

9/75

led

UNIVERSITE D'ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRICITE



# PROJET DE FIN D'ETUDES

## REGLAGE ET DISPOSITIFS DE REGLAGE DE TENSION

PROPOSE PAR :  
Dr. Ing. G. CIRTINA

ETUDIE PAR :  
MM. A. BOUCHETARA ET M. YOUSFI

PROMOTION 1970 - 75

UNIVERSITE D'ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

# PROJET DE FIN D'ETUDES

---

## REGLAGE ET DISPOSITIFS DE REGLAGE DE TENSION

PROPOSE PAR :  
Dr. Ing. G. CIRTINA

ETUDIE PAR :  
MM. A. BOUCHETARA ET M. YOUSFI

PROMOTION 1970 - 75

U N I V E R S I T E D ' A L G E R

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

E C O L E N A T I O N A L E P O L Y T E C H N I Q U E

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

D E P A R T E M E N T E L E C T R I C I T E    S E C T I O N E L E C T R O T E C H N I Q U E

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

P R O J E T D E F I N D ' E T U D E S

R E G L A G E & D I S P O S I T I F S D E R E G L A G E D E L A T E N S I O N

.....

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

Proposé par:

Mr. Gh. CIRFINA

Etudié par:

A. BOUCHETARA & M. YOUSFI

Promotion 1970 - 1975

Qu'il nous soit permis de remercier particulièrement Mr. Gheorge CIRTINA qui, malgré son accident, nous a orientés et suivis efficacement dans la préparation de notre thèse.

Nous tenons à remercier également tous les enseignants ainsi que les personnes qui de près ou de loin ont contribué à notre formation à l'Ecole Nationale Polytechnique.

Introduction :	.....page	5
④ Chap I Causes de la chute de tension :	.....page	6
I.1 Chute de tension :	.....page	6
I.2 Classement des variations de tension :	.....page	7
I21 Variations lentes :	.....page	7
I22 Variations brusques :	.....page	7
I23 Creux de tension :	.....page	7
④ Chap II Conséquences de la chute de tension :	.....page	10
II1 Méthodes de réglage de la tension :	.....page	10
II2 Comportements des différents appareils :	.....page	11
II3 Répercussions des à-coups de tension sur les usagers :	.....page	13
II31 Usagers :	.....page	13
II32 Moteurs asynchrones :	.....page	13
II321 Influence de la nature de la diminution de la tension :	.....I.....page	13
II322 Influence de la durée de la baisse de la tension :	.....I.....page	16
II323 Influence du retour de la tension :	.....page	16
II33 Machines entraînées par des moteurs asynchrones : ..		16
II34 Contacteurs de commande de l'appareillage :	..page	16
II4 Conclusion. Normes dans chaque pays :	.....page	17
④ Cap III Calcul de réseaux électriques de distributions à partir des variations de tension :	.....page	22
④ Chap IV Méthodes de réglage de la tension :	.....page	36
IV1 Réglage par tension additionnelle :	.....page	36
IV2 Réglage par la puissance réactive :	.....page	36
IV3 Réglage par la réactance :	.....page	38
IV4 Réglage par augmentation de la tension de départ : ..		39
④ Chap V Réglage MT et Régulateur de tension :	.....page	40
V1 Méthode de réglage de la tension MT dans le cas où le réseau MT ne comporte qu'un seul point de réglage : ..		40
V11 Méthode directe :	.....page	40
V111 Définitions et choix des points caractéristiques : ..		40

V112 Mesures :	.....	page 42
V113 Calcul du réglage :	.....	page 43
V114 Application du réglage :	.....	page 46
V2 Méthode de réglage de la tension MT dans le cas où le réseau comporte plusieurs points de réglage :	..	page 46
V21 Cas de plusieurs régulateurs installés dans un même poste :	.....	page 46
V22 Cas des régulateurs disposés en cascades :	.....	page 48
V3 Application pratique :	.....	page 49
V31 Réseau étudié :	.....	page 49
V311 Structure du réseau MT :	.....	page 49
V312 Caractère des consommateurs :	.....	page 51
V313 Situation avant le réglage :	.....	page 51
V32 Mesures et résultats :	.....	page 51
V321 Choix des points caractéristiques :	.....	page 51
V322 Mesures :	.....	page 53
V323 Amélioration de la tension après le réglage :	..	page 53
V4 Régulateur de tension :	.....	page 65
V5 Réglage automatique de la tension :	.....	page 66
V51 Conduite des réseaux et réglage de la tension:	..	page 66
V52 Organisation et caractéristiques du réglage automatique de la tension :	.....	page 67
④ Chap VI Dispositifs de réglage de la tension :	.....	page 69
VII Etude de l'emplacement du dispositif :	.....	page 69
VII Définition d'une zone :	.....	page 69
VII12 Points pilotes :	.....	page 69
VII13 Détermination des points pilotes et des zones:	..	page 69
VII2 Fonctionnement des transformateurs munis des prises manoeuvrables en charge :	.....	page 70
VII21 Transformateur à réglage de la tension en charge:.	..	71
VII211 Changement du nombre de spires des enroulements du transformateur :	.....	page 71
VII212 Transformateur survolteur spécial inséré dans le circuit du transformateur principal et possédant un rapport de transformation variable :	.....	page 73
VII22 Choix des plots des transformateurs dans les réseaux de distribution :	.....	page 74
VII23 Elaboration des schémas équivalents de réglage transversal :	.....	page 77

VI231	Considération sur la réalisation de l'installation de réglage transversal : .....	page 77
VI232	Equation de fonctionnement du schéma : ..	page 78
VI233	Schéma équivalent : .....	page 80
VI24	Elaboration des schémas équivalents de réglage longitudinal : .....	page.83
VI241	Equation de fonctionnement. Schéma équivalent:	83
VI242	Remarques concernant le réglage de la tension:	89
VI243	Considérations concernant le choix des transformateurs Ta et Tb : .....	page92
VI244	Exemple de calcul : .....	page 93
VI245	Conclusion : .....	Page 95
VI25	Régulation de la tension par changement de phases : .....	page 96
VI3	Appareils d'absorption ou de production de puissance réactive :.....	page 99
VI31	Machines synchrones : .....	page 99
VI32	Condensateurs : .....	page 99
VI33	Bobines de réactances : .....	page 101
4	Chap VII Dispositif à étudier : .....	page 103
VII	Données du problème ;.....	page 103
VII11	Choix du transformateur à 3 enroulements:..	page 103
VII12	Schéma et description du dispositif :....	page 104
VII13	Enroulement de commande : .....	page 104
VII14	Rôle de l'enroulement de commande : .....	page 105
VII2	Etude du dispositif : .....	page 107
VII 21	Hypothèses de calcul : .....	page 107
VII 22	Calcul des paramètres de l'enroulement primaire	107
VII 221	Calcul des pertes de l'enroulement primaire:;	108
VII 222	Section active du noyau :.....	page 111
VII 223	Nombre de spires de l'enroulement primaire:..	113
VII 23	Calcul des paramètres de l'enroulement de commande : .....	page. 118
VII 24	Conclusion : .....	page 120
4	Conclusions générales : .....	page 122

## I N T R O D U C T I O N

-----

Les appareils récepteurs d'énergie électrique, moteurs, lampes radiateurs etc... sont établis pour fonctionner sous une tension déterminée et leur comportement devient deffectueux dès que les fluctuations de tension dépassent une certaine amplitude. Il importe donc, en un point donné d'un réseau de distribution, de maintenir la tension à une valeur aussi constante que possible (cette obligation s'étend à d'autres réseaux) ceci en modifiant la tension des transformateurs qui alimentent ces utilisateurs.

L'importance de ce maintien est limité par les chutes de tension .

Par un choix judicieux de l'architecture des réseaux et des moyens de réglage, on arrive à limiter considérablement l'irrégularité de la tension.

Vu que le progrès technique est en évolution permanente (le nombre d'appareils récepteurs causant des chutes de tension : gros moteurs sensibles aux variations de tension, augmente) le réglage de la tension prend une ampleur de plus en plus grande pour les réseaux de distribution.

Par contre, sur les réseaux de transport, on peut admettre des variations de tension plus importantes car il n'existe pas d'appareils d'utilisation directement reliés.

La politique de réglage de la tension doit donc pouvoir être différente pour les réseaux de transport (pas d'usagers directs), pour les réseaux de répartition (pas d'usagers directs non plus mais usagers industriels alimentés par leur propre transformateur assez nombreux pour justifier un partage de l'effort de réglage) et pour les réseaux de distribution (usagers directs en H T et B T) cela nécessite un bon réglage.

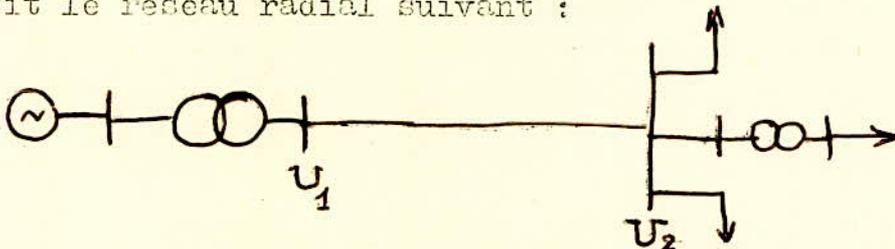
P R E M I E R E      P A R T I E

...//

CHAPITRE I : CAUSES DE LA CHUTE DE TENSION

I.1 / Chute de tension :

Soit le réseau radial suivant :



La chute de tension sur une ligne de transport d'énergie est liée à l'impédance  $Z$  de cette ligne ( $Z = R + jX$ ) et aux puissances active ( $P$ ) et réactives ( $Q$ ) transitées.

La puissance active et la puissance réactive circulant en un point de tension  $U$  sont des variables dépendantes liées par la relation :

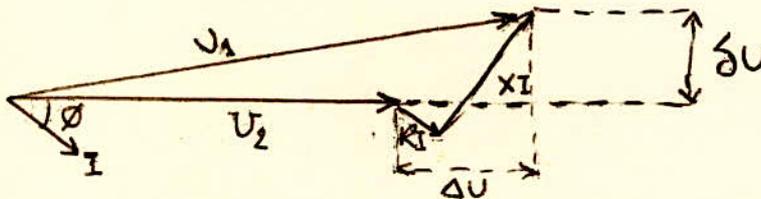
$$f(P, Q, U) = 0$$

telle que :

$$(U_1 - U_2)U_2 - PR - QX = 0$$

$$\Delta U \cdot U_2 = PR + QX$$

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_2}$$



$$\Delta U = 3(RI \cdot \cos\theta + XI \cdot \sin\theta) = \frac{PR + QX}{U_2}$$

$$\delta U = 3(-RI \cdot \sin\theta + XI \cdot \cos\theta) = \frac{XP - QR}{U_2}$$

La chute de tension ( $\Delta U = U_1 - U_2$ ) est principalement due au transport de la puissance réactive dans les réseaux où la réactance est prépondérante.

Ainsi pour une valeur donnée de la puissance : active, toute variation de la puissance réactive entraîne une variation de tension et réciproquement.

## I.2 / Classement des variations de tension :

Ils dérivent des variations des charges active et réactive.

### I.21 / Variations lentes :

Aléatoires ou périodiques ; elles sont liées aux charges journalières qui sont caractérisées par les heures de pointes, les heures creuses et les heures de nuit.

On peut prévoir ces variations en évaluant les tensions probables relatives à ces périodes.

### I.22 / Variations brusques :

Dues principalement au fonctionnement intermittent des appareils à fort appel de courant de démarrage et gros consommateurs d'énergie réactive. Il en résulte des à-coups de tension appelés "Flicker" présentant une certaine régularité ou totalement aléatoire.

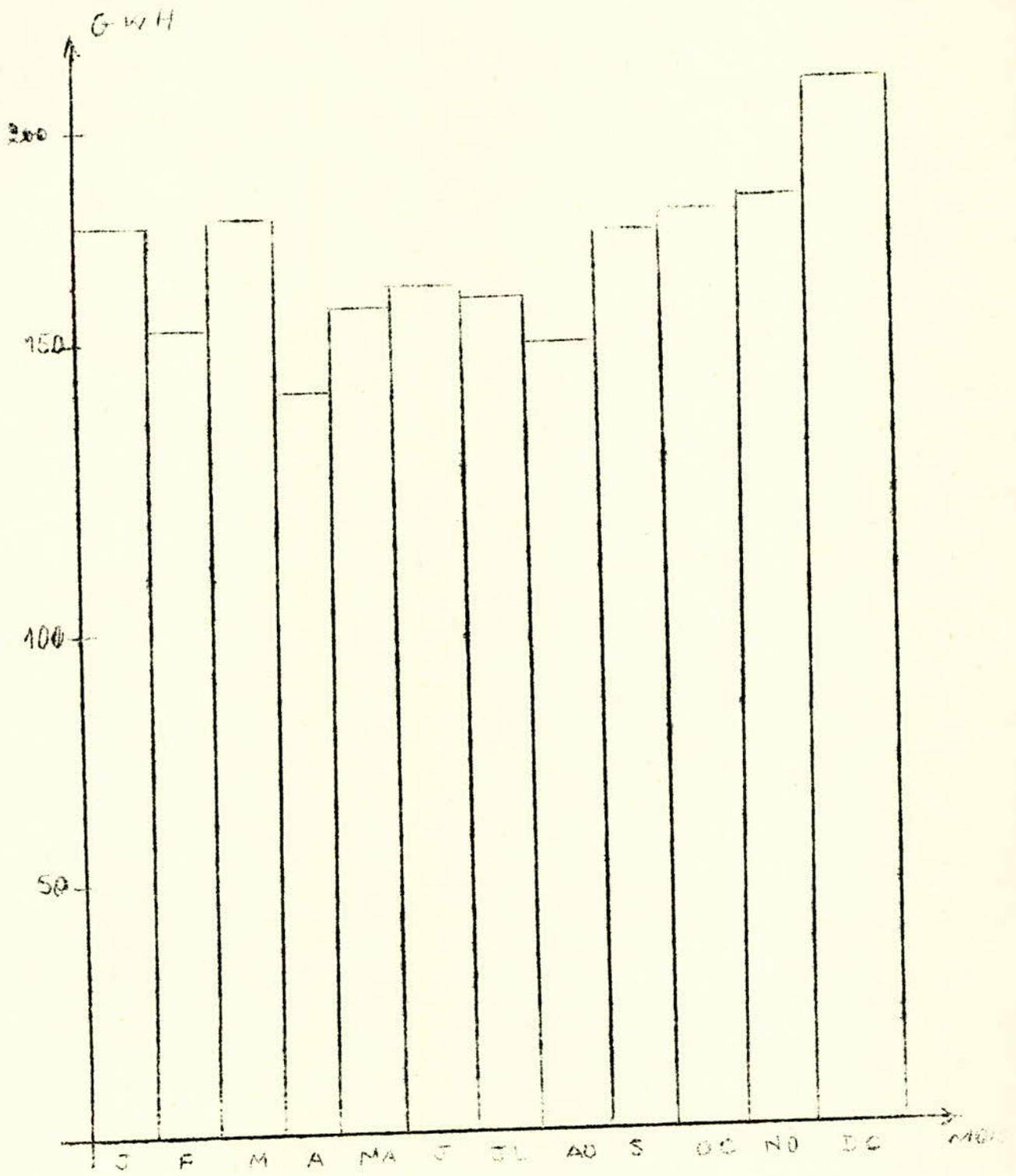
### I.23 / Creux de tension :

Causés par des perturbations ou coupures brèves du réseau d'une fraction de seconde à quelques secondes et d'amplitudes diverses.

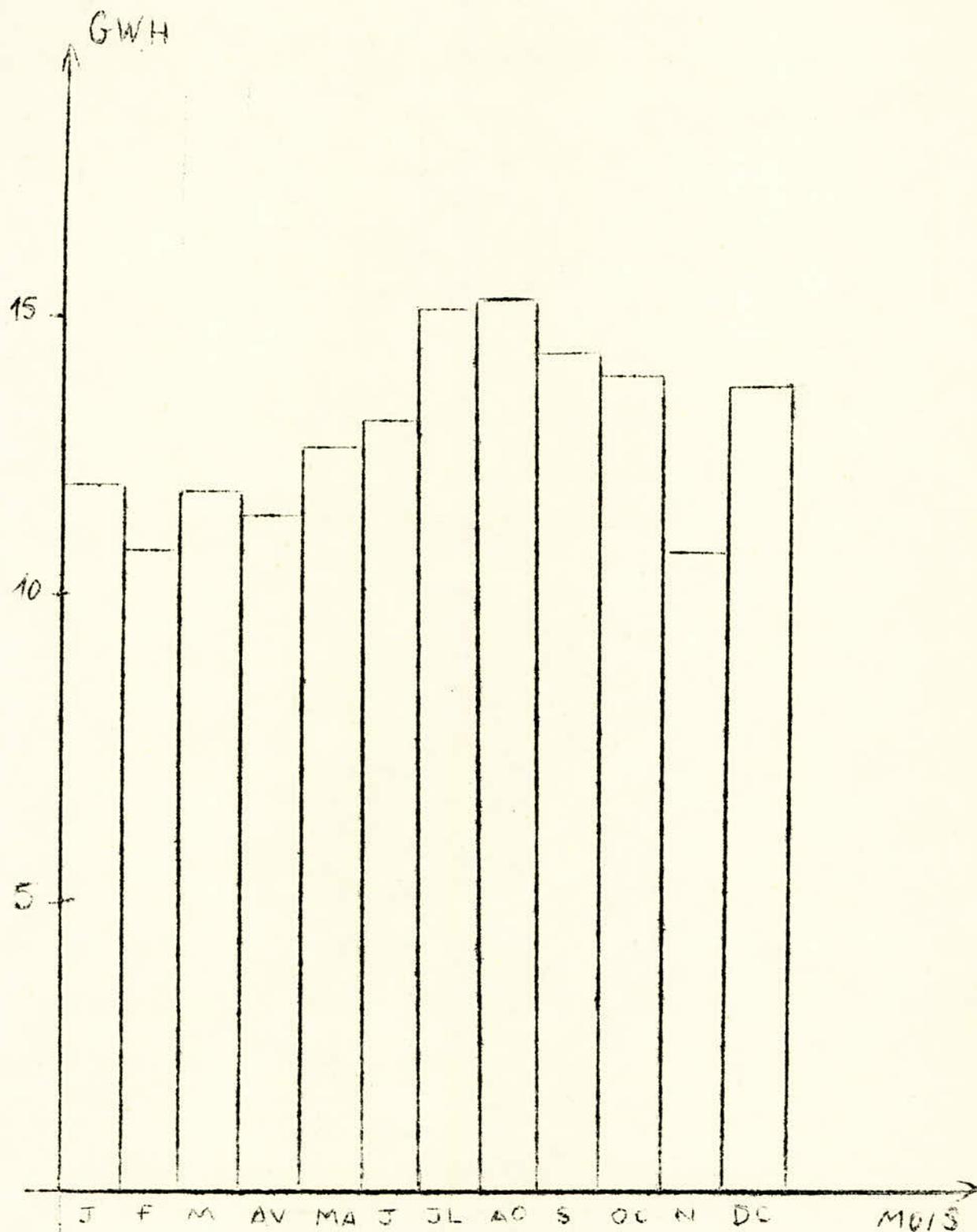
#### Remarque :

On peut faire varier la chute de tension  $U$  en jouant sur la puissance active  $P$  et sur la puissance réactive  $Q$ . (p. 104 et 105 Z.)

On peut aussi faire varier les schémas et ceci en modifiant la réactance  $X$  par l'insertion d'appareils sur la ligne (condensateurs, compensateurs synchrones, transformateurs survolteurs ou dévolteurs...)



Energie livrée par le réseau-NORD-  
-1973-



Energie livrée par les réseaux - SUD -  
- 1373 -

C H A P I T R E    I I    C O N S E Q U E N C E S   D E   L A   C H U T E   D E   T E N S I O N

-----

II.1 / Méthodes de réglages :

La chute de tension causée sur une ligne est :

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

$U_1$  étant fixé on a :  $U_2 = U_1 - \Delta U$

Pour une grande chute de tension on obtient une tension de fin de ligne faible.

Pour obtenir une tension de fin de ligne  $U_2$  convenable il faut diminuer la chute de tension et ceci par différents procédés de réglages.

On a plusieurs méthodes de réglage de la tension permettant d'obtenir une tension de fin de ligne convenable et pratiquement constante.

- Augmentation de la tension de départ  $U_1$
- Fourniture de la puissance réactive aux bornes des usagers
- Diminution de la réactance de la ligne.
- Réglage par tension additionnelle.

Il est possible de maintenir la tension d'arrivée  $U_2$  à une valeur déterminée quelquesoit la puissance transmise, en injectant une puissance réactive  $Q$  au réseau de transport quand la puissance active  $P$  reçue dépasse une certaine valeur au-dessous de laquelle il faut au contraire absorber cette puissance réactive  $Q$ .

Pour réduire l'importance des chutes de tensions  $U$  il faut éviter de transporter la puissance réactive ; ce transport surcharge les lignes et les appareils électriques dans la mesure du possible. la puissance réactive doit être produite à l'endroit où elle est consommée.

Le fait de contrôler la puissance réactive à l'arrivée de la ligne permet le réglage de la tension en ce point là.

Cette puissance réactive  $Q$  est appelée puissance de compensation.

## II.2 / Comportements des différents appareils :

Les différents types d'appareils sont sensibles aux fluctuations de tension dues aux chutes de tension.

Ces appareils fonctionnent tant que la tension d'alimentation reste dans une certaine plage autour de laquelle on a leur valeur nominale.

La sensibilité d'un appareil d'utilisation est caractérisée par l'indication de la largeur de cette plage.

Les écarts de tension par rapport à la valeur nominale ont des conséquences différentes en fonction de la position du point respectif.

En général on n'accepte que la tension optimale d'alimentation pour n'importe quel récepteur et ceci correspond à la tension nominale.

L'écart de tension par rapport à cette valeur va modifier le comportement des différents types d'appareils récepteurs (lampes à incandescence : cet écart entraîne la modification de la puissance absorbée  $P_n$ , du flux lumineux  $\phi$ , du rendement, et de la durée de vie en fonction de la tension d'alimentation).

voir figure 3

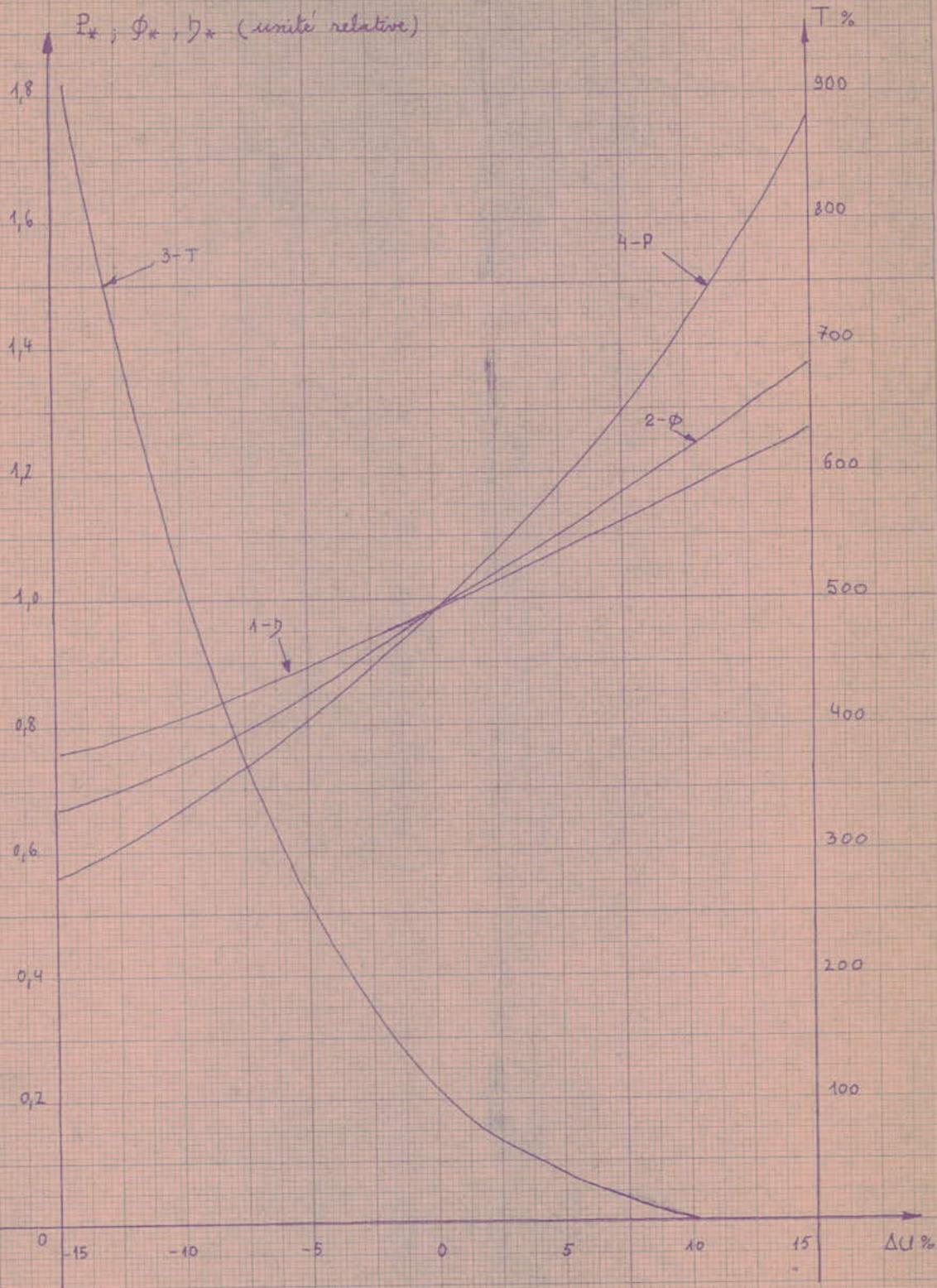
Si la tension d'alimentation est de 5% :  $\phi$  diminue de 18% et pour une diminution de 10% de la tension :  $\phi$  DIMINUE DE 30%.

La diminution du flux lumineux  $\phi$  entraîne la modification de la composition spectrale vers le rouge de la lumière qui diminue la qualité de production et la productivité du travail.

Il est vrai que la diminution de tension va augmenter la durée ; ainsi une réduction de la tension de 5% entraîne un accroissement double de la durée de vie et une réduction de 10% de tension entraîne un accroissement quadruple de la durée de vie.

En ce qui concerne les moteurs asynchrones qui sont les principaux consommateurs des forces, la diminution de la tension augmente le glissement qui va diminuer la vitesse donc la productivité de tous les mécanismes entraînés va décroître.

On sait que le couple actif des moteurs asynchrones est proportionnel au carré de la tension, une diminution de la tension va donc rendre plus difficile les conditions de démarrages.



\* fig. 3

Une réduction de 10% de la tension entraîne une réduction de 19% du couple actif, le glissement augmentera de 27,5% , le courant rotorique de 14% et le courant statorique de 10% .

L'augmentation du courant provoque l'augmentation de l'échauffement du moteur ainsi l'usure des isolations sera deux fois plus rapide qu'en régime normal.

voir figure 4 qui représente l'usure du moteur en fonction de l'écart de la chute de tension.

voir tableau 1 qui représente la modification des fonctionnement pour les principaux récepteurs à  $U = 85\% U_n$

### II.3 / Répercussions des à-coups de tension sur les usagers :

Les répercussions des à-coups de tension intéressent principalement les postes de raccordement des abonnés, les moteurs et machines qu'ils entraînent et enfin l'appareillage de commande.

#### II.31 / Usagers :

Les coupures momentanées provoquent une diminution de la tension d'alimentation. Pour éviter cela, on utilise un " relais à minimum de tension " .

Par contre une baisse de tension prolongée entraîne automatiquement des surintensités passagères qui peuvent avoir une action sur les protections des usagers. Pour y remédier un relais à "maximum de courant" est utilisé.

#### II.32 / Moteurs asynchrones :

Ils sont sensibles à la fois à la nature et à la durée de la baisse de tension, et de plus ils réagissent au retour de la tension normale.

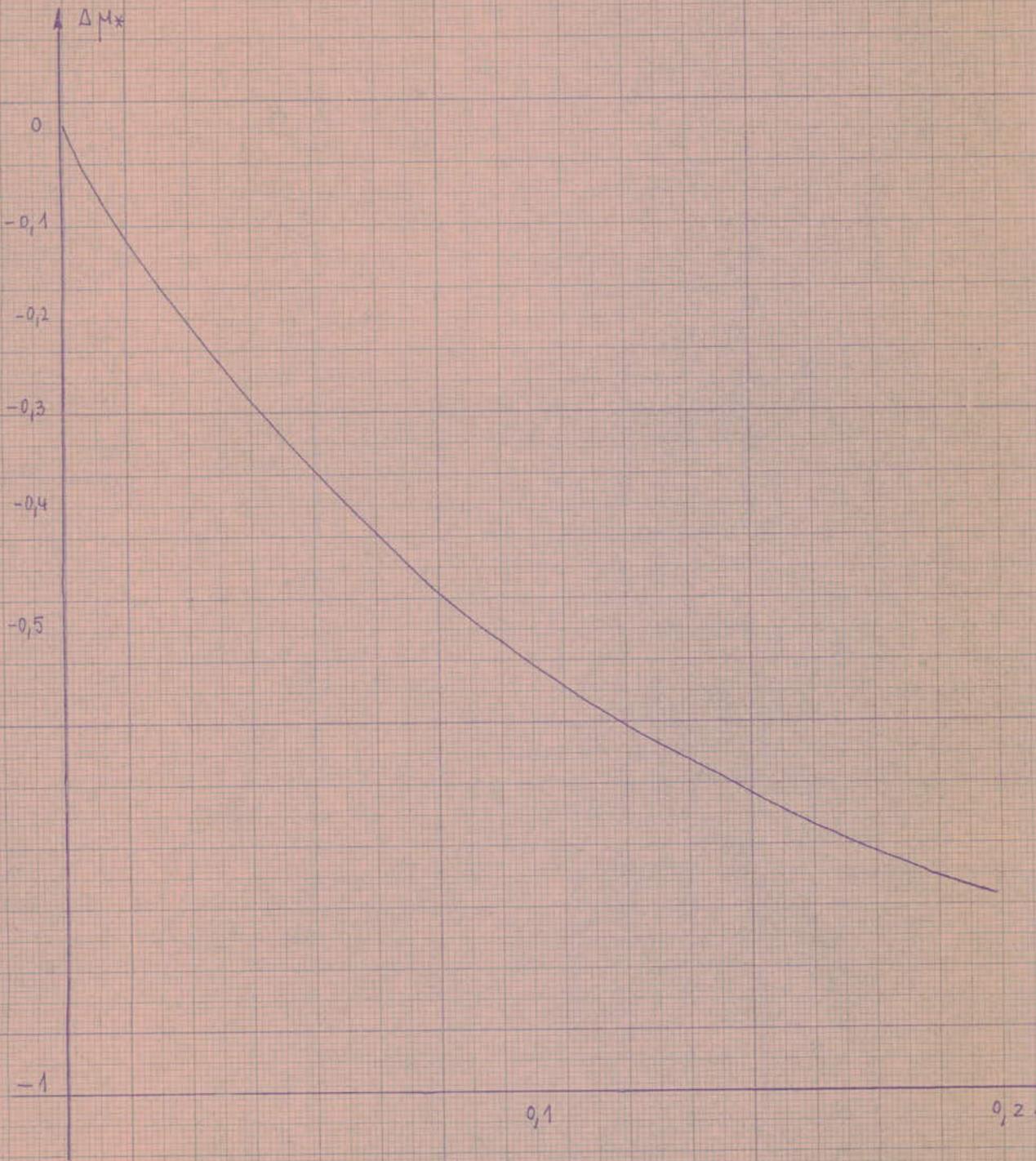
#### II. 321 . Influence de la nature de la diminution de la tension

S'il s'agit d'une de tension simultanée sur les trois phases le moteur ralentit plus ou moins rapidement en fonction des caractéristiques de la machine qui l'entraîne.

S'il s'agit d'une baisse de tension affectant une ou deux phases, le moteur ralentit, encore, mais plus lentement ; par contre, une surintensité importante se manifeste sur la ou les phases non affectées par la baisse de tension.

TABLEAU -1 -

RECEPTEUR	Courant $\Delta I$ %	Puissance $\Delta P$ %	Usure $\Delta T$ %	Vitesse $\Delta n$ %	Efficacité $e = \frac{1}{1-b}$ %	Flux lumineux $\Delta \phi$ %
moteur Asynchrone	+ 15	- 2	+450	0	-26	-
moteur Synchrone	+17,5	0	+ 645	0	-28	-
moteur série	- 10	-15 -24	-55	-12	-15	-
Transformateur	-15 -30	-12 -27	-56 -80	-	-3 -7	-
lampe fluorescente	-15	-18 -25	0	-	0	-15
lampe à incandescence	- 12	-25	-90	-	-28	-48



\* fig 4 (b)

## II. 322 . Influence de la durée de la baisse de la tension :

Les inconvénients cités ci-dessus s'aggravent de plus en plus en fonction de la durée de la diminution de la tension, le moteur asynchrone peut ralentir si la chute de tension se prolonge, la machine qu'il entraîne subit évidemment ses répercussions et la qualité de la production peut être affectée.

## II. 323 . Influence du retour de la tension :

a/ le moteur tourne encore :

Si le couple, à la vitesse existant au retour de la tension normale, est supérieure au couple résistant le moteur peut prendre progressivement sa vitesse, toutefois, une surintensité importante dont la valeur est liée au mode de construction du rotor prend naissance ; puis disparaît au bout de quelques secondes.

b/ Le moteur ne tourne plus :

Il tend alors à effectuer un démarrage avec le rotor en court circuit ; s'il a été prévu pour démarrer dans de telles conditions, tout se passe normalement ; dans le cas contraire, le moteur absorbe une intensité dangereuse et peut même ne pas démarrer.

## II.33 / Machines entraînées par des moteurs asynchrones :

Ces machines subissent le ralentissement ou l'arrêt de leurs moteurs d'entraînement.

Les répercussions résultant d'un tel état de fait constituent des cas d'espèce ; elles peuvent, en effet, porter sur la sécurité des machines ou sur la qualité de la production ou encore sur la possibilité de reprise de cette production au moment du retour de la tension normale ; un examen particulier doit être effectué dans chaque cas.

## II.34 / Contacteurs de commande de l'appareillage :

Les contacteurs de commande de l'appareillage sont insensibles aux à-coups de tension si leur alimentation est réalisée à partir du courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs.

Dans la plupart des cas cependant, c'est le courant alternatif du secteur qui les alimente ; la répercussion d'une baisse de tension sur les contacteurs consiste alors en un retour de ceux-ci à leur position de repos si la chute de tension sur la phase qui les alimente est assez marquée.

