 \text{ A}$$

$$\bar{I}'_C = 62,42 (0,8 - j0,6) \text{ A}$$

$$\text{d'où } \bar{I}_C = \bar{I}'_C + \bar{I}_B = 125,06 (0,8 - j0,6)$$

$$|\bar{I}_C| = 125,09 \text{ A}$$

On prend $S_C = 70 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable (C) est de :

$$\Delta \bar{V}_9 = R_9 \bar{I}_9 = \frac{\rho_9}{\gamma \cdot S_9} \bar{I}_9 = \frac{71}{58.70} \cdot 125,09 (0,8 - j 0,6)$$

$$= 2,18 (0,8 - j 0,6)$$

$$|\Delta \bar{V}_9| = 2,18 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \Delta U_9 (\%) = \frac{\sqrt{3} \Delta V_9}{U_9} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,18}{381,52}$$

$$\Delta U_9 = 0,99 \%$$

Le courant dans le cable (10) est donné par :

$$\bar{I}_{10} = \bar{I}_9 + \bar{I}'_{10}$$

$$\bar{I}'_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot \cos \varphi_{10}}$$

$$\bar{U}_{10} = \bar{U}_9 + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_9$$

$$= 381,52 + \sqrt{3} (2,18) (0,8 - j 0,6) = 383 - j 2,45$$

$$|\bar{U}_{10}| = 383,27 \text{ V}$$

$$\text{d'où : } \bar{I}'_{10} = \frac{83000}{\sqrt{3} \cdot 383,27 \cdot 0,8} = 62,14 \text{ A}$$

$$\text{d'où : } \bar{I}_{10} = (62,14 + 125,09) (0,8 - j 0,6)$$

$$= 187,23 (0,8 - j 0,6)$$

$$|\bar{I}_{10}| = 187,23 \text{ A}$$

On prend $S_{10} = 95 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable (10) est de :

$$\Delta \bar{V}_{10} = R_{10} \cdot \bar{I}_{10} = \frac{\rho_{10}}{\gamma \cdot S_{10}} \cdot \bar{I}_{10} = \frac{101}{58 \cdot 95} \cdot 187,23 (0,8 - j 0,6)$$

$$= 3,43 (0,8 - j 0,6) \text{ V} \Rightarrow |\Delta \bar{V}_{10}| = 3,43 \text{ V}$$

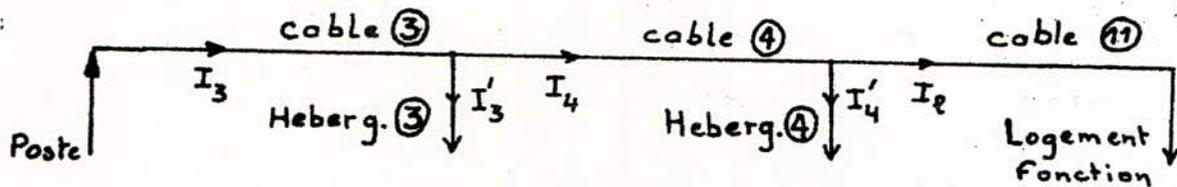
$$\text{d'où : } \Delta U_{10} (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta V_{10}}{U_{10}} \cdot 100$$

$$\Delta U_{10} = 1,5 \%$$

La chute de tension dans le circuit 3 est de :

$$\Delta U_8 + \Delta U_9 + \Delta U_{10} = \underline{2,99 \%}$$

d) - Circuit 4 :



$$P_3 = P_4 = 35 \text{ kW} \quad ; \quad P_e = 28 \text{ kW}.$$

$$\cos \varphi_3 = \cos \varphi_4 = \cos \varphi_e = 0,8 \quad ; \quad U_e = 380 \text{ V}$$

Le courant dans le cable ①① est de :

$$I_e = \frac{P_e}{\sqrt{3} \cdot U_e \cdot \cos \varphi_e} = \frac{28000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 53,17 \text{ A}$$

On prend $S_e = 70 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable ①① est de :

$$\Delta \bar{V}_e = R_f \bar{I}_e = \frac{l}{\gamma \cdot S_e} \cdot I_e (0,8 - j0,6)$$

$$= \frac{99}{58,70} \cdot 53,17 (0,8 - j0,6) = 1,29 (0,8 - j0,6)$$

$$\underline{|\Delta \bar{V}_e| = 1,29 \text{ V}}$$

$$\text{d'où : } \Delta \bar{U}_e = \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_e$$

$$\Delta U_e (\%) = \sqrt{3} \frac{\Delta V_e}{380} \cdot 100$$

$$\boxed{\Delta U_e = 0,59 \%}$$

Le courant dans le cable ④ est donné par :

$$\bar{I}_4 = \bar{I}'_4 + \bar{I}_e$$

$$\text{et } I'_4 = \frac{P_4}{\sqrt{3} \cdot U_4 \cdot \cos \varphi_4}$$

$$\text{avec } \bar{U}_4 = \bar{U}_2 + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_4 = 380 + 1,79 - j 1,34$$

$$|\bar{U}_4| = 381,8 \text{ V}$$

$$\text{d'où } I'_4 = \frac{33\,000}{\sqrt{3} \cdot 381,8 \cdot 0,8} = 62,38 \text{ A}$$

$$\text{d'où } \bar{I}_4 = (62,38 + 53,17) (0,8 - j 0,6) = 115,55 (0,8 - j 0,6)$$

$$|\bar{I}_4| = 115,55 \text{ A}$$

On prend $S_4 = 70 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le câble (4) est de :

$$\Delta \bar{V}_4 = R_4 \cdot \bar{I}_4 = \frac{\rho \cdot l_4}{\gamma \cdot S_4} \cdot \bar{I}_4$$

$$= \frac{71}{58 \cdot 70} \cdot 115,55 (0,8 - j 0,6) = 2,02 (0,8 - j 0,6) \text{ V}$$

$$|\Delta \bar{V}_4| = 2,02 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \boxed{\Delta U_4 (\%) = 0,91}$$

