



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N°: 03 NOTIONS D'ELECTRICITE

SECTEUR : ELECTROTECHNIQUE

**SPECIALITE : ELECTRICITE DE
RESEAUX**

NIVEAU : QUALIFICATION

Document élaboré par :

Nom et prénom

EL MAKKAOUI Rachid

DINCA Carmen

EFP

ITA AIN CHOCH

INARA

CDC

DR

DRGC

DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

MODULE 3 : NOTIONS D'ÉLECTRICITE

Code :

Durée : 120 h

**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit
appliquer des notions d'électricité
selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'ÉVALUATION

- À partir :
 - de directives;
 - d'un questionnaire.

CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Exactitude de la terminologie.
- Utilisation appropriée des codes et des symboles.
- Souci du détail et de la précision.

(à suivre)

**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT(suite)**

**PRÉCISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

- A. Appliquer la loi d'Ohm et les expressions de puissance et d'énergie à des circuits en série et à des circuits en parallèle.
- B. Expliquer la transformation de l'énergie à l'intérieur d'un réseau électrique.
- C. Schématiser les configurations des lignes électriques d'un réseau
- D. Caractériser une ligne de transport et une ligne de distribution d'énergie électrique.
- E. Schématiser les modes de raccordement des transformateurs utilisés pour l'alimentation de la clientèle.
- F. Établir des liens entre les phénomènes électriques dangereux et les différentes interventions effectuées sur un réseau.

**CRITÈRES PARTICULIERS
DE PERFORMANCE**

- Justesse des liens établis entre les paramètres de la loi d'Ohm.
- Application appropriée au type de circuit.
- Choix judicieux de la formule mathématique en fonction de la valeur à déterminer.
- Exactitude des calculs.

- Explication juste :
 - des principes de fonctionnement d'un transformateur.
 - des phases de transformation en relation avec les niveaux de tension et les parties du réseau.

- Indication précise :
 - du niveau de tension;
 - du voltage phase/phase et phase/terre.
- Présence de tous les éléments requis.
- Propreté et lisibilité du schéma.

- Reconnaissance exacte :
 - des types de supports;
 - des niveaux de tension associés aux différents supports;
 - de la fonction, de l'emplacement et de l'arrangement des composants.

- Exactitude du raccordement en fonction du voltage requis pour les raccords :
 - primaires;
 - secondaires;
 - de mise à la terre.
- Propreté et lisibilité du schéma.

- Justesse des liens établis.

(à suivre)

**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT(suite)**

**PRÉCISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

G. Établir le lien entre le fonctionnement d'un compteur et la consommation d'énergie.

**CRITÈRES PARTICULIERS
DE PERFORMANCE**

- Explication juste :
 - des principes de fonctionnement d'un compteur.
 - de la méthode de lecture d'un compteur.
 - du rôle du disjoncteur et de son réglage.
 - des causes d'une panne de compteur
 - de la détection des pratiques frauduleuses.

OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAÎTRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR ÊTRE JUGÉS PRÉALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à appliquer la loi d'Ohm et les expressions de puissance et d'énergie à des circuits en série et à des circuits en parallèle (A) :

1. Établir un lien entre la nature de la matière et les phénomènes électriques.
2. Mesurer les valeurs de tension, de courant et de résistance d'un circuit simple.
3. Reconnaître les caractéristiques d'un circuit en série et d'un circuit en parallèle.

Avant d'apprendre à expliquer la transformation de l'énergie à l'intérieur d'un réseau électrique (B) :

4. Énoncer les principes du magnétisme et de l'électromagnétisme.
5. Décrire les modes de production de l'énergie électrique.

Avant d'apprendre à schématiser les configurations des lignes électriques d'un réseau (C) :

6. Donner la signification des termes relatifs aux systèmes triphasés.
7. Reconnaître les modes de raccordement de systèmes triphasés.
8. Définir la relation qui existe entre les niveaux de tension des systèmes triphasés.

Avant d'apprendre à caractériser une ligne de transport et une ligne de distribution d'énergie électrique (D) :

9. Indiquer les caractéristiques physiques des conducteurs.
10. Indiquer les caractéristiques physiques, mécaniques et électriques des isolateurs.
11. Reconnaître les pertes d'énergie des lignes à haute tension et des lignes à moyenne tension.
12. Reconnaître les éléments pouvant endommager une ligne électrique ainsi que les dispositifs de protection pertinents.

Avant d'apprendre à schématiser les modes de raccordement des transformateurs utilisés pour l'alimentation de la clientèle (E) :

13. Indiquer la fonction des composants de transformateurs et capacités différentes.
14. Donner la signification des symboles des composants d'un transformateur.
15. Reconnaître les tensions aux bornes d'un transformateur.

(à suivre)

OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAÎTRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR ÊTRE JUGÉS PRÉALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à établir le lieu entre le fonctionnement d'un panneau de comptage et de la consommation d'énergie (G) :

16. Indiquer les caractéristiques physiques d'un panneau de comptage.
17. Indiquer la fonction des différents éléments d'un panneau de comptage.
18. Reconnaître différentes anomalies liées au panneau de comptage.