#### II.4 / Conclusion, Normes dans chaque pays :

La commission d'électrotechnique internationale (C.E.I.) recommande les variations de tension entre les limites :  $\pm 5\%$  .

Les prescriptions de la plupart des pays acceptent ces limites mais imposent assez souvent des conditions en fonction de la nature du consommateur, du type de réseau et des régimes de fonctionnement.

Voir tableau 2

L'intervalle optimale de la variation de tension est un problème technico-économique et dans la figure 5 on donne la caractéristique d'un point d'alimentation c'est à dire les pertes économiques dans un réseau radial en fonction de la tension du point.

Voir figure 5

Dans le cas des réseaux de transport les limites des variations de la tension sont en principe beaucoup plus grandes que pour les réseaux de distribution.

Pour l'établissement de la limite maximale dans ce cas il faut considérer les possibilités des isolations de l'équipement.

Les alternateurs et les compensateurs synchrones peuvent être chargés à la puissance nominale uniquement quand la tension est comprise entre  $\pm 5\%$  c'est à dire :

$$U = U_n \pm 5\% \cdot U_n$$

Les recommandations de la C.E.I. pour l'équipement avec une tension nominale jusqu'à 20 Kv, nous permet d'admettre une chute de tension nominale  $U_n$  jusqu'à 20%.

Aux bornes de l'entrée des transformateurs et des autotransformateurs on n'admet pas des variations plus grandes que 5% de la tension de plot de fonctionnement.

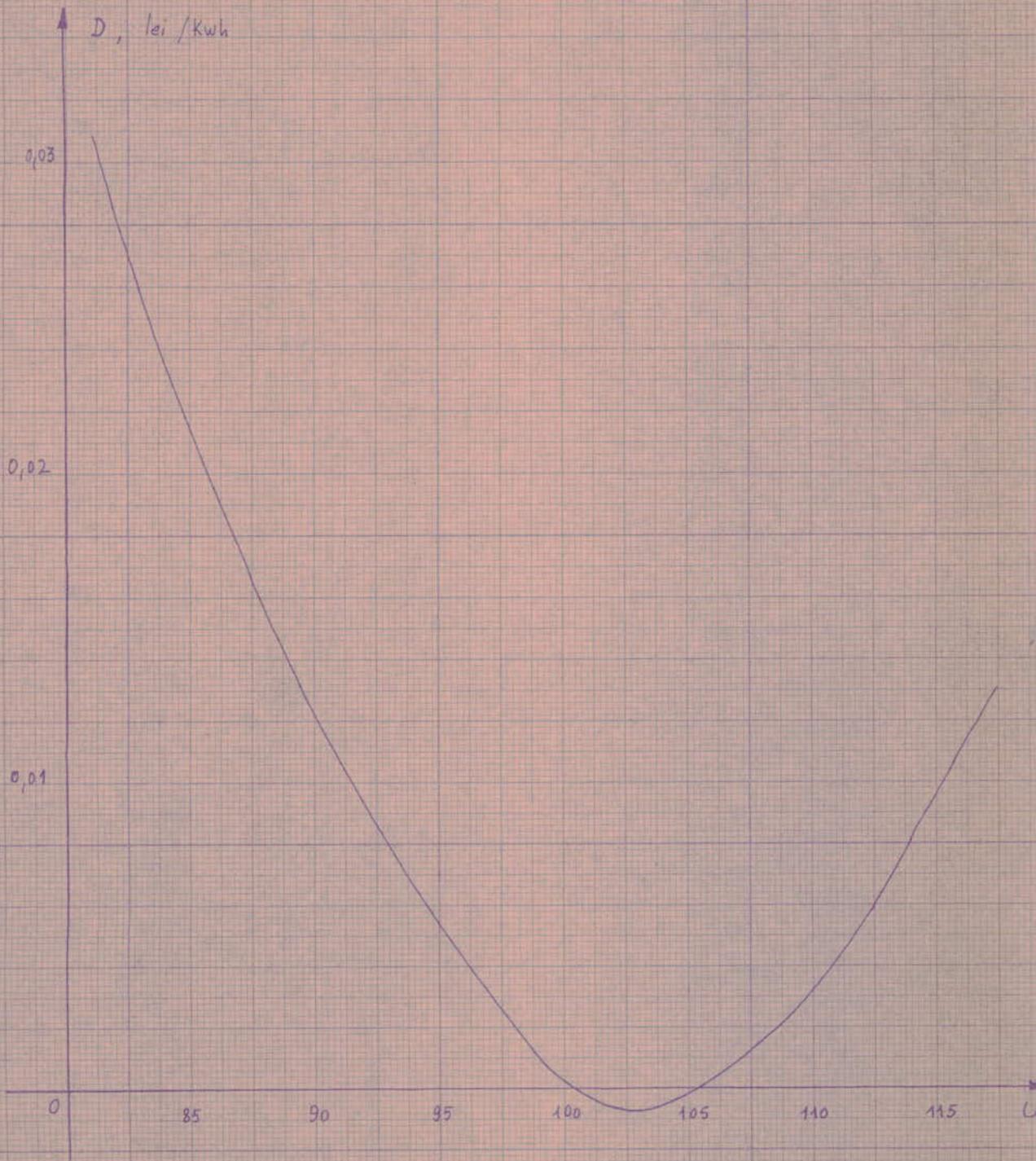
Dans la pratique le problème de réglage de la tension va se simplifier par la séparation des réseaux de transport et des réseaux de distribution.

On imposera une certaine chute de tension dans les réseaux afin de conserver les limites de variations acceptables dans chaque réseau.

Voir tableau 3

TABLEAU -2-

PAYS	LES LIMITES $\Delta$ u %	OBSERVATIONS
la plupart des pays -FRANCE-	$\pm 5\%$ Abonnés BT $\pm 5\%$ ..... $\pm 7\%$ .....  Abonnés MT $\pm 5\%$ ..... $\pm 7\%$ .....	...Réseau en câble. ...Agglomérations plus de 2.000 habitants avec L.E.A.  ... ...toléré
U.R.S.S.	$\pm 5\%$ $+ 7\%$ $\div$ $-10\%$ ..... $- 2,6\%$ $\div$ $+ 5\%$ ..... $-5\%$ $\div$ $+10\%$ .....	... Réseaux rureaux ... Eclairage des bâtiments Publics ... foteurs
U.S.A.	$5,8\%$ $\div$ $10,8\%$ ..... $4,18\%$ $\div$ $8,3\%$ .....	... Limites acceptables ... Limites recommandées.



\* fig: 5

TABLEAU - 3 -

CATEGORIE D'INSTALLATION	chute de tension admise %
1. Installation intérieure d'éclairage .....	. 3
2. Idem. puissance d'alimentation pour tout récepteur .....	. 5
3. Réseau extérieur rural BT en régime normale de fonctionnement .....	. 3 - 5
(puissance de réseau MT et HT se référer respectivement à la chute de tension admissible).	
4. Réseau de distribution en régime de fonctionnement normale .....	. 3 - 6
5. Réseau de distribution en régime d'avarie .....	. 6 - 12

Dans le tableau 3 on donne des chutes de tension admissibles dans le cas des réseaux de différentes tensions.

Ensuite on analysera la nécessité des caractéristiques et de l'endroit des emplacements des systèmes de réglages.

Ce procédé de calcul des réseaux est basé sur les chutes de tension admissibles est commode du point de vue de mise en projet mais, il ne conduit pas toujours aux conditions les plus économiques.

C H A P I T R E III : CALCUL DE RESEAU ELECTRIQUE DE  
DISTRIBUTION A PARTIR DES VARIATIONS DE TENSION

-----

La méthode de calcul basée sur les chutes de tension admissibles, est simple au point de vue calcul mais elle ne considère pas les possibilités de réglage. Pour considérer les dispositifs de réglage, il est nécessaire d'imposer les limites admissibles des variations de tension pour tous les consommateurs et de ne pas imposer la tension maximale admissible pour le réseau.

Si on est dans le cas de la figure 6, la condition citée ci-dessus va se traduire dans tous les régimes pour tous les consommateurs ; la tension ne doit pas dépasser les limites admises.

Cette vérification doit être faite pour la charge maximale et la charge minimale (25 % de la charge maximale).

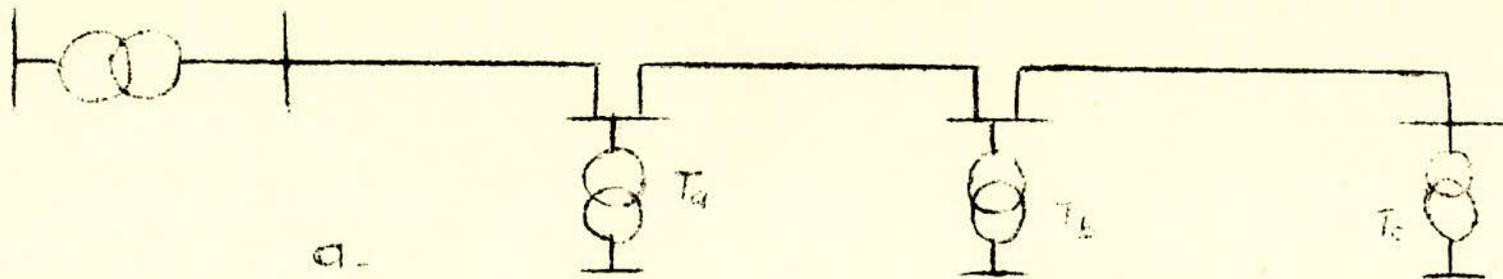
On note par  $\pm \Delta V$  les variations de tension admises aux consommateurs. Il est évident que la limite maximum sera atteinte dans le point le plus proche du transformateur dans le régime de la charge minimum et dans le régime de la charge maximum, la limite minimum se trouve dans le point le plus éloigné.

Pour effectuer un tel calcul, il est commode de dresser un tableau du type 7a (correspondant à la figure 7).

On suppose que, dans le point d'alimentation MA, on applique un réglage de tension dans le sens inverse (pour la charge maximum on augmente de 5% et pour la charge minimum on maintient la tension nominale du plot).

On adopte pour toutes les lignes une chute de tension de -5% et pour tous les transformateurs une chute de tension de -5%. On admet que tous les transformateurs ont une chute de tension fixée à +5% par plot.

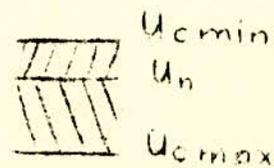
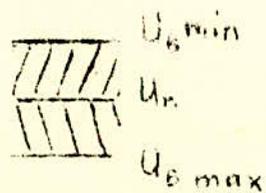
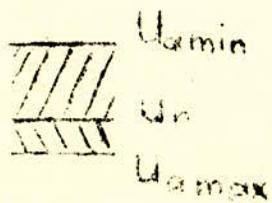
Fig. 6



a.

b.

c.



—  $U'_a \min$

—  $U_n$

—  $U'_a \max$

—  $U'_b \min$

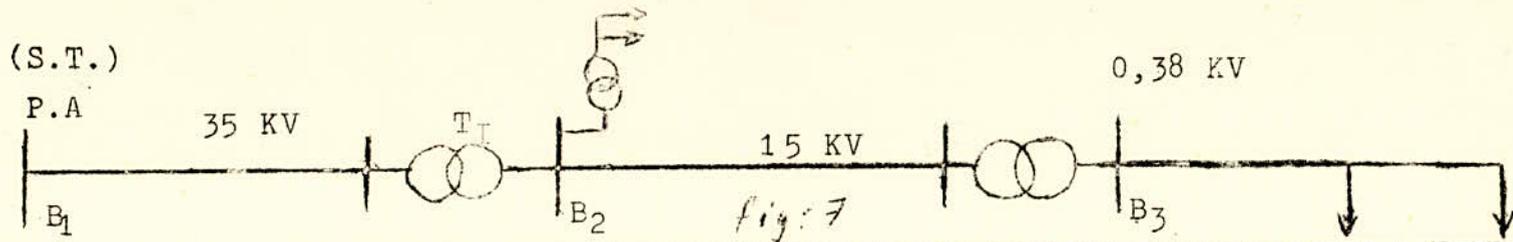
—  $U_n$

—  $U'_b \max$

—  $U'_c \min$

—  $U_n$

—  $U'_c \max$



Eléments de l'installation	VARIANTE -1-		VARIANTE -2-	
	Régime MAX I	Régime MIN I	Régime MAX I	Régime MIN I
1. Puissance d'alimentation	$\Delta E_{PA} = +5\%$	$\Delta E_{PA} = 0\%$	$\Delta E_{PA} = +5\%$	$\Delta E_{PA} = 0\%$
2. Ligne 35 KV	$\Delta U_L = -5\%$	$\Delta U_L = 1,25\%$	$\Delta U_L = -5\%$	$\Delta U_L = 1,25\%$
3. Transformateur T <sub>I</sub> - supérieure - pertes	$\Delta E_{T1} = 5\%$ $\Delta U_{T1} = -5\%$	$\Delta E_{T1} = 10\%$ $\Delta U_{T1} = -1,25\%$	$\Delta E_{T1} = -5\%$ $\Delta U_{T1} = -5\%$	$\Delta E_{T1} = 10\%$ $\Delta U_{T1} = -1,25\%$
4. Ligne 15 KV	$\Delta U_{L2} = -5\%$	$\Delta U_{L2} = -1,25\%$	$\Delta U_{L2} = -7,5\%$	$\Delta U_{L2} = -2\%$
5. Transformateur T <sub>2</sub> - supérieures - pertes - jeu de barre B <sub>3</sub>	$\Delta E_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = -5\%$ $\Delta U_{T2} = -5\%$	$\Delta E_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = -1,25\%$ $\Delta U_{T2} = -2,5\%$	$\Delta E_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = -5\%$	$\Delta E_{T2} = +5\%$ $\Delta U_{T2} = -5\%$ $\Delta U_{T2} = +5\%$
6. Ligne 0,38 KV	- 5 %	-	- 7,5 %	-
Dernier consommateur	- 10 %	-	- 10 %	-

Le tableau a été complété par une deuxième variante pour laquelle on a changé le plot.

Dans la première variante la chute de tension ne dépasse pas les limites admises ; si on a adopté d'autres plots pour le transformateur -par exemple le plot pour +10% du transformateur  $T_1$  (variante 2)- alors on peut calculer les lignes à une chute de tension plus grande de 5% que pour le cas précédent.

En ce qui concerne la manière de répartir le surplus de gain entre l'échelon 2 et 3, il faut considérer aussi le volume du matériel conducteur qui va se réduire.

Le calcul des réseaux à partir des variations admissibles de tension permet la solution à un grand nombre de problèmes concernant la mise en projet et l'exploitation des réseaux.

Ce calcul est basé sur le diagramme généralisé qui est conçu dans les hypothèses suivantes :

1°) Pour tous les consommateurs on admet la même variation de tension maximum.

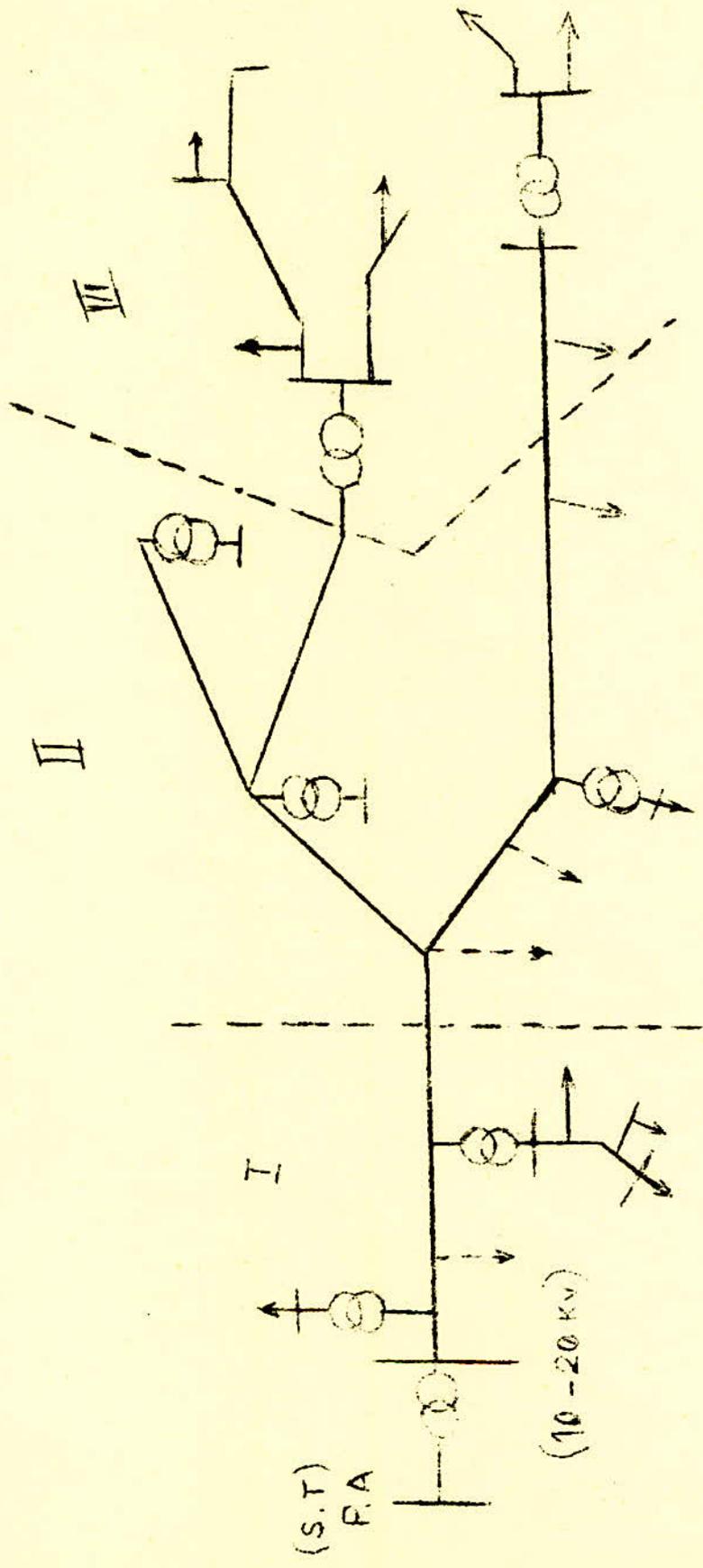
2°) La chute de tension à partir du point d'alimentation PA jusqu'au dernier consommateur varie proportionnellement avec la distance.

3°) Les conditions les plus défavorables sont considérées dans le régime de la charge maximum pour le consommateur le plus éloigné et dans le régime de la charge minimum pour le consommateur le plus proche.

Pour illustrer ceci on considère le réseau de la figure 8 avec le réglage en charge dans le point d'alimentation PA. Tous les transformateurs ont trois plots fixes et le réseau BT est à 380 Volts.

Pour la construction du diagramme on considère un système rectangulaire ayant en ordonnée les variations de tension  $V'$  dans le régime de la charge maximum et en abscisse  $V''$  dans le régime de la charge minimum.

Fig 8



Done en connaissant les variations de la tension dans tous les points des lignes ET dans les deux régimes (maximum et minimum), on peut déterminer la position du point respectif sur le diagramme de la figure 9.

Conformément à l'hypothèse que la tension au long d'une ligne va varier linéairement, tous les régimes de tension pour tous les points qui appartiennent à une ligne (ET) se trouve sur la droite AB.

Les points ActB correspondent aux régimes des tensions pour les points les plus rapprochés et respectivement les plus éloignés du point d'alimentation PA.

La chute de tension maximum sur la ligne sera  $\Delta U'$  et  $\lambda_2$  la pente de la droite AB.

Si on connaît les variations maximum et minimum de la tension admissible (par exemple -10% et +10%), on peut alors construire un carré qui délimite la zone du régime de la tension admissible ; donc tous les points de la droite AB se trouve à l'intérieur du carré A'B'C'D' ce qui donne à tous les usagers un bon régime du point de vue de la tension.

Si on désire considérer l'influence du transformateur, on doit ajouter les chutes de tension  $\Delta U_T$  et le gain du transformateur introduit et ceci en fonction de la position du plot.

La valeur relative de la variation de la tension  $V_I$  aux bornes de l'entrée du transformateur en fonction de celle de la sortie  $V_{II}$  sera déterminée avec la relation :

$$V_I = V_{II} - \Delta E + \Delta U_T$$

$$\text{où } V_{II} = V_I + \Delta E - \Delta U_T$$

$\Delta E$  = gain de la tension introduite à l'aide des plots.

Les chutes de tension, dans le transformateur, sont prises en considération en déplaçant les axes de coordonnées (fig. 9) à gauche et en bas respectivement avec  $\Delta U_T^u$  et  $\Delta U_T^l$ .

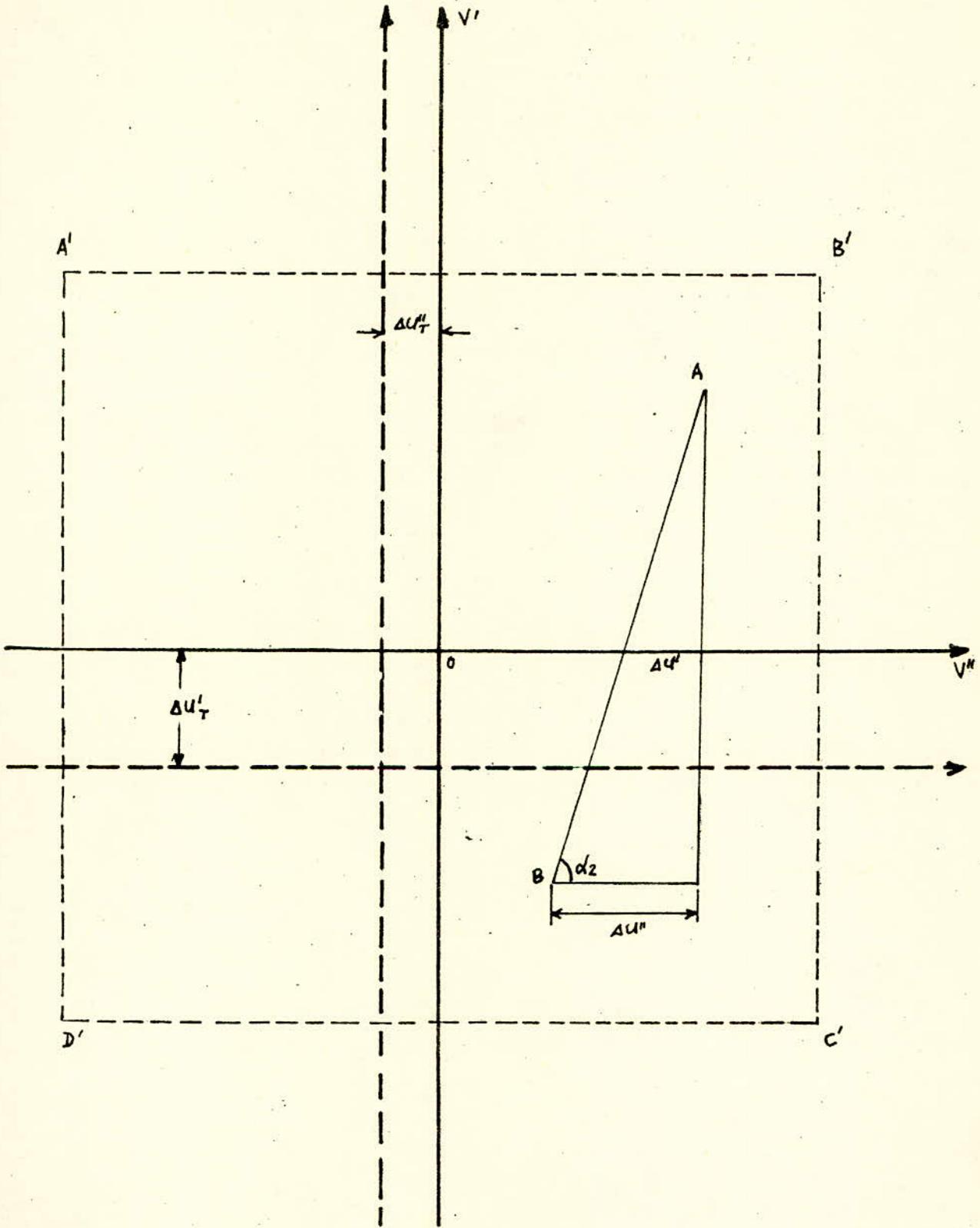


fig.9

En déplaçant les axes on doit rapporter le régime de la tension vers la partie moyenne tension (MT) du transformateur, mais pour le coefficient de transformation qui est déterminé en unité relative, égale à  $U_n$  ; c'est à dire aux branchements du transformateur sur le plot +5% (quand  $\Delta E = 0$ ).

Si on utilise d'autres plots il faut considérer  $\Delta E$  ( $\Delta E \neq 0$ ). Graphiquement cette tension supplémentaire est considérée par le déplacement de tout le carré A'B'C'D' en bas et à gauche avec la même quantité  $\Delta E$  comme dans la figure 10 pour le cas du transformateur à trois prises (celles de 0%, 5% et 10%).

Donc ce diagramme va déterminer le régime admissible des tensions de tous les réseaux BT des transformateurs branchés sur la MT et alimentés du poste de transformation, ceci en considérant l'influence des transformateurs.

Le régime des tensions au long du réseaux HT est donné par une droite de la même manière que pour les réseaux BT.

Bien sur, cette droite peut avoir une autre pente (fig 10). Le régime des tensions est admissible (pour les réseaux BT et MT) si les droites qui représentent ce dernier sont contenues à l'intérieur des carrés.

On admet qu'à l'extérieur du carré il n'y a pas de postes de transformation c'est à dire la partie de la ligne MT en dehors du carré, est dépourvue de postes de transformation.

Ce diagramme donne la solution des problèmes suivants :

- ‡ Détermination de  $\Delta U_{\text{max.admissible}}$  dans les réseaux BT et MT.
- ‡ Détermination des positions optimales des prises pour tous les postes de transformation.
- ‡ Etablissement de la loi de réglage de tension au début du réseau MT.
- ‡ Détermination des conditions pour le réglage dans la ligne HT.

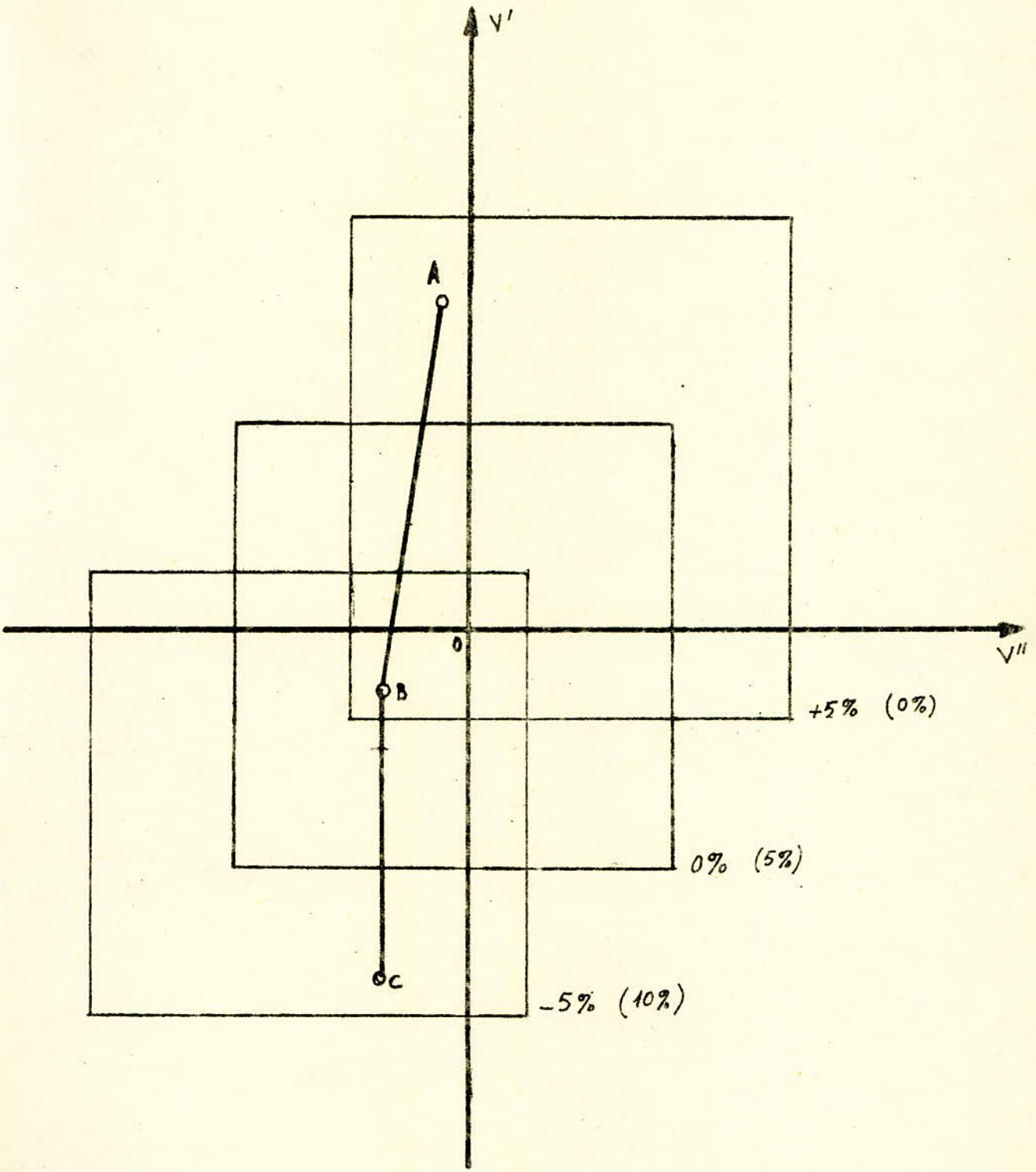


Fig: 10

A titre illustratif on a la figure 8. Dans la figure 8 on a des spécifications supplémentaires :

1°)  $\Delta U_{adm.}$  chez les consommateurs = 7,5% et -10%

2°) La chute de tension dans les transformateurs est :

$$\Delta U_T^I = 5\% , \text{ pour le régime de la charge maximale.}$$

$$\Delta U_T^{II} = 1,25\% , \text{ pour le régime de la charge minimale.}$$

3°) La pente de la droite pour les régimes MT et BT est la même.

4°) La zone d'insensibilité du dispositif due au réglage est de 1;5%.

Voir figure 12.

Dans cette figure le point A représente le régime de tension pour l'usager le plus approché du poste de transformation du réseau BT du poste le plus approché du point d'alimentation, le point B représente le régime de tension pour le point le plus éloigné du réseau BT avec la condition :

$$\Delta U_{max.adm.} (\text{dans le réseau BT}) = 15\%$$

Pour un poste de transformation branché sur la moyenne tension (MT) dans un point pour  $\Delta U_{MT}$  inférieure à 5% on voit que il ne faut pas dépasser le premier carré et pour une chute de tension totale MT et BT inférieure (ou égale) à 15% :

$$\Delta U_{MT} \leq 5\%$$

$$\Delta U_{BT} = -10\%$$

De même il résulte, pour les autres transformateurs branchés sur la MT dans des plots où  $\Delta U_{MT} \leq 10\%$ , qu'il ne faut pas utiliser le troisième plot du transformateur.