Le courant dans le câble (3) est donné par :

$$\bar{I}_3 = \bar{I}_4 + \bar{I}'_3$$

$$\text{avec } I'_3 = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot U_3 \cdot \cos \varphi_3}$$

$$\text{et } \bar{U}_3 = \bar{U}_4 + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_4 = 381,8 + \sqrt{3} \cdot 2,02 (0,8 - j 0,6) \\ = 384,6 - j 3,44$$

$$|\bar{U}_3| = 384,6 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \bar{I}'_3 = \frac{33\,000}{\sqrt{3} \cdot 384,6 \cdot 0,8} \cdot (0,8 - j 0,6) = 61,92 (0,8 - j 0,6)$$

$$\text{d'où } \bar{I}_3 = (61,92 + 115,55) (0,8 - j 0,6)$$

$$|\bar{I}_3| = 177,47 \text{ A}$$

On prend $S_3 = 70 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable ③ est de :

$$\Delta \bar{V}_3 = R_3 \cdot \bar{I}_3 = \frac{l_3}{\gamma \cdot S_3} \cdot \bar{I}_3$$

$$= \frac{66}{58 \cdot 70} \cdot 177,47 (0,8 - j0,6) = 2,88 (0,8 - j0,6)$$

$$|\Delta \bar{V}_3| = 2,88 \text{ V}$$

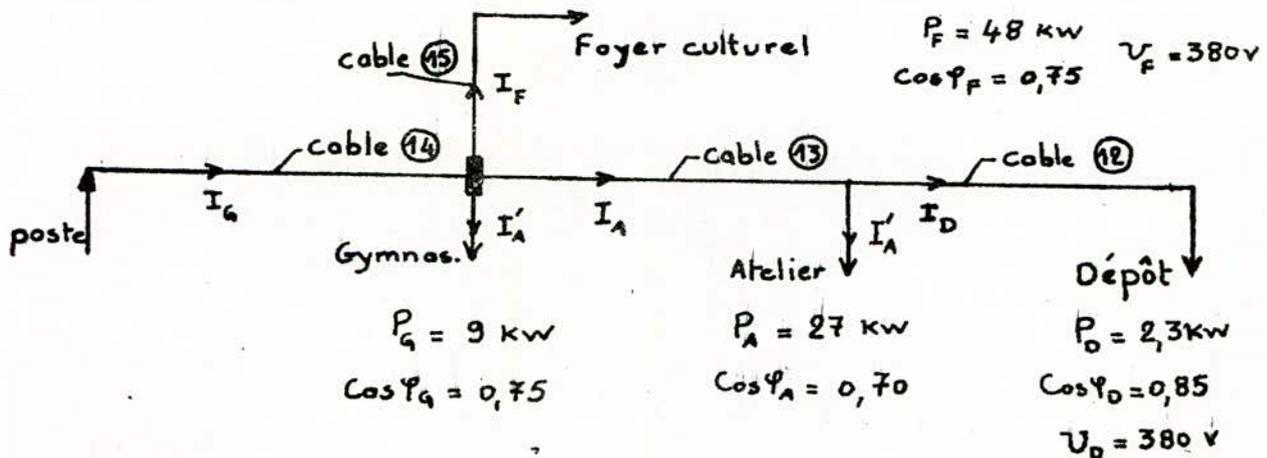
$$\text{d'où } \Delta U_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta V_3}{U_3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,88}{384,6} \cdot 100$$

$$\Delta U_3 = 1,29 \%$$

La chute de tension dans le circuit 4 est de :

$$\Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_2 = \underline{2,79 \%}$$

e) Circuit 5 :



Le courant dans le cable ⑫ est donné par :

$$I_D = \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 4,11 \text{ A}$$

$$\bar{I}_D = 4,11 (0,85 - j0,526) \Rightarrow \underline{|\bar{I}_D| = 4,11 \text{ A}}$$

On prend $S = 16 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable (12) est:

$$\Delta \bar{V}_D = R_D \bar{I}_D = \frac{l_D}{\gamma \cdot S_D} \cdot \bar{I}_D = \frac{33}{58 \cdot 16} \cdot 4,11 (0,85 - j 0,526)$$

$$\Delta \bar{V}_D = 0,146 (0,85 - j 0,526)$$

$$\underline{|\Delta \bar{V}_D| = 0,146 \text{ V}}$$

d'où :

$$\Delta U_D (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,146}{380} \cdot 100$$

$$\boxed{\Delta U_D = 0,06\%}$$

Le courant dans le cable (13) est donné par

$$\bar{I}_A = \bar{I}'_A + \bar{I}_D$$

$$\text{et } \bar{I}'_A = \frac{P_A}{\sqrt{3} \cdot U_A \cdot \cos \varphi_A}$$

$$\text{avec : } \bar{U}_A = \bar{U}_D + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_D = 380,21 - j 0,133$$

$$|\bar{U}_A| = 380,21 \text{ V}$$

d'où :

$$I'_A = \frac{27000}{\sqrt{3} \cdot 380,21 \cdot 0,7} = 58,57 \text{ A}$$

$$\bar{I}'_A = 58,57 (0,7 - j 0,71)$$

$$\text{d'où } \bar{I}_A = 41 - j 41,6 + 3,49 - j 2,16 = 44,49 - j 43,76$$

$$|\bar{I}_A| = 62,4 \text{ A}$$

On prend $S = 35 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable (13) est de :

$$\Delta \bar{V}_A = R_A \bar{I}_A = \frac{l_A}{\gamma \cdot S_A} \cdot \bar{I}_A = \frac{75}{58 \cdot 35} (44,49 - j 43,76)$$

$$= 1,64 - j 1,61$$

$$|\Delta \bar{V}_A| = 2,28 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \Delta U_A = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,28}{380,21} \cdot 100$$

$$\boxed{\Delta U_A = 0,98 \%}$$

Le courant dans le cable (15) est donné par :

$$I_f = \frac{48000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,75} = 97,24 \text{ A}$$

$$\bar{I}_f = 97,24 (0,75 - j0,66) \text{ A} \Rightarrow |\bar{I}_f| = 97,24 \text{ A}$$