SOMMAIRE

RESUME THEORIQUE.....	10
I/ INTRODUCTION	11
1. Electrostatique.....	11
2. La structure de la matière.....	13
3. Le comportement électrique des matériaux	14
II/ COURANT CONTINU.....	15
1. Circuit électrique.....	15
2. Tension électrique.....	16
3. Courant électrique.....	17
III/ COURANT ALTERNATIF.....	19
1. Tension alternative sinusoïdale.....	19
2. Courant alternatif sinusoïdal.....	19
IV/ GROUPEMENT DES RESISTANCES	21
1. Circuit série.....	21
2. Circuit parallèle.....	22
V/ SYSTEMES TRIPHASES EQUILIBRES.....	23
VI/ LE COURANT ELECTRIQUE ET LE CORPS HUMAIN.....	33
1. Introduction.....	33
2. Résistance électrique du corps humain.....	33
3. Effets du courant.....	33
4. Intensités et tensions dangereuses.....	33
5. Contacts dangereux.....	34
6. Mesures de sécurité.....	34
VII/ MAGNETISME - ELECTROMAGNETISME.....	35
1. Magnétisme.....	35
1.2 Champ magnétique.....	37
2. Electromagnétisme.....	38
VIII/ LES SOURCES D'ELECTRICITE ET PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE.....	41
1. Sources d'électricité.....	41
2. Production de l'énergie électrique.....	44
3. Problème du transport de l'énergie électrique.....	46

IX/ LES CONDUCTEURS NUS POUR LIGNES AERIENNES.....	50
1. Généralité	50
2. Matériaux utilisés	50
3. Constitution des conducteurs	51
4. Principales caractéristiques des câbles	52
5. Utilisation du matériel preformed et des manchons	54
6. Attaches.....	55
X/ LES ISOLATEURS	59
1. Rôle	59
2. Contraintes appliquées aux isolateurs	59
3. Propriétés mécaniques et électriques des isolateurs	59
4. Différents types d'isolateurs.....	60
5. Partie et éléments d'un isolateur à capot et tige.....	60
XI/ CARACTERISTIQUES D'UNE LIGNE DE DISTRIBUTION.....	62
A. Définitions	62
B. Caractéristiques d'une ligne de distribution	66
XII/ TRANSFORMATEURS	79
1. Transformateur de puissance.....	79
2. Transformateurs de mesures.....	87
XIII/ PHENOMENES D'INDUCTION EN LIGNE HAUTE TENSION.....	91
1. Principe de fonctionnement du compteur a induction.....	93
2. Schéma de branchement deux fils :.....	94
3. Schéma de branchement quatre fils :.....	95
RESUME THEORIQUE.....	1096
TP1 – Mesure de l'intensité du courant électrique.....	97
TP2 – Mesure de l'intensité du courant électrique.....	98
TP3 — Mesure de la tension électrique	99
TP4 — Mesure de la tension électrique	100
TP5 — Mesure de la résistance électrique	101
TP6 — Mesure de la puissance par la méthode voltampèremétrique	102
TP7 — Mesure de la puissance par la méthode des wattmètres	103
TP8 — Confection des attaches	104

Module 03: NOTIONS D'ELECTRICITE
RESUME THEORIQUE

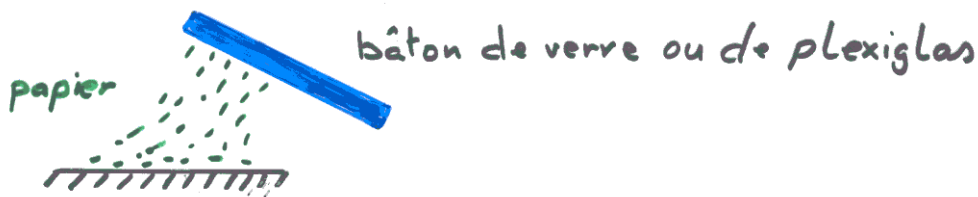
I/ INTRODUCTION

1. Electrostatique

1.1 Les phénomènes d'électrisation

1.1.1 - Electrisation par frottement

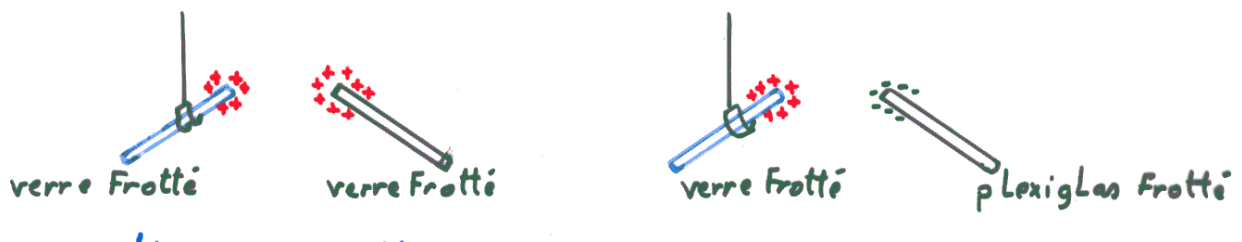
Un bâton de verre ou de plexiglas, frotté avec un chiffon sec de laine attire des corps très légers (petits morceaux de papier).



Le bâton de verre ou de plexiglas est porteur de charges électriques.

Un corps électrisé est un corps sur lequel apparaît une électrisation statique (électrostatique)

Les deux sortes d'électricité.



Par convention, on appelle :

- L'électricité positive celle qui apparaît sur le verre frotté.
- L'électricité négative celle qui apparaît sur le plexiglas frotté.

Donc :

Deux corps chargés d'électricité de même signe se repoussent.

Deux corps chargés d'électricité de signes contraires s'attirent.