Pour le cas analysé on distingue trois zones de réglage dans la MT :

- Zone I :  $0 \leq \Delta U_{MT} \leq 5\%$

- Zone II :  $5\% \leq \Delta U_{MT} \leq 10\%$

- Zone III :  $10\% \leq \Delta U_{MT} \leq 10\% + \Delta U_{j_M}$

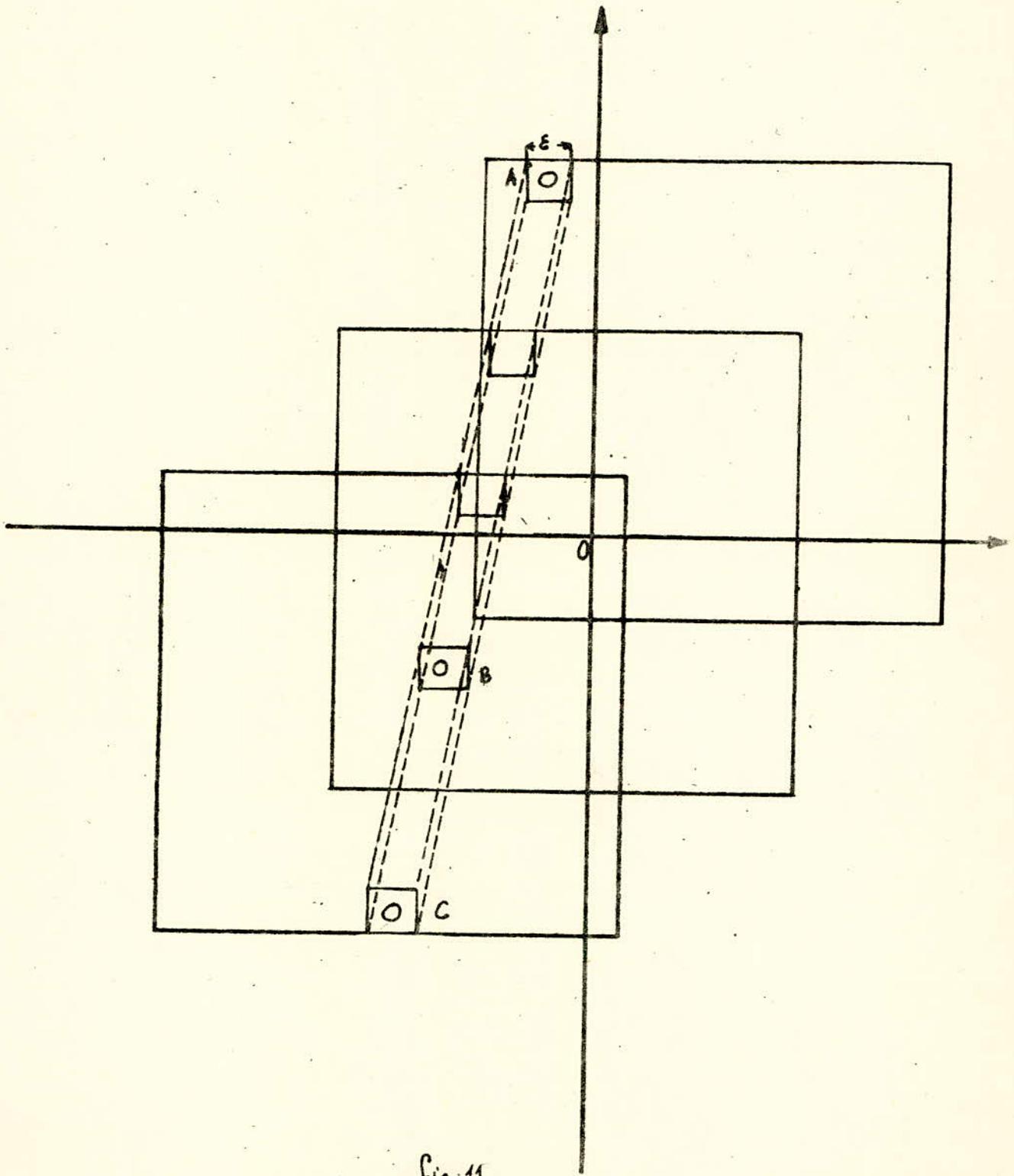
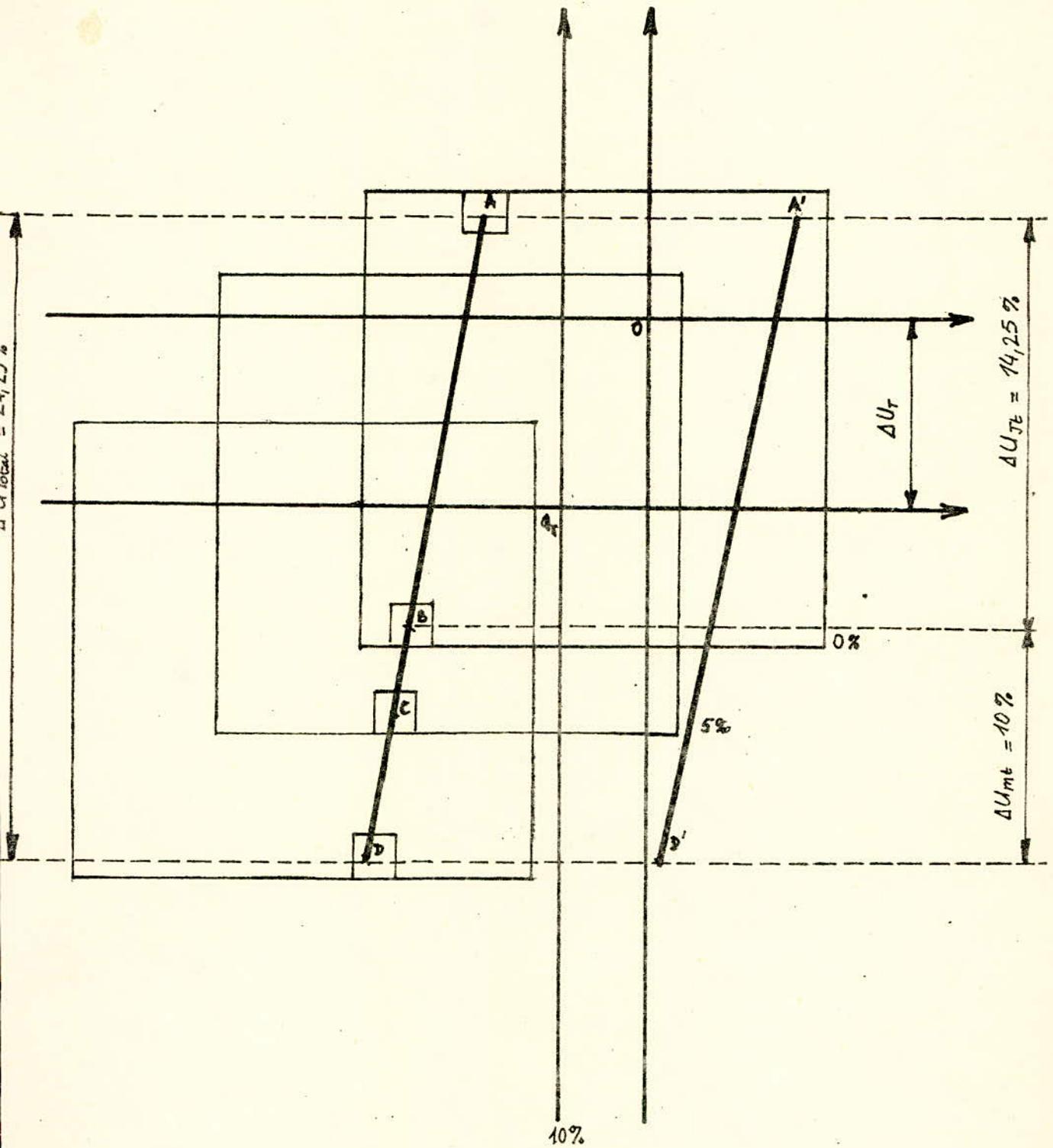


fig: 11



\* fig 12

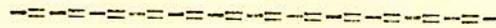
$U_{iM}$  : c'est la partie de la chute de tension du réseau BT dans le but de prolonger le réseau MT.

Le nombre de zones est égal au nombre de plots et le plot optimal correspond : à la position qui a le même numéro d'ordre que la zone dans laquelle se trouve le transformateur.

Remarque :

Dans la zone (1) la tension est déjà élevée à cause du PA ; on met toujours soit le plot 0, soit le plot 1 .

C H A P I T R E IV : METHODES DE REGLAGE DE LA TENSION



IV.1 / Réglage par tension additionnelle :

Lorsque le coefficient  $\frac{\partial Q}{\partial U}$  est très élevé et en général toutes les fois qu'il n'est pas justifié d'avoir recours à un compensateur synchrone, on peut régler la tension en un point en y injectant une tension variable en phase avec la tension du point considéré.

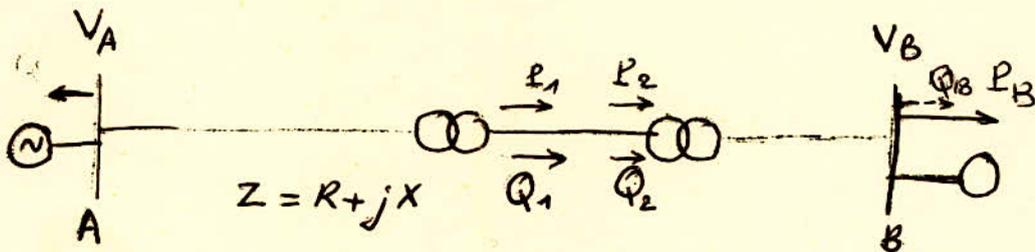
Cette injection n'est pas génératrice de puissance réactive  $Q$  mais elle modifie la répartition initiale de ces puissances.

La tension additionnelle peut être par n'importe quel appareil survolteur-dévolteur, régulateur d'induction double, transformateur à rapport de transformation variable en charge...

IV.2 / Réglage par la puissance réactive :

On détermine la puissance réactive  $Q$  nécessaire au réglage de tension.

Soit le réseau radial suivant :



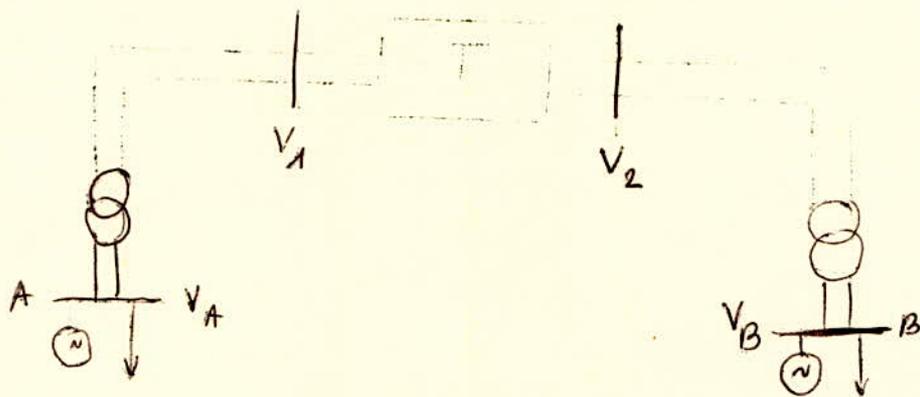
$$Q_2 = \frac{U_2 \cdot \Delta U - P_2 \cdot R}{X}$$

On voit que le contrôle de la puissance réactive  $Q$  à l'arrivée de la ligne permet le réglage de la tension  $U_2$ .

Ce controle se fait évidemment en agissant sur la production de la puissance réactive  $Q$  à la fin de la ligne.

Cette méthode repose sur la possibilité de produire ou d'absorber la puissance réactive en un certain point du réseau.

Soit le schéma :



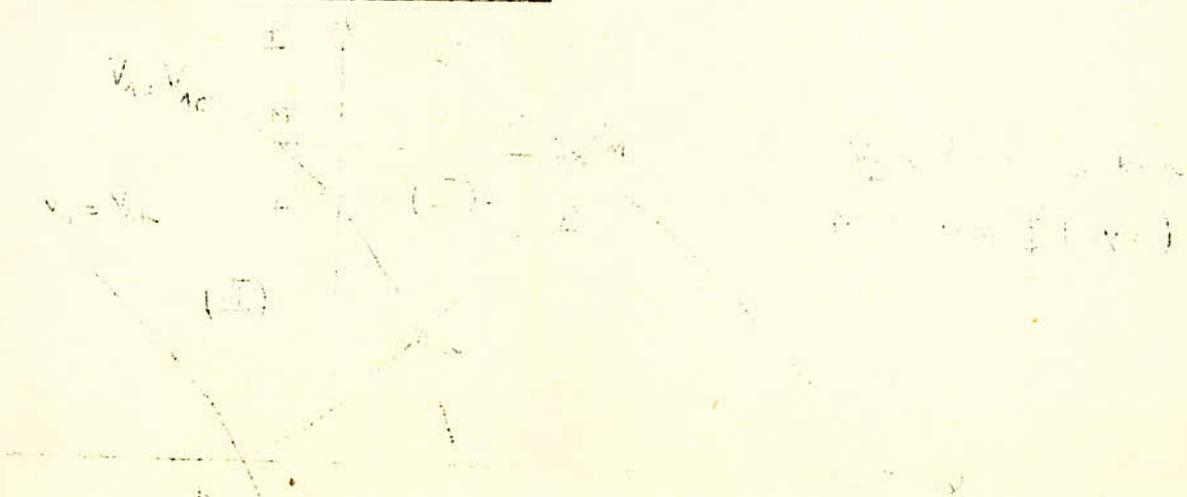
où l'on a les hypothèses suivantes :

• Les lignes et les transformateurs sont assimilables à un quadripole T .

•  $V_A$  et  $V_B$  sont constantes quelque soit les puissances transitées. Il en est de même pour  $V_1$  et  $V_2$  à l'entrée et à la sortie de T.

• La chute de tension entre les bornes de T doit rester constante.

Diagramme du quadripole T :



Partie I : il faut injecter dans le réseau Q en branchant en dérivation un condensateur à l'extrémité réceptrice.

Partie II : il faut absorber Q par l'intermédiaire d'une bobine de self induction.

Remarque :

-On remarque que P, Q et U sont liés par une équation :

$$f(P, Q, U) = 0$$

-Pour une puissance P donnée, toute variation de Q est équivalente à une variation de U.

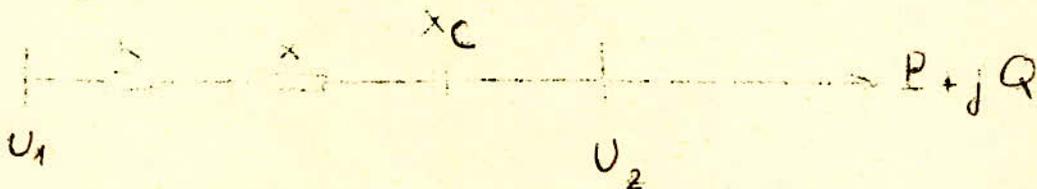
- Il est possible de maintenir la tension  $U_2$  à une valeur déterminée quelque soit la puissance transportée, en injectant de la puissance réactive Q.

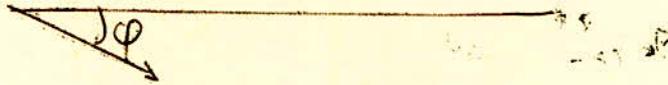
-Dispositifs correspondant de réglage de la tension par cette méthode : Compensateur synchrone- Condensateurs- Bobine de Réactance

VI. 3 / Réglage par la réactance :

Ce réglage est obtenu en intercalant un condensateur de capacité C en série avec la ligne de réactance X, on peut donner à la réactance résultante :  $(X - \frac{1}{C\omega})$  une valeur positive, nulle ou même négative.

Si  $X - \frac{1}{C\omega} = 0$  ceci entraîne que la chute de tension se réduit à la chute ohmique qui est très faible dans les réseaux de transport.





Ce mode de réglage modifie aussi la phase de transmission:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{X - \frac{1}{Cw}}{R} \quad \text{et} \quad \Delta U = \frac{P \cdot R + Q(X - X_c)}{U_2}$$

#### IV.4 / Réglage par augmentation de la tension de départ :

Pour régler la tension par cette méthode on utilise des transformateurs à rapport de transformation variable placés au départ de la ligne. Ce réglage se fait en général en charge et ceci afin de permettre la régularité du service.

Dans d'autres cas, on a besoin d'une tension progressivement croissante par les essais des machines ou de l'appareillage des installations HT, pour les essais des câbles de réseaux etc... épreuves que doit subir tout nouvel équipement avant sa mise en service normal; Le régulateur à induction peut être utilisé dans ce but.

Comme dispositif on pourra utiliser :

- Des transformateurs avec réglage en charge.
- Des transformateurs à plusieurs noyaux.

## C H A P I T R E V : REGLAGE M.T. ET REGULATEUR DE TENSION

-----

Le réglage de la tension peut s'effectuer en tout point du réseau pourvu d'un dispositif de réglage MT ; un tel point est désigné par "point de réglage MT".

Pour effectuer le réglage, on ne devra pas modifier le schéma du réseau pendant la durée des mesures.

V.1 / Méthode de réglage de la tension MT dans le cas où le réseau MT ne comporte qu'un seul point de réglage :

V.1.1 / Méthode directe :

Elle comporte différentes opérations :

V. 1.1.1 . Définition et choix des points caractéristiques :

a/ définition :

Considérons un réseau MT formé d'un certain nombre de départs issus d'un poste HT/MT.

Sur chaque départ MT on choisit un point  $P_j$  appelé "point caractéristique" parce que sa tension représente le mieux possible la tension de l'ensemble du départ.

A chaque point caractéristique  $P_j$  correspond un instant donné une tension  $V_j$ .

b/ choix :

On considèrera pour cela deux cas :

b-1 : Si le départ MT ne comporte pas de charge concentrée supérieure ou égale à la moitié de sa charge totale ; théoriquement le point caractéristique se trouve à 40% de la charge prise par le départ : pour cela c'est le poste MT/BT le plus proche de ce

point théorique qui sera obtenu.

b-2 : Si le départ MT comporte une charge concentrée supérieure ou égale à la charge totale ; on définit un premier point caractéristique auxiliaire en faisant abstraction de la charge concentrée.

c/ détermination théorique du point caractéristique :

Considérons une ligne de longueur L et dont la charge est uniformément répartie :



Le point caractéristique est définie par l'expression :

$$\Delta U_c = \sum_j \frac{\bar{P}_j \cdot U_j}{\bar{P}}$$

Comme la charge est uniforme on peut écrire :

$$(1) \quad \Delta U_c = \frac{\int_0^L U_x \cdot dP_x}{P}$$

$\Delta U_x$  représente la chute de tension entre l'origine de la ligne et le point d'abscisse x.

$\Delta P_x$  représente la puissance ponctuelle consommée par un utilisateur placé à la distance x .

P : puissance totale transitée par la ligne au point 0 .

Soit x un point quelconque /

$$P_x = p_0 (L - x)$$

avec  $p_0 = \frac{dP}{dx} = \frac{P}{L}$  = puissance linéique.

La chute de tension pour une distance dx est :

$$d U_x = \frac{R_x P_x}{U_n} \quad (\text{on néglige la puissance réactive } Q)$$

$R_x$  représente la résistance relative à dx :

$$R_x = k' dx$$

donc  $dU_x = \frac{k' p_0}{U_n} (L - x) dx = k p_0 (1 - x) dx$

Pour un point situé à une distance  $x$  on a :

$$(2) \Delta U_x = k p_0 (L - x) dx = k p_0 (Lx - \frac{x^2}{2})$$

En remplaçant dans (1)  $dp_x$  par  $p_0 dx$  :

$$\Delta U_c = \frac{k p_0^2}{\rho_0 L} \int_0^L (Lx - x^2/2) dx \quad \text{soit}$$

$$(3) \Delta U_c = k p_0 \frac{L^2}{3}$$

La chute de tension caractérisée peut aussi s'écrire en supposant qu'elle est prise à une distance  $l_c$  de l'origine de la ligne ;

en utilisant (2) on a :

$$(4) \Delta U_c = k p_0 (L l_c - \frac{l_c^2}{2})$$

En identifiant (3) et (4) on obtient :

$$(3l_c^2 - 6Ll_c + 2L^2) = 0$$

C'est une équation du second degré, sa résolution donne :

$$l_c = 0,42L$$

Le point caractéristique est situé de l'origine de la ligne à environ 40% de sa longueur totale.

#### V. 112 . Mesures :

Les mesures de puissance et de tension à entreprendre doivent être simultanées (ne jamais concerné le Samedi, Dimanche ou jours fériés). Leur durée minimum devra être de 24 heures.

- Mesures de puissances traversant le transformateur HT/MT

Cette mesure s'effectue à l'aide d'un wattmètre installé au poste HT/MT.

- Mesure de tension aux points de réglage et aux points caractéristiques. Cette mesure permet de définir la valeur moyenne  $\bar{V}_f$  des écarts relatifs de la chute de tension fictive.

V. 113 . Calcul du réglage :

Le réglage de la tension en fonction de la charge active seule est parfaitement déterminé.

Pour ce calcul du réglage on aura différentes opérations à effectuer :

a/ relevé annuel de consommation relatif à chaque commune et à chaque abonné MT :

Les consommations de l'année écoulée, groupées par départ MT et divisées par 8760 = 365.24 donnent les valeurs des puissances actives moyennes. ( $\bar{P}_j$ ) annuelles relatives à chacun de ces départ.

b/ détermination du coefficient de pondération de chaque départ :

Ce coefficient est défini par le rapport :

$$\alpha_j = \frac{P_j}{\sum \bar{P}_j}$$

c/ relevé des intensités de pointes :

$$\alpha_j = \frac{I_j}{\sum I_j} \quad \text{avec } I_j = \text{intensité de chaque départ MT .}$$

d/ exploitation de la bande du wattmètre enregistreur :

On relève les puissances instantanées pendant 24 heures et ceci toutes les demi-heures. Ce qui permet d'obtenir  $24.2 = 48$  valeurs.

La puissance active moyenne traversant le transformateur sera définie par :

$$\bar{P}(M_w) = K. \frac{\sum P_i}{48} . 10^{-6}$$

K : coefficient

Ce coefficient représente le produit des rapports des TC et des TT ayant servi à l'alimentation du wattmètre.

Le carré de l'écart-type des puissances instantannées  $P_i$  sera :

$$\sigma_p^2 = \overline{P^2} - (\overline{P})^2 \quad (Mw^2)$$

On pourra élaborer le tableau suivant :

Heure	Point caractéristique	Barre MT	Point caractéristique
10h			
11h			
12h			
13h			
14h			
15h			
16h			
17h			
18h			
19h			
20h			
21h			
22h			
23h			
24h			

e/ Exploitation des bandes formées par le Voltmètre enregistreur :

Pour faire cette mesure il faudrait qu'il y ait concordance de l'heure sur les différentes bandes.

Les à-coups de tension consécutifs à des incidents sur le réseau HT et enregistrés d'une manière comparable sur toutes les bandes peuvent servir de repère.

L'écart relatif de la chute de tension  $v_{ji}^*$  existant entre le jeu de barre MT et le point caractéristique :

$$v_{ji}^* = v_{bi} - v_{ji}$$

L'écart relatif de la chute de tension fictive :

$$v_{fi}^* = \sum_j \alpha_j \cdot v_{ji}^*$$

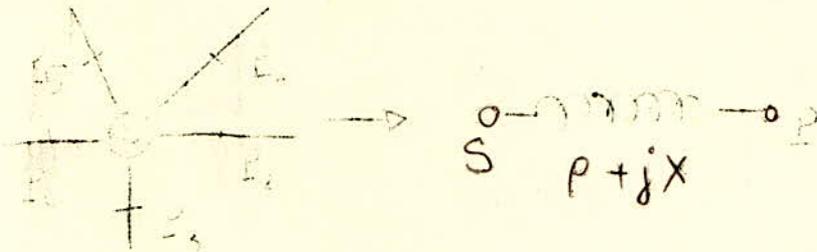
Valeur moyenne des écarts relatifs de chute de tension :

$$v_f^* = \frac{1}{48} v_{fi}^*$$

Heure	Point caractéristique	Barre MT	Point caractéristique
10h			
11h			
12h			
13h			
14h			
15h			
16h			
17h			
18h			
19h			
20h			
21h			
22h			
23h			
24h			

f/ détermination de  $\rho$  et  $v_0$  :

étant la résistance fictive de la ligne



on a :

$$\overline{v_f} \cdot \overline{I} = \frac{K}{43} \sum v_{fi}^* \cdot P_i \cdot 10^{-6}$$

Receve	$P_i$	$v_{fi}^*$	$v_{fi} \cdot P_i$
	$\overline{P}$	$\overline{v_f}^*$	$\sum v_{fi} \cdot P_i$
$\overline{v_f} \cdot \overline{I} = \frac{K}{43} \sum v_{fi}^* \cdot P_i \cdot 10^{-6}$			
$\overline{v_f} \cdot \overline{I} - \overline{v_f}^* \cdot \overline{P} = \dots \times 10^6$			

Connaissant  $\overline{v_f} \cdot \overline{I} - \overline{v_f}^* \cdot \overline{P}$  on aura donc :

$$\text{et } \overline{v_0} = \overline{v_f} - 100 \frac{\overline{P}}{3Vn}$$

avec  $Vn$  = tension simple du réseau en Kv

$\overline{v_f}$  = valeur moyenne de la chute de tension relative de la tension fictive en %.

$\overline{P}$  = puissance active moyenne en Mw et  $\overline{v_p}$  = écart-type de puissance active en Mw.

V.114 . Application du réglage :

Le calcul du réglage a permis donc de connaître  $v_0$  . Pour les mettre en pratique, il faut connaître les caractéristiques du transformateur de courant et de tension servant à établir la liaison d'une part le réseau MT et d'autre le régulateur d'induction et le dispositif de compoundage.

si:  $\alpha$  = rapport de transformation de tension

$\beta$  = rapport de transformation global de courant des TC principaux et auxiliaire.

La valeur du compoundage à afficher sur le rhéostat de réglage est :

$$t_c = \sqrt{3} \cdot \frac{\beta}{\alpha} \rho \quad \text{en \%}$$

et  $R_c = \frac{\beta}{\alpha} \rho \quad \text{en } \Omega$

$\bar{v}_0$  permet de rendre la tension moyenne du réseau égale à la tension nominale. Il suffit pour cela d'afficher sur le rhéostat du niveau de tension directement en Kv .

$$U = V_n \cdot \sqrt{3} \cdot \left(1 + \frac{v_0}{100}\right) \quad \text{Kv}$$

V.2 / Méthode de réglage de tension (MT) dans le cas où le réseau comporte plusieurs points de réglage :

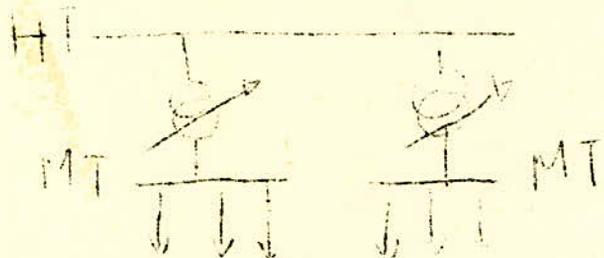
Les points de réglage peuvent être groupés dans un même poste HT/MT ou être disposés en cascade dans le réseau MT.

V.21 / Cas de plusieurs régulateurs installés dans un même poste:

Le schéma des jeux de barres étant supposé l'autoriser, il faut répartir les départs MT en un nombre de groupe égal à celui des moyens de réglage dont on dispose. Pour cela, il est nécessaire d'apprécier la corrélation des départs entre eux.

Cette corrélation peut être montrée par l'exemple suivant :

Les puissances appelées par deux départs différents alimentant des zones de mêmes caractères résidentiels varient dans le même sens avec une certaine proportionnalité, la tension existant aux points caractéristiques de chacun des départs varie également mais en sens inverse des puissances, puisque les chutes de tension sont d'autant plus importante que les puissances appelées sont grandes. La proportionnalité des puissances entraîne la proportionnalité des tensions, si bien que les deux départs considérés ont des courbes de variations de tension tout à fait comparables: on dit qu'il existe une corrélation entre ces départs.



La notion mathématique de corrélation est complexe et fort longue à calculer ; il s'agit donc de trouver un moyen pratique permettant le classement des départs MT.

Or les mesures de tension aux points caractéristiques des départs MT sont effectuées en maintenant la tension aussi constante que possible sur les jeux de barres MT ; dans ces conditions, les courbes de variation de tension peuvent être comparées entre elles ; on décèle alors rapidement les départs pour lesquels les variations de tension sont de même sens et ceux pour lesquels les variations sont de sens inverses.

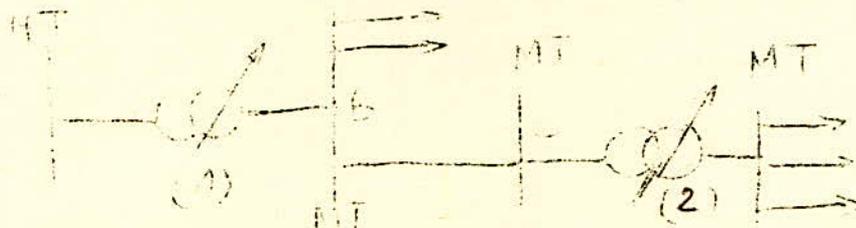
Si aucune mesure de tension n'a été réalisée, on ne peut qu'estimer la corrélation en fonction des caractères ci-dessus :

...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ci-dessus suppose 75% de la puissance absorbée pour ce départ le

- départ à caractère industriel
- " " " urbain
- " " " rural

La classification d'un départ dans l'une des trois catégories ci-dessus suppose que 75% de la puissance absorbée pour ce départ le sont effectivement dans la catégorie choisie.

V.22 / Cas des régulateurs disposés en cascade dans un réseau MT



Le régulateur (1) le plus proche des jeux de barres HT agit sur l'ensemble des départs MT qui lui sont associés ; le régulateur (2) intercalé dans un départ MT agit sur la partie centrale en son aval. Théoriquement, cette partie ne devrait donc pas être incluse dans le champ d'action du premier régulateur. Pratiquement il ne peut être ainsi car la puissance totale de l'ensemble des départs MT traverse toujours le premier régulateur et sert par conséquent à la détermination du compoundage correspondant.

On choisira seulement le point caractéristique du tronçon BC comme si le point caractéristique constituerait l'extrémité du départ MT . Le réglage du réseau MT issu du second régulateur s'effectue ensuite normalement comme il a été indiqué pour la méthode du réglage à un seul point.

### V.3 / Application pratique :

#### V.31/ Réseau étudié :

Le réseau étudié a été choisi avec le concours des services de la SONEIGAZ en tenant compte de la mauvaise tenue de la tension au niveau des consommateurs et de la gêne occasionnée provoquant ainsi plusieurs réclamations de la part de ces derniers.

#### V.311 . Structure du réseau MT :

Le réseau étudié possède une structure représentée par le schéma simplifié de la figure n°13 qui comprend :

- Le poste HT/MT (60Kv/30 Kv) d'El Affroun muni de deux régulateurs en charge pouvant fonctionner séparément ou en parallèle et desservant 9 départs MT dont 2 hors service.

- Les lignes Blida, Hadjout I et Attaba alimentant des postes MT/MT à deux niveaux de tension soient 30 Kv et 10 Kv.

Le poste de Blida en particulier dispose de trois régulateurs en charge qui permettent le contrôle de la tension 10 Kv du réseau urbain en complément du réglage effectué au poste HT/MT d'El Affroun

- Les lignes EL Khénis, Médéa, Hadjout II et RTA ; cette dernière est doublée par une ligne de secours RTA II qui n'est pas représentée sur le schéma. Quant à la distance, c'est la ligne Médéa qui représente une longueur assez importante (près de 200Km)

Remarque : Le schéma représenté tient compte de l'exploitation normale du réseau MT ; il peut être modifié pour des raisons de service pendant un certain temps. Dans notre étude on n'a pas tenu compte de modification éventuelle.

#### V.312. Caractère des consommateurs :

Les consommateurs sont composés d'abonnés urbains et ruraux. Parmi les premiers, on distingue quelques petites industries locales qui d'ailleurs ne changent pratiquement pas leur caractère urbain

Parmi les seconds, il arrive qu'il y ait quelques petites industries artisanales relativement importantes qui changent peu leur caractère rural.

La répartition des consommateurs se fait suivant les départements ci-dessous :

Départ Blida (Chróa) alimente la ville de Blida (150 000 Hbts) et la situation hivernale de Chróa. Le caractère des abonnés est urbain et semi-industriel sauf pour Chróa où l'on remarque à part les habitants ruraux, une station des PTT et de la RTA. On peut considérer que la charge est située vers le milieu de la ligne.

Départ Hadjout I alimente les localités de Hadjout, de Charchell de Tipaza et quelques villages des alentours. Les abonnés sont à caractère urbain et rural. La charge est pratiquement aux trois quart de la ligne.

Départ Hadjout II alimente des fermes coopératives de la région de Hadjout. La charge est très peu répartie.

Départ RTA alimente un émetteur radio de grande puissance. La charge est concentrée à l'extrémité de la ligne.

Départ Attaba alimente surtout une zone rurale et quelques petites localités. La charge est pratiquement uniformément répartie

Départ Médéa alimente la ville de Médéa, les localités de Berrouaghia et de Boghari et plusieurs zones rurales. Les trois quart de la charge sont situées environ au tiers de la longueur de la ligne.

Départ ElKhénis Alimente une petite localité et une zone rurale. La charge est pratiquement répartie.

### V.312. Situation avant le réglage :

Mise à part les variations, la tension était anormalement élevée pendant une certaine période de la journée. Par exemple le consommateur RTA a accusé des tensions très variables qui excèdent parfois la valeur de 32 Kv. Pour les autres abonnés la qualité de la tension s'est faite plus ou moins sentir suivant les exigences. Dans un cas (usine d'eau minérale de Houzaïa) on a failli bruler les moteurs et il a fallu reprendre l'alimentation du client par une autre ligne qui n'est pas desservi par le poste HT/MT d'El Affroun ; la raison invoquée est la tension trop élevée.

La station de radio RTA a accusé des creux de tension assez importants (20%) au moment de la mise en marche de l'émetteur provoquant ainsi le déclenchement des contacteurs de l'installation on y a remédié en les temporisant à l'ouverture.

Ceci n'a d'ailleurs pas éliminé la cause qui est due au passage brusque de la puissance de 100 KVA à 4000 KVA. Enfin même en marche normale il apparaît des fluctuations rapides de tension dues à la variation de puissance (entre 3000 KVA et 4000 KVA) liée à la modulation des signaux radio transmis.

On a constaté que dans l'ensemble la qualité de la tension était passable et le niveau élevé.

### V.32 / Mesures et résultats :

On peut considérer dans cette étude que les consommateurs sont dans l'ensemble de même nature sauf pour la RTA dont la charge est pratiquement constante pendant les heures d'émission et nulle pendant les autres heures. On ne tiendra pas compte du réseau 10 Kv de la ville de Blida étant donné que ce dernier dispose de moyens de réglage autonomes permettant de grouper les départs de même nature.

On procède successivement aux différentes étapes nécessaires à la détermination du réglage.

### V.321. Choix des points caractéristiques :

Ils sont choisis suivant la répartition et l'importance des charges le long de la ligne du départ considéré et les lignes secondaires que ce dernier dessert.

Ces points caractéristiques sont représentés par des croix sur le schéma de la figure 13 suivant les départs.

- Départ Blida : Poste HT/MT de Blida
- Départ Hadjout I : Poste HT/MT de Hadjout
- Départ Hadjout II : Poste client situé à peu près à 40% de la longueur totale de la ligne à partir du poste HT/MT.
- Départ RTA : Poste client RTA situé en bout de ligne.
- Départ Attaba : Poste HT/MT d'Attaba situé à 50% de la longueur de la ligne.
- Départ Médéa : Poste HT/MT Médéa situé à 20% de la longueur de la ligne.
- Départ El Khémis : Poste client CFFA situé à 40% de la longueur de la ligne.

#### V.322. Mesures :

Les mesures effectuées sont prises pendant la période du 3 au 6 Avril 1973 au moyen :

- de voltmètres enregistreurs à échelle dilatée installés sur les différents points caractéristiques du réseau et sur le jeu de barres 30 Kv du poste HT/MT dont la tension a été maintenue au moyen du régulateur de tension, constante à la valeur d'un gradin près du régleur (165V).

- d'ampèremètres enregistreurs placés sur les différents départs HT.

- d'un wattmètre-warmètre pour l'enregistrement des puissances actives et réactives transitées par le régleur en charge.

Les relevés de demi-heure en demi-heure de tensions, de courants et de puissances pour la période du 5 à 8h au 6 Avril à 8 h sont consignés dans les tableaux 5, 6, 7.

#### V.323. Amélioration de la tension après le réglage :

Les courbes tracées à partir du tableau 9 montrent l'allure des variations de tension en l'absence de réglage des différents points.

Les courbes relatives au tableau 11 donnent les variations en ces mêmes points avec le régime optimal de réglage de tension.