On prend $S = 50 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable (15) est donné par :

$$\Delta \bar{V}_f = R_f \bar{I}_f = \frac{l_f}{\sigma \cdot S_f} \cdot I_f = \frac{61}{58 \cdot 50} \cdot 97,24 (0,75 - j0,66)$$

$$= 2,045 (0,75 - j0,66)$$

$$\Delta \bar{V}_f = 2,045 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \Delta U_f (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,045}{380} \cdot 100$$

$$\boxed{\Delta U_f = 0,93 \%}$$

Le courant dans le cable (14) est donnée par :

$$\bar{I}_g = \bar{I}_f + \bar{I}_A + \bar{I}'_g$$

$$\text{avec: } \bar{I}'_g = \frac{P_g}{\sqrt{3} \cdot U_g \cdot \cos \varphi_g}$$

$$\text{et: } \bar{U}_g = \bar{U}_A + \sqrt{3} \cdot \Delta \bar{V}_A = 380,21 + \sqrt{3} (1,75 - j1,72) \\ = 383,24 - j2,98$$

$$|\bar{U}_g| = 383,25 \text{ V}$$

$$\text{d'où: } \bar{I}'_g = \frac{9000}{\sqrt{3} \cdot 383,25 \cdot 0,75} = 18,07 \text{ A}$$

$$\bar{I}'_g = 18,07 (0,75 - j0,66)$$

$$\begin{aligned} \text{d'où } \bar{I}_G &= 97,24 + 18,07 (0,75 - j 0,66) + 44,49 - j 43,76 \\ &= (130,89 - j 119,8) \text{ A} \end{aligned}$$

$$|\bar{I}_G| = 177,41 \text{ A}$$

On prend $S_G = 95 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le câble (14) est donnée par

$$\Delta \bar{V}_G = R_G \bar{I}_G = \frac{\rho \cdot l_G}{\gamma \cdot S_G} \cdot \bar{I}_G = \frac{140}{95 \cdot 58} \cdot (130,89 - j 119,8)$$

$$|\Delta \bar{V}_G| = 4,5 \text{ V}$$

$$\text{d'où } \Delta U_G (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,5}{383,25} \cdot 100$$

$$\boxed{\Delta U_G = 1,99 \%}$$

La chute de tension dans la branche 1 est de :

$$\Delta U_D + \Delta U_A + \Delta U_G = 3,02 \%$$

La chute de tension dans la branche 2 est de :

$$\Delta U_f + \Delta U_G = 2,92 \%$$

Les sections des câbles prises satisfont bien aux conditions d'échauffement ainsi qu'aux chutes de tension admises. ($\approx 3\%$.)

Tableau récapitulatif de calcul des chutes de tension dans les câbles B.T.

Récepteurs	P (KW)	Longueur (m)	cos φ	Δ U(%)	Δ U(%)	S(mm ²)	I (A)	I _{adm} (A)
Hebergement 1	33	71	0,8	0,99	2,96	35	62,67	152
" 2	"	"	"	1,97				
Hebergement 5	33	71	0,8	0,99	2,68	35	62,67	152
" 6	"	"	"	1,3				
" 7	"	33	"	0,39				
Hebergement 8	33	71	0,8	0,50	2,99	70	62,67	230
" 9	"	"	"	0,99				
" 10	"	101	"	1,50				
Hebergement 3	33	71	0,8	1,29	2,79	70	177,47	230
" 4	"	"	"	0,91				
Logement Fonction	28	99	0,8	0,59		70	53,17	230
Gymnas.	9	140	0,75	1,99	3,02	95	177,41	275
Atelier	27	75	0,7	0,98				
Dépôt	2,3	33	0,85	0,05				
Gymnas.	9	140	0,75	1,99	2,92	95	177,41	275
Foyer culturel	48	61	0,75	0,93				

Pose des cables :

Les cables doivent être enfouis en terrain normal, au moins à 0,60 m de la surface du sol et à 1 m pour les voies accessibles aux véhicules.

Lorsqu'une canalisation croise une autre canalisation enterrée, elles doivent se trouver à une distance minimale de 0,20 m.

* Choix du cable M.T.

L'alimentation du poste de transformation étant en double dérivation ; on aura à utiliser deux cables triphasés M.T. qui raccorderont le poste de livraison au poste de transformation. Les cables armés pénètrent dans le poste par un caniveau débouchant à l'extérieur du bâtiment à une profondeur de 0,6 m. Après la pose des cables, l'ouverture ménagée pour leur passage est obturée par une murette.

- Calcul du courant nominal circulant dans le cable M.T.

à chaque primaire du transformateur circule un courant de valeur :

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad \begin{array}{l} S_n = 630 \text{ KVA} \\ U_n = 30 \text{ KV} \end{array}$$

d'où

$$I_1 = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 30} = 12,12 \text{ A}$$

d'où le courant circulant dans le cable M.T. est de :

$$I_n = I_1 \cdot 2 = 2 \cdot 12,12 = 24,24 \text{ A}$$

$$\boxed{I_n = 24,24 \text{ A}}$$

$$\underline{I_n < I_{adm} = 80 \text{ A}}$$

On prend $S = 10 \text{ mm}^2$

La chute de tension dans le cable M.T. est donnée par :

$$\Delta \bar{U} = \sqrt{3} \cdot I_n (R + jX)$$

$$R = \frac{l}{S} \quad l : \text{longueur du cable ; } l = 622 \text{ m}$$

d'où

$$R = \frac{622}{58 \cdot 10} = 1,1 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,1 \text{ } \Omega / \text{Km} \quad X = 0,06 \text{ } \Omega$$

d'où

$$\Delta \bar{U} = \sqrt{3} \cdot 24,24 (I, I + j 0,06) = 42 (I, I + j 0,06)$$

$$|\Delta \bar{U}| = 46,3 \text{ V}$$

d'où

$$\Delta \bar{U} (\%) = \frac{|\Delta \bar{U}|}{U} \cdot 100 \quad \boxed{\Delta U = 0,16 \%}$$

La section du cable choisie satisfait aux conditions d'échauffement et de chute de tension. Ce cable étant tripolaire, isolé au papier imprégné, armé en cuivre ; 18/30 KV.

V - 3 - Protection des canalisations B.T.

Sur chaque départ B.T., on prévoit un coupe circuit fusible pour protéger les canalisations B.T. contre les surintensités.