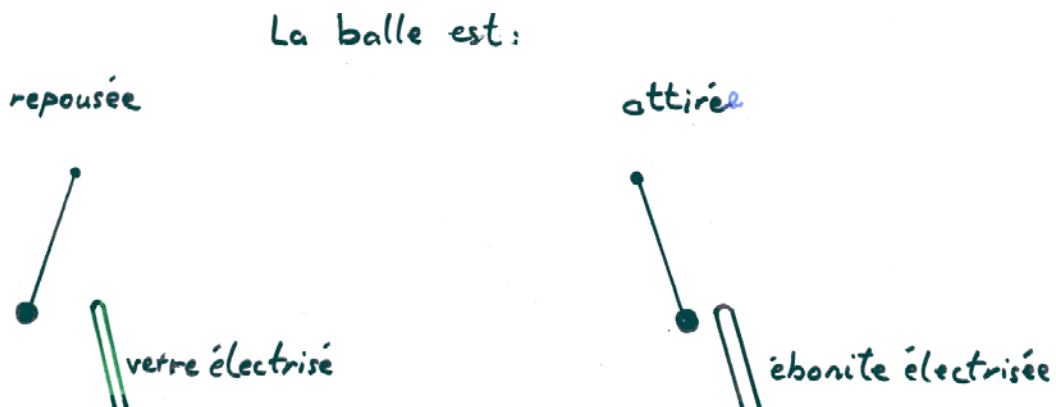


1.1.2 - Electrification par contact

En contact avec un corps électrisé, un corps initialement neutre se charge d'électricité de même signe.



Le pendule attiré par le verre électrisé vient le toucher et se trouve repousser aussitôt.



Le pendule repoussé par le verre électrisé, est attiré par l'ébonite électrisée.

1.3 - Electrification par influence

Si la balle est très loin de la règle de plexiglas, il ne se passe pratiquement rien.

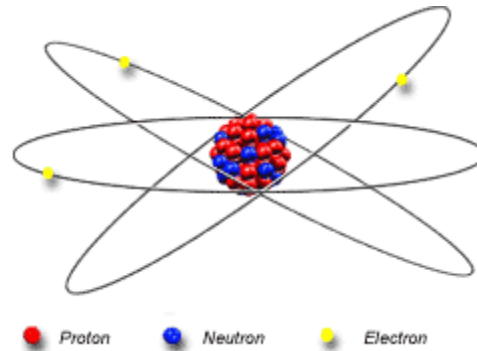


Au contraire, si la boule est très près de la règle, les électrons libres de celle-ci sont repoussés par les charges négatives de la règle. On dit que la règle de plexiglas frotté influence la boule.

Pour vérifier si un corps est électrisé, on utilise un électroscope.

2. La structure de la matière

2.1 - L'atome



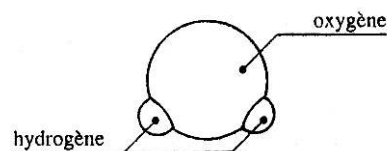
- On appelle atome le groupe stable d'un nombre égal d'électrons et de protons et d'un certain nombre de neutrons.
- Les protons et les neutrons forment le noyau de l'atome et les électrons tournent autour du noyau.
- L'électron est un grain d'électricité négative que l'on appelle une charge négative ; c'est la plus petite quantité d'électricité qui existe.
- La masse de l'électron est d'environ $0.91 * 10^{-30} \text{Kg}$.
- Le proton est un grain d'électricité positive que l'on appelle une charge positive ; électriquement, c'est l'opposé de l'électron. La masse du proton est d'environ $1670 * 10^{-30} \text{Kg}$.
- Le neutron est de la matière sans électricité ; sa masse est très voisine de celle du proton.

2.2 - La molécule

Une molécule est un assemblage stable et délimité d'atomes.

Exemple :

La molécule d'eau est formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

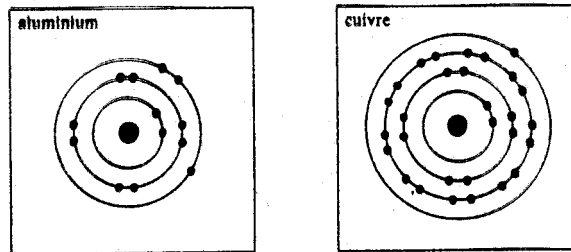


3. Le comportement électrique des matériaux

3.1 - Les conducteurs

Les atomes ayant 1,2 ou 3 électrons périphériques en perdent assez facilement un et il est possible d'imposer un mouvement d'ensemble à ces électrons libres ; on dit que les matériaux constitués de tels atomes conduisent l'électricité.

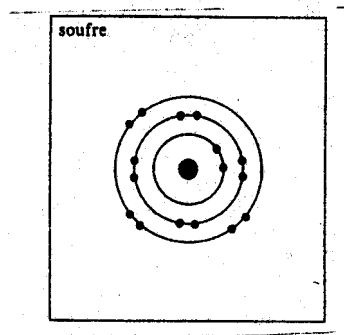
Par exemple, l'atome de cuivre, qui a un électron périphérique, le libère assez facilement ; le cuivre est un conducteur.



3.2 - Les isolants

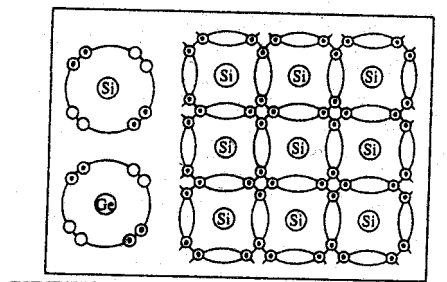
Les atomes ayant 5,6 ou 7 électrons périphériques tendent à compléter ce nombre à 8 en captant des électrons provenant d'autres atomes ; on dit que les matériaux constitués de tels atomes sont des isolants.