Poste HT/MT  
 El Affroun 20MVA → 20MVA

\* Schéma simplifié du  
 réseau MT étudié -

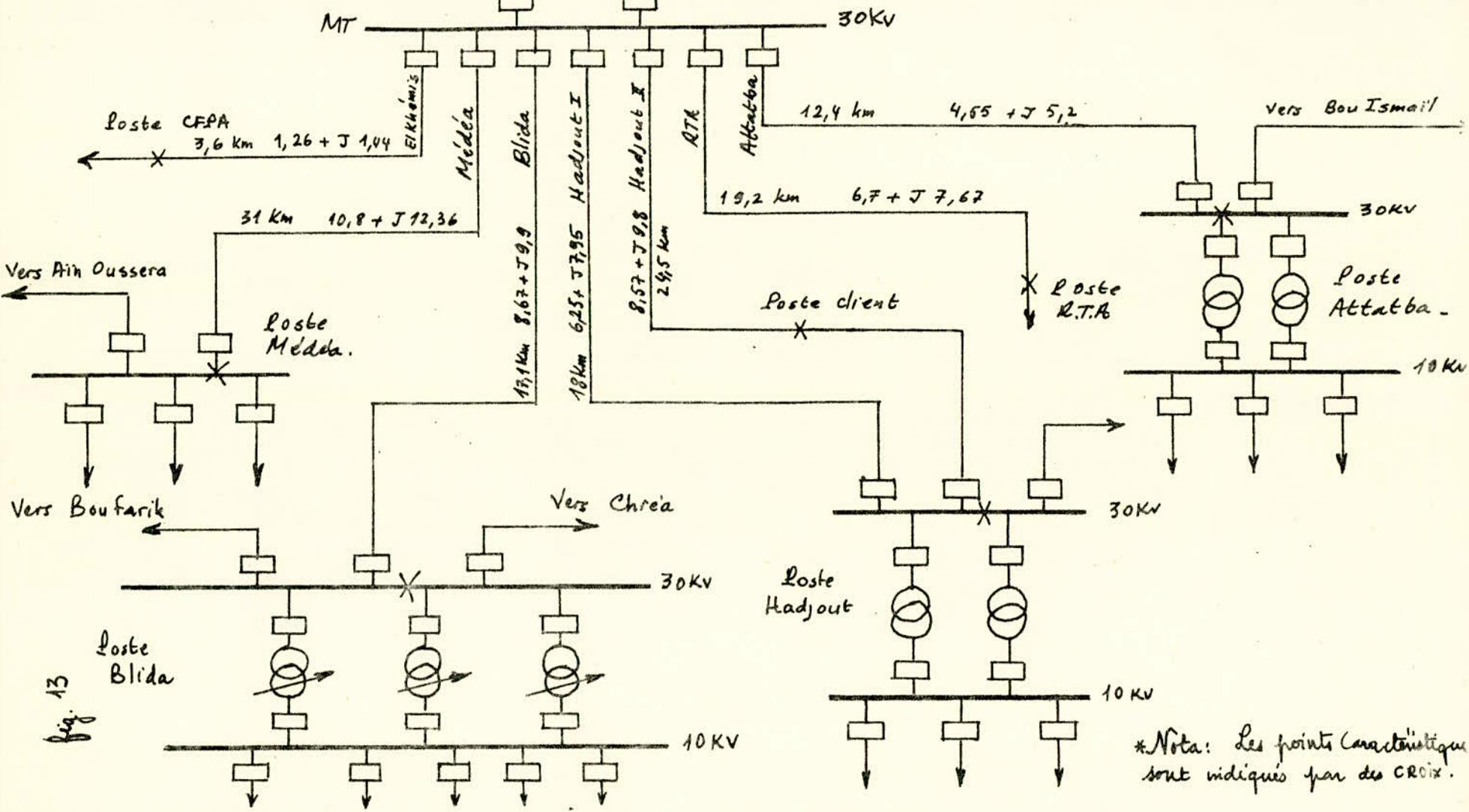


fig. 13

\* Nota: Les points caractéristiques  
 sont indiqués par des croix.

Heures	Tension Côté HT (V)	Tension Côté MT (V)	Courant Tr.s (A)	Puissance Active (MW)	Puissance Reactive (MVar)	cosφ
8h	60800	31400	216	9,40	4,38	0,904
8h30	61000	31500	221	9,40	4,62	
9h	61000	31400	196	7,40	4,16	0,872
9h30	61100	31600	196	7,20	4,16	
10h	61100	31900	168	7,00	3,93	0,872
10h30	61000	31800	173	7,00	3,93	
11h	61200	31800	164	6,80	4,16	0,853
11h30	61200	31900	156	6,40	3,35	
12h	61000	31800	168	7,40	2,31	0,954
12h30	61100	32100	160	7,20	1,85	
13h	61000	31700	168	7,20	2,31	0,952
13h30	61000	31300	176	8,00	3,35	
14h	60500	31300	192	8,40	3,93	0,909
14h30	61000	31400	208	8,80	4,38	
15h	60000	31500	216	9,20	4,62	0,887
15h30	60200	31600	224	9,40	4,62	
16h	60500	31800	224	9,40	4,62	0,898
16h30	61000	32000	208	9,20	4,16	
17h	61500	32000	200	8,80	3,35	0,934
17h30	60800	31800	200	9,20	3,35	
18h	61000	31800	224	10,40	3,05	0,959
18h30	60000	31300	288	13,60	3,37	
19h	59900	31300	312	14,20	3,05	0,978
19h30	59900	31300	320	14,60	3,35	
20h	60000	31800	312	14,40	3,35	0,973
20h30	60000	31600	286	13,40	3,35	
21h	61000	32000	272	12,80	3,05	0,972
21h30	61000	31800	256	11,60	2,45	
22h	61000	31800	224	10,20	2,40	0,973
22h30	60500	32000	208	9,00	1,85	
22h	61000	32100	192	8,40	1,62	0,980
23h30	61000	31700	176	8,20	1,38	
24h	61000	31800	128	5,60	0,69	0,990
0h30	60800	31800	128	5,60	0,69	
1h	60800	31900	128	5,40	0,69	0,990
1h30	60800	31900	128	5,40	0,69	
2h	60800	31900	120	5,20	0,69	0,991
2h30	60800	31900	120	5,40	0,69	
3h	60800	31900	124	5,20	0,58	0,993
3h30	60800	31900	124	5,40	0,69	
4h	60800	31900	128	5,40	0,69	0,991
4h30	60800	31900	132	5,60	0,69	
5h	60800	31900	136	6,00	0,69	0,988
5h30	60800	31500	166	7,80	1,15	
6h	60100	31400	180	7,80	1,38	0,984
6h30	59900	31300	184	8,00	1,85	
7h	60000	31300	196	8,80	3,05	0,944
7h30	59000	31400	200	9,40	4,38	0,904

Tableau 6

Relevés de Tensions et de Puissances Active et Réactive.  
(du 5 au 6 Avril 1973)

Heures	Poste El Affroun	Poste Blida	Poste Hadjout 1	Poste Hadjout 2	Poste RTA	Poste Attatba	Poste Médéa	Poste CFPA	P (MW) EL Affroun	Q (Mvar)
8h	31400	30400	31400	31200	30600	30950	30700	31300	9,40	4,38
8h30	31500	30200	31300	31320	30900	30950	30650	31240	9,40	4,68
9h	31400	30000	31400	31200	30750	30950	30500	30400	7,40	4,16
9h30	31600	30400	31300	31500	31600	31250	30800	31600	7,20	4,16
10h	31900	30600	31700	31560	31800	31700	30900	31660	7,00	3,93
10h30	31800	30700	31800	31650	31800	31700	31000	31660	7,00	3,93
11h	31800	30550	31800	31650	31800	31750	31000	31660	6,80	4,16
11h30	31900	30800	31900	31800	31900	31800	31200	31750	6,40	3,35
12h	31900	30450	31800	31800	31350	31800	30800	31800	7,40	2,31
12h30	32100	31400	32000	31860	31600	31800	31700	31750	7,20	1,85
13h	31700	31200	31600	31500	31200	31400	31500	31300	7,20	2,31
13h30	31300	30700	31100	31200	30750	31150	31000	31000	8,00	3,35
14h	31300	30200	31100	31140	30750	30900	30700	31000	8,40	3,93
14h30	31400	30150	31100	31350	30900	30950	30400	31210	8,80	4,38
15h	31500	30150	31100	31350	30960	31100	30700	31240	9,20	4,62
15h30	31600	30450	31300	31500	31140	31300	30900	31390	9,40	4,62
16h	31800	30500	31700	31650	31200	31800	31000	31600	9,40	4,62
16h30	32000	30850	31900	31950	31500	31750	31300	31800	9,20	4,16
17h	32000	31240	31500	31950	31500	31900	31700	31480	8,80	3,35
17h30	31800	30900	31600	31680	31200	31700	31900	31750	8,20	3,35
18h	31800	30950	31600	31650	31250	31700	31300	31600	10,40	3,05
18h30	31300	31500	30900	31200	30750	30850	30700	30910	13,60	3,37
19h	31300	29750	30900	31140	30750	30900	30100	31000	14,20	3,05
19h30	31300	29600	30900	31140	30750	31050	30000	31060	14,60	3,35
20h	31900	29850	31500	31500	31200	31520	30950	31540	14,40	3,35
20h30	31600	30100	31300	31500	31140	31400	30550	31600	13,40	3,35
21h	32000	30500	31700	31800	31500	31750	30950	31820	12,80	3,05
21h30	31800	31000	31500	31800	31560	31800	31400	31660	11,60	2,45
22h	31800	30700	31800	31740	31260	31750	31100	31800	10,20	2,40
22h30	32000	31300	31800	31800	31500	31900	31550	31860	9,00	1,85
23h	32100	31450	32100	32040	31650	31900	31950	31900	8,90	1,62
23h30	31700	31400	31800	31500	31260	31500	31600	31600	8,20	1,38
24h	31800	31450	31800	31560	31800	31650	31550	31750	5,60	0,69
0h30	31800	31250	31600	31650	31800	31750	31750	31780	5,60	0,69
1h	31900	31300	31900	31800	31900	31750	31800	31900	5,40	0,69
1h30	31900	31400	31900	31800	31900	31900	31800	31900	5,40	0,69
2h	31900	31450	31900	31800	31900	31900	31800	31900	5,20	0,69
2h30	31900	31450	31900	31800	31900	31900	31820	31900	5,40	0,69
3h	31900	31450	31900	31800	31900	31900	31800	31900	5,20	0,58
3h30	31900	31500	31900	31800	31900	31900	31800	31900	5,40	0,69
4h	31900	31450	31900	31800	31900	31900	31800	31900	5,40	0,69
4h30	31900	31450	31800	31800	31900	31800	31700	31900	5,60	0,69
5h	31900	31400	31800	31740	31900	31900	31800	31900	6,00	0,69
5h30	31500	31250	31500	31350	31200	31300	31420	31300	7,80	1,15
6h	31400	31000	31400	31200	30960	31250	31300	31240	7,80	1,38
6h30	31300	30700	31300	31050	30840	31150	31100	31150	8,00	1,85
7h	31300	30550	31100	31050	30600	30950	31000	31120	8,80	3,05
7h30	31400	30400	31100	31350	30900	31300	30900	31300	9,40	4,38

Tableau 7 Relevés de Courants (du 5 au 6 Avril 1973)  
(en ampères)

Heures	Poste ELAffroun	Départ Blida	Départ Hadjout 1	Départ Hadjout 2	Départ RTA	Départ Médéa	Départ CFA El Khémis	Départ Attatba
8h	216	84	14	14	48	27,7	7,5	20
8h30	221	90	14	11	48	29	7,5	18
9h	196	90	12,5	10	48	28	7,5	14
9h30	196	90	12	9	0	28	7,5	10
10h	168	84	11	8	0	27,8	7	10
10h30	173	82,5	12,5	9	0	27,2	7	10
11h	164	82,5	10	10	0	27,3	7	12
11h30	156	82,5	10	11	0	27	7	13
12h	168	67,5	5	12	48	25,5	7	15
12h30	160	60	7	10	48	24,35	7,5	13
13h	168	60	6	10	48	24,35	7,5	12
13h30	176	66	10	10	48	27,4	7,5	13
14h	192	75	10	11	48	23,6	7,5	14
14h30	208	82,5	22,5	11	48	24,4	7,5	12,5
15h	216	81	23,5	10,5	48	25	7,8	12
15h30	224	84	25	10,5	48	25,3	7,8	13
16h	224	82,5	24	11	48	26,2	7,8	15
16h30	208	81	22,5	11	48	25,9	8	15
17h	200	78	16	11,5	48	26,3	8	14
17h30	200	75	20	11	48	26,3	8	13
18h	224	79,5	22,5	12	48	28,5	9,25	13
18h30	288	99	32	12	48	31,5	8,7	15
19h	312	120	33	13	48	34	8,65	20
19h30	320	120	33,5	13	48	34	8,6	25
20h	312	120	33	13	48	34	8,6	34
20h30	286	114	32	11	48	33,7	8,6	32
21h	272	105	31	10	48	33,7	7,5	31
21h30	256	97,5	28,5	10	48	32,6	7,5	27
22h	224	82,5	22,5	9	48	32	6,8	25
22h30	208	69	20	10	48	29	6,8	15
23h	192	61,5	19	9	48	28	5,6	14
23h30	176	57	17,5	8	48	28	5,6	12
24h	128	55,5	19	8	48	27	5,6	19
0h30	128	54	17,5	9	0	26,6	5,6	12
1h	128	54	17,5	8	0	26,6	5,6	12
1h30	128	54	17,5	8,5	0	26,6	5,6	11,5
2h	120	54	15	8	0	26,6	5,6	11
2h30	120	54	15	8	0	26,6	5,6	11
3h	124	54	15	7,5	0	26,6	5,6	11,5
3h30	124	54	15	7,5	0	26,6	5,6	11,5
4h	128	54	17	8	0	26,5	5,6	12
4h30	132	54	19	8,5	0	26,5	5,6	13
5h	136	57	20	7,5	0	27,5	5,6	14
5h30	166	57	18,5	14	48	27,8	7	17
6h	180	57	17,5	11	48	27,5	7,5	14
6h30	184	57	18,5	11	48	27,5	7,5	14
7h	196	60	20	13	48	27,5	7,5	20
7h30	200	72	20	12	48	27	8	18

Tableau 9

Variation des écarts relatifs de tension (en %)

\* Avant réglage

Heures	Poste El Affroun	Poste Blrda	Poste Hadjout I	Poste Hadjout II	Poste R.T.A	Poste Attatba	Poste M'de'a	Poste CFR BLKhemis.
8h	4,66	0,33	3,66	4,00	2,00	3,16	2,33	4,33
8h30	5,00	0,66	4,33	4,40	3,00	3,16	2,16	4,13
9h	4,66	0,00	4,66	4,00	2,50	3,16	1,66	4,66
9h30	5,33	1,33	4,33	5,00	5,33	4,16	2,66	5,33
10h	6,33	2,00	5,66	5,20	6,00	5,66	3,00	5,53
10h30	6,00	2,33	6,00	5,50	6,00	5,66	3,33	5,53
11h	6,00	1,83	6,00	5,50	6,00	5,83	3,33	5,53
11h30	6,33	2,66	6,33	6,00	6,33	6,00	4,33	5,83
12h	6,00	1,50	6,00	6,00	4,50	6,00	2,66	6,00
12h30	7,00	4,66	6,66	6,20	5,00	6,00	5,66	5,83
13h	5,66	4,00	5,33	5,00	4,00	4,66	5,00	4,33
13h30	4,33	2,33	3,66	4,00	2,50	3,83	3,33	3,33
14h	4,33	0,66	3,66	3,80	2,50	3,00	2,33	3,33
14h30	4,66	0,50	3,66	4,50	3,00	3,16	1,33	4,03
15h	5,00	0,50	3,66	4,50	3,20	3,66	2,33	4,13
15h30	5,33	1,50	4,33	5,00	3,80	4,33	3,00	4,63
16h	6,00	1,66	5,66	5,50	4,00	6,00	3,33	5,33
16h30	6,66	2,83	6,33	6,50	5,00	5,83	4,33	6,00
17h	6,66	4,00	5,00	6,50	5,00	6,33	5,66	4,93
17h30	6,00	3,00	5,33	5,60	4,00	5,66	4,33	5,83
18h	6,00	3,16	5,33	5,50	4,16	5,66	4,33	5,33
18h30	4,33	1,66	3,00	4,00	2,50	3,83	2,33	3,03
19h	4,33	-0,83	3,00	3,80	2,50	3,00	0,33	3,33
19h30	4,33	-1,33	3,00	3,80	2,50	3,50	0,00	3,53
20h	6,00	-0,50	5,00	5,00	4,00	5,06	1,50	5,13
20h30	5,33	0,33	4,33	5,00	3,80	4,66	1,83	5,33
21h	6,66	1,66	5,66	6,00	5,00	5,83	3,16	6,06
21h30	6,00	3,33	5,00	6,00	5,20	6,00	4,66	5,53
22h	6,00	2,33	6,00	5,80	4,20	5,83	3,66	6,00
22h30	6,66	4,33	6,33	6,00	5,00	6,33	5,16	6,53
23h	7,00	4,83	7,00	6,80	5,50	6,33	6,50	6,33
23h30	5,66	4,66	5,00	5,00	4,20	5,00	5,33	5,33
24h	6,00	3,83	6,00	5,20	6,00	5,50	5,16	5,83
0h30	6,00	4,66	6,00	5,50	6,00	5,83	5,83	5,93
1h	6,33	4,33	6,33	6,00	6,33	5,83	6,00	6,33
1h30	6,33	4,66	6,33	6,00	6,33	6,33	6,00	6,33
2h	6,33	4,83	6,33	6,00	6,33	6,33	6,00	6,33
2h30	6,33	4,83	6,33	6,00	6,33	6,33	6,06	6,33
3h	6,33	4,83	6,33	6,00	6,33	6,33	6,00	6,33
3h30	6,33	5,00	6,33	6,00	6,33	6,33	6,00	6,33
4h	6,33	4,83	6,33	6,00	6,33	6,33	6,00	6,33
4h30	6,33	4,83	6,00	6,00	6,33	6,33	5,66	6,33
5h	6,33	4,66	6,00	5,80	6,33	6,33	6,00	6,33
5h30	5,00	4,16	5,00	4,50	4,00	4,33	4,73	4,33
6h	4,66	3,33	4,66	4,00	3,20	4,16	4,33	4,13
6h30	4,33	2,33	4,33	3,50	2,80	3,83	3,66	3,83
7h	4,33	1,83	3,66	3,50	2,00	3,16	3,33	3,73
7h30	4,66	1,33	3,66	4,50	3,00	4,33	3,00	4,33

Tableau 10

Variations de la tension après réglage  
Réseau de Distribution ELAFFROUN (du 5 au 6 Juin 1977)

Heures	Poste ELAFFROUN	Poste Blida	Poste Hadjout I	Poste Hadjout II	Poste R.T.A	Poste Attatba	Poste Médina	Poste C.F.P.A
10h	31100	29700	30500	30700	30300	30300	30400	30700
10h30	31100	29700	30600	31000	30300	30300	30400	30700
11h	31400	29800	30700	31000	30600	30400	30800	31000
11h30	31300	29700	30400	30700	30450	30700	30600	30400
12h	31500	30400	30700	30700	30450	30800	30800	31000
12h30	31300	30400	30700	30700	30450	30700	30600	31000
13h	31100	29800	30400	30400	30300	30100	30300	30400
13h30	30800	29700	30400	30400	30000	30100	30300	30400
14h	30800	29500	30400	30400	30000	30100	30200	30250
14h30	30900	29500	30300	30400	30300	30100	30500	30250
15h	31300	29700	30400	31000	30600	30250	30400	30200
15h30	31300	29700	30500	31000	30600	30400	30400	31000
16h	31300	29700	30500	31000	30600	30650	30500	30700
16h30	31400	29800	30700	31000	30750	30800	30900	31000
17h	31700	30000	30800	31200	30750	31200	30800	31000
17h30	31300	29900	30700	31000	30600	30650	30600	31000
18h	31200	29700	30700	31000	30450	30650	31000	30750
18h30	31600	29800	31200	31300	30750	30800	30400	31000
19h	31200	29300	30600	31000	30450	30650	30000	30700
19h30	31200	29500	30900	30700	30450	30650	30400	30700
20h	31500	29700	30700	31300	30450	30800	30400	31150
20h30	31500	29800	30500	31300	30600	30900	30700	31150
21h	31700	30400	31000	31300	30900	31100	31100	31300
21h30	31700	30200	31200	31300	30900	31350	31100	31300
22h	31700	30500	31000	31300	30900	31100	31100	31300
22h30	31500	30500	31000	31000	29750	30650	31100	31150
23h	31500	30500	30900	31000	30600	30650	31200	31000
23h30	31500	30500	31000	31000	30600	30650	30900	31300
24h	31200	30300	30600	31000	30900	30650	30900	30700
0h30	31200	30300	30600	31000	30900	30650	30900	30700
1h	31200	30300	30600	31000	30900	30650	31000	30700
1h30	31200	30300	30600	31000	30900	30650	31300	30700
2h	31200	30300	30600	31000	30800	30650	31100	30700
2h30	31200	30300	30600	31000	30900	30650	31000	30700
3h	31200	30300	30600	31000	30900	30650	31000	30700
3h30	31200	30300	30600	31000	30900	30650	31000	30700
4h	31200	30300	30600	31000	30900	30650	31000	30700
4h30	31200	30300	30600	31000	30900	30650	30700	30700
5h	31000	30100	30400	30700	30750	30400	30400	30700
5h30	31500	29700	30200	30400	30000	30250	30400	30400
6h	31600	29700	30400	30400	30000	30000	30200	30400
6h30	31600	29700	30400	30700	30150	30000	30200	30450
7h	31100	29700	30400	30700	30300	30000	29800	30450
7h30	31500	29500	30400	30700	30300	30400	29500	30450
8h	31000	29500	30400	31000	30300	30400	29800	30450
8h30	31000	29600	30200	30700	30300	30400	30200	30600
9h	31000	29600	30400	30700	30300	30400	30100	30600
9h30	31000	29600	30400	30700	30300	30400	30200	30600

Tableau 11

## Variations des écarts Relatifs de la tension

\* Après réglage - Réseau de distribution EL AFFROUN (du 5 au 6/6/73)

Heures	Poste El Affroun	Poste Blida	Poste Hadjout I	Poste Hadjout II	Poste R.T.A	Poste Attatba	Poste Médca	Poste C.F.P.A
10h	3,66	-1	1,66	2,33	1	1	0,33	2,33
10h30	3,66	-1	2	3,33	1	1	1,33	2,33
11h	4,66	-0,3	2,33	3,33	2	1,33	2,66	3,33
11h30	4,33	-1	1,33	2,33	1,5	2,33	2	1,33
12h	5	1,33	2,33	2,33	1,5	2,66	2,66	3,33
12h30	4,33	1,33	2,33	2,33	1,5	2,33	2	3,33
13h	3,66	-0,66	1,33	1,33	1	0,33	1	1,33
13h30	2,66	-1	1,33	1,33	0	0,33	1	1,33
14h	2,66	-1,66	1,33	1,33	0	0,33	0,66	0,83
14h30	3	-1,66	1	1,33	1	0,33	1,66	0,83
15h	4,23	-1	1,33	1,33	2	0,33	1,33	2,33
15h30	4,33	-1	1,66	3,33	2	1,33	1,33	3,33
16h	4,33	-1	1,66	3,33	2	2,16	1,66	2,33
16h30	4,66	-0,66	2,33	3,33	2,5	2,66	3	3,33
17h	5,66	0	3	4	2,5	4	2,66	3,33
17h30	4,33	-0,33	2,33	3,33	2	2,16	2	3,33
18h	4	-1	2,33	3,33	1,5	2,16	3,33	2,5
18h30	5,33	-0,66	4	4,33	2,5	2,66	1,33	3,33
19h	4	-2,3	2	3,33	1,5	2,16	0	2,33
19h30	4	-1,66	1,33	2,33	1,5	2,16	0,33	2,33
20h	5	-1	2,33	4,33	1,5	2,66	1,33	3,83
20h30	5	-0,66	1,66	4,33	2	3	2,33	3,83
21h	5,66	1,33	3,33	4,33	3	3,66	3,66	4,33
21h30	5,66	0,66	4	4,33	3	4,5	3,66	4,33
22h	5,66	1,66	3,33	4,33	3	3,66	3,66	4,33
22h30	5	1,66	3,33	3,33	-0,33	2,17	3,67	3,84
23h	5	1,66	3	3,33	2	2,17	4	3,33
23h30	5	1,66	3,33	3,33	2	2,17	3	4,33
24h	4	1	2	3,33	3	2,17	3	2,33
0h30	4	1	2	3,33	3	2,17	3	2,33
1h	4	1	2	3,33	3	2,17	3,33	2,33
1h30	4	1	2	3,33	3	2,17	3,33	2,33
2h	4	1	2	3,33	3	2,17	3,67	2,33
2h30	4	1	2	3,33	3	2,17	3,33	2,33
3h	4	1	2	3,33	3	2,17	3,33	2,33
3h30	4	1	2	3,33	3	2,17	3,67	2,33
4h	4	1	2	3,33	3	2,17	3,67	2,33
4h30	4	1	2	3,33	3	2,17	2,33	2,33
5h	3,33	0,33	1,33	2,33	2,5	1,33	1,33	2,33
5h30	5	-1	0,66	1,33	0	0,83	1,33	1,33
6h	5,33	-1	1,33	1,33	0	0	0,66	1,33
6h30	5,33	-1	1,33	2,33	0,5	0	0,66	1,5
7h	3,66	-1	1,33	2,33	1	0	-0,33	1,5
7h30	5	-1,66	1,33	2,33	1	1,33	-0,33	1,5
8h	3,33	-1,66	1,33	3,33	1	1,33	-0,33	1,5
8h30	3,33	-1,33	0,66	2,33	1	1,33	0,66	2
9h	3,33	-1,33	1,33	2,33	1	1,33	0,33	2
9h30	3,33	-1,33	1,33	2,33	1	1,33	0,66	2

Tableau 8

Détermination des coefficients de pondération  $\alpha_j$ 

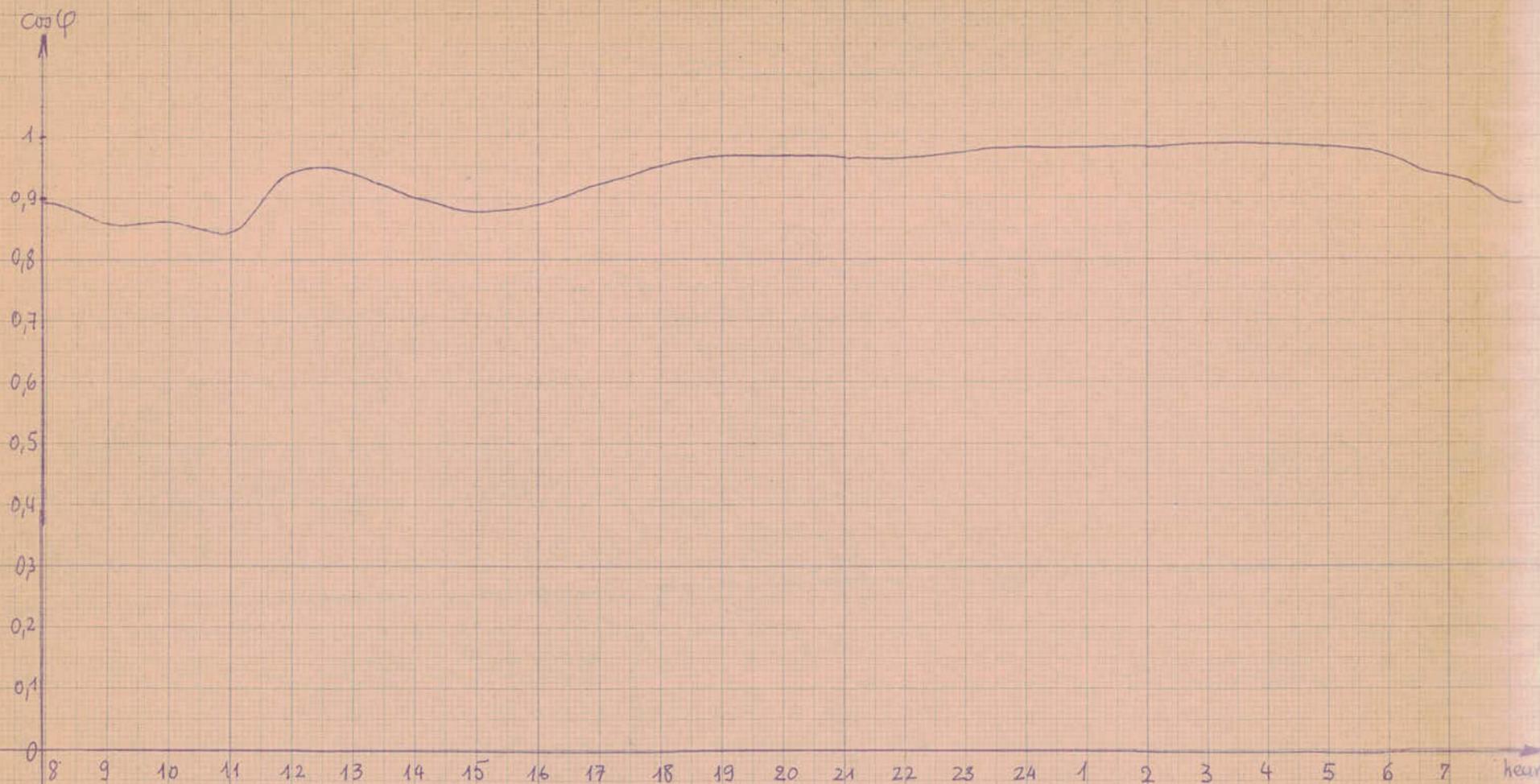
$$\alpha_j = \frac{I_j}{\sum_{j=1}^n I_j}$$

 $I_j$  courant du départ  $j$ 
 $\sum I_j$  :  $\Sigma$  des courants au secondaire des transformateur HT/MT du poste d'El Affroun.

$$\sum_{j=1}^{j=48} I_j = 9526 \text{ A}$$

Départ $j$	Blida	Hadjout I	Hadjout II	R.T.A.	Attatba	Méde'a	CFPA El Khémis.
$\sum_{i=1}^{i=48} i_{ij}$	3538,5	894	490,5	1536	739	1334,8	338,16
$\alpha_p$ calculé	0,37	0,094	0,051	0,16	0,077	0,14	0,035
$\alpha_p$ corrigé	0,39	0,1	0,05	0,2	0,08	0,14	0,04

$$\sum_{j=1}^{j=48} \alpha_j = 1$$



Variation du  $\cos \varphi$  - Poste d'El Affroun.  
(du 5 au 6 Avril 1973)

\* fig. 14.

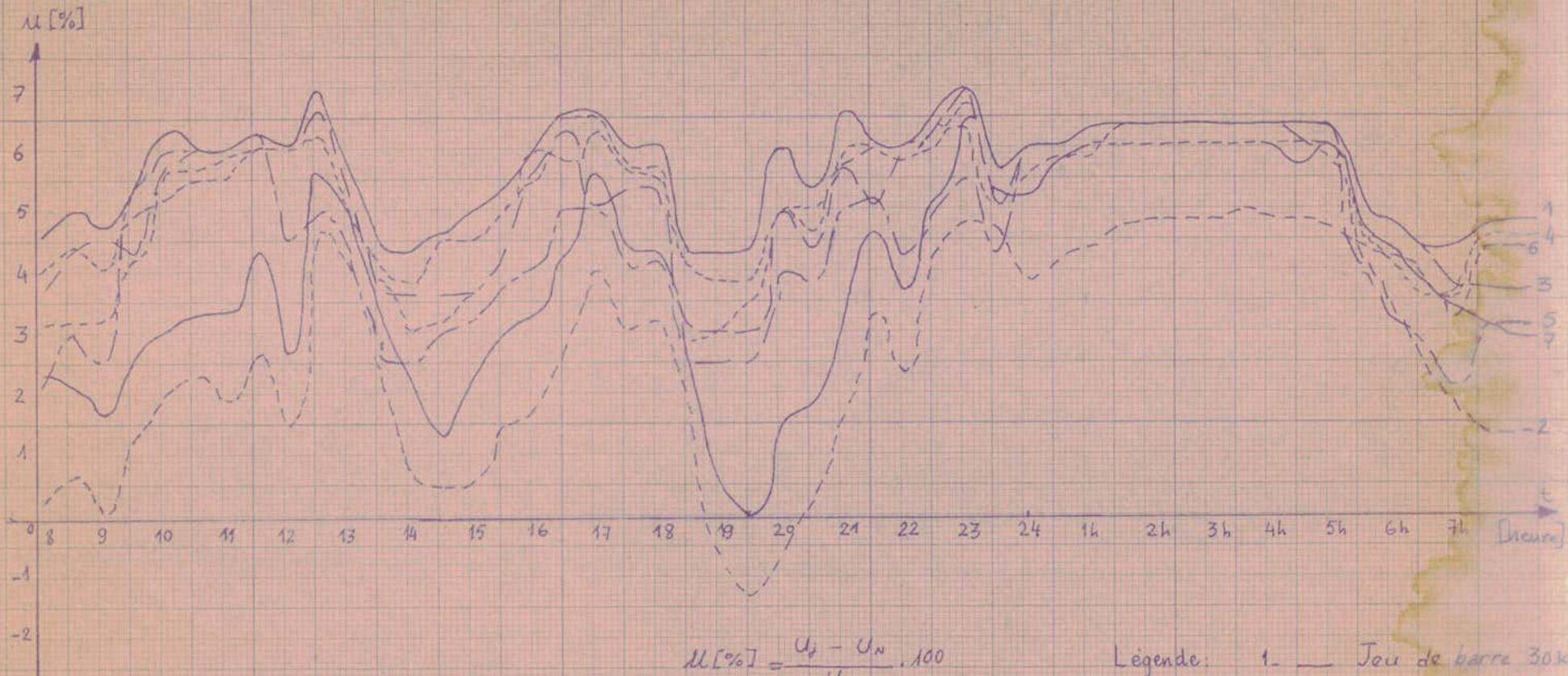


Variation journalière des puissances Active et Réactive.  
 au Poste d'El Affroun ( du 5 au 6 Avril 1973 )

fig 16

Variation Journalière de la tension en l'absence de réglage  
aux postes de distribution - Réseau El Affroun

(du 5 au 6 Avril 1973)



$$\mu[\%] = \frac{U_i - U_N}{U_N} \cdot 100$$

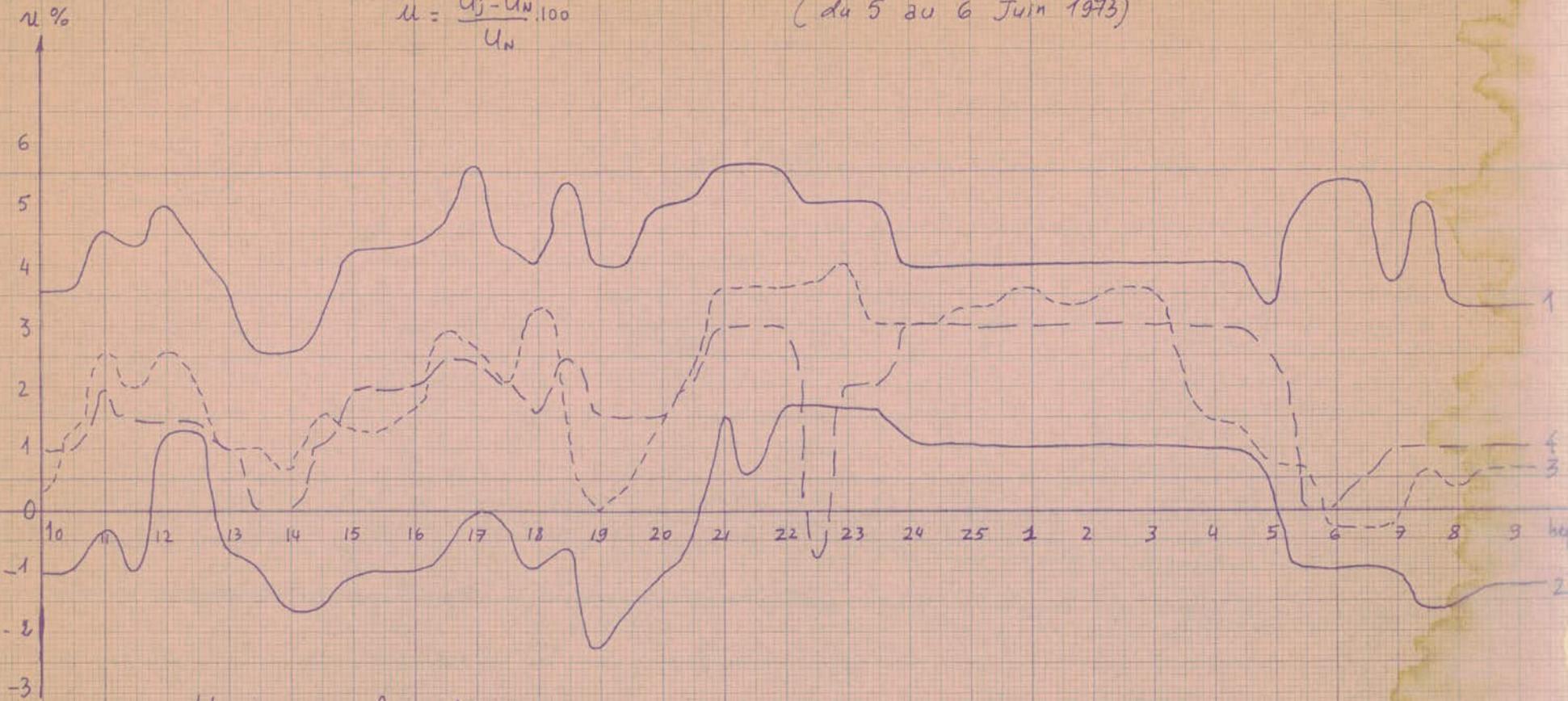
Légende:

- 1. — Jeu de barre 30 kV
- 2. --- Poste de Blida
- 3. — Poste Madjout I
- 4. --- Poste Madjout II
- 5. — Poste R.T.A.
- 6. --- Poste Attatba
- 7. --- Poste Meïda

\*Variation journalière de la tension - APRES REGLAGE -

Réseau de distribution d'El Affroun -  
(du 5 au 6 Juin 1973)

$$u = \frac{U_j - U_N}{U_N} \cdot 100$$



- légende:
1. Poste d'El Affroun.
  2. Poste de Blida.
  3. Poste de Médéa.
  4. Poste R.T.A.