Caractéristiques des fusibles :

Fusibles	Types	I_b (A)	I_n (A)
F ₁	gI	I77,47	200
F ₂	"	I77,4I	200
F ₃	"	I24,84	I25
F ₄	"	I86,33	200
F ₅	"	I87,33	200
F ₆	"	34,44	50

C H A P I T R E VI

VI - PROTECTION

VI - I - Introduction

Toute installation électrique, même exécutée avec des matériaux de choix peut être affectée par des derangements de causes et d'effets divers.

Toutes ces perturbations influent sur les diverses grandeurs électriques caractérisant le fonctionnement normal de l'installation. On distingue :

- les surintensités
- les surtensions
- les manques de tension

DEFINITION :

La protection est l'ensemble des dispositifs qui permettent de mettre hors services un circuit fonctionnant dans des conditions anormales.

La protection doit être efficace et totale.

Les exigences primordiales des protections dans un poste étant :

- La sélectivité
- La rapidité
- La sensibilité
- La fiabilité

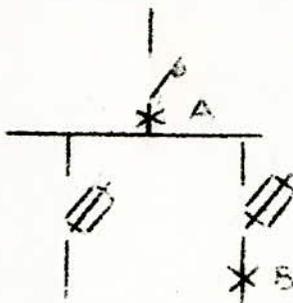
DEFINITIONS :

* SELECTIVITE

La sélectivité dans les réseaux B.T. est appliquée dans le but d'assurer une continuité de service.

La sélectivité est effective si tout défaut survenant en un point quelconque du réseau est éliminé par l'appareil placé juste en amont de ce défaut.

La sélectivité est totale si cette condition est vérifiée pour toute valeur du courant de défaut inférieur ou égale à la valeur du courant de court-circuit possible au point considéré.

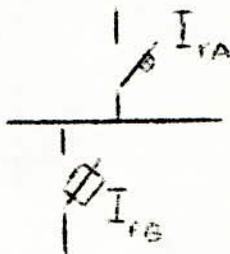


Si lors d'un défaut au point B, seul l'interrupteur - fusible coupe le circuit, l'installation est dite sélective.

On distingue deux types de sélectivité :

a) Sélectivité ampermétrique

Elle consiste à utiliser un seuil de réglage pour le déclenchement du disjoncteur.



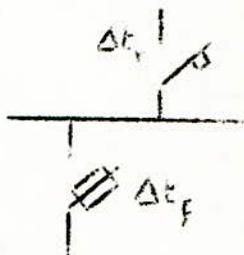
I_{rA} : Courant de réglage pour le déclenchement du disjoncteur

I_{fB} : Courant de fusion du fusible

$$\boxed{I_{rA} > I_{fB} !}$$

b) Sélectivité chronométrique :

La réalisation de cette sélectivité consiste à agir sur le temps de réglage du déclencheur du disjoncteur.



Δt_r : Temps du déclenchement du disjoncteur

Δt_f : Temps de fusion du fusible.

$$\boxed{\Delta t_r > \Delta t_f}$$

* Rapidité

Une protection est dite rapide si le temps d'élimination du défaut est très faible.

* Sensibilité

Les appareils de protection doivent être sensibles à toute augmentation de l'intensité du courant.

* Fiabilité

La fiabilité est assurée si et seulement si chaque équipement de protection fonctionne lors d'un défaut correspondant à sa fonction.

VI - 2- PROTECTION DU MATERIEL :

2 - a : Protection du transformateur

On distingue trois types de protections

- Protection contre les surintensités
- " " masse-cuve
- " " Buchholtz

2 - a 1 : Protection contre les surintensités

On appelle surintensité, une intensité de courant supérieure à celle du courant nominal.

On distingue deux causes de surintensités :

- les surcharges
- les court-circuits.

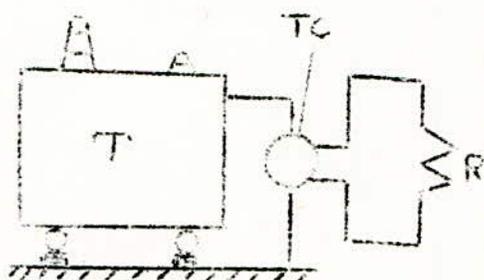
Du côté M.T. de chaque transformateur, la protection est assurée par interrupteur fusible à haut pouvoir de coupure.

Du côté B.T. de chaque transformateur, la protection est assurée par un disjoncteur magnéto-thermique :

- Le déclencheur magnétique assure la coupure des courants de court-circuit.
- Le déclencheur thermique assure la coupure des courants de surcharge.

2 a 2 : Protection masse - cuve

Cette protection est destinée à détecter tous les amorçages pouvant se produire entre une phase et la masse du transformateur.



R : relais à maximum d'intensité
TC : transformateur de courant
T : transformateur de puissance

La cuve du transformateur est isolée de la terre générale du poste, elle est réunie à celle-ci par un transformateur de courant (TC) alimentant un relais à maximum d'intensité qui provoque le déclenchement.

Cette protection ne peut fonctionner que si les réseaux raccordés au transformateur ont leur neutre à la terre.

- CARACTERISTIQUES DU RELAIS

- Type RAF 410 E

- Plage de réglage $I_r = (0,6 \text{ à } 2) I_n$

$$\text{Soit } I_r = 2 I_n \cdot \frac{5}{25} = 2 \cdot 12,12 \cdot \frac{1}{5} = 4,8 \text{ A}$$

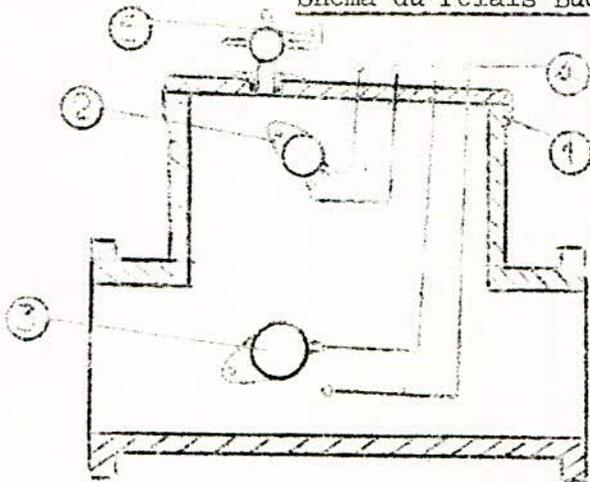
CARACTERISTIQUES DU T.C.