Par exemple, l'atome de soufre, qui n'a que 6 électrons périphériques, peut en capter 2 ; le soufre est un isolant.



3.3 - Les semi-conducteurs

Les atomes ayant 4 électrons périphériques constituent des matériaux dont le comportement électrique est intermédiaire entre celui des conducteurs et celui des isolants.



II/ COURANT CONTINU

1. Circuit électrique

1.1 - Définition

On appelle circuit électrique, l'ensemble des dispositifs de production de l'énergie électrique, des dispositifs de transformation de cette » énergie et des organes de liaison.

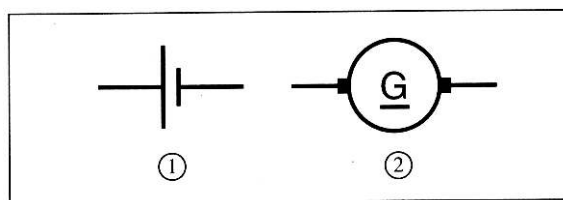
1.2 - Les éléments du circuit

a) Le générateur

On appelle générateur tout dispositif de transformation d'une énergie non électrique en énergie électrique.

Exemples : Pile

Dynamo

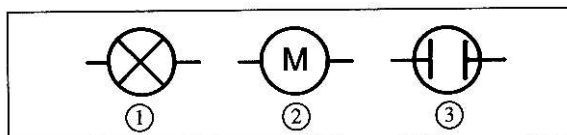


b) Le récepteur

On appelle récepteur tout dispositif de transformation de l'énergie électrique en énergie non électrique.

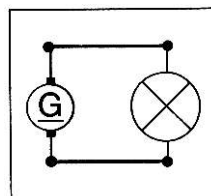
Exemples : Lampes à incandescence

Moteur



c) La ligne

La ligne transporte l'énergie électrique du générateur au récepteur.



d) Le court-circuit

Lorsque deux points, se trouvant à des potentiels différents l'un de l'autre, sont fortuitement réunis par un conducteur de résistance négligeable, le courant qui prend naissance est très grand, on dit qu'il y a court-circuit.

2. Tension électrique

2.1 - Définition

On appelle tension électrique (ou différence de potentiel) U entre deux points A et B le rapport de la variation de l'énergie électrique entre ces points à la quantité d'électricité qui est passé de A à B.

2.2 - L'unité de mesure

L'unité de tension électrique est le joule par coulomb (J/C) que l'on appelle le volt (V).

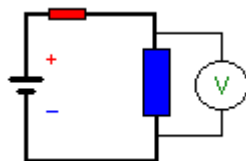
2.3 - Visualisation d'une tension continue

Si l'on relie la borne (+) d'une pile à l'entrée y de l'oscilloscope et la borne (-) à la masse, l'oscillogramme est une droite parallèle à l'axe du temps et placée au dessus de celui-ci, on dit que cette tension est constante ou est continue, et que la pile est un générateur continu.



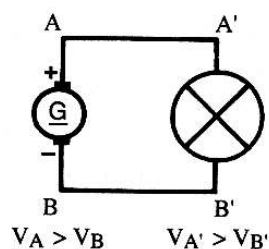
2.4 - Mesure d'une tension continue

Pour mesurer la tension aux bornes d'un dipôle (générateur ou récepteur), on utilise un voltmètre que l'on branche en parallèle.

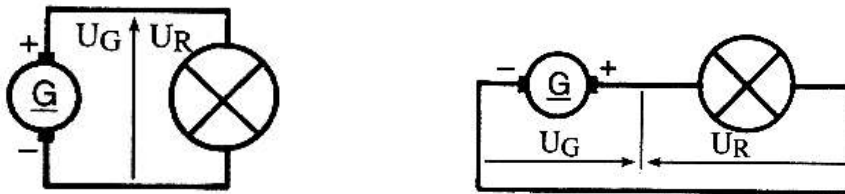


2.5 - Sens conventionnel de la tension continue et sa représentation

-Le potentiel de la borne (+) du générateur continu est supérieur au potentiel de sa bornes (-).



On représente la tension continue entre deux points par une flèche dirigée du potentiel le plus bas au potentiel le plus élevé.



3. Courant électrique

3.1 - Définition

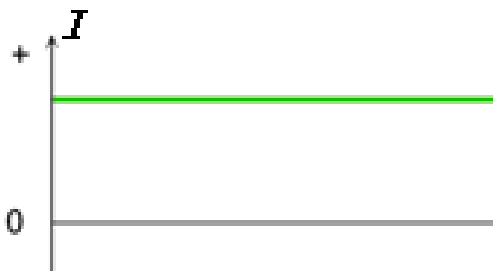
On appelle intensité I d'un courant électrique le rapport Q/T de la quantité d'électricité qui est passée en un point du circuit, au temps de passage. Lorsque le rapport Q/T est constant on dit que le courant est constant ou est continu ; dans le cas contraire il est variable.

3.2 - L'unité de mesure

L'unité d'intensité du courant est le coulomb par seconde (c/s) que l'on appelle l'ampère (A).

3.3 - La forme du courant

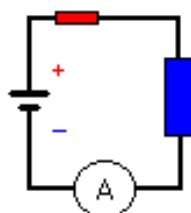
Une tension continue produit un courant continu dont la représentation est semblable à celle de la tension.



3.4 - Mesure de l'intensité d'un courant continu

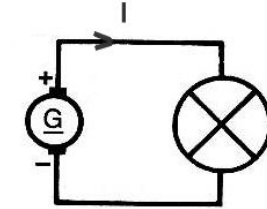
Pour mesurer l'intensité du courant dans un dipôle, on utilise un ampèremètre que l'on met en série avec le dipôle.