\* fig: 17

En comparant ces courbes on constate que :

- le niveau de tension est diminué et maintenu à une valeur appréciable pour l'ensemble des départs.
- Les fluctuations de tension relatives à chaque départ sont réduites après le réglage.

En particuliers les mesures effectuées au voltmètre statistique, après le réglage, des écarts types de tension aux postes de Blida et de Médéa ont donné respectivement :

- = 2,5 au lieu de 5,6 avant le réglage
- = 2

Ce qui représente une très bonne qualité de tension.

Donc dans l'ensemble on a aboutit à un bon réglage de tension et ceci en éliminant certains défauts nuisibles à la qualité de la tension (niveau de tension était élevé et le compoundage affiché était incorrect).

#### V.4 / Régulateur de tension :

Le rôle d'un régulateur de tension est de commander automatiquement un régleur en charge associé à un transformateur HT/HT de façon à obtenir sur le jeu de barre HT une tension "réglée".

L'appareil contrôle en principe, un seul régleur mais, au cas où deux ou plusieurs régleurs fonctionnent en parallèle, il peut encore être utilisé à condition de lui adjoindre des boîtiers de relaying auxiliaires à commander cette en parallèle.

Les conditions auxquelles doit répondre un régulateur :

a/ Il ne doit commander les manœuvres "augmenter" ou "diminuer" que si la tension à régler reste pendant un temps donné en dehors des limites de réglage, ceci afin d'éviter des manœuvres trop fréquentes des régleurs ; cette temporisation est constante quelque soit l'écart entre la tension à régler et la tension de réglage.

b/ Attendre avant de donner une nouvelle impulsion que la première ait été correctement effectuée.

c/ Dans le cas où l'écart entre la tension à régler et la valeur de réglage est grand, effectuer les passages des prises de réglage en charge en marquant, chaque fois un temps d'arrêt entre chaque prise.

d/ Pouvoir être utilisé sur n'importe quel type de régleur et aussi bien dans le cas où il n'existe qu'un seul transformateur que dans le cas où il existe plusieurs transformateurs en parallèle.

e/ Le relais voltométrique doit permettre de régler la tension dans une plage encadrant la valeur choisie ; de plus, pour éviter des manœuvres trop fréquentes lorsque la tension oscille de quantités très petites sur les bords de la plage de réglage ; la tension de fermeture du contact du relais doit être différente de la tension d'ouverture ; cette différence appelée fourchette doit pouvoir être réglée en fonction des conditions locales d'exploitation.

#### V.5 / Réglage automatique de la tension :

L'analyse des principes généraux de la conduite d'un réseau fait apparaître l'intérêt d'une automatisation plus poussée du réglage de la tension.

#### V.51 / Conduite des réseaux et réglage de tension :

La conduite des réseaux est dominée par le caractère permanent et quasi instantané de l'adaptation des moyens de productions et éventuellement de la configuration du réseau, à toute variations de consommations afin de fournir aux points de livraison l'énergie électrique aux meilleures conditions de prix, sécurité et de qualité (tension et fréquence).

On peut donc sans risque de compromettre la sécurité de l'ensemble des réseaux, confier la réalisation de ces actions d'ajustements à des automatismes pouvant fonctionner rapidement à partir d'informations locales et agissant directement sur les de production.

Ces actions d'ajustement sont réalisées par les régulateurs de tension et les régleurs en charge des transformateurs THT/HT et HT/MT.

Ainsi tous ces besoins nécessitent une coordination automatique ; les procédures de mise en œuvre qui sont entièrement manuelles impliquent une surveillance continue et difficile.

Nous sommes donc amenés à introduire :

- le réglage primaire de la tension effectué automatiquement au niveau de la régulation primaire des groupes en asservissant la tension aux bornes de la machine.

- le réglage secondaire de la tension permettra d'asservir la puissance réactive produite par les groupes d'une zone préalablement déterminée du réseau d'interconnexion à un ordre fonction de l'écart entre la tension d'un point pilote de la zone et d'une valeur de consigne élaborée par le dispatching.

Il se superposera au réglage primaire.

- le réglage tertiaire coordonnera les dispositifs de réglage de chaque zone en agissant sur les valeurs des tensions des points pilotes.

Leur utilisation permettra la réalisation rapide et sûre d'un programme de tension assurant entre les différents groupes une répartition coordonnée favorable à la stabilité du réseau en régime normal ou perturbé, tout en minimisant les dépenses pour la production de puissance réactive.

#### V.52/ Organisation et caractéristique du réglage automatique :

Tout d'abord, il importe de répertorier les grandeurs perturbatrices. L'automatisation du réglage ne s'impose que si le système à régler est soumis à des perturbations susceptibles d'en altérer le fonctionnement .

Face à ces perturbations interviennent les moyens de réglage déjà introduit (primaire, secondaire et tertiaire). Mais toutes ces actions automatiques sont insuffisantes pour maintenir en toutes circonstances la tension du réseau à très haute tension à l'intérieur de sa plage normale de variation. Pour cette situation, on y adjoint des actions secondaires manuelles intervenant plusieurs fois par jour afin de conserver un plan de tension convenable.

L'organisation du réglage est la suivante :

- La tension sera réglée en un nombre limité de points pilotes. A chacun de ces points correspond un certain nombre de groupes réglants délimitant la zone de réglage. Ces groupes seront commandés par un ordre appelé niveau élaboré au dispatching régional de la télémessure de la tension du point pilote.

- Une action de coordination sera effectuée sur tout le dispatching permettant un secours entre les différentes zones en régimes perturbés. Cette action s'exercera sur les valeurs des tensions des points pilotes et pourra, en premier stade, se faire manuellement avant d'être automatisée.

Lorsque l'automatisation du réglage de la tension sera entièrement acquise, l'exploitation de ce réglage permettra d'obtenir :

- en régime peu perturbé, le maintien automatique d'un plan correct de tension.

- pour certains régimes particuliers, la modification aisée et rapide du plan de tension du réseau, destinée principalement à assurer la sécurité de fonctionnement.

DEUXIEME PARTIE

..../

## C H A P I T R E VI : DISPOSITIFS DE REGLAGE DE LA TENSION

-----

### VI. 1 / Etude de l'emplacement du dispositif :

#### VI.11/ Définition d'une zone :

La partie du réseau où la valeur de la tension s'écarte peu de la valeur désirée au point pilote en présence de perturbations habituelles constituent une "Zone".

#### VI. 12/ Points pilotes:

Les points pilotes, points correspondant à l'emplacement des différents dispositifs de réglage de tension, doivent être choisis de manière à minimiser les écarts de tension sur les autres points de la zone.

Dans une région la tension des différents nœuds doit être maintenue, dans la mesure du possible dans une plage donnée (au besoin on augmente le nombre de points pilotes).

#### VI. 13/ Détermination des points pilotes et des zones :

Les points pilotes sont choisis en des endroits où les situations extrêmes qui peuvent apparaître risquent de perturber le fonctionnement du réseau.

Ces perturbations gênantes se produisent en général à proximité des groupements en charge ou des machines, c'est à dire en des points où la puissance disponible est importante.

On choisit donc les points pilotes régulièrement répartis sur le réseau parmi les sommets qui ont une puissance de court-circuit maximum.

On effectue ensuite le découpage du réseau en affectant chaque sommet au point pilote dont il suit le mieux les variations de tension.

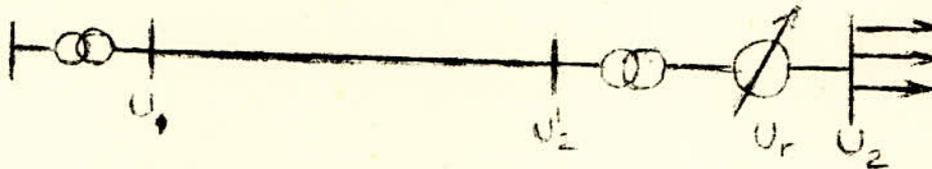
Les zones proprement dites de réglage sont déterminées en éliminant de ce premier découpage d'une part, les points où la variation de la tension est inférieure à un certain pourcentage de celle provoquée au point pilote c'est à dire les points qui sont à une trop grande distance électrique du point pilote ; d'autre part, les machines que diverses considérations techniques

des dispositifs à action lentes.

Les points ainsi éliminés des zones de réglage sont regroupés dans une zone particulière appelée "zone zéro" où toutes les machines fonctionnent en réglage de tension permettant une action rapide sur les incidents locaux. Cette zone zéro est une zone au contour non délimité (enchevêtrement dans les zones de réglage).

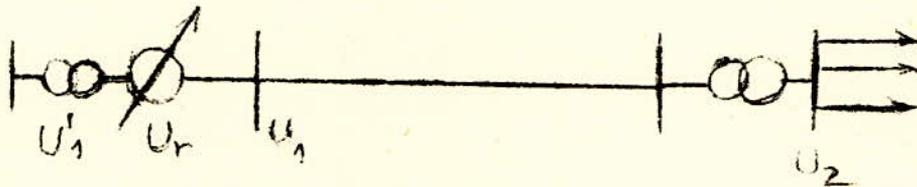
VI.2 / Fonctionnement des transformateurs munis de prises manœvrables en charge :

Ce genre de dispositif peut être utilisé dans les cas suivants  
- Méthode de réglage par injection de tension additionnelle.



$$U_2 = U_2' + U_r$$

- Méthode d'augmentation de la tension de départ :

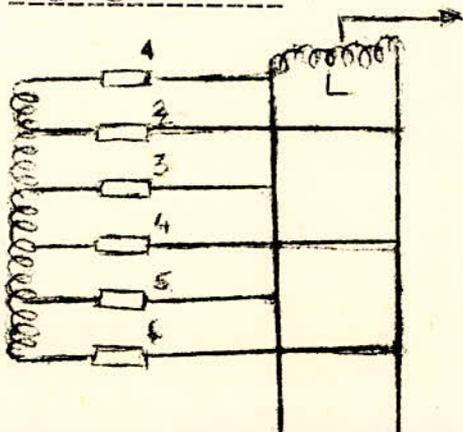


$$U_1 = U_1' + U_r$$

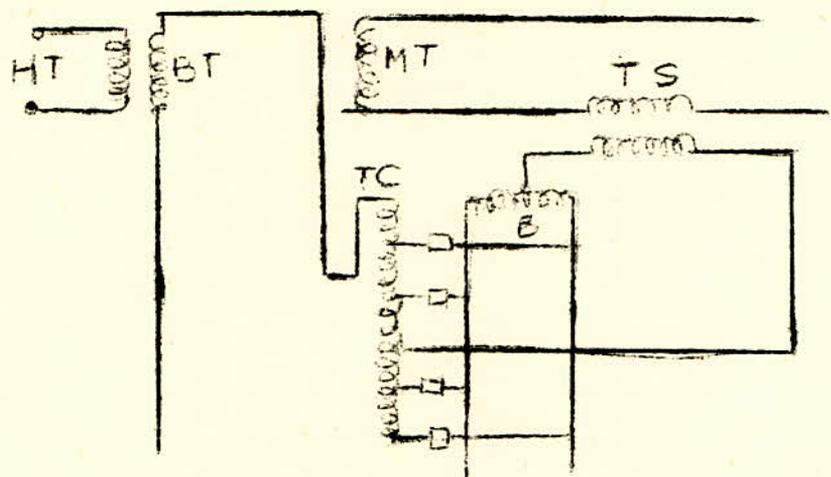
et ceci dépend uniquement de la position du transformateur réglable qui est placé soit en fin de ligne, soit en début de ligne.

Ce dispositif permet un réglage de la tension soit direct soit indirect.

Réglage direct :

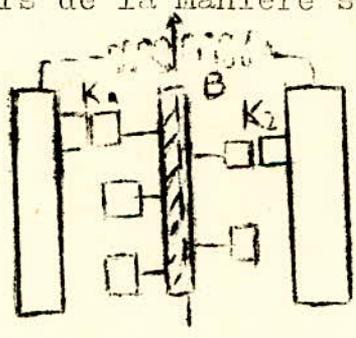


Réglage indirect :



VI.21. Transformateur à réglage de la tension en charge :

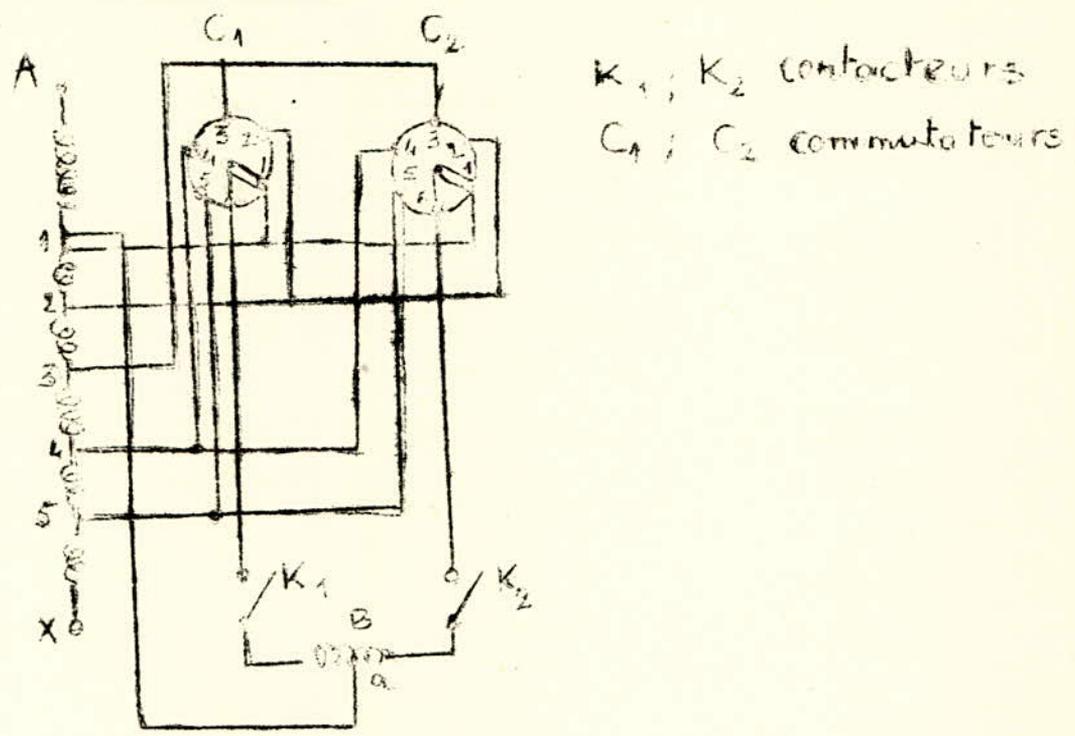
Quelque soit le mode de réglage (direct ou indirect) le passage d'un échelon de tension à un autre, en charge, doit avoir lieu sans coupure du circuit de service. Pour ceci on dispose les contacteurs de la manière suivante :



Le passage de  $K_1$  à  $K_2$  s'effectue sans coupure du circuit grâce à un emplacement judicieux des contacts.

Un tel réglage par échelons peut être réalisé de deux manières :

VI. 211. Changement du nombre de spires des enroulements du transformateur :



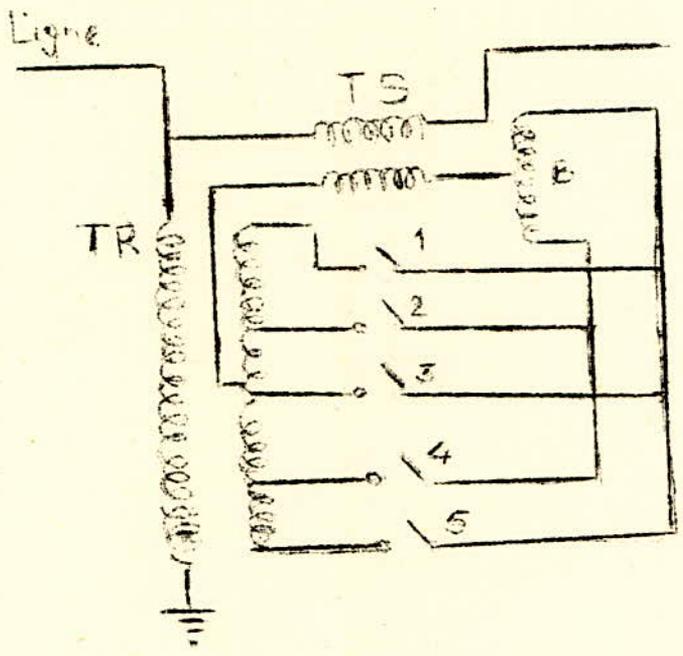
Manutention des différents contacts pour passer de la position 1 à la position 2 :

Positions	1						2
Commutateur $C_1$	1	1	2	2	2	2	2
Commutateur $C_2$	1	1	1	1	1	2	2
Contacteur $K_1$	•			•	•	•	•
Contacteur $K_2$	•	•	•	•			•

• = contacteur fermé.

Les contacteurs  $K_1$  et  $K_2$  sont normalement fermés.

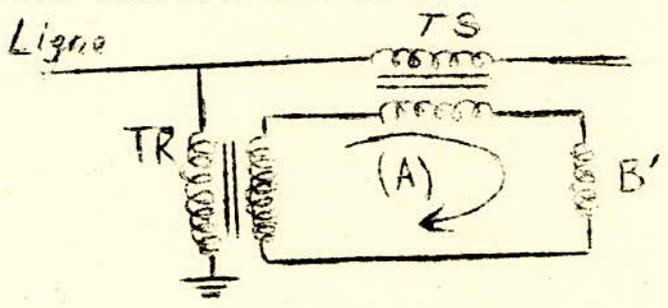
VI. 212 . Transformateur survolteur spécial inséré dans le circuit du transformateur principal et possédant un rapport de transformation variable :



TR = transformateur de réglage.  
 TS = transformateur en série.

B = bobine de réactance limitant le courant de court circuit provoqué pendant la commutation lorsqu'on ferme le contacteur 2 sans ouvrir le contacteur 1.

Schéma de fonctionnement du transformateur survolteur quand l'un des contacts est en position fermé :



Dans la maille (A) on a chute de tension inductive que l'on peut négliger par un choix judicieux de la bobine de réactance B.

## VI. 22 / Choix des plots de transformateur dans les réseaux de distribution :

Le tableau 4 nous donne les tensions nominales des plots moyens. Ces tensions sont données en Kv ; les prises de réglage en pourcentage. Et ceux-ci pour les transformateurs de construction courante.

La figure 6 représente :

a/ Schéma du réseau simplifié.

b/ Le cas dans lequel tous les plots de transformation utilisent le même plot.

c/ Le cas pour lequel on augmente le rapport de transformation pour le premier poste et on diminue ce rapport pour le dernier poste.

Si on considère le schéma du réseau de la figure 6, la tension sur le jeu de barre des trois postes A, B et C sera différente en régime de la charge maximum. On constate que, bien que le domaine de réglage est le même pour les trois transformateurs, la qualité de la tension est assurée uniquement pour le poste B. Si on augmente le rapport de transformation pour le premier poste, on va le diminuer pour le dernier, la situation imposée sera celle du poste C.

En conclusion on peut dire qu'au long d'une ligne radiale où l'on utilise le même système de réglage, la satisfaction de tous les usagers ne peut être réalisée.

L'utilisation des transformateurs survolteurs est l'un des nombreux procédés et moyens de réglage de la tension. On les emploie aussi pour optimiser les circulations de puissances dans les réseaux bouclés.

Dans ce qui suit on présentera une nouvelle façon de se baser sur un schéma équivalent propre au réglage longitudinal et transversal de la tension avec transformateur survolteur.

L'utilité de cette installation de réglage longo-transversal est évidente surtout au fonctionnement en parallèle des lignes de transport à tensions différentes.

TABLEAU -4-

TRANSFORMATEURS ELEVATEURS		TRANSFORMATEURS ABAISSEURS	
2 ENROULEMENTS	3 ENROULEMENTS	à 2 & 3 ENROULEMENTS	
6,6	6,6	6	ou 6,6 ± 5
11	11	10	ou 10,5 ± 5
22	22	20	ou 22 ± 5
38,5	38,5	35	ou 38,5 ± 2 x 2,5
121	115	110	ou 115 ± 9 x 1,78
242	231	220	ou 231 ± 12 x 1,25
PRISE DE REGLAGE : ± 5 ou ± 2 x 2,5			

On peut attacher aux transformateurs principaux de liaison, d'une manière certaine, des dispositifs de réglage contenant des transformateurs spéciaux qui permettent d'introduire une tension supplémentaire en phase avec la tension du réseau (réglage longitudinal) ou en quadrature de phase avec la tension du réseau (réglage transversal).

De pareils dispositifs peuvent être réalisés aussi d'une manière indépendante et on peut les installer, théoriquement, à n'importe quel point du réseau.

VI.23 / Elaboration des schémas équivalents des transformateurs survolteur de réglage transversal :

VI.231. Considérations sur la réalisation de l'installation de réglage transversal :

L'installation de réglage transversal (fig 61) est constituée par un transformateur T ayant un enroulement (secondaire) en série avec la ligne, l'autre enroulement (primaire) étant alimenté par un transformateur auxiliaire Ta, pourvu de prises réglables en double sens.

Le transformateur Ta, alimenté à partir du réseau, est branché de telle manière qu'une phase du transformateur T soit excitée par les deux autres phases du réseau.

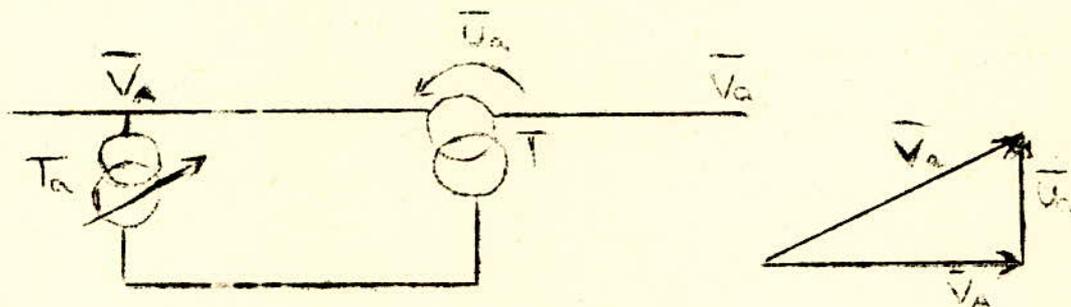


fig: 61

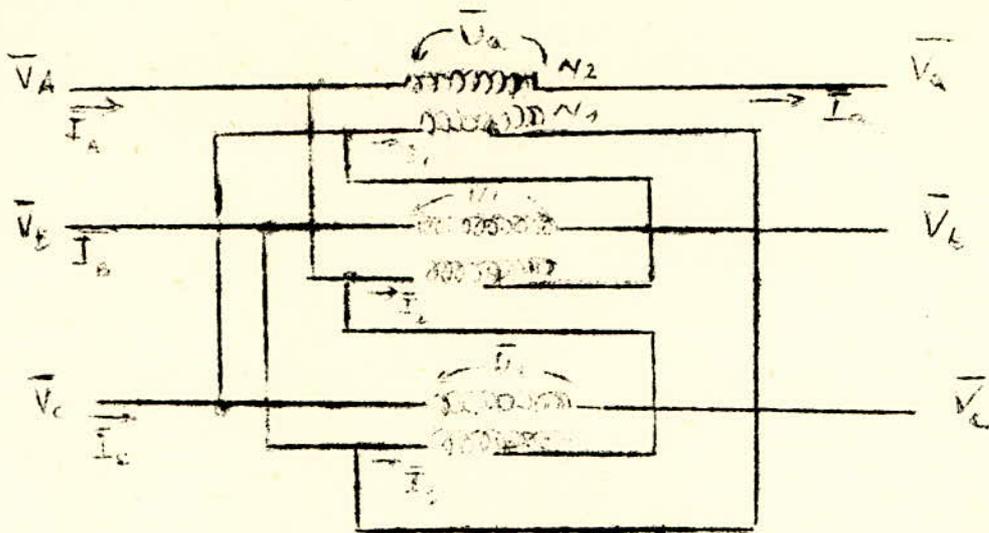


Fig: 6-2

Afin de simplifier l'installation on éliminera le transformateur auxiliaire et on emploiera uniquement le transformateur T avec des prises de réglage dans le primaire, alimenté directement au réseau (fig 62). On peut réaliser le changement de la tension  $\bar{U}_a$  à l'aide d'un inverseur de sens introduit dans le primaire .

Il faut dimensionner l'enroulement secondaire à un nombre de spires  $N_2$  choisis de telle manière que, le primaire étant complètement introduit, la tension  $U_a$  représente la valeur minimum nécessaire. Plus la valeur minimum de la tension sera grande, d'autant le nombre minimum de spires  $N_1$  du primaire sera réduit. Les dimensions du transformateur seront donc fonction des valeurs extrêmes de la tension  $U_a$ .

L'installation peut être mise hors de fonction en déconnectant l'enroulement primaire et en court-circuitant soit le primaire, soit le secondaire. Dans le premier cas, l'impédance de court-circuit du transformateur reste connectée en série avec la ligne.

VI.232. Equations de fonctionnement du schéma :

En introduisant les notations :  $R_1 ; X_1 ; R_2 ; X_2$  - résistances et réactances de dispersion des enroulements primaire et secondaires,  $\phi$  - flux principal du transformateur,  $I_0$  - courant de fonctionnement à vide et les impédances  $Z_1 = R_1 + jX_1$ ,

$Z_2 = R_2 + jX_2$  et en considérant symétriques les systèmes de courants et de tensions, on peut écrire, pour le schéma représenté dans la fig 61, les équations matricielles suivantes :

$$(1) \begin{bmatrix} \bar{V}_C - \bar{V}_B \\ \bar{V}_A - \bar{V}_C \\ \bar{V}_B - \bar{V}_A \end{bmatrix} = \bar{Z}_1 \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} + j\omega N_1 \bar{\phi} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(2) \begin{bmatrix} \bar{U}_a \\ \bar{U}_b \\ \bar{U}_c \end{bmatrix} = \bar{Z}_2 \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} + j\omega N_2 \bar{\phi} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(3) N_1 \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} + N_2 \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = N_1 \begin{bmatrix} \bar{I}_{10} \\ \bar{I}_{20} \\ \bar{I}_{30} \end{bmatrix}$$

$$(4) \begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_A \\ \bar{V}_B \\ \bar{V}_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{U}_a \\ \bar{U}_b \\ \bar{U}_c \end{bmatrix}$$

$$(5) \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_B \\ \bar{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{I}_2 - \bar{I}_3 \\ \bar{I}_3 - \bar{I}_1 \\ \bar{I}_1 - \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

Dans (1) et (5) on observe que les équations correspondant à une certaine phase contiennent des grandeurs d'état des deux autres phases. En exprimant les grandeurs d'état d'une phase fonction des grandeurs correspondant aux deux autres phases, les équations (1) et (5) deviennent :

$$(1') \quad j\sqrt{3} \begin{bmatrix} \bar{V}_A \\ \bar{V}_B \\ \bar{V}_C \end{bmatrix} = \bar{Z}_1 \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} + j\omega N_1 \bar{\phi} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(5') \quad \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_B \\ \bar{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} - j\sqrt{3} \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix}$$

VI.233. Schéma équivalent :

Les relations (1') et (5') permettent d'écrire les équations d'une phase uniquement en fonction des grandeurs d'état associées à la phase respective.

On va considérer, par conséquent, les équations d'une phase pour en déduire le schéma équivalent de l'ensemble.

En notant  $\bar{E}_1 = -j\omega N_1 \bar{\phi}$   
 et  $\bar{E}_2 = -j\omega N_2 \bar{\phi}$

on a :

- (6)  $j\sqrt{3} \bar{V}_A = \bar{Z}_1 \bar{I}_1 - \bar{E}_1$
- (7)  $-\bar{U}_a = \bar{Z}_2 \bar{I}_a - \bar{E}_2$
- (8)  $\bar{N}_1 \bar{I}_1 + \bar{N}_2 \bar{I}_a = \bar{N}_1 \bar{I}_{10}$
- (9)  $\bar{V}_a = \bar{V}_A + \bar{U}_a$
- (10)  $\bar{I}_A = \bar{I}_a - j\sqrt{3} \bar{I}_1$

On rapporte les grandeurs primaires du transformateur à l'enroulement secondaire. En multipliant l'équation (6) par  $\frac{N_2}{N_1}$

et en multipliant l'équation (8) par  $N_2$  on en obtient :

$$(11) \quad j\sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} \bar{V}_A = \bar{Z}'_1 \bar{I}'_1 - \bar{E}_2$$

$$(12) \quad \bar{I}'_1 = -\bar{I}_a + \bar{I}'_{10}$$

où  $\bar{Z}'_1 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \bar{Z}_1$  ;  $\bar{I}'_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \bar{I}_1$  ;  $\bar{I}'_{10} = \frac{N_1}{N_2} \bar{I}_{10}$

En notant :

$$(13) \quad \bar{I}_p = -j\sqrt{3} \bar{I}_1 = -j\sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} \bar{I}'_1$$

l'équation (10) devient:

$$(14) \quad \bar{I}_A = \bar{I}_a + \bar{I}_p$$

et l'équation (11), compte tenu de (7), peut être sous la forme

$$(15) \quad -j\sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} \bar{V}_A = -\bar{Z}'_1 \cdot \bar{I}'_1 + \bar{U}_a + \bar{Z}_2 \bar{I}_a$$

En introduisant le rapport de transformation complexe :

$$(16) \quad \bar{K} = j\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}}$$

Il en résulte de (13) que  $\bar{I}_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \bar{I}'_1$  et avec la notation :

$\bar{V}_A = \bar{K} \cdot \bar{V}'_A$  on obtient :

$$(17) \quad \bar{V}'_A = -\bar{Z}'_1 \bar{I}'_1 + \bar{Z}_2 \bar{I}_a + \bar{U}_a$$

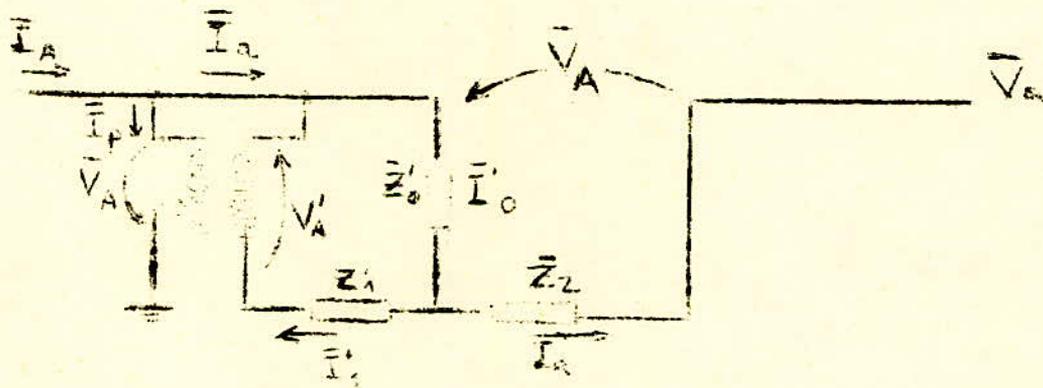


fig: 6.3

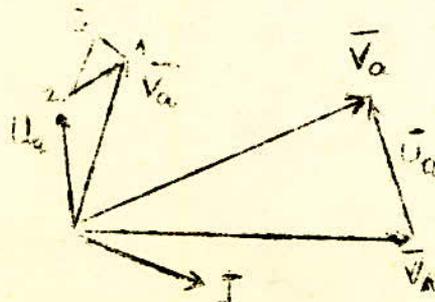


fig 6.4.

Les équations (12), (14) et (17) permettent de déterminer un schéma équivalent (fig.6 3) où l'on a introduit le transformateur idéal à rapport de transformation complexe  $\bar{K}$ .

Dans le cas où l'on néglige l'impédance d'aimantation du transformateur, en introduisant l'impédance de court-circuit:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{sc} &= \bar{Z}'_1 + \bar{Z}_2 \quad \text{où} \\ R_{sc} &= R'_1 + R_2 \quad \text{et} \\ X_{sc} &= X'_1 + X_2\end{aligned}$$

on obtient le schéma équivalent simplifié avec le diagramme phasoriel correspondant (fig 64).