T.C.	TYPE	U_n (KV)	U_i (KV)	Rapport	Classe	S (VA)	I_n (KA)
	TCH 6I	30	36	25/5	0,5	15	1,6

I_{th} : Courant de courte durée admissible.

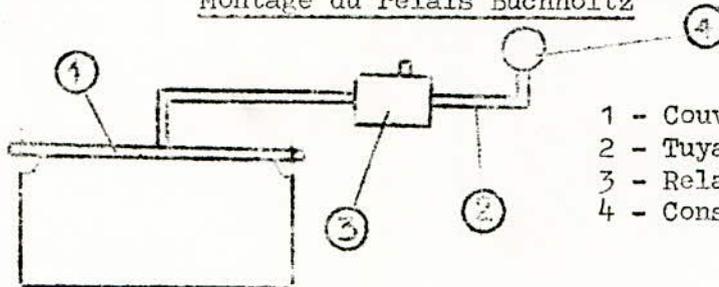
2 a 3 : Protection Buchholtz

Shéma du relais Buchholtz



- 1 - Carter
- 2 - Flotteur supérieur (Alerte)
- 3 - " inférieur (déclenchement)
- 4 - Contacts
- 5 - Robinets de prise de gaz

Montage du relais Buchholtz



- 1 - Couvercle de cuve
- 2 - Tuyauterie
- 3 - Relais Buchholtz
- 4 - Conservateur d'huile

CONSTITUTION

Les organes de détection des bulles gazeuses sont constituées par des flotteurs susceptibles de fermer des contacts. Le tout est enfermé dans un carter qui se monte horizontalement sur la tubulaire reliant la cuve au conservateur d'huile. Un robinet de prise de gaz est situé à la partie supérieure du carter.

PROTECTION :

La protection contre les défauts internes au transformateur est assurée par le relais Buchholtz qui est basé sur le fait que lors de l'apparition d'un défaut interne, les bulles gazeuses ont tendance à s'accumuler dans la partie supérieure du carter et le niveau d'huile s'abaisse. La poussée Archimédienne s'exerçant sur le flotteur supérieur diminue et celui-ci en s'abaissant va fermer un contact ; ce premier contact commande un circuit d'alarme. Le deuxième flotteur possède un contact (de déclenchement) qu'il fermera s'il y a soit un fort mouvement d'huile du transformateur vers le conservateur, soit un volume de gaz tellement important qu'il occupe tout le Buchholtz.

PROTECTION DU CIRCUIT B.T.

Chaque départ basse tension est protégée par un interrupteur fusible et un disjoncteur assure la protection générale de chaque tableau B.T.

VI - 3 - PROTECTION DU PERSONNEL :

3 - 1 : Introduction

La réglementation distingue deux séries de mesure de protection, correspondant chacune à la nature du contact entre le corps et l'objet sous tension.

On distingue :

- Les contacts directs
- " " indirects

3 - 2 Définitions

* Un contact direct est la liaison qui s'établit entre le corps et un matériel électrique normalement sous tension.

* Un contact indirect est le contact qui s'établit entre le corps et les masses d'un matériel mise accidentellement sous tension bien que ce matériel soit mis à la terre.

3 - 3 Protection contre les contacts directs

Elle est assurée par la mise hors de portée des conducteurs et des pièces conductrices :

- par éloignement
- par isolation
- par interposition d'écrans isolants fixes ou mobiles.

3 - 4 Protection contre les contacts indirects

Cette protection est assurée par :

- mise à la terre des masses
- mise en neutre des masses et conducteurs de protection
- emploi dispositifs de coupure automatique sensible au courant de défaut.
- emploi dispositifs de coupure automatique sensible à la tension de défaut.

VI - 4 - MISES A LA TERRE :

4 - 1 Rôle des mises à la terre :

Les mises à la terre dans les postes sont établies en vue de contribuer à la sécurité des personnes et à la protection du matériel dans ces postes et dans les installations à basse tension qui leur sont raccordées.

Le poste de transformation possède une prise de terre destinée aux masses et une prise de terre destinée au neutre de chaque transformateur.

4 - 2 - Classification des installations au regard des masses du poste

Deux types d'installation sont à considérer

- a) - Installation à masse du poste dites séparées
- b) - " " " dites reliées

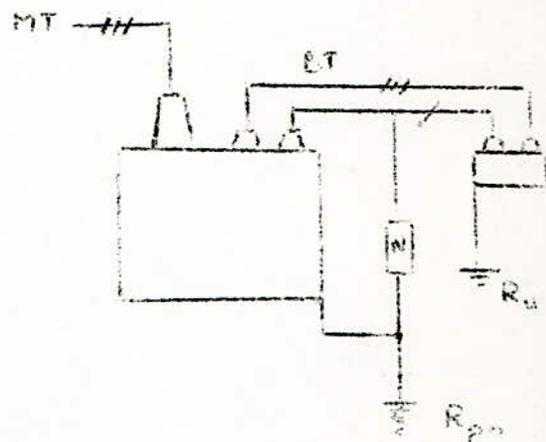
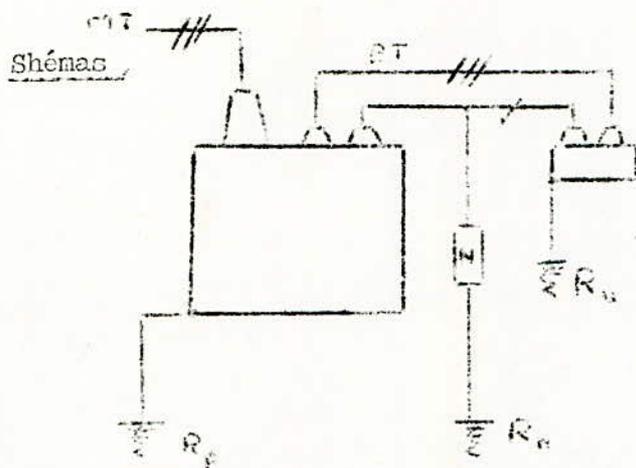


Figure a) - Installation à masse du poste dites séparées

figure b) - Installation à masse du poste dites reliées

R_n : Prise de terre du neutre

R_p : " " des masses du poste

R_u : Masse d'utilisation

R_{pn} : Prise de terre commune aux masses du poste et au neutre B.T.