Les ampèremètres pour courants continus sont polarisés et il faut raccorder leurs bornes avec celles du générateur.



3.5 - Le sens conventionnel du courant continu et sa représentation

- A l'intérieur du générateur le courant circule du (+) au (-).
- On indique le sens du courant par une flèche placée sur le fil.

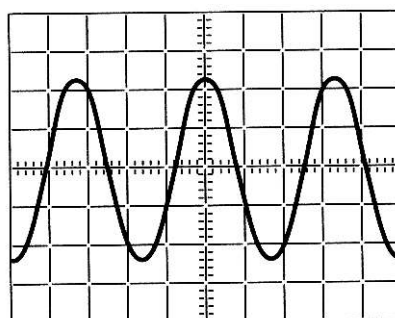


III/ COURANT ALTERNATIF

1. Tension alternative sinusoïdale

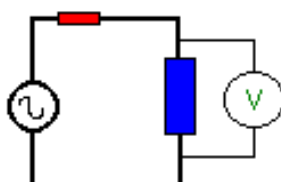
1.1 - Oscillogramme

Si l'on relie l'une des deux bornes d'un transformateur alimenté par le réseau à l'entrée Y de l'oscilloscope et l'autre à la masse, l'oscillogramme obtenu est une courbe symétrique, alternativement positive et négative, que l'on appelle une sinusoïde et l'on dit que la tension est alternative sinusoïdale.



1.2 - Mesure d'une tension sinusoïdale

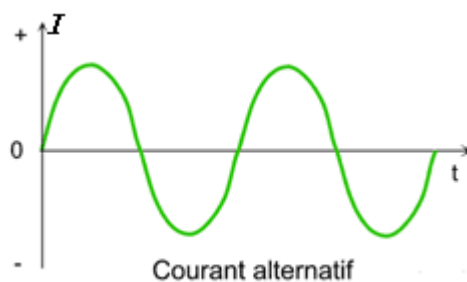
Pour mesurer la tension efficace U , on utilise un voltmètre que l'on branche en parallèle.



2. Courant alternatif sinusoïdal

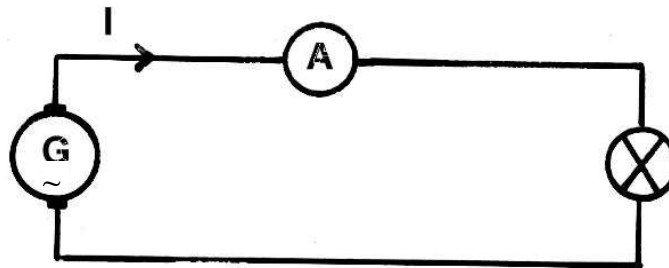
2.1 - Oscillogramme

Une tension sinusoïdale produit un courant sinusoïdal dont la représentation est semblable à celle de la tension.



2.2 - Mesure d'un courant sinusoïdal

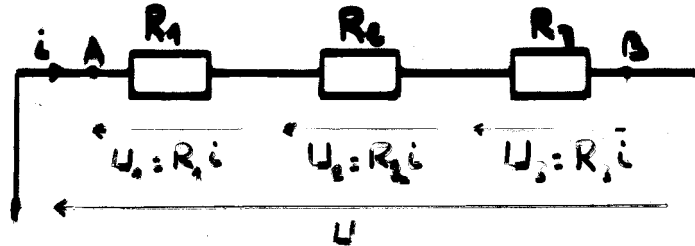
Les ampèremètres pour courants sinusoïdaux ne sont pas polarisés ; ils mesurent la valeur efficace du courant.



IV/ GROUPEMENT DES RESISTANCES

1. Circuit série

1.1 - Montage



1.2 - Interprétations

Dans un groupement en série :

- ✓ Le courant est le même dans toutes les résistances.

I est commun

- ✓ La somme des tensions aux bornes des résistances est égale à la tension aux bornes de la source.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

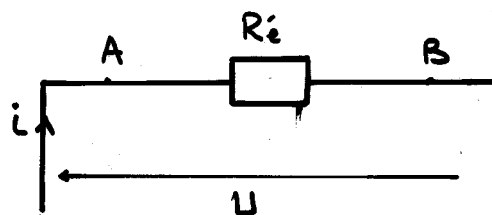
- ✓ La somme des puissances absorbées par les résistances est égale à la puissance fournie par la source

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

1.3 - Résistance équivalente

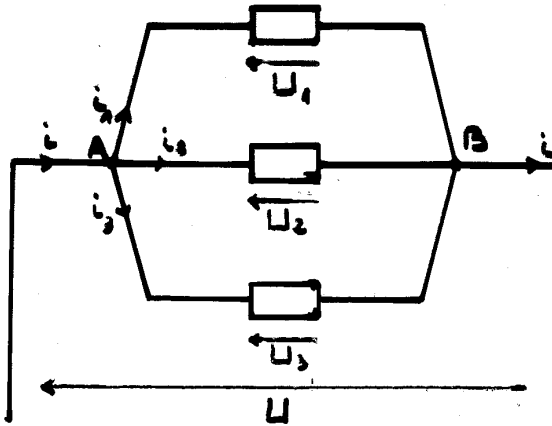
Lorsque plusieurs résistances sont montées en série, la somme de leurs résistances donne la valeur de la résistance équivalente.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



2. Circuit parallèle

2.1 - Montage



2.2 - Interprétations

Dans un groupement en parallèle :

- La tension est la même aux bornes de chaque résistance.