Si l'on prend en considération aussi le transformateur Ta (fig 61) on obtiendra donc le schéma équivalent qu'on a vu où le transformateur idéal a le rapport de transformation complexe :

$$\bar{K} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_1}{n_2} \frac{N_1}{N_2} e^{j\frac{\pi}{2}}$$

On a noté par  $n_1$  et  $n_2$  les nombres de spires primaires et secondaires de Ta.

Pour conclure :

- On peut réaliser l'installation de réglage transversal par un schéma plus simple que ceux usuels, à l'aide d'un seul transformateur avec des prises réglables dans le primaire.

- Le schéma équivalent du réglage transversal est établi, dans ce travail, avec une précision élevée et ceci encore plus en introduisant un transformateur idéal ayant un rapport de transformation complexe.

VI.24 / Elaboration des schémas équivalents des transformateurs survolteurs de réglage longitudinal :

VI.241. Equations de fonctionnement - Schéma équivalent :

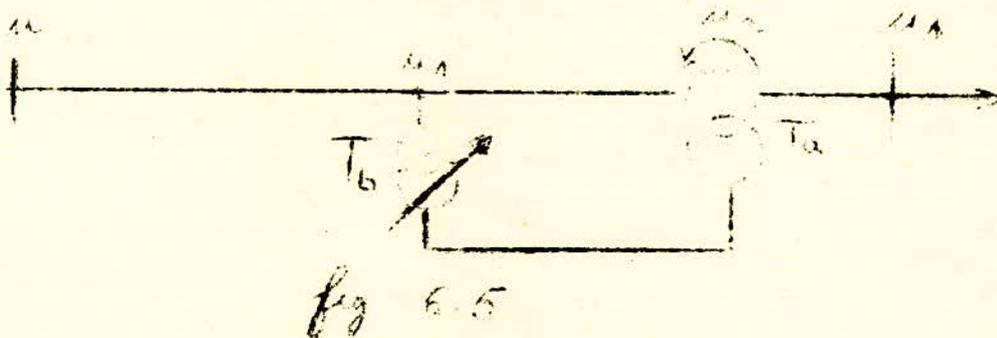
On considère un récepteur alimenté par une ligne où l'on a introduit un dispositif de réglage formé par un transformateur  $T_a$ , ayant un enroulement en série avec la ligne, excité par un transformateur ou auto-transformateur  $T_b$  (fig 6 5). La tension supplémentaire  $u_a$  peut être déphasée d'une manière différente par rapport à la tension de ligne  $u_l$  en fonction des connexions des transformateurs  $T_a$  et  $T_b$ . On rencontre le plus souvent deux situations :

- déphasage de  $0^\circ$  ou  $180^\circ$  (réglage longitudinal)
- déphasage de  $90^\circ$  (réglage transversal déjà vu dans le paragraphe précédent)

Si la tension supplémentaire  $u_a$  a été introduite seulement en vue de régler la tension de la charge, on emploie, d'habitude, le réglage longitudinal.

Dans le cas, si l'on considère le réseau et la charge symétrique sur les trois phases, on peut se limiter à l'étude du schéma monophasé de l'installation présenté ci-dessous (fig 66) où  $r_l, L_l, r_s, L_s$  sont les résistances et les inductances de la ligne, respectivement de la charge.

Pour simplifier on a négligé, dans le schéma de la figure 66 les paramètres de transversance de la ligne.



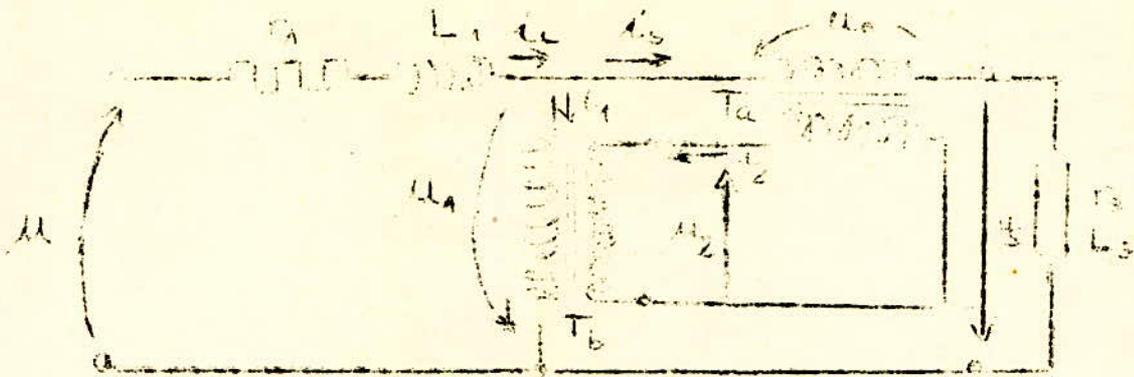


fig 6.6

On obtiendra une tension  $u_3$  réglable par la modification du rapport de transformation  $K_b$  du transformateur  $T_b$ . On peut introduire la tension  $u_3$  soit dans le sens de l'augmentation ( $K_b$  positif) soit dans le sens de la diminution ( $K_b$  négatif) de la tension  $u_3$  de la charge. Pour que le transformateur  $T_b$  remplisse cette condition de réglage à double sens, il faut le réaliser avec le point neutre au milieu ou bien prévoir, dans le secondaire, un dispositif d'inversion de sens.

Le réglage de la tension en double sens est important pour beaucoup de récepteurs d'énergie électrique pour lesquels, à une valeur maximale de la charge, on obtient une tension réduite aux bornes ; et à la charge minimale ils peuvent se produire des augmentations inadmissibles de la tension.

Les principales notions introduites dans les équations établies ci-dessous et qui décrivent le fonctionnement du schéma sont :  $w_{1a}$ ,  $w_{2a}$  et  $w_{1b}$ ,  $w_{2b}$  - les nombres de spires des enroulements primaires et secondaires des transformateurs  $T_a$  et  $T_b$  ;  $r_{1a}$ ,  $L_{1a}$ ,  $r_{2a}$ ,  $L_{2a}$ ,  $r_{1b}$ ,  $L_{1b}$ ,  $r_{2b}$ ,  $L_{2b}$  - les résistances et les inductances de dispersion de ces enroulements ;  $\phi_a$  et  $\phi_b$  - les flux utiles des deux transformateurs ;  $i_{0a}$ ,  $i_{0b}$  - les courants d'alimentation correspondant ;  $u_1$ ,  $i_1$ ,  $u_2$ ,  $i_2$  - les tensions et les courants de l'enroulement primaire, respectivement secondaire du transformateur  $T_b$ .

Le modèle mathématique, attaché au schéma de la figure 66, s'exprime par les équations suivantes :

$$(1) \quad u_L = u - r_L i_L - L_L \frac{di_L}{dt}$$

$$(2) \quad u_s = u_L + u_a$$

$$(3) \quad u_s = r_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt}$$

$$(4) \quad i_L = i_1 + i_s$$

$$(5) \quad u_1 = r_{1b} i_1 + L_{1b} \frac{di_1}{dt} + w_{1b} \frac{d\phi_b}{dt}$$

$$(6) \quad -u_2 = r_{2b} i_2 + L_{2b} \frac{di_2}{dt} + w_{2b} \frac{d\phi_b}{dt}$$

$$(7) \quad w_{1b} i_{ob} = w_{1b} i_1 + w_{2b} i_2$$

$$(8) \quad u_2 = r_{1a} i_2 + L_{1a} \frac{di_2}{dt} + w_{1a} \frac{d\phi_a}{dt}$$

$$(9) \quad -u_a = r_{2a} i_s + L_{2a} \frac{di_s}{dt} + w_{2a} \frac{d\phi_a}{dt}$$

$$(10) \quad w_{1a} i_{oa} = w_{1a} i_2 + w_{2a} i_s$$

Les équations écrites subiront toute une série de transformations afin d'aboutir au schéma équivalent de l'ensemble. On rapportera les paramètres de deux transformateurs au nombre de spires de l'enroulement secondaire du transformateur Ta, puisque cet enroulement est en série avec la charge et de cette façon les paramètres de la charge seront en grandeurs réelles.

Les rapports de transformations de deux transformateurs sont :

$$K_a = \frac{w_{1a}}{w_{2a}} \quad \text{et} \quad K_b = \frac{w_{1b}}{w_{2b}}$$

En multipliant l'équation (5) par  $\frac{1}{K_a K_b}$  et en introduisant les notations :

$$(11) \quad u_1' = u_1 \frac{1}{K_a K_b}$$

$$i_1'' = K_a \cdot K_b \cdot i_1$$

$$(12) \quad r'_{1b} = \left(\frac{1}{K_a \cdot K_b}\right)^2 r_{1b} \quad ; \quad L'_{1b} = \left(\frac{1}{K_a \cdot K_b}\right)^2 L_{1b}$$

Il en résulte :

$$(13) \quad u_1' = r'_{1b} i_1' + L'_{1b} \frac{di_1'}{dt} + \frac{1}{K_a} w_{2b} \frac{d\phi_b}{dt}$$

On multiplie l'équation (6) par  $\frac{1}{K_a}$ .

Si l'on note par :

$$(14) \quad u_2' = \frac{1}{K_a} u_2 \quad ; \quad i_2' = K_a \cdot i_2$$

$$(15) \quad r'_{2b} = \left(\frac{1}{K_a}\right)^2 r_{2b} \quad ; \quad L'_{2b} = \left(\frac{1}{K_a}\right)^2 L_{2b}$$

On peut écrire :

$$(16) \quad -u_2' = r'_{2b} i_2' + L'_{2b} \frac{di_2'}{dt} + \frac{1}{K_a} w_{2b} \frac{d\phi_b}{dt}$$

En effectuant la soustraction des relations (16) et (13) on obtient :

$$(17) \quad u_1' = -u_2' + r'_{1b} i_1' + L'_{1b} \frac{di_1'}{dt} - r'_{2b} i_2' - L'_{2b} \frac{di_2'}{dt}$$

Après la multiplication par  $\frac{K_a}{w_{2b}}$  et en considérant les équations (11<sub>2</sub>) et (14), l'équation des ampères-tours (7) devient :

$$(18) \quad i'_{ob} = i_1' + i_2'$$

$$\text{où } i'_{ob} = K_a \cdot K_b \cdot i_{ob}$$

en additionnant (3) à (9) et compte tenu de (2), il résulte :

$$(19) \quad u_1 = (r_{2a} + r_s) i_s + (L_{2a} + L_s) \frac{di_s}{dt} + w_{2a} \frac{d\phi_a}{dt}$$

On multiplie (8) par  $\frac{1}{K_a}$  et on en effectue la soustraction

de (19) pour obtenir :

$$(20) \quad u_1 = u_2' + (r_{2a} + r_s) i_s + (L_{2a} + L_s) \frac{di_s}{dt} - r'_{1a} i_2' - L'_{1a} \frac{di_2'}{dt}$$

L'équation (10) des ampères-tours du transformateur Ta peut être écrite, après multiplication par  $\frac{Ka}{w_{1a}}$

$$(21) \quad i'_{oa} = i'_2 + i_s$$

où  $i'_{oa} = Ka \cdot i_{oa}$

Les équations (1), (2), (3), (4), (17), (18), (20) et (21) permettent l'étude de l'ensemble aussi bien en régime permanent qu'en régime transitoire.

Si l'on passe aux grandeurs complexes, pour étudier seulement le régime permanent sinusoïdal, on peut attacher à ces équations le schéma équivalent de la figure 6 7.

$\bar{Z}_{oa}$  et  $\bar{Z}_{ob}$  représentent les impédances des circuits d'aimantation des transformateurs. On observe que les deux transformateurs ont été remplacés par leurs schémas équivalents en T.

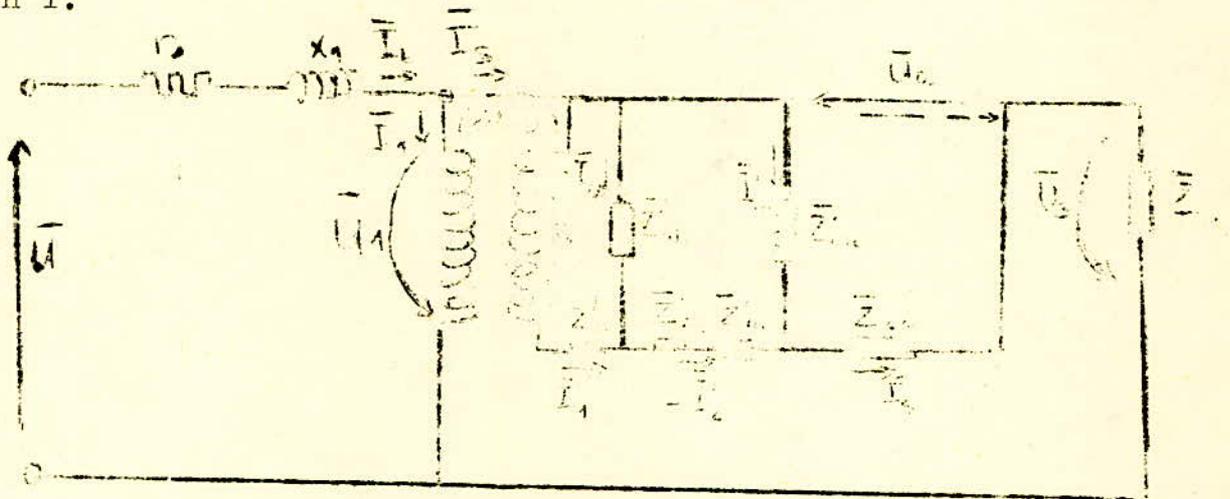


Fig 6.7

Il a été nécessaire d'introduire aussi le transformateur idéal Tab ayant le rapport de transformation KaKb et représenté par les équations (11) .

La tension supplémentaire  $U_a$  sera donné par la relation :

$$(22) \quad \bar{U}_a = \bar{U}'_1 - \bar{Z}'_{1b} \bar{I}'_1 - (\bar{Z}'_{2b} + \bar{Z}'_{1a})(-\bar{I}'_2) - \bar{Z}'_{2a} \bar{I}'_s$$

On représente dans la figure 68, le diagramme phasoriel correspondant uniquement au cas où  $K_b$  est positif, et ceci pour ne pas compliquer le dessin.

La relation (21) met en évidence le fait que l'interruption du circuit secondaire du transformateur  $T_b$ , ( $-\bar{I}'_2 = 0$ ), donc à la mise en série de la chute de tension sur l'impédance d'aimantation ( $\bar{Z}_{0a} \bar{I}'_s$ ) dans le circuit du récepteur. Un effet pareil résulte aussi à l'interruption du primaire du transformateur  $T_b$ . Il faut prévenir de telles situations par des mesures spéciales de protection.

Si  $K_b = \infty$ , ( $w_{2b} = 0$ ) le transformateur  $T_a$  est court-circuité  $\bar{U}_2 = 0$  et  $\bar{U}_a$  représente, en ce cas, la chute de tension sur ce transformateur.

Si l'on néglige les courants d'aimantation des deux transformateurs :  $\bar{I}'_{0a} \neq \bar{I}'_{0b} \neq 0$

on aura :

$$(23) \quad \bar{I}'_s = -\bar{I}'_2 = \bar{I}'_1$$

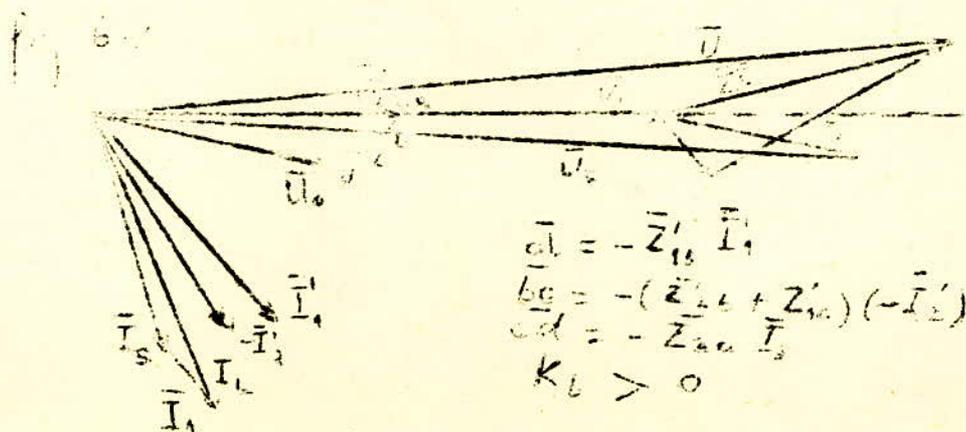
et l'équation (22) devient :

$$(24) \quad \bar{U}_a = \bar{U}'_1 - (\bar{Z}'_{1b} + \bar{Z}'_{2b} + \bar{Z}'_{1a} + \bar{Z}'_{2a}) \bar{I}'_s$$

où l'on a noté par :

$$\bar{Z}_{sc} = \bar{Z}'_{1b} + \bar{Z}'_{2b} + \bar{Z}'_{1a} + \bar{Z}'_{2a}$$

et  $R_{sc} = \text{Re} Z_{sc}$  ;  $X_{sc} = \text{Im} Z_{sc}$



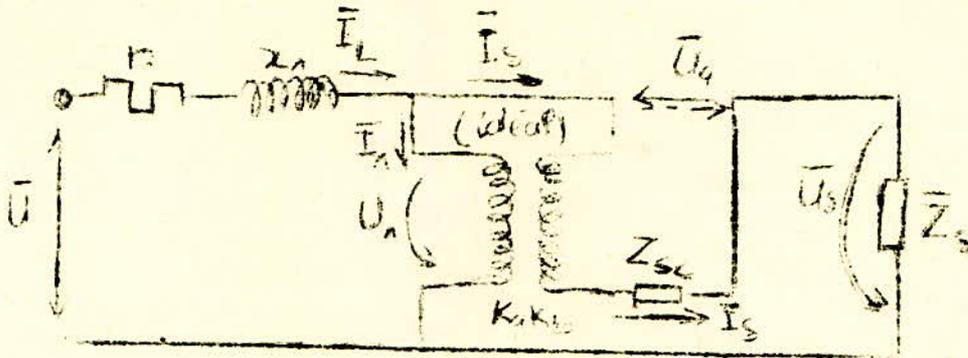


fig 6.9

Si l'on introduit les paramètres de court-circuit des deux transformateurs rapportés à leurs circuits secondaires.

$$(25) \quad \bar{Z}_{scb} = \frac{\bar{Z}_{1b}}{K_b^2} + \bar{Z}_{2b}$$

et

$$\bar{Z}_{sca} = \frac{\bar{Z}_{1a}}{K_a^2} + \bar{Z}_{2a}$$

on a :

$$(26) \quad \bar{Z}_{sc} = \frac{\bar{Z}_{scb}}{K_a^2} + \bar{Z}_{sca}$$

Il faut mentionner que dans la relation (25)  $\bar{Z}_{2b}$  est aussi une fonction de la grandeur  $K_b$ . Le schéma équivalent simplifié, avec les notations introduites ci-dessus, est représenté dans la figure 6.9. Le diagramme phasoriel, attaché à ce schéma, est construit dans la figure 6.10.

VI.242. Remarques concernant le réglage de tension :

On déterminera à l'aide du diagramme phasoriel de la figure 6.10 et de quelques hypothèses simplificatrices acceptables, la variation de la grandeur  $K_b$  en fonction des puissances actives  $P$  et réactives  $Q$  du consommateur, en considérant que le réglage est effectué en constante la tension aux bornes de la charge.

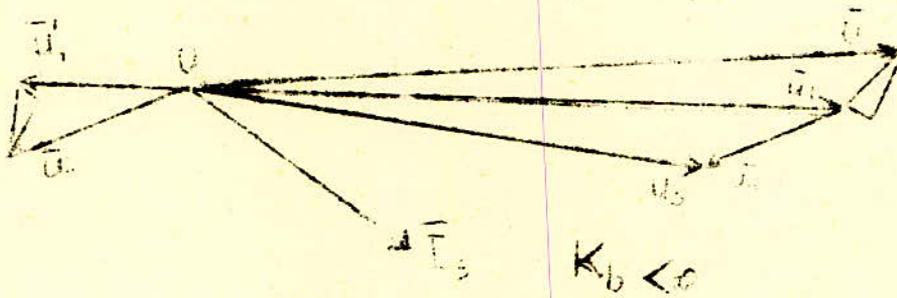
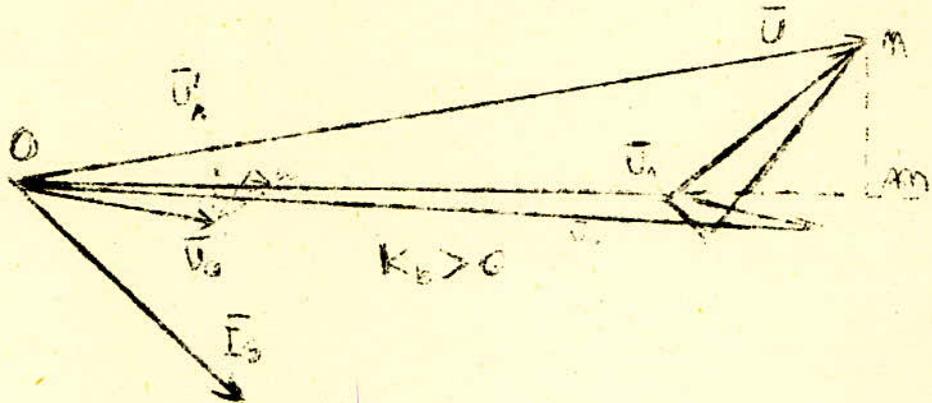


Fig 6.10

On néglige les composantes transversales mn et ed de la chute de tension en ligne, respectivement sur l'impédance  $\bar{Z}_{sc}$  et les pertes de puissance active et réactive dans l'installation de réglage. En ce cas le phasor  $\bar{U}$  sera représenté par Om et  $\bar{U}_a$  par Oe. On pourra donc écrire :

$$\arg \bar{U} = \arg \bar{U}_1 = \arg \bar{U}_a = \arg \bar{U}_s = 0$$

La tension au bout de la ligne sera donnée par la relation connue :

$$(27) \quad U_1 = U - \frac{Pr_1 + Qx_1}{\sqrt{3} U}$$

avec la relation :  $\bar{I}_s = I_s e^{j\phi}$

On aura :

$$(28) \quad U_a \neq O_a - e_a = U_1' - (R_{sc} I_s \cos\phi + X_{sc} I_s \sin\phi), \text{ où :}$$

$$(29) \quad I_s \cos\phi = \frac{P}{\sqrt{3} U_s} \quad \text{et} \quad I_s \sin\phi = \frac{Q}{\sqrt{3} U_s}$$

A partir des relations (11), (29), (30) et (31) il résulte :

$$(30) \quad U_a = \frac{1}{K_a \cdot K_b} \left[ U - \frac{P r_1 + Q x_1}{\sqrt{3} U} \right] - \frac{P R_{sc} + Q X_{sc}}{\sqrt{3} U_s}$$

et compte tenu de (2), on aura :

$$(31) \quad U_s = \left[ U - \frac{P r_1 + Q x_1}{\sqrt{3} U} \right] \left[ 1 + \frac{1}{K_a \cdot K_b} \right] - \frac{P R_{sc} + Q X_{sc}}{\sqrt{3} U_s}$$

Dans la relation (31), à condition que  $U_s = U_{sn}$  ( $U_{sn}$  étant la tension nominale) et acceptant que l'influence de la grandeur  $K_b$  sur l'impédance  $Z_{sc}$  soit, pratiquement négligeable, on trouve :

$$(32) \quad K_b(P, Q) = \frac{1}{K_a} \frac{U - \frac{P r_1 + Q x_1}{\sqrt{3} U}}{U_{sn} - U + \frac{P r_1 + Q x_1}{\sqrt{3} U} + \frac{P R_{sc} + Q X_{sc}}{\sqrt{3} U_{sn}}}$$

ou en tenant compte de (27) on a :

$$(33) \quad K_b(U_a) = \frac{1}{K_a} \frac{U_a}{U_{sn} - U_a + \Delta U_{sc}}$$

ou l'on a noté :

$$(34) \quad \Delta U_{sc} = \frac{P R_{sc} + Q X_{sc}}{\sqrt{3} U_{sn}}$$

Un certain dispositif de réglage devra assurer la modification correspondante du rapport de transformation  $K_b$  en fonction de la puissance de la charge selon la relation (32) ou en fonction de la tension  $U_1$  selon la relation (33).

Comme le rapport de transformation  $K_b$  a une variation graduelle (par plots), la tension obtenue aux bornes du récepteur ne coïncidera pas exactement à la tension nominale de celui-ci, l'écart dépendant de la grandeur du degré de réglage.

La détermination du nombre des plots et de la valeur d'un degré de réglage seront obtenues par une investigation judicieuse des conditions de fonctionnement des écarts de la tension admises et du diagramme de charge du consommateur.

VI.243. Considérations concernant le choix des transformateurs

Ta et Tb :

On peut obtenir les transformateurs Ta et Tb soit par adaptation des transformateurs de la production en série, soit par conception et réalisation de transformateurs spéciaux. On s'occupera ci-dessous, au cours d'un exemple de calcul, de la réalisation d'un système de réglage par modification appropriées des transformateurs existants.

L'étude détaillée des projets de telles installations, compte tenu de la nécessité de leur diffusion, fera l'objet d'un autre travail.

On peut choisir le transformateur Ta parmi les transformateurs de force à petite puissance de la production en série. Sa tension secondaire devra être égale à la valeur maxima de la tension  $U_a$  résultant des conditions de réglage :

$$(35) \quad U_{a_{\max}} = \frac{p\%}{100} U_{sn}$$

et sa puissance nominale

$$(36) \quad S_{Ta} = \sqrt{3} U_{a_{\max}} I_{\max} = \frac{p\%}{100} S_{\max}$$

Si l'isolation de l'enroulement secondaire est trop faible par rapport à la tension de la ligne, on montera ce transformateur avec la cuve isolée, après avoir remplacé, d'une manière correspondante, les isolateurs de bornes.

On choisira le transformateur Tb d'une telle manière qu'il ait la même puissance que Ta, selon la relation (36), et la tension primaire égale à la tension nominale de la ligne.

A cause du réglages du nombre de spires de l'enroulement secondaire en limites très larges, le transformateur choisi de la production courante devra subir des modifications plus importantes.

La tension secondaire devra correspondre à la tension primaire du transformateur  $T_a$ . On déterminera donc le nombre maximum de spires du secondaire en calculant la valeur minimale du rapport de transformation  $K_b$  selon la relation (32), où  $P$  et  $Q$  sont les puissances actives et réactives maximales du consommateur.

VI.244. Exemple de calcul :

On considère un consommateur alimenté aux barres d'une station  $T_1$  par une ligne de 6 Kv construite en câble d'aluminium (fig 611)

On connaît  $r_1 = 3,25 \Omega$ ,  $X_1 = 0,416 \Omega$

Les données du consommateur sont les suivantes :

- charge raccordée aux barres de 6 Kv,  $P_1 = 400 \text{ KW}$   
 $\cos\phi = 0,9$  en régime maximum et  $P_1 = 100 \text{ KW}$   
 $\cos\phi = 0,8$  en régime minimum,
- charge raccordée aux barres de 0,4 Kv,  $P_2 = 150 \text{ KW}$ ,  
 $\cos\phi = 0,8$  en régime minimum.

La charge sur les barres de 6 Kv n'admet pas d'écart de tension et sur les barres de 0,4 Kv on admet  $\pm 3\%$ .

La station  $T_2$  est équipée par deux transformateurs de 630KVA chacun ayant les caractéristiques :

- Pertes à vide :  $P_0 = 1,54 \text{ KW}$
- Pertes en court-circuit :  $P_k = 9,72 \text{ KW}$
- Courant de fonctionnement à vide :  $I_0 = 2,4 \%$
- Tension de court-circuit :  $U_k = 6 \%$
- $K_a = 6/0,4 = 15$

Dans la station  $T_1$  on maintient, par réglage centralisé, une tension  $U$  dans tous les régimes de fonctionnement du récepteur analysé.

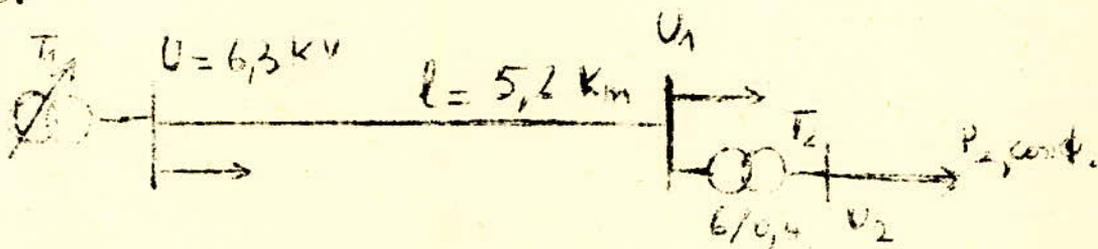


fig 6-11

En l'absence de l'installation de réglage, on donne, dans le tableau 6 1, les résultats de calcul des régimes maxima et minima, les conditions de réglage imposées seront remplies par l'installation de réglage conformément au tableau 6 2.

Dans les tableaux ci-dessous et au cours de tout le calcul on emploie des tensions composées.

Il résulte des relations (35) et (36) la tension composée supplémentaire nécessaire au maximum de la charge,  $U_a = 0,505 \text{ Kv}$  et la puissance du transformateur  $T_a : S_{Ta} = 132 \text{ KVA}$ .

On choisit dans les catalogues existants le transformateur ayant les caractéristiques :

Tableau 6 1 :

	U Kv	P Kw	Q <sub>1</sub> Kvar	P <sub>2</sub> Kw	Q <sub>2</sub> Kvar	$\Delta U_L$ Kv	$\Delta U_{\%}$ Kv	$U_1 - U$ Kv	$U_2$ Kv
Régime maxi	6,3	400	194	1000	484	0,203	0,216	5,495	5,28
Régime mini	6,3	100	75	150	114,5	0,148	0,043	6,152	6,101

Tableau 6 2 :

	U Kv	U <sub>1</sub> Kv	U <sub>a</sub>		U <sub>s</sub> Kv	U <sub>2</sub> Kv	$\frac{U_{ajout}}{U_2}$ %	U <sub>2</sub> Kv
			Kv	%				
Régime maxi	6,3	5,495	+0,505	+8,42	6	5,79	0	0,326
Régime mini	6,3	6,152	-0,152	-2,54	6	5,957	+5	0,379

$S = 160 \text{ KVA}$  ;  $Ka = 6 / 0,525$  ;  $Y_y - 12$  ;  $Po = 0,8 \text{ KW}$  ;  $P_k = 3,5 \text{ KW}$   
 $U_k = 4 \%$  ;  $Io = 3,15 \%$ .

Les paramètres en court-circuit rapportés au secondaires sont

$$R_{sc_a} = 0,0378 \text{ et } X_{sc_a} = 0,0687 \text{ } \Omega$$

On exécute le montage à cuve isolée.

On choisit  $T_b$  de la même puissance que le transformateur  $T_a$ . Son circuit secondaire sera modifié de la manière exigée. La tension primaire est :  $U_{1b} = 6 \text{ Kv}$ . Avec la relation (34) on détermine en considérant :

$$R_{sc_b(max)} \neq R_{sc_a} \text{ et } X_{sc_{max}} \neq X_{sc_a}$$

$\Delta U_{sc_{max}} = 0,033 \text{ Kv}$  et avec (33) on calcule  $Kb_{min} = 0,895$ . La valeur du plot maximum résulte :

$$U_{2b(max)} = \frac{U_{1b}}{Kb_{min}} = \frac{6}{0,895} = 6,7 \text{ Kv}$$

D'une manière analogue, pour la charge minimale il résulte :

$\Delta U_{sc} \neq 0$  ;  $Kb = -3,72$  ; la tension du plot minimum :

$$U_{2b(min)} = -1,61 \text{ Kv}$$

#### VI.245. Conclusions :

a/ On peut étudier le réglage de la tension à l'aide d'un transformateur survolteur, avec la précision désirée, à l'aide des schémas équivalents établis dans la première partie de l'étude .

b/ On déduit la loi de variation du rapport de transformation du transformateur auxiliaire en fonction des puissances active et réactive de la charge en fonction de la tension aux bornes de la charge, à la condition qu'on réalise un réglage optimum.

c/ Un exemple de calcul confirme la méthode proposée et précise les problèmes soulevés par le choix des éléments du schéma.

VI.25 / Régulation de la tension par changement de phase :

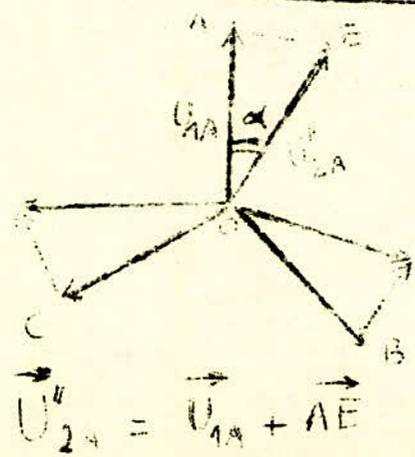
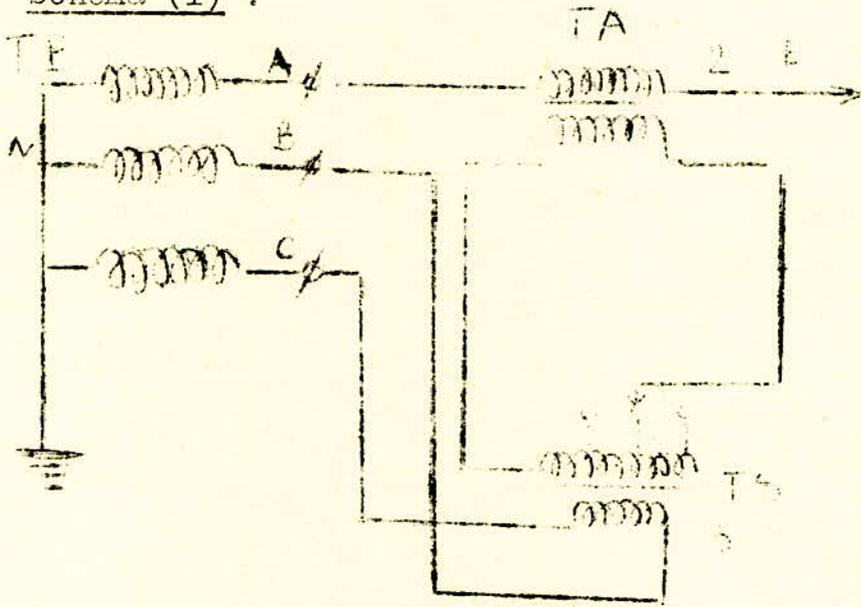
Cette méthode de régulation de tension est basée sur le changement des phases A, B, C.