Figure a)

Dans lesquelles les masses ne sont pas reliées électriquement :

- ni au point neutre du réseau à basse tension
- ni à la prise de terre du neutre.
- ni aux masses des appareils d'utilisation.

figure b) - Dans lesquelles ces masses sont reliées électriquement à un ou plusieurs des trois éléments énumérés ci-dessus.

- Dans la figure b), sont généralement compris :

- Les postes établis dans les bâtiments
- Les installations dont les masses du poste et celles des circuits d'utilisation sont susceptibles d'être reliées électriquement par des éléments conducteurs.

4 - 3 Éléments à relier à la prise de terre des masses du poste

- Les masses de tous les circuits à moyenne et basse tension y compris les gaines et écrans des câbles.
- Les écrans ou les panneaux grillagés métallique de protection.
- La cuve métallique de chaque transformateur
- Le neutre du secondaire de chaque transformateur.

4 - 4 Conditions auxquelles doivent satisfaire les prises de terre des masses du poste

D'une façon générale, il est souhaitable de réaliser pour les masses du poste une prise de terre de résistance aussi faible que possible.

En effet, lorsqu'un courant I_T s'écoule dans le sol au moyen d'une prise de terre de résistance R_T , le potentiel des éléments reliés est donné par :

$$V = R_T I_T.$$

Afin d'éviter tout accident, il faut que le potentiel V soit faible d'où la résistance de prise de terre soit aussi faible que possible.

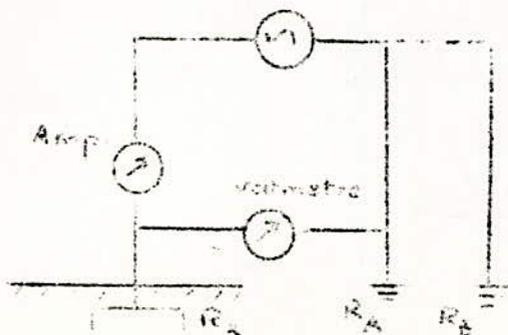
La résistance d'une prise de terre peut être mesurée par expérience.

Il existe différentes méthodes de mesure dont :

- Méthode de l'ampermètre et du voltmètre.
- Méthode dite des trois terres.

Mesure de la résistance de prise de terre par la méthode des 3 terres

Schéma



R_x : Résistance de prise de terre
(à mesurer)

R_A, R_B : Résistances auxiliaires.

On constitue 3 prises de terre A, B, X et on effectue successivement trois mesures de résistance :

$$\text{Entre A et X, on mesure } R_1 = R_A + R_X = \frac{V_1}{I_1}$$

$$\text{Entre B et X, on mesure } R_2 = R_B + R_X = \frac{V_2}{I_2}$$

$$\text{Entre B et A, on mesure } R_3 = R_A + R_B = \frac{V_3}{I_3}$$

d'où en faisant $R_1 + R_2 - R_3$; on aura :

$$R_1 + R_2 - R_3 = 2 R_X$$

$$\text{d'où } R_X = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2}$$

La valeur de R_X ne peut avoir une précision acceptable que si R_A , R_B , et R_X sont du même ordre de grandeur, ce qui limite l'emploi de cette méthode.

Dans le cas où R_A , R_B et R_X sont de grandeurs différentes, on utilise un TELLUROHMETRE qui donne par lecture directe la résistance de prise de terre.

- PRISE DE TERRE ETABLIE DANS LE POSTE DE TRANSFORMATION :

Lors de l'établissement de la fondation du bâtiment abritant le poste, on établit à fond de fouille une ceinture en cuivre nu (conducteur bouclé) de $27,6 \text{ mm}^2$ de section, constituant la prise de terre.

Les différentes masses seront reliées à un conducteur, qui a son tour sera relié au conducteur formant la prise de terre. (voir figure mises à la terre).

La prise de terre du neutre de chaque transformateur est établi par un tube de diamètre 20/27.

Détermination de la valeur de la résistance de prise de terre :

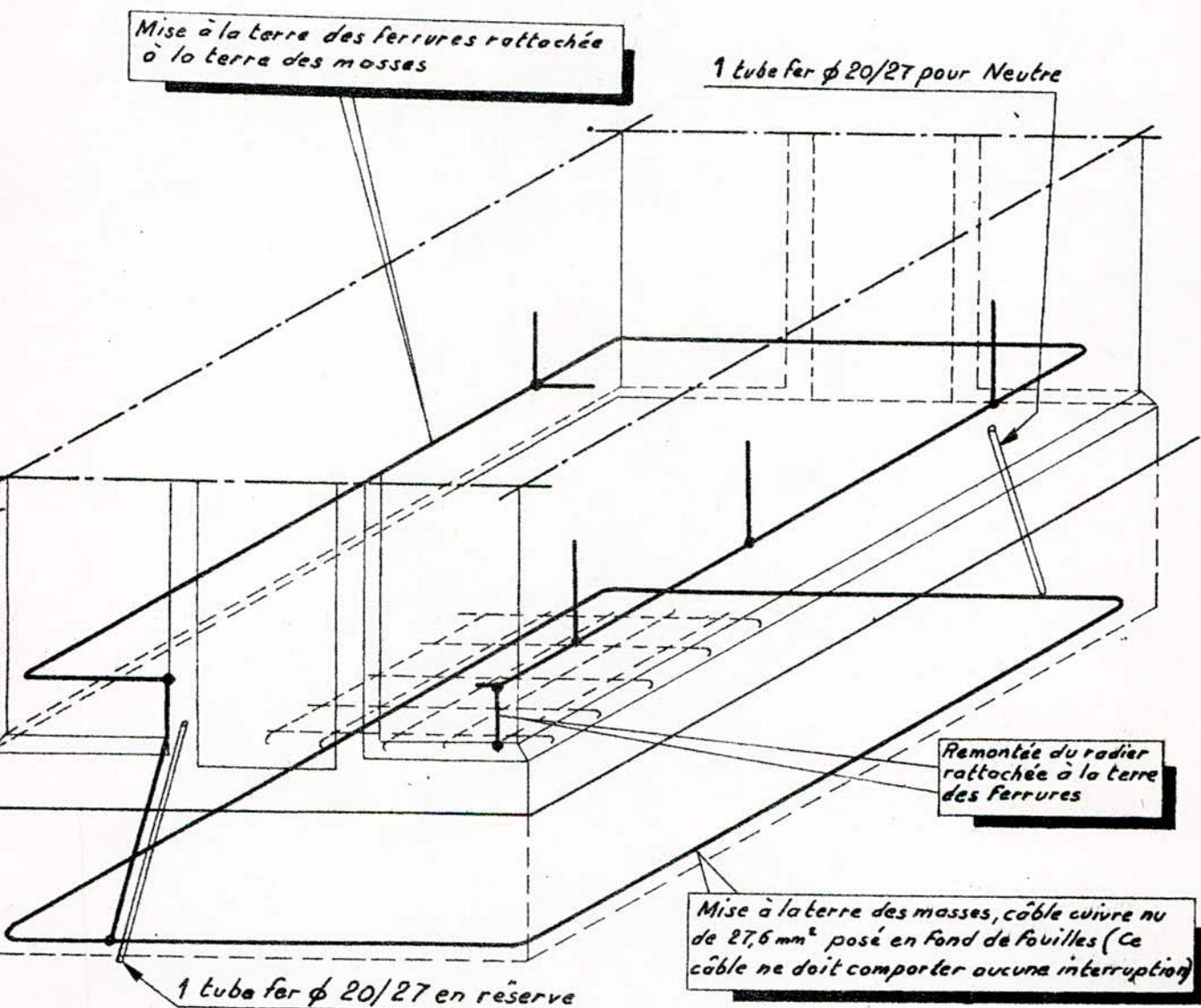
Une estimation de la résistance de prise de terre constituée par une boucle à fond de fouille des bâtiments peut être effectuée par application de la formule :