$$U=U_1=U_2=U_3$$

- La somme des courants absorbés par les résistances est égale au courant débité par la source.

$$I=I_1+I_2+I_3$$

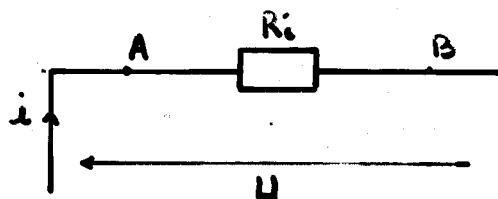
- La somme des puissances consommées est égale à la puissance fournie par la source.

$$P=P_1+P_2+P_3$$

2.3 - La résistance équivalente

Lorsque des résistances sont montées en parallèle, la somme des inverses de leurs résistances donne la valeur de l'inverse de la résistance équivalente.

$$1/Ré=1/R_1+1/R_2+1/R_3$$



V/ SYSTEMES TRIPHASES EQUILIBRES

1. Présentation

1.1 Avantages par rapport au monophasé

- Les machines triphasées ont des puissances de plus de 50% supérieures aux machines monophasées de même masse et donc leurs prix sont moins élevés (le prix est directement proportionnel à la masse de la machine).
- Lors du transport de l'énergie électrique, les pertes sont moindres en triphasé.

1.2 Distribution

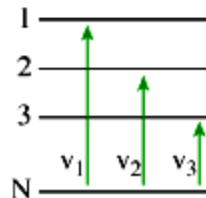
La distribution se fait à partir de quatre bornes :

- Trois bornes de **phase** repérées par 1, 2, 3 ou A, B, C ou R, S, T ;
- Une borne **neutre** N.

1.3 Présentation

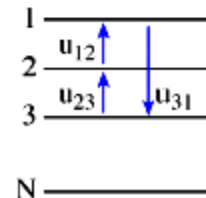
v_1, v_2, v_3 :

tensions simples ou étoilées
entre les phases et le neutre.



u_{12}, u_{23}, u_{31} :

tensions composées
entre les phases.

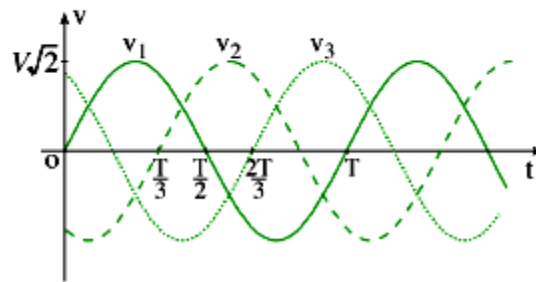


2. Etude des tensions simples

2.1 Observation à l'oscilloscope

- Les tensions sont déphasées de $\frac{2\pi}{3}$ l'une par rapport à l'autre ;
- Elles ont la même valeur efficace.

On dit que le système est équilibré.



Définition :

un système triphasé est équilibrée lorsque les trois tensions possèdent la même valeur efficace et qu'elles sont déphasées de $2\pi/3$ l'une par rapport à l'autre.

2.2 Equations horaires

$$v_1(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

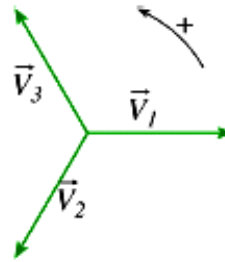
$$v_2(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$v_3(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

2.3 Vecteurs de Fresnel associés

On déduit des équations horaires les vecteurs suivants :

$$\overset{r}{V}_1 \begin{pmatrix} V \\ 0 \end{pmatrix} ; \overset{r}{V}_2 \begin{pmatrix} V \\ -\frac{2\pi}{3} \end{pmatrix} ; \overset{r}{V}_3 \begin{pmatrix} V \\ -\frac{4\pi}{3} \end{pmatrix}$$



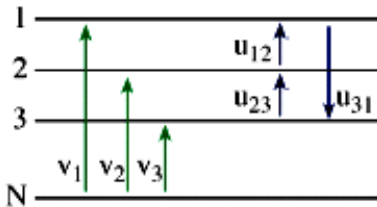
Le système est **équilibré direct**

Équilibré car la construction de Fresnel montre que $\dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_3 = \vec{0} \Rightarrow v_1 + v_2 + v_3 = 0$

Direct car un observateur immobile verrait les vecteurs défiler devant lui dans l'ordre 1, 2, 3.

3. Etude des tensions composées

3.1 Définition



Les tensions composées ont même fréquence que les tensions simples

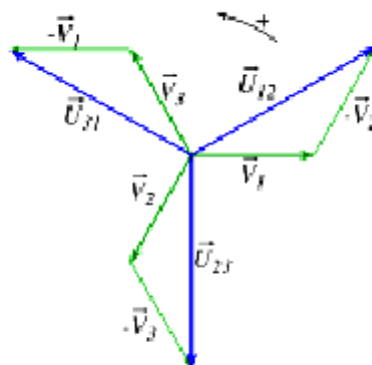
$$\begin{aligned} u_{12} = v_1 - v_2 &\Rightarrow \dot{U}_{12} = \dot{V}_1 - \dot{V}_2 \\ u_{23} = v_2 - v_3 &\Rightarrow \dot{U}_{23} = \dot{V}_2 - \dot{V}_3 \\ u_{31} = v_3 - v_1 &\Rightarrow \dot{U}_{31} = \dot{V}_3 - \dot{V}_1 \end{aligned}$$