Selon le branchement des phases, on obtient différents déphasages entre la tension secondaire du transformateur principal TP -c'est à dire la tension  $U_1$  (si on considère la phase A c'est la tension  $U_{1A} = OA$ )- et la tension secondaire du transformateur auxiliaire TA -c'est à dire la tension  $U_{TA}$  ( $U_{TA} = AE$ , si l'on considère toujours la phase A).

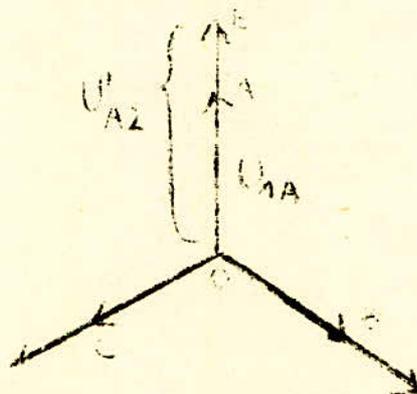
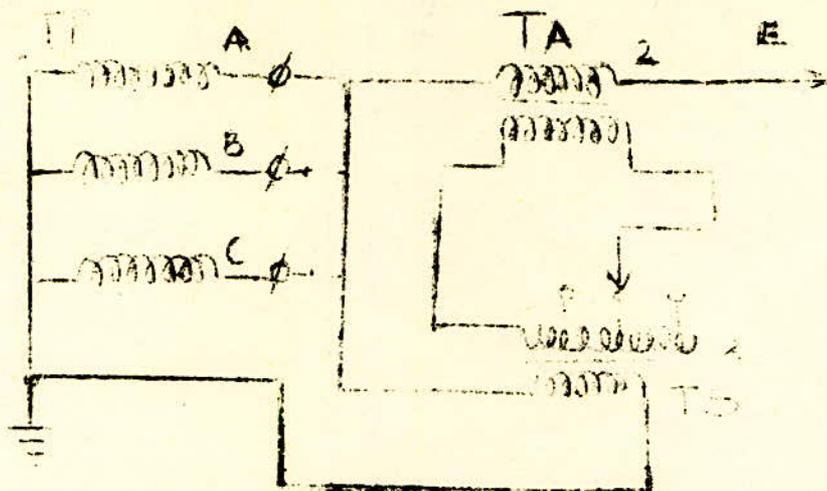
Ceci permet d'aboutir aux trois schémas suivants donnant un réglage de tension par changement de phases :

Chaque schéma est représenté avec son diagramme phasoriel.

Schéma (I) :

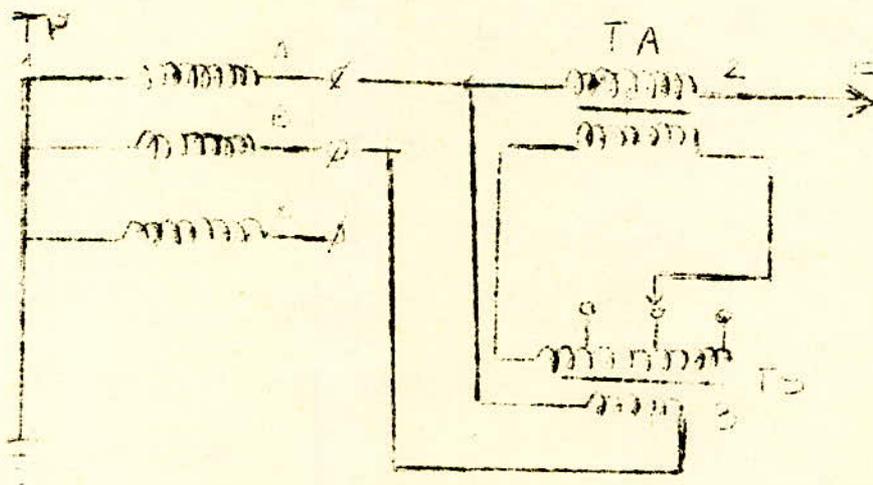


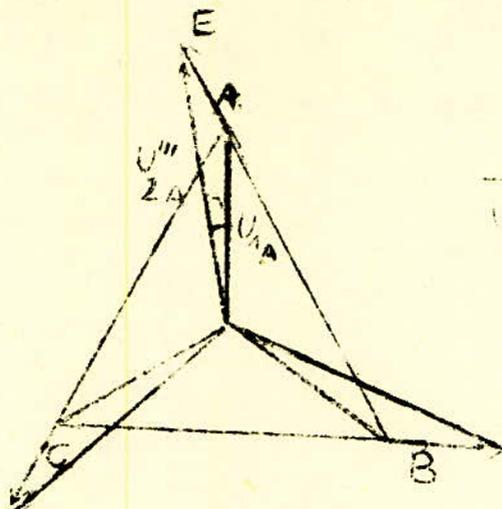
Schéna (II) :



$$U'_{A2} = U_{1A} + AE$$

Schéna (III) :





Dans les trois schémas ( I, II et III), la puissance  $S_{TA}$  qui passe dans le transformateur auxiliaire TA est de 10 à 15% de la puissance transitée S.

Le transformateur TS (3) a un rapport de transformation variable en charge ; il permet d'avoir une tension primaire de TA variable.

On constate que ce mode de réglage est simple puisqu'il suffit de faire un changement judicieux des phases A B C pour obtenir la tension désirée.

Le deuxième cas (schéma II) est plus intéressant parcequ'il présente un intérêt de réalisation pratique ; ceci est du aux tensions  $U_1$  et  $U_{TA}$  qui s'ajoutent colinéairement.

### VI. 3 / Appareils d'absorption ou de production de puissance réactive :

Le réglage de tension par injection de puissance réactive repose sur les possibilités de fournir ou d'absorber la puissance réactive en certains points du réseau.

#### VI.31/ Machines synchrones :

Elles fournissent ou absorbent la puissance réactive selon la valeur de leur courant d'excitation.

Surexcitées, elles se comportent comme des condensateurs et produisent la puissance réactive.

Sousexcitées, elles absorbent la puissance réactive.

On construit des compensateurs synchrones qui n'absorbent pas et ne fournissent pas la puissance active ; et ils ont un rapport entre la puissance réactive fournie et la puissance réactive absorbée voisin de 1,7 pour une marche normale :

$$\frac{Q_f}{Q_a} = 1,7$$

La réalisation des compensateurs synchrones de faible puissance n'est pas économique, aussi le plus souvent, la puissance nominale de ces machines est comprise entre 15 MVA et 60 MVA.

Les compensateurs synchrones sont en général reliés au réseau par l'intermédiaire de l'enroulement tertiaire.

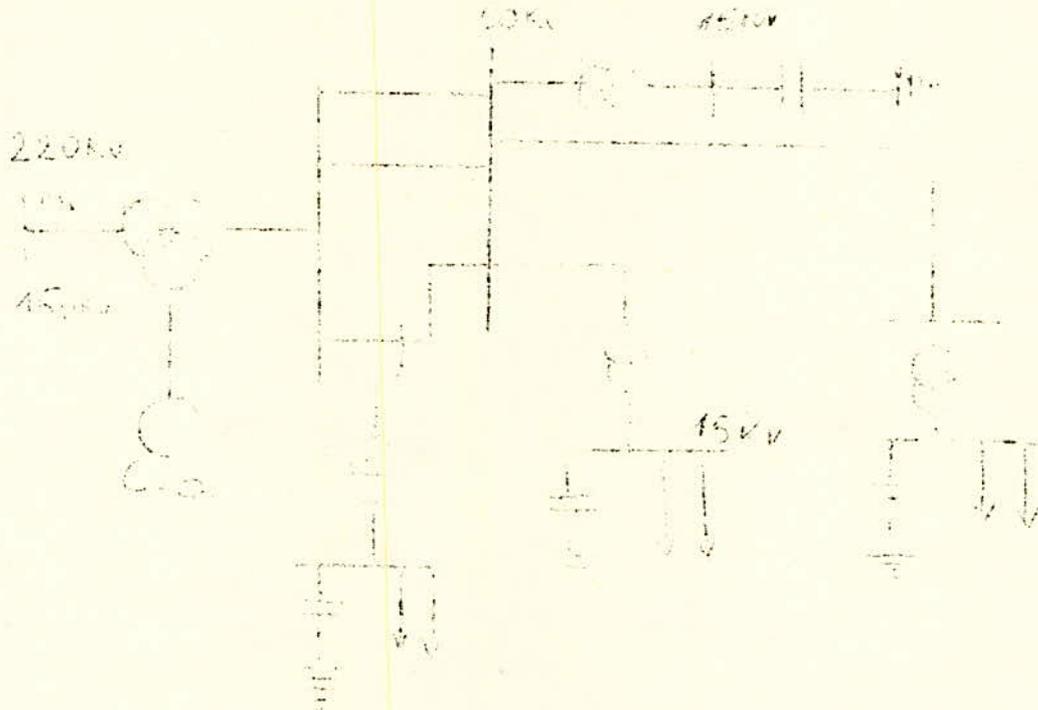
#### VI.32/ Condensateurs :

Ils sont très utilisés pour améliorer le facteur de puissance des appareils d'utilisation et à cet effet on les branche soit aux bornes mêmes de ces appareils, soit sur les jeux de barres MT des postes de distribution afin de concentrer les appareils et de réaliser des batteries de condensateurs plus économiques.

La présence des condensateurs à proximité de la charge est très avantageuse car d'une part elle diminue d'autant la puissance réactive au compensateur synchrone et d'autre part si le compensateur synchrone étant seul en service et comme il est toujours couplé à proximité du réseau de répartition, une partie de la puissance réactive fournie se dirige vers les appareils récepteurs dans le même sens que la puissance active et

crée une chute de tension sur le réseau de répartition.

Les condensateurs fournissent alors la puissance réactive nécessaire aux récepteurs et à la compensation.



La figure ci-dessus représente la compensation de la charge du réseau de répartition par des condensateurs et du réseau de transport par un compensateur synchrone (C.S.).

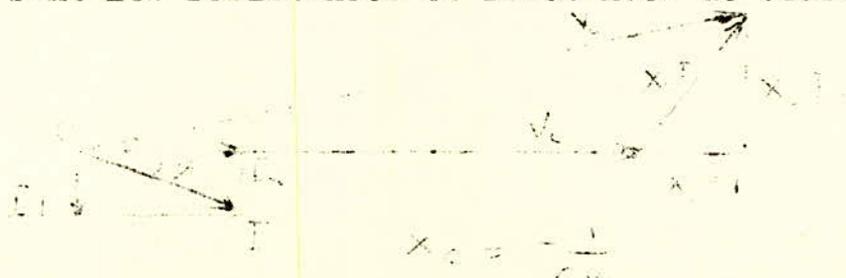
Etude d'un condensateur-série :

Les condensateurs-série ont été utilisés dans quelques cas particuliers pour effectuer la compensation des à-coups de tension produit par l'appel brusque d'un courant élevé mais de faible durée.

a/ Principe de fonctionnement :

$$\Delta V = RI \cos\phi + XI \sin\phi$$

R et X sont les résistances et réactances de court-circuit.



$$\vec{V}'_c = \vec{V}_c + X_c \vec{I}$$

L'angle  $(\vec{V}'_c, \vec{V}_c)$  étant faible on a :

$$\Delta V_c = X_c \cdot I_d$$

La chute de tension  $V'$  provoquée par l'appel d'une intensité  $I$  :

$$\Delta V' = \Delta V - \Delta V_c = RI_w + (X - X_c)I_d$$

Si la réactance  $X$  de court-circuit se trouve compenser par la capacitance  $X_c$ ,  $\Delta V'$  est fonction de la résistance  $R$  de chacune des phases du réseau.

b/ Inconvénients :

- Les condensateurs-série peuvent provoquer des surtensions (dans 20 % des cas)

- On a une auto-excitation des moteurs. Un moteur alimenté par un réseau comportant des condensateurs-série peut fonctionner comme un générateur de courant à basse fréquence ; si pour cette fréquence il existe une résonance entre la réactance du moteur et la capacité série, un courant peut circuler dans les enroulements du moteur et entraîner la détérioration de ceux-ci.

Conclusions :

L'utilisations des condensateurs statiques aussi bien dans les réseaux de distributions que chez les consommateurs rend peu nécessaire la mise en œuvre des compensateurs synchrones.

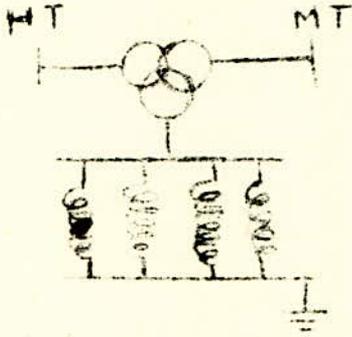
VI.33/ Bobines de réactances :

Il peut arriver qu'il ne soit pas nécessaire de fournir la puissance réactive à un réseau mais seulement d'en absorber (cas d'un réseau de lignes aériennes fonctionnant au dessous de leur puissance caractéristique ou d'un réseau comportant d'assez grande longueur qui, eux fonctionnent toujours au dessous de leur puissance caractéristique).

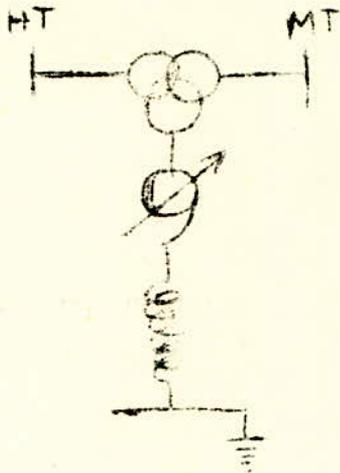
Dans ces conditions, il est avantageux d'avoir recours à des bobines de réactances que l'on branche le plus souvent sur l'enroulement tertiaire des transformateurs d'interconnexion.

Pour avoir une puissance réactive variable on fait varier soit :

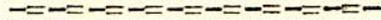
- Le nombre de bobines en parallèle :



- On place un auto-transformateur sur une bobine unique :



C H A P I T R E VII : DISPOSITIF A ETUDIER



Les transformateurs usuels à trois enroulements ont, par construction, des systèmes de réglage direct prévus soit sur l'enroulement HT, soit sur l'enroulement BT (afin d'avoir un meilleur réglage), mais pas sur l'enroulement MT.

Les usagers branchés sur la MT ont un régime de réglage conditionné par les deux autres (HT et BT) ; il dépend donc du réglage HT et BT et ceci sans avoir la possibilité d'intervenir directement sur l'enroulement MT du transformateur.

Pour y remédier à cela on place un dispositif de réglage de la tension sur la MT qui permettra un réglage de la moyenne tension.

VII. 1/ Données du problème :

VII. 11/ Choix du transformateur à trois enroulements :

Soit un transformateur à trois enroulements ayant une puissance nominale  $S_n$  de 20 MVA ; les tensions pour les différents enroulements sont :

220/35/6 soit

- pour la HT :  $U_{(HT)n} = 220\text{kV}$
- POUR la MT :  $U_{(MT)n} = 35\text{ kV}$
- pour la BT :  $U_{(BT)n} = 6\text{ kV}$

La répartition des puissances évacuées par chaque enroulement donne cas à trois types de transformateurs :

Type	Répartition de la puissance en % de $S_n$		
	HT	MT	BT
(I)	100	100	100
(II)	100	66	100
(III)	100	66	66

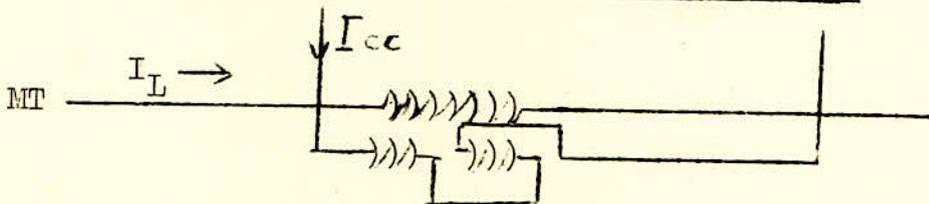
Ensuite, on considère le type (II) où l'on a :

- L'enroulement HT qui peut évacuer la puissance maximum à 100 % .
- L'enroulement qui peut évacuer à 66 % de  $S_n$  (enroulement MT)
- L'enroulement BT qui peut évacuer à 100 de  $S_n$

Le type de transformateur étant choisi, on dimensionne un enroulement et le dimensionnement des autres est déduit à partir du premier.

Comme on le sait, l'emplacement du dispositif se trouve du côté de l'enroulement HT ce qui permet aux usagers HT d'avoir une tension réglable.

VII. 12 / Schéma et description du dispositif :



Il se compose :

- d'un enroulement primaire analogue à celui d'un transformateur et parcouru par le courant alternatif de ligne  $I_L$ .
- d'un enroulement secondaire parcouru par du courant continu variable provenant d'une batterie d'accumulateurs.

C'est l'enroulement de commande ; il permet un réglage unidirectionnel de la tension. (augmente ou diminue la tension).

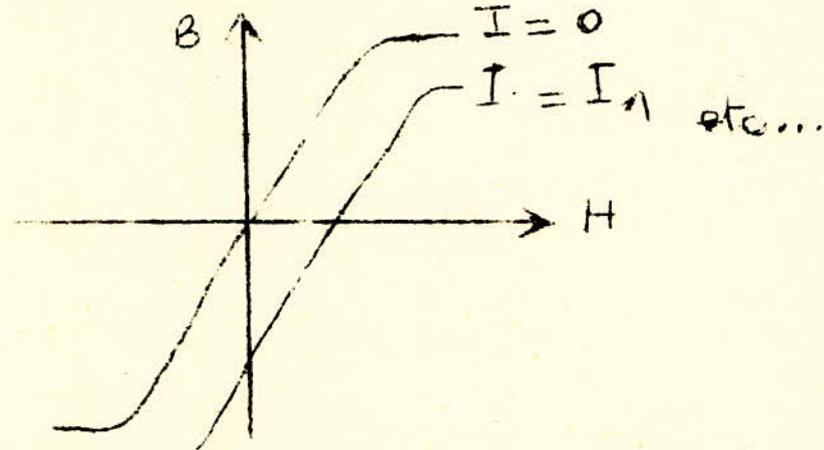
VII. 13/ Enroulement de commande :

L'enroulement de commande, par construction, doit être divisé en deux parties égales branchées du point de vue électrique en opposition (voir schéma) afin que la tension alternative ne soit pas induite dans cet enroulement qui est traversé par du courant continu parce qu'au cas où cela se produirait on aura une destruction de la batterie d'accumulateurs.

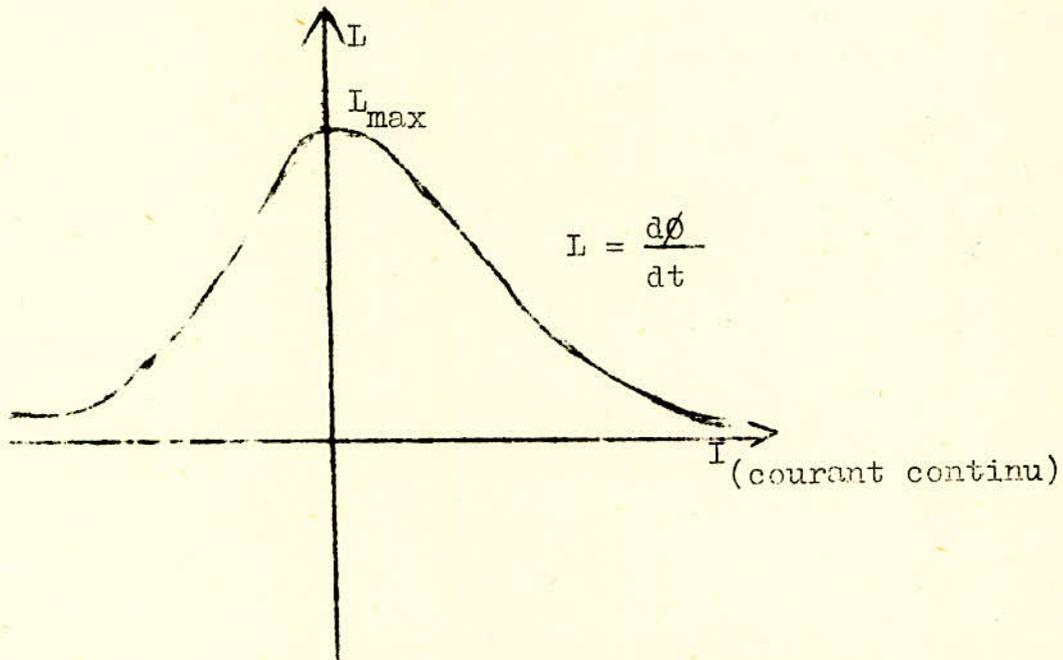
Notre but est donc de faire fonctionner le dispositif en tant qu'amplificateur magnétique et non en tant que transformateur.

VII. 14 / Role de l'enroulement de commande :

L'envoi du courant continu traversant l'enroulement de commande permet de déplacer la courbe de magnétisation dans un certain sens et selon le sens de déplacement on arrive à obtenir la valeur de tension désirée.



- Par exemple si on veut effectuer la manœuvre "augmenter"
- On fait varier le courant continu par l'intermédiaire d'un système adéquate (potentiomètre, boîte de résistances etc...)
  - On se réfère à la courbe suivante et on constate :



Si  $I = 0$  on a  $L$  qui sera grand ( $L = L_{max}$  : voir courbe)

$$\Delta U_o = L_{max} \frac{di}{dt}$$

Toute la tension chute sur le dispositif ; si on a besoin de libérer un peu plus de tension (la faire chûter plus loin) on fait augmenter  $I$  jusqu'à  $I_1$

$I = I_1$  implique que  $L = L_1$  inférieure à  $L_{\max}$  (voir courbe)

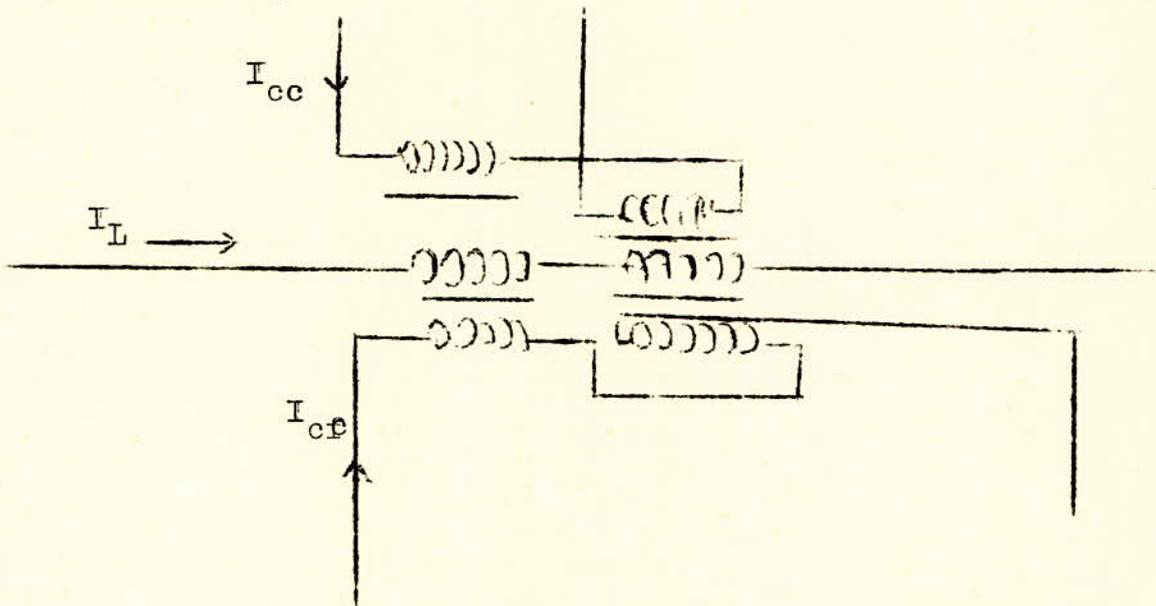
$$\Delta U_1 = L_1 \frac{di}{dt}$$

$\frac{di}{dt}$  est pratiquement constant pendant toute cette manœuvre (sa variation est faible).

Donc  $\Delta U_1$  inférieure  $\Delta U_0$

Ceci implique que la tension délivrée pour la ligne augmente on a donc fait la manœuvre "augmenter".

Mais cet enroulement commande uniquement dans un seul sens (augmentation ou diminution de la tension) ; pour faire la commande dans les deux sens il suffit de changer la polarité de l'enroulement de commande et ceci par l'intermédiaire d'un inverseur mais ce dernier présente l'inconvénient de couper un grand courant en charge ; afin d'éviter cet inconvénient majeur on couple un autre enroulement de commande dans le sens opposé (voir schéma)



\* Figure du dispositif de réglage à double sens (Augmente et diminue la tension)

$I_L$  représente le courant alternatif de ligne

$I_{cc}$  représente le courant continu provenant de la batterie d'accumulateurs.

VII. 2 / Etude du dispositif :

VII.21/ Hypothèses de calcul :

On projète ce dispositif pour une chute de tension maximale de 7,5 % .

Cette chute de tension nous permet de déduire les vraies données pour lesquelles doit fonctionner le dispositif.

- Soit  $V_D$  la tension de ligne aux bornes du dispositif :

$$V_D = \Delta U \frac{U_{n(MT)}}{1/\sqrt{3}} = 7,5 \% \frac{35}{\sqrt{3}} = 1,5 \text{ kV} = 1500 \text{ V}$$

- Soit  $S_D$  la puissance du dispositif :

$$S_D = \sqrt{3} V_D \cdot I_D$$
$$= \Delta U.p.S_T = 7,5 \% . 66 \% . 20$$

$$S_D = 0,99 \text{ MVA} /$$

En monophasé on divise par trois :

$$S_D(\text{monophasé}) = 0,33 \text{ MVA} /$$

L'étude du dispositif nous conduit à faire les calculs suivants :

- Calcul des paramètres du "primaire du dispositif" qui se comporte comme l'enroulement primaire d'un transformateur.
- Calcul des paramètres de l'enroulement de commande.

VII.22/ Calcul des paramètres de l'enroulement "primaire":

Type : ..... Triphasé  
Couplage : ..... Etoile  
Enroulement : ..... Concentrique  
Refroidissement : .. Naturel

$$S_{nD} = 990 \text{ MVA}$$

$$V_{nD} = 1500 \text{ V}$$

VU.221: Calcul des pertes dans l'enroulement primaire :

a) Pertes cuivre :

La courbe 7.1 nous donne, pour le cas du refroidissement extérieur :

$$P_{Cu} = 1,2 \frac{990}{100} = 11,9 \text{ kW}$$

b) Pertes fer :

Cette courbe (7.1) nous donne aussi les pertes fer :

$$P_{Fe} = 0,47 \frac{990}{100} = 4,65 \text{ kW}$$

c) Coefficient de perte :

C'est le rapport

$$A_p = \frac{P_{Cu}}{P_{Fe}} = \frac{11,9}{4,65} = 2,56$$

$$\underline{A_p = 2,56/}$$

d) Densité de courant :

$$\underline{J = 3,1 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2/} \quad (\text{D'après la courbe 7.2})$$

f) Pertes spécifiques dans le cuivre :

Considérons une spire de longueur  $l_{co}$  et de section  $S_{co}$

$$RI^2 = I^2 \cdot K \cdot \rho \cdot \frac{l_{co}}{S_{co}} \quad (W)$$

Le coefficient K tient compte des pertes supplémentaires provenant de l'effet pelliculaire.

on a K qui est inférieur ou égal à 1,2/

Masse du cuivre =  $m_{Cu}$

$$m_{Cu} = \rho_{Cu} \cdot l_{co \cdot total} \cdot S_{co} \quad (kg)$$

ce qui nous donne les pertes spécifiques dans le cuivre :

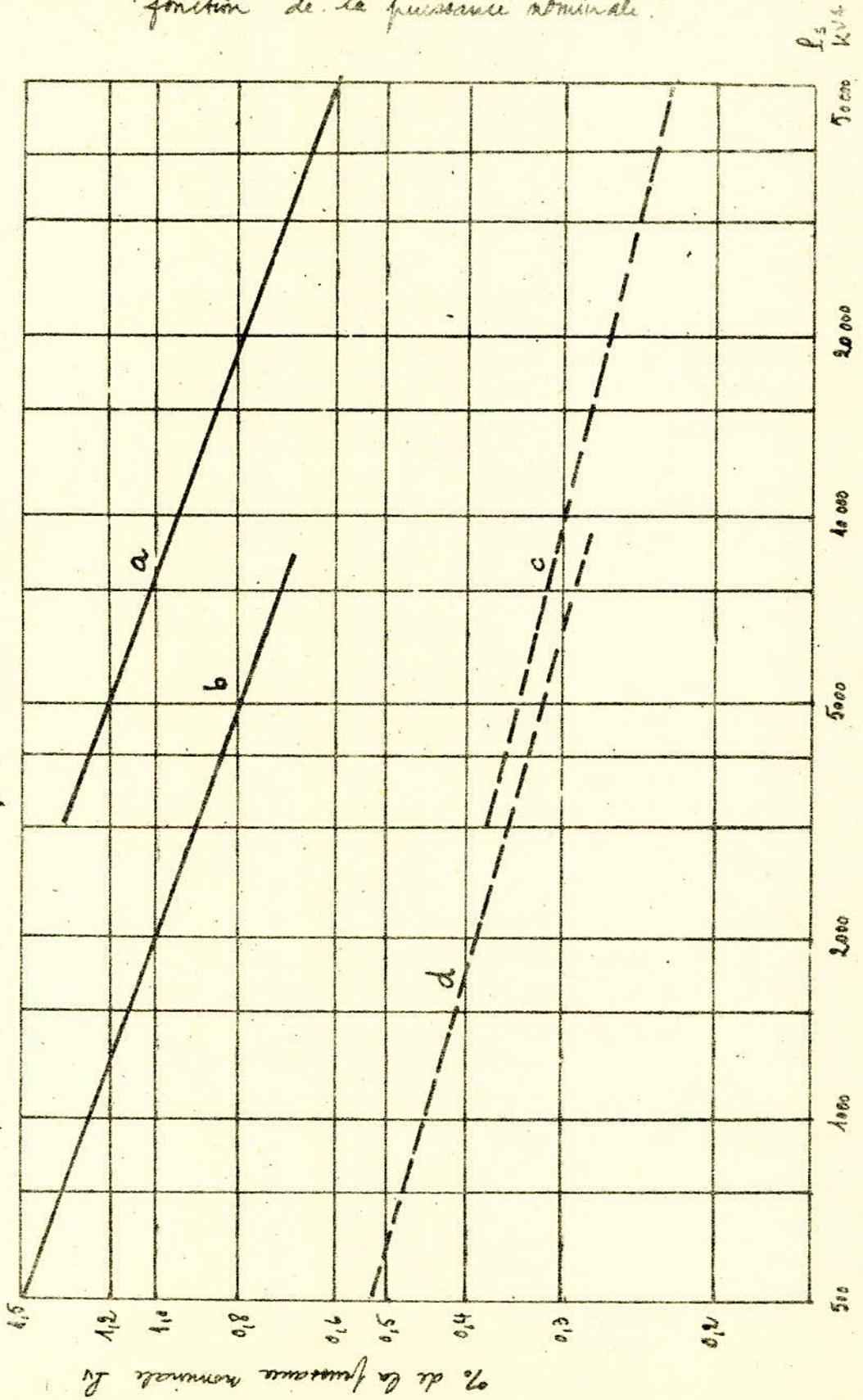
$$P_{Cu} = \frac{I^2 \cdot K \cdot \rho \cdot l_{co \cdot t}}{S_{co}} \cdot \frac{1}{\rho_{Cu} \cdot l_{co \cdot t} \cdot S_{co}} = K \cdot \frac{I^2 \cdot L}{S_{co}^2 \cdot \rho_{Cu}}$$

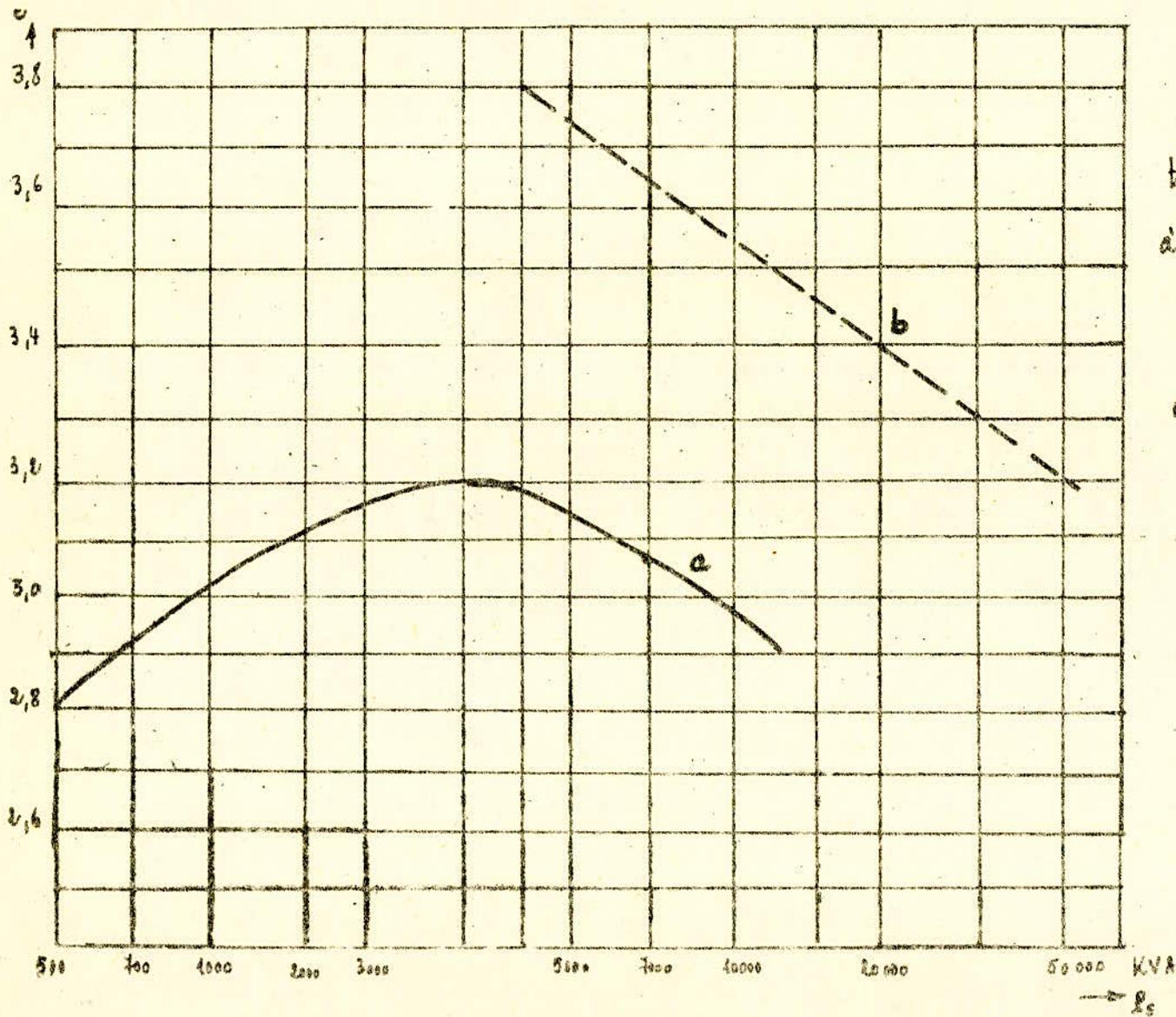
$$(L = l_{co \cdot t})$$

Fig: 7.1

Données dans les transformations monophasées refroidies à l'huile pour des puissances de 500 à 50000 KVA à 50 Hz en fonction de la puissance nominale.