$$R = 2 \cdot \frac{\rho}{L}$$

ρ : Résistivité du terrain ; ($\Omega \cdot \text{m}$)

L : Périmètre du bâtiment ; (m)

MISES A LA TERRE (SCHÉMATIQUE)



Les résistivités de certains terrains sont données par le tableau suivant :

Nature du terrain	Résistivité moyenne ($\Omega.m$)
Herbe	50
Argile, humus, limon	100
Sable humide	200
Gravier humide	500
Sable et gravier secs	1000
Sol pierreux	3000

Application numérique :

$$\rho = 100$$

$$L = 2 \cdot (7,33 + 5,15)$$

d'où la résistance de prise de terre est de :

$$R = \frac{2 \cdot 100}{2 \cdot (7,33 + 5,15)} \quad \boxed{R = 8 \Omega}$$

VI - 5 - Choix du régime de neutre :

Le régime de neutre caractérise la position du point neutre secondaire du transformateur MT/BT par rapport à la terre.

5.1. Différents régimes de neutre :

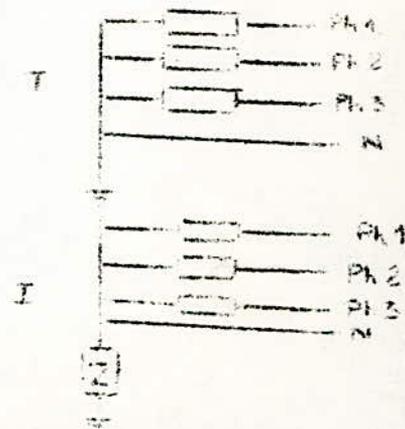
Il existe trois différents régimes de neutre :

- Schéma TT
- Schéma TN
- Schéma IT

* La première lettre (T ou I) désigne la situation du point neutre par rapport à la terre.

T : Indique une liaison directe du neutre avec la terre.

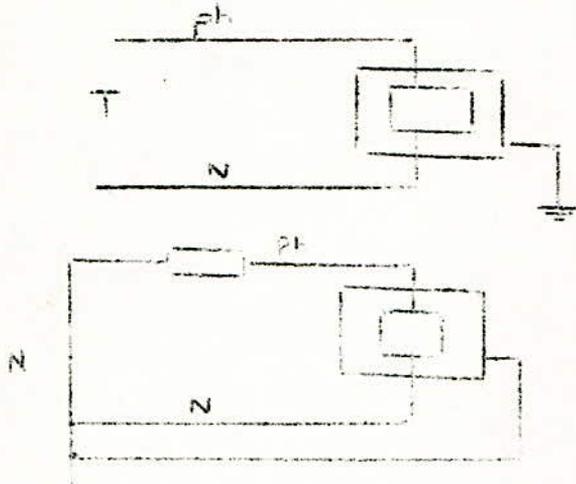
I : Indique que le neutre est isolé ou relié à la terre par une impédance Z de forte valeur.



* La deuxième lettre (T ou N) symbolise les liaisons des masses de l'installation.

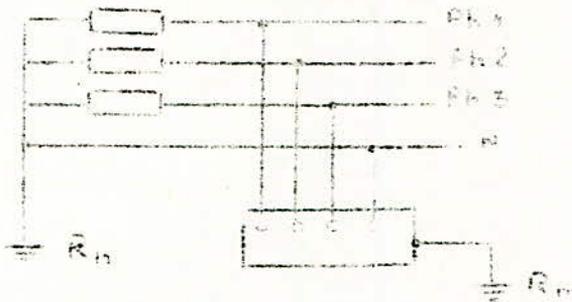
T : indique que les masses sont reliées directement à une prise de terre indépendante de la prise de terre du point neutre de l'alimentation.

N : indique que les masses sont reliées directement au point neutre de l'alimentation.



5 - 2 Schémas avec avantages et inconvénients des différents régimes

5 - 2 a - Schéma T.T.



Les masses de l'installation sont reliées à une prise de terre différente de celle du neutre.

Lors d'un courant défaut d'isolement sur une masse, celui-ci est limité par les résistances de prise de terre du neutre et des masses. La valeur de ce courant n'est pas suffisante pour permettre le fonctionnement des dispositifs de protection des surintensités. D'où nécessité de contrôler ces installations par des dispositifs différentiels qui permettent d'éliminer les élévations en potentiel sur les masses mises à la terre.