3.2 Vecteurs de Fresnel associés

$$\overset{r}{U}_1 \begin{pmatrix} U \\ \frac{\pi}{6} \end{pmatrix}$$

$$\overset{r}{U}_2 \begin{pmatrix} U \\ -\frac{3\pi}{6} \end{pmatrix}$$

$$\overset{r}{U}_3 \begin{pmatrix} U \\ -\frac{7\pi}{6} \end{pmatrix}$$



Si le réseau est équilibré : $\dot{U}_{12} + \dot{U}_{23} + \dot{U}_{31} = \vec{0} \Leftrightarrow u_{12} + u_{23} + u_{31} = 0$

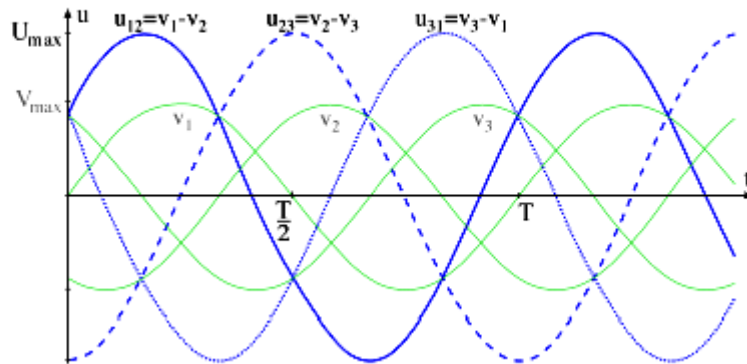
Le système des trois tensions composées est équilibré direct.

3.3 Equations horaires et oscillogrammes

$$u_{12}(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{23}(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$u_{31}(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6})$$



3.4 Remarque

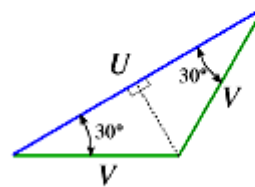
Réseau triphasé 220/380 V

4. Relation entre U et V

$$U = 2V \cos 30 \quad \text{soit} \quad U = 2V \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Finalement : $U = V\sqrt{3}$

Cette relation est toujours vraie quelque soit la charge.



5. Récepteurs triphasés équilibrés

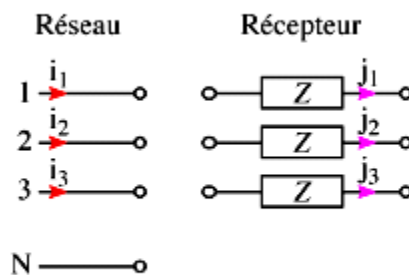
5.1 Définitions

Récepteurs triphasés : ce sont des récepteurs constitués de trois éléments identiques, d'impédance Z .

Equilibré : car les trois éléments sont identiques.

Courants par phase : c'est le courant qui traverse les éléments Z du récepteur triphasés.
Symbole : J

Courants en ligne : c'est le courant dans les fils du réseau triphasé.
Symbole : I



Le réseau et le récepteur peuvent se relier de deux façons différentes : en étoile ou en triangle.

5.2 Théorème de Boucherot (rappel)

Les puissances active et réactive absorbées par un groupement de dipôles sont respectivement égales à la somme des puissances actives et réactives absorbées par chaque élément du groupement.

Donc d'après ce théorème : $P = P_1 + P_2 + P_3$ et $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

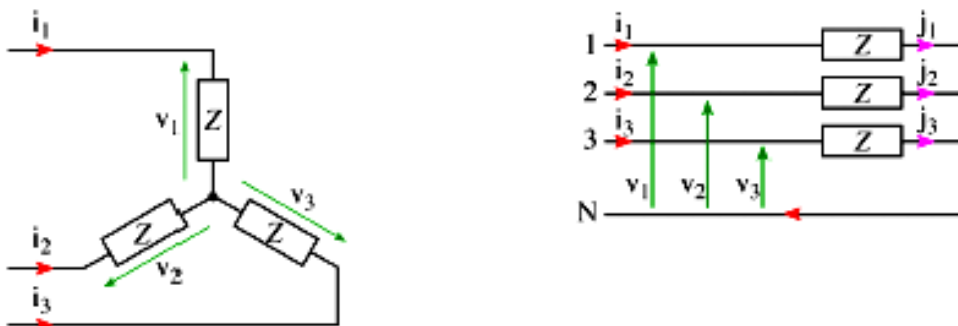
Pour un récepteur équilibré : $P_1 = P_2 = P_3$ et $Q_1 = Q_2 = Q_3$

Finalement : $P = 3.P_1$ et $Q = 3.Q_1$

Facteur de puissance : $k = P / S$.

6. Couplage étoile

6.1 Montage

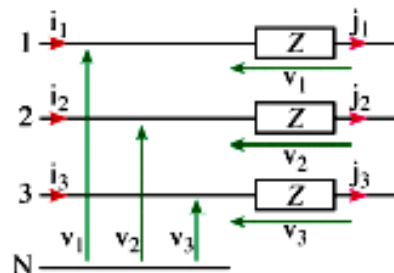


Même branchement représenté de deux façons différentes.
Le premier schéma explique le terme « étoile ».

Symbole :

Comme il s'agit des mêmes impédances, de ce fait $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, donc $i_n = 0$. Le courant dans le fil neutre est nul. Le fil neutre n'est donc pas nécessaire.

Pour un système triphasé équilibré, le fil neutre ne sert à rien.