- a : pertes dans le cuivre pour circulation d'huile avec refroidissement externe à eau.
- b : pertes dans le cuivre avec refroidissement naturel.
- c : pertes dans le fer pour circulation d'huile avec refroidissement externe à eau.
- d : pertes dans le fer avec refroidissement naturel.





Densité de courant dans les transformateurs avec refroidissement à huile pour des puissances de 500 à 50 000 KVA.

a : densité de courant dans le cas de refroidissement naturel

b : densité de courant dans le cas de circulation d'huile avec refroidissement extérieur à l'eau

Fig : 7-2.

Finalement on obtient :

$$p_{Cu} = J^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{g_{Cu}} \cdot K$$

Si  $K = 1$  on aura :

$$\underline{p_{Cu} = 27 \text{ W/kg}}$$

j) Pertes spécifiques dans le fer :

Les pertes spécifiques dans le fer sont données par :

$$p_{Fe} = p_{Fe}^i \cdot K_{us} \cdot \hat{B}^2$$

où : -  $p_{Fe}^i$  représente le chiffre des pertes qui dépend de la qualité de l'acier du transformateur.

-  $K_{us}$  représente le coefficient d'usinage.

-  $\hat{B}$  représente l'induction de crête ( induction maximale)

Leurs valeurs numériques sont les suivantes :

$p_{Fe}^i = 1,2 \text{ W/kg}$  pour une épaisseur de 0,35 mm de la tôle

$K_{us} = 1,2$  pour les transformateurs de moyenne puissance.

$\hat{B} = 1,5 \text{ T}$  pour une puissance  $S_n = 990 \text{ kVA}$

d'où  $\underline{p_{Fe} = 3,5 \text{ W/kg}}$

VII.222. Section active du noyau ( $S_{Fe}$ ) :

On fait l'étude pour un transformateur monophasé de puissance :

$$\underline{S_n = 330 \text{ kVA}}$$

On sait que  $S_n = U_n I_n 10^{-3} \text{ (kVA)}$

Ou bien  $S_n = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \frac{(\hat{B} \cdot S_{Fe})}{\phi} \cdot \frac{(S_{co} \cdot J)}{I_L} 10^{-3} \text{ (KVA)}$

avec : -  $f = 50 \text{ Hz}$

-  $N$  = nombre de spire de l'enroulement primaire

-  $S_{Fe}$  = Section active du noyau

Il ne faut pas oublier qu'on a aussi :

- la masse du cuivre totale

$$m_{Cu.t} = \rho_{Cu} \cdot (N \cdot S_{co}) \cdot l_{Cu}$$

- la masse de fer

$$m_{Fe} = \rho_{Fe} \cdot S_{Fe} \cdot l_{Fe.t}$$

où  $l_{Cu}$  représente la longueur moyenne d'une spire et  $\rho_{Cu}$ ,  $\rho_{Fe}$  sont les masses volumiques du cuivre et du fer.

Sn devient :

$$Sn = 4,44 \cdot f \cdot \frac{m_{Cu.t}}{\rho_{Cu} \cdot l_{Cu}} \cdot S_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot J \cdot 10^{-3} \quad (\text{kVA})$$

$$m_{Fe} \cdot Sn = 4,44 \cdot f \cdot \frac{m_{Cu.t}}{\rho_{Cu} \cdot l_{Cu}} \cdot S_{Fe}^2 \cdot \hat{B} \cdot \rho_{Fe} \cdot J \cdot l_{Fe.t} \cdot 10^{-3}$$

On tire directement  $S_{Fe}^2$  ; sachant que  $\rho_{Cu} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$   
 $\rho_{Fe} = 7,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

on a donc :

$$S_{Fe}^2 = 266 \cdot \frac{l_{Cu}}{l_{Fe}} \cdot \frac{Sn}{f \cdot J \cdot \hat{B}} \cdot \frac{m_{Fe.t}}{m_{Cu.t}}$$

Connaissant le coefficient des pertes  $A_p$  ( $A_p = 2,56$ ) et sachant que  $A_p$  est égal aussi à :

$$A_p = \frac{P_{Cu}}{P_{Fe}} = \frac{P_{Cu} \cdot m_{Cu.t}}{P_{Fe} \cdot m_{Fe.t}}$$

Ceci nous conduit à la forme simplifiée de  $S_{Fe}$  ci-dessous :

$$S_{Fe} = C \sqrt{\frac{Sn \left( \frac{P_{Cu}}{P_{Fe}} \right) 10^{-1}}{f \cdot A_p \cdot J \cdot \hat{B}}}$$

Avec :

$$C = 72,8 \sqrt{\frac{l_{Cu.t}}{l_{Fe.t}}}$$

On déduit directement la constante C à partir du tableau placé dans la page qui suit.

Tableau donnant quelques valeurs de C :

Nature	Monophasé	Triphasé
Transformateur à colonnes avec bobines rondes	45	40
Transformateur à colonnes avec bobines rectangulaires	55	45
Transformateur cuirassé	85	55

On choisit la valeur de C correspondant au transformateur à bobines rondes, ça permet d'aboutir à la valeur finale de  $S_{Fe}$  qui est la surface de la partie active du noyau.

On trouve :

$$\underline{S_{Fe} = 0,014 \text{ m}^2 /}$$

Ensuite on calcule la section effective du fer  $S'_{Fe}$  ; cette section est calculée grâce à la formule suivante :

$$S'_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{K_f}$$

Le coefficient  $K_f$ , coefficient de remplissage, tient compte des isollements entre les différentes parties du noyau.

$$K_f = 0,87 \text{ pour les tôles d'épaisseurs } 0,35 \text{ mm}$$

On peut aussi écrire la section effective sous la forme sui-

vante :  $S'_{Fe} = \text{Section active du noyau} + \text{Section des isollements}$

$$\underline{S'_{Fe} = 0,016 \text{ m}^2 /}$$

VII.223. Nombre de spire de l'enroulement primaire :

$$N_{col.} = \frac{V_D}{4,44 \cdot f \cdot \phi_{max}}$$

-  $V_D = 1500 \text{ V}$

-  $f = 50 \text{ Hz}$

-  $\phi_{max} = 0,021 \text{ Wb}$  ( $B_{max} = 1,5 \text{ T}$  et  $\phi_{max} = B_{max} \cdot S_{Fe}$ )

Ceci implique que :  $\underline{N_{col.} = 321 \text{ spires} /}$

Remarques :

a) Section du conducteur :

Soit  $I_{nD}$  le courant à travers le primaire du dispositif :

$$I_{nD} = \frac{S_n}{3 \cdot V_D} = 220 \text{ A}$$

On sait que la section du conducteur s'écrit sous la forme suivante :

$$S_{co} = \frac{I_{nD}}{J} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

b) Espace nécessaire pour l'enroulement :

Calcul de  $h_n$  = hauteur du noyau :

$$A \cdot h_n = N_{col} \cdot I_{nD}$$

**A** = densité linéaire du courant

$A = 10^5$  A/m d'après la courbe 7.4

Ce qui implique que :

$$h_n = N_{col} \cdot I_{nD} / A$$

$$\underline{h_n = 70,6 \text{ cm} /}$$

Calcul de  $b_f$  = largeur de la fenêtre

$$b_f = \frac{4 \cdot N_{col} \cdot S_{co}}{K_{r_{cu}} \cdot h_n}$$

$K_{r_{cu}}$  représente le coefficient de remplissage

$K_{r_{cu}} = 40\%$  d'après la courbe 7.5

$$\underline{b_f = 3,23 \text{ cm} /}$$

Calcul de  $b_n$  = largeur du noyau

On la calcule d'après le schéma de la figure 7.6

$$b_n = 0,89 \cdot D$$

avec  $S_{Fe}^I = 0,66 \cdot D^2$  on tire  $D = 15,6 \text{ cm}$

$$\underline{b_n = 14 \text{ cm} /}$$

Induction dans le noyau des  
transformateurs avec refroidissement  
à l'huile pour des puissances  
de 5 à 500 KVA

Fig: 7.3

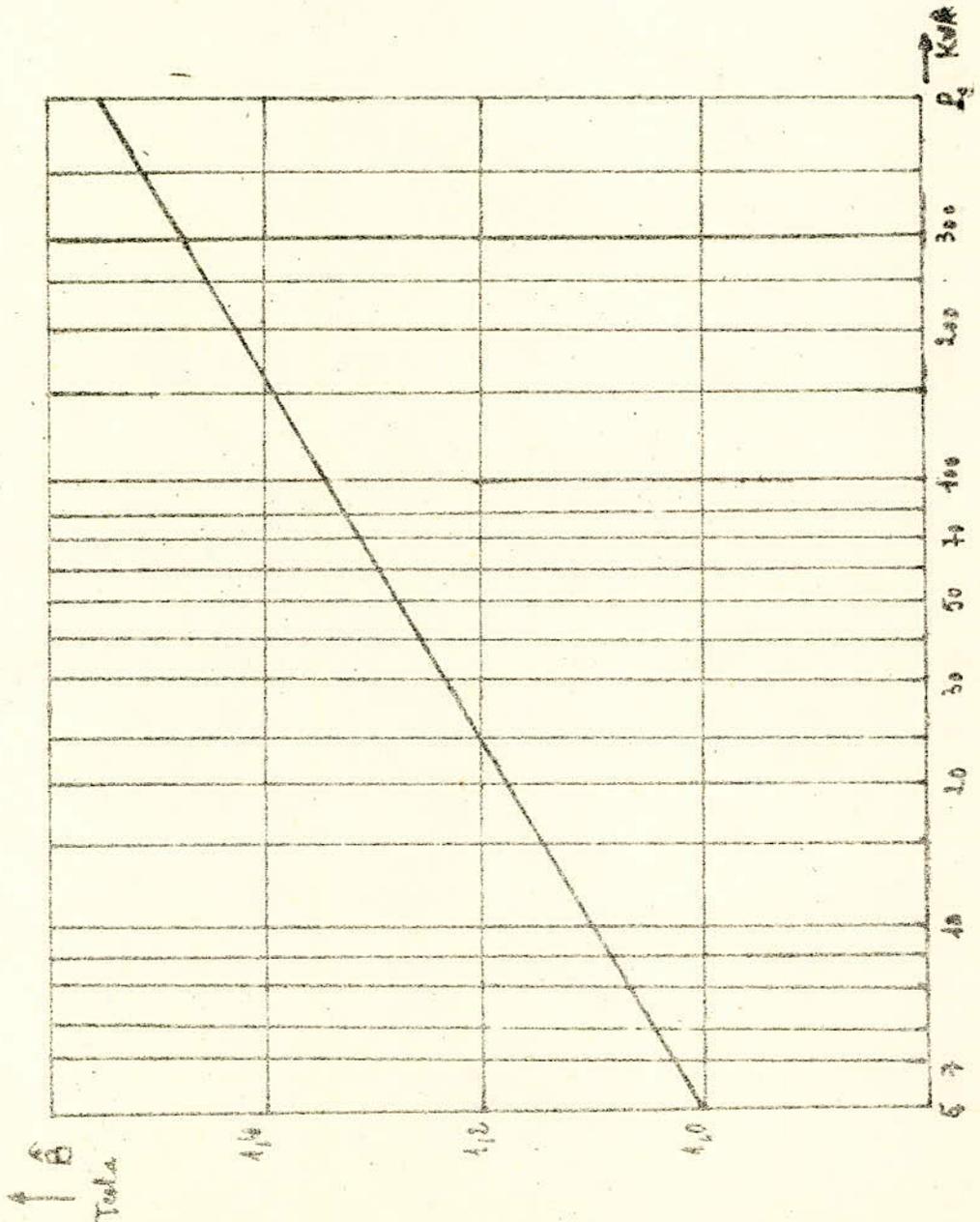
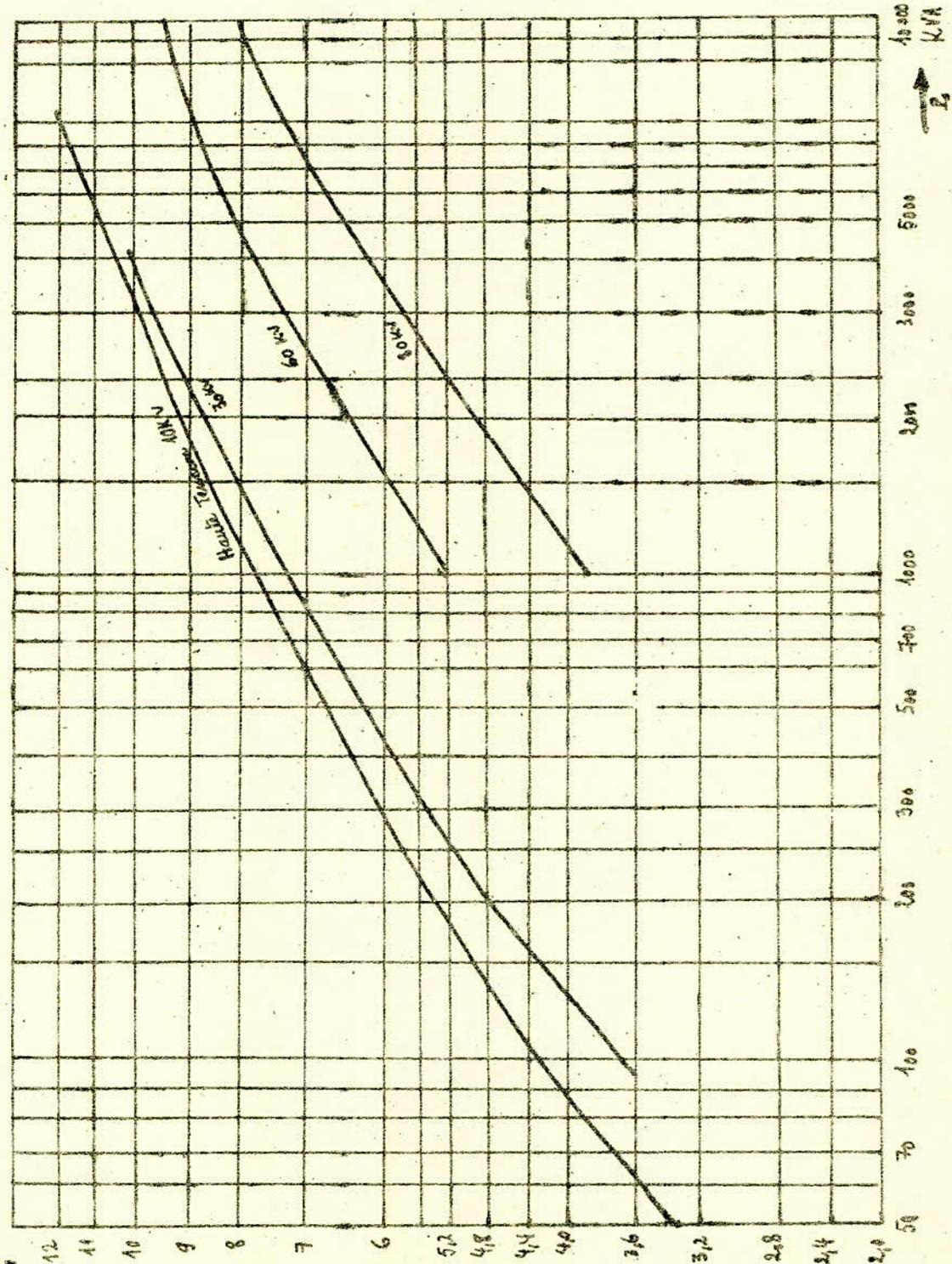


Fig. 7.4

densité linéaire de courant pour des transformateurs  
à noyaux avec refroidissement à huile en fonction de la puissance



facteur de remplissage (du Cuivre) de la fenêtre de transformateurs Cuirassés avec refroidissement à l'huile en fonction de la puissance.

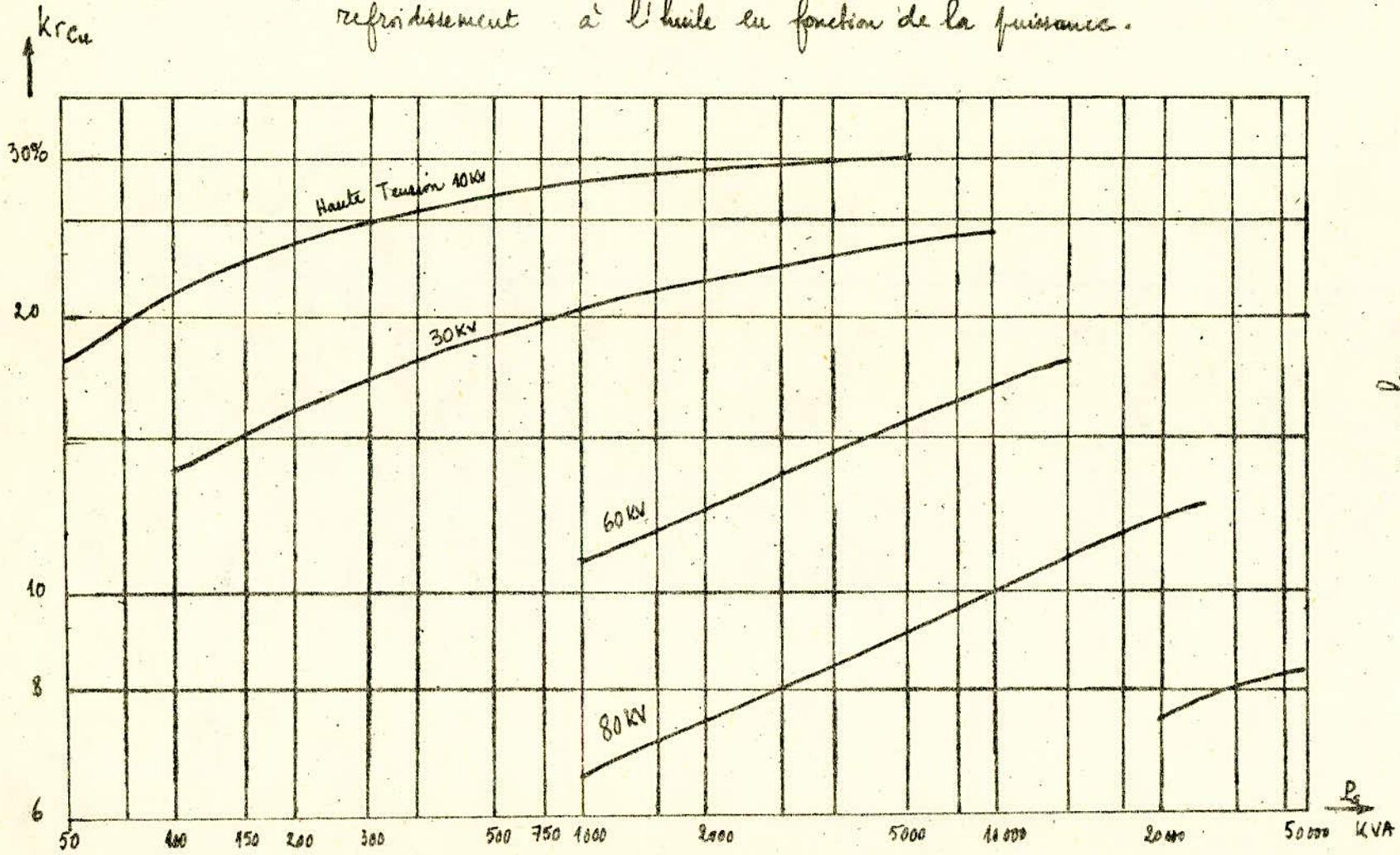
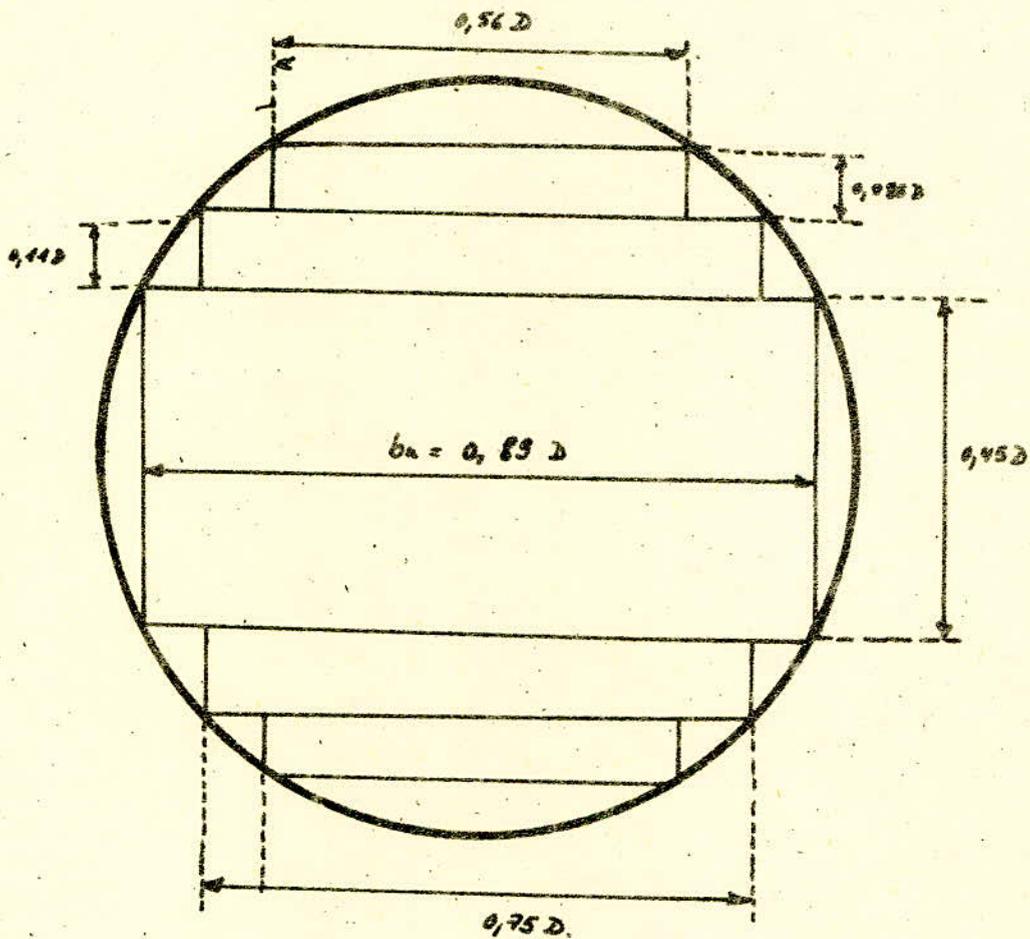


Fig 7-5



$$S'_{Fe} = 2(0,56D \times 0,085D) + 2(0,75D \times 0,14D) + 0,89D \times 0,45D$$

$$S'_{Fe} = 0,66D^2$$

$$b_a = 0,89D$$

fig: 7-6

Calcul de  $l_{Cu}$  = longueur moyenne d'une spire

$$l_{Cu} = 3,14(b_n + b_f/2)$$

$$\underline{l_{Cu} = 50 \text{ cm} /}$$

Le calcul de toutes ces longueurs nous a permis de calculer les masses de fer et de cuivre de l'enroulement primaire du dispositif. Ce calcul est établie dans ce qui suit.

Massa de fer:

$$m_{Fe} = \rho_{Fe} \cdot S_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

avec :

$$l_{Fe} = 3h_n + 4b_f + 6b_n$$

d'où :

$$\underline{m_{Fe} = 330 \text{ kg} /}$$

Masse de cuivre :

$$m_{Cu} = N_{col} \cdot S_{co} \cdot l_{Cu} \cdot \rho_{Cu}$$

$$\underline{m_{Cu} = 13 \text{ kg} /}$$

23 / Calcul des paramètres de l'enroulement de commande :

Les paramètres qu'on est amené à considérer pour l'enroulement de commande sont :

- La section du conducteur
- Le nombre de spires

a) Section du conducteur ( $S_{co(ec)}$ ) :

Elle sera déterminée par le rapport courant sur densité de courant.

La densité de courant est donnée par la courbe 7.2

L'enroulement est dimensionné à partir du choix du courant continu qui le traverse.

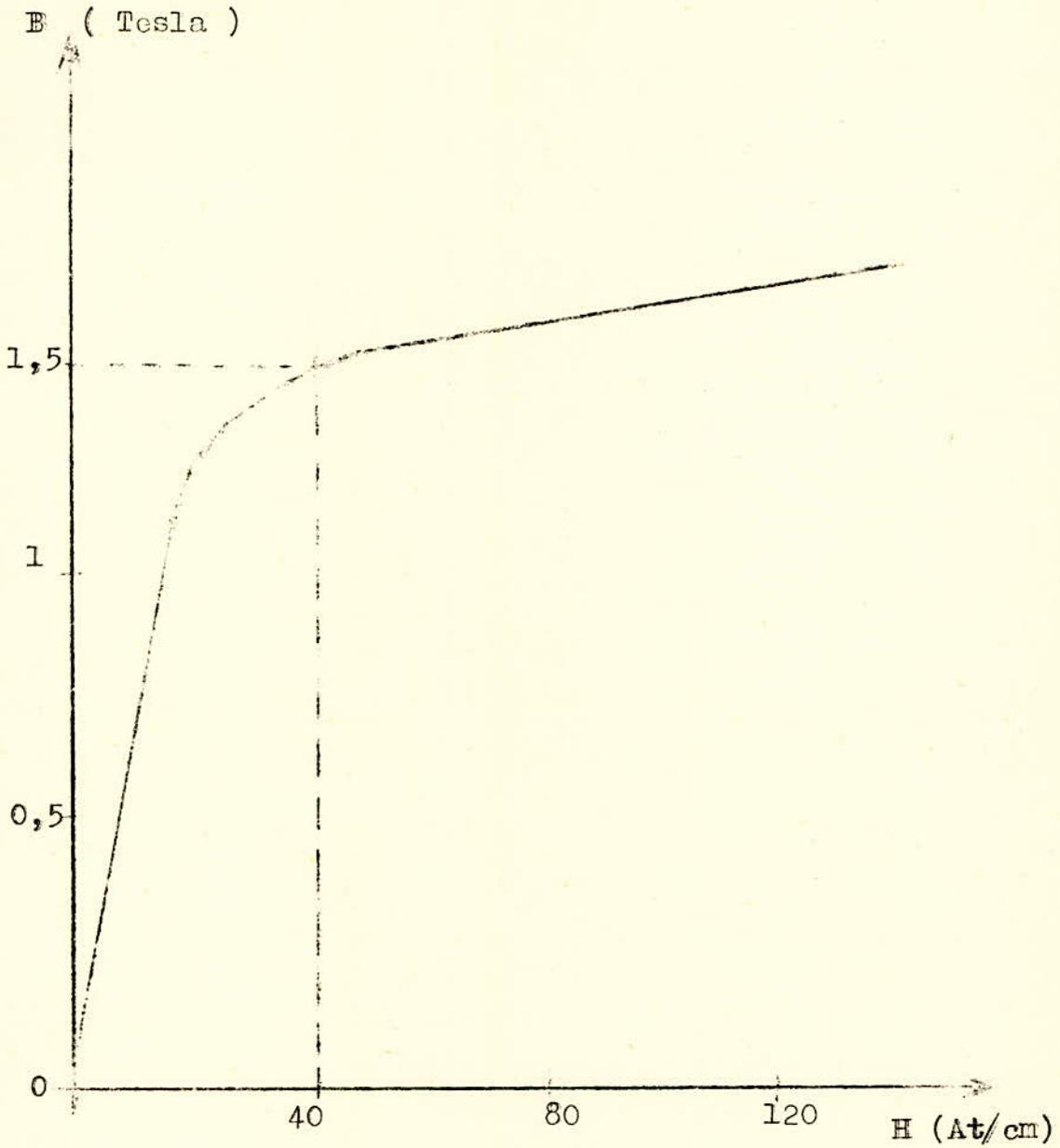
On prend :

$$I(\text{courant continu}) = 2 \text{ A}$$

$$J(\text{densité de courant}) = 3,1 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2 \text{ d'après 7.2}$$

$$\underline{S_{co(ec)} = \frac{I_{cc}}{J} = 0,645 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 /}$$

Figure 7.7



Courbe donnant les variations d'induction  $B$  en fonction du champ magnétique  $H$  ceci pour les toles en acier extra supérieur. .

b) Nombre de spires :

Le champ magnétique H est déduit de la courbe 7.7 représentant B en fonction de H.

La valeur de l'induction B dépend de la nature de la tôle employée. Au point de vue économique, il y a intérêt à adopter pour l'induction une valeur élevée à la condition que le coefficient relatif aux pertes par hystérésis soit faible et que des précautions soient prises pour réduire les pertes par courant de Foucault (par exemple en feuilletant la tôle). Toutes ces considérations nous amènent au choix suivant de l'induction B :

$$B = 1,5 \text{ T}$$

On sait que :

$$H = nI$$

n étant le nombre de spires par centimètre de longueur

I étant le courant traversant ces spires.

B = 1,5 T implique que H = 40 At/cm (d'après la courbe 7.7)

$$n = \frac{H}{I} = \frac{40}{2} = 20 \text{ spires/cm}$$

La longueur totale du noyau de fer est de 71 cm ( $h_n = 71 \text{ cm}$ )

$$N_{ec} = h_n \cdot n = 71 \cdot 20$$

$$\underline{N_{ec} = 1420 /}$$

VII.24 / Conclusion :

Le dispositif étudié nous a permis d'introduire un réglage de tension sur l'enroulement MT du transformateur considéré (transformateur à trois enroulements HT/BT/MT) ; alors qu'auparavant on n'avait aucune possibilité de réglage sur la MT, tandis que les enroulements HT et BT sont pourvus de dispositifs réglants installés par le constructeur.

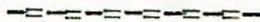
Ce dispositif présente des avantages sûrs :

- C'est un dispositif statique (aucun organe ne se mue : pas de prises etc...)

- Il est robuste tout en ayant une très bonne souplesse de réglage (réglage très fin assuré par la variation du courant continu traversant l'enroulement de commande)
- Il permet un réglage à double sens ; pour passer de la manoeuvre augmenter à la manoeuvre diminuer il suffit d'inverser la polarité de l'enroulement de commande ou bien de placer un second enroulement de commande en sens inverse du premier.

Comme il fallait s'y attendre, le nombre de spires de l'enroulement de commande ( $N_{ec} = 1420$  spires par colonne) est nettement supérieur à celui de l'enroulement primaire ( $N_{col} = 322$  spires par colonne) ; mais les spires sont beaucoup plus fines.

-°- CONCLUSIONS GENERALES -°-



Le réglage de la tension permet d'obtenir une tension réglée et l'affinité de son réglage dépend du type de réseau considéré :

- Réseau de transport : on peut admettre des variations de tension assez importantes.
- Réseau de répartition : Le réglage est meilleur que pour le cas précédent.
- Réseau de distribution : Le réglage doit être fin parce qu'on a des usagers directement relié à ce type de réseau.

Ce réglage nécessite l'installation de dispositifs choisis à l'avance selon le réseau et la méthode de réglage désirée et ceci afin d'assurer la sécurité des appareils d'utilisation reliés au réseau ; cette sécurité est donnée par le choix judicieux du dispositif et de son emplacement sur le réseau, ce dispositif est jugé assez sensible pour amortir ou éliminer presque totalement les fluctuations de tension.

Notre étude s'est penché sur ce problème de réglage de la tension et a présenté les différentes méthodes et les différents moyens de réglage de tension.

A titre illustratif, l'étude du dispositif à enroulement de commande a été faite. Ce dispositif, placé sur l'enroulement MT du transformateur HT/MT/BT, a l'avantage d'être robuste tout en présentant une grande finesse et souplesse au réglage.

Comme exemple, on a aussi traité le réseau MT d'une partie de la région d'Alger. Cette étude est comparative puisqu'elle nous a permis de voir les situations relatives aux variations de tension avant et après le réglage.

L'expérience pratique a montré que l'équipe d'exploitation a tendance à garder des marges de sécurités consistants :

- à maintenir les niveaux de tension légèrement plus faible sur les jeux de barres (110, 220 et 400 kV) afin de ne pas dépasser certaine valeur.

— à ne pas utiliser pleinement la capacité de production de puissance réactive lorsque les courants stator et rotor sont proches de leurs valeurs limites, à cause de la surcharge des groupes provoquée par le fonctionnement des régulateurs de tension à la suite des fluctuations de tension.

On prévoit de faire appel, dans l'avenir, à des calculateurs non seulement pour contrôler la puissance réactive, mais également pour régler les niveaux de tension et la répartition de la puissance réactive.

Un système de réglage à différents niveaux sera mis en place et assurera automatiquement la régulation de la tension et de la puissance réactive dans le réseau.

Tous les éléments qui produisent ou absorbent la puissance réactive (alternateurs, condensateurs, réactance ...) ainsi que les transformateurs à prises réglables installés en certains points d'interconnexion du réseau seront contrôlés automatiquement par le "système de réglage intégré de tension et de puissance réactive" (KRNQ).

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

-----

- RGE Réglage automatique de la tension du réseau de Transfert. (Mai 72)
- T.I. Technique de l'ingénieur (Tome III)
- Cigré Session 1966 (Tome II)  
Réglage intégré de la puissance réactive et du niveau de tension dans une centrale électrique de grande puissance.  
23<sup>e</sup> session 1970 (Tome II)  
Réglage adaptatif.
- B.I.I Bulletin de l'Institut d'Iasi  
Tome XVIII (XXII) Fasc. 3-4 (1972)  
Tome XVII (XXI) Fasc. 3-4 (1971)
- E.P? Encyclopédie pratique 621-03 DES Tome Ia  
Régulation de la tension  
621-03 DES Tome Ib
- J.FAVRAUD Fonctionnement et protection des réseaux de distribution. 1964 E.D.F.
- KOSTENKO Machine Electrique. Tome I  
Edition de Moscou
- PELISSIER Réseaux électriques  
Dunod
- M.BERCOVICI Retele Electrice ;;; Calculul Electric  
A?ARIE Edition technique . Bucarest 1974  
AI.POEATA
- MAUDUIT Régulation de la tension dans les réseaux de distribution.  
Fonctionnement des régulateurs de tension.
- LIWSCHITZ Calcul des Machines Electriques.  
Tome 2