Avantages :

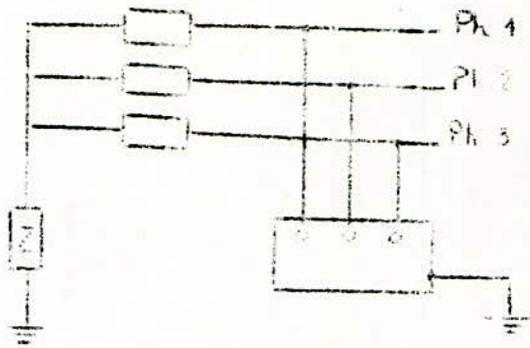
- Pas de dispositif limiteur de surtension
- Appareillages de protection simplifiés
- Localisation instantanée du départ en défaut.

Inconvénients :

- Déclenchement obligatoire sur défaut simple
- Destruction des prises de terre par cuisson
- Localisation du départ en défaut onéreuse.

Nota : - Le régime T.T. est obligatoire si l'alimentation se fait directement par réseau de distribution publique.

5.2.b - Schéma I T



Toutes les masses sont reliées à la prise de terre de l'installation, mais le neutre est relié à la terre par une impédance.

Cette impédance est choisie de manière qu'en cas du premier défaut d'isolement, le courant de défaut soit suffisamment faible pour qu'il n'entraîne pas l'apparition de tension dangereuse sur les masses. Donc lors de ce premier défaut, on peut se dispenser de mettre hors tension l'installation.

Avantages :

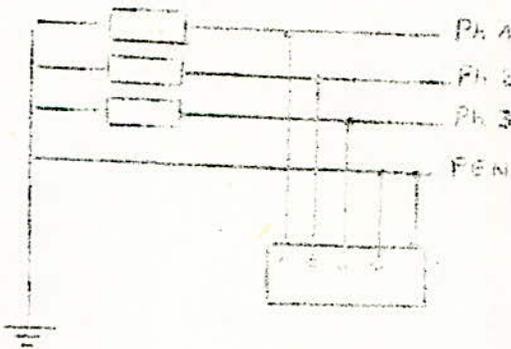
- Déclenchement obligatoire reporté au défaut double
- Contrôle facile de l'isolement du neutre.

Inconvénients :

- Nécessité d'installer un limiteur de surtension.

Nota : Le régime IT nécessite que l'exploitant soit propriétaire du poste.

5.2. C - Schéma TN



Le neutre de l'alimentation est relié directement à la terre, mais le conducteur de protection de l'installation est relié au neutre.

Lors d'un défaut franc d'isolement sur une phase, le courant de défaut est un courant de court-circuit phase - neutre qui doit être suffisamment important pour faire fonctionner les appareils de protection de surintensité.

Avantages :

- Pas de dispositif limiteur de surtension
- Élimination du défaut simple par les dispositifs de protection contre les surintensités.

Inconvénients :

- Déclenchement obligatoire sur défaut simple.

Nota : - Le régime TN nécessite que l'exploitant soit propriétaire du poste.

Pour le choix du régime de neutre ; nous optons pour le schéma TT puisqu'il permet une simplification de l'installation.

5.3. - Protection du neutre

La protection du neutre a pour but d'éviter que ce conducteur soit parcouru par des surintensités qui lui soient nuisibles en valeur et en temps.

Calcul de la section théorique du neutre :

Toute la protection du neutre repose sur l'application de la formule :

$$SNT \geq \frac{I_{cc}}{\alpha} \sqrt{\frac{t}{100}}$$

SNT : Section théorique du neutre qui garantit que l'échauffement de ce conducteur en cas de court-circuit n'entraîne pas sa détérioration.

I_{cc} : Courant de court-circuit à l'origine de l'installation.

t : Temps de fonctionnement du disjoncteur B.T.

$$\alpha = \begin{array}{l} 13 \text{ pour Cu} \\ 8,5 \text{ pour Al} \end{array}$$

Application numérique :

$$I_{cc} = 24,22 \text{ KA}$$

$$\alpha = 13$$

$$t = 0,1 \text{ s}$$

d'où on a :

$$SNT \geq \frac{24220}{13} \sqrt{\frac{0,1}{100}} = 58,92 \text{ mm}^2$$

$$SNT \geq 58,92 \text{ mm}^2$$

d'où on prendra un conducteur neutre de section :

$$\boxed{S = 70 \text{ mm}^2}$$

C H A P I T R E VII

CONCLUSION

- * La conception d'un poste de transformation MT/BT constitue une partie essentielle dans le domaine de la distribution de l'énergie électrique.
- * Notre étude a porté surtout sur la partie équipement électrique du poste de transformation ainsi que sur la partie protection.
- * L'utilisation de 2 transformateurs de grande puissances par rapport à la consommation de la cité universitaire est dûe au fait qu'on prévoit une augmentation de la charge par installation de nouveaux centres.
- * L'étude économique n'a pu être traitée par manque de données telles que : coût du matériel, frais d'investissement, etc...
- * Le génie civil a été élaboré afin de donner une représentation claire de la constitution intérieure du bâtiment abritant le poste ainsi que les différents caniveaux et buses pour passage de câbles.
- * Les dimensions des différentes cellules ont été fonction du matériel à installer et sont en vigueur avec la norme C 13100.
- * La partie " canalisations Basse Tension " a été traitée afin de compléter l'étude du projet de l'électrification de la cité Universitaire ; (la partie installation électrique de la cité a été traitée par un autre binome).

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - NORME C 13.100.
- 2 - TECHNOLOGIE DE L'ELECTRICITE - FOUCHER - TOME I, II et III.
- 3 - DOCUMENTS E.D.F - G.D.F.
POSTES DE TRANSFORMATION ETABLIS A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT
- 4 - GUIDE DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE (MERLIN ET GERIN)
- 5 - CATALOGUE DE LA CABLERIE ELECTRIQUE DE LA SONELEC.
- 6 - TECHNOLOGIE D'ELECTRICITE GENERALE ET PROFESSIONNELLE
R. MERLET TOME II
- 7 - CATALOGUE APPAREILLAGES M.T. (MERLIN ET GERIN)