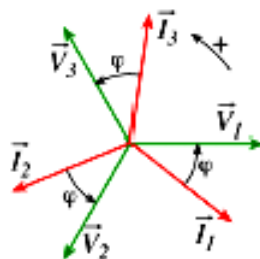
6.2 Relations entre les courants

On constate sur les schémas du paragraphe 6.1 que les courants en ligne sont égaux aux courants par phase.

$$i_1 = j_1 ; i_2 = j_2 ; i_3 = j_3$$

De plus la charge et le réseau sont équilibrés, donc : $I_1 = I_2 = I_3 = I = J$

On retiendra pour le couplage étoile : $I = J$



6.3 Puissances

Pour une phase du récepteur : $P_1 = VI \cos \varphi$ avec $\varphi (I, V)$

Pour le récepteur complet : $P = 3.P_1 = 3VI \cos \varphi$ de plus $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$

Finalement pour le couplage étoile : $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$

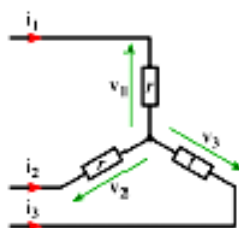
de la même façon : $Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$

et : $S = \sqrt{3}UI$

Facteur de puissance : $k = \cos \varphi$

6.4 Pertes par effet Joule

Considérons que la partie résistive du récepteur.



Pour une phase du récepteur : $P_{J1} = rI^2$

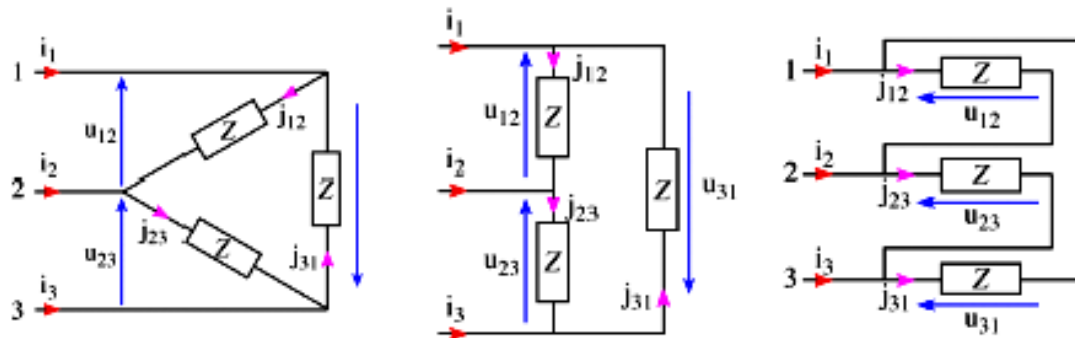
Résistance vue entre deux bornes : $R = 2r$

Pour le récepteur complet : $P = 3.P_{J1} = 3rI^2 = \frac{3}{2}RI^2$

Finalement pour le couplage étoile : $P = \frac{3}{2}RI^2$

7. Couplage triangle

7.1 Montage



Même branchement représenté de trois façons différentes.
Le premier schéma explique le terme « triangle ».

Symbole :

Comme il s'agit des mêmes impédances, $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ et $j_{12} + j_{23} + j_{31} = 0$

Ici en aucun cas le fil neutre n'est nécessaire.

7.2 Relations entre les courants

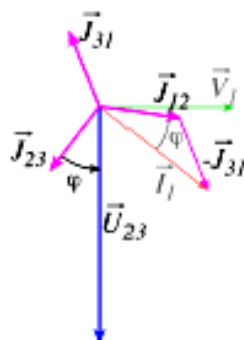
D'après les schémas du paragraphe 6.3.1.

$$\begin{aligned} i_1 = j_{12} - j_{31} &\Rightarrow \hat{I}_1 = \hat{J}_{12} - \hat{J}_{31} \\ i_2 = j_{23} - j_{12} &\Rightarrow \hat{I}_2 = \hat{J}_{23} - \hat{J}_{12} \\ i_3 = j_{31} - j_{23} &\Rightarrow \hat{I}_3 = \hat{J}_{31} - \hat{J}_{23} \end{aligned}$$

Le système triphasé est équilibré : $I_1 = I_2 = I_3 = I$ et $J_{12} = J_{23} = J_{31} = J$.

Pour le couplage triangle, la relation entre I et J est la même que la relation entre V et U.

Pour le couplage triangle : $J = \frac{I}{\sqrt{3}}$



Remarque :

Les déphasages pour les deux montages étoile et triangle sont les mêmes. Il s'agit du déphasage provoqué par le dipôle Z du montage.

$$\varphi_{\Delta}(\vec{J}, \vec{U}) = \varphi_{\Delta}(\vec{I}, \vec{V})$$

7.3 Puissances

Pour une phase du récepteur : $P_1 = UJ \cos \varphi$ avec $\varphi (J, U)$

Pour le récepteur complet : $P = 3.P_1 = 3UJ \cos \varphi$ de plus $J = \frac{I}{\sqrt{3}}$

Finalement pour le couplage étoile : $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$

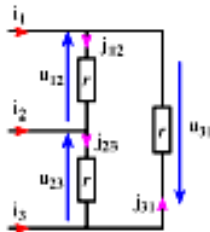
de la même façon : $Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$

et : $S = \sqrt{3}UI$

Facteur de puissance : $k = \cos \varphi$

7.4 Pertes par effet Joule

Considérons que la partie résistive du récepteur.



Détail du calcul de la résistance équivalente vue entre deux bornes du récepteur :

nous avons $2r$ en parallèle avec r ;

$$R = \frac{2r.r}{2r+r} = \frac{2}{3}r$$

Pour une phase du récepteur : $P_{r1} = rJ^2$

Résistance vue entre deux bornes : $R = \frac{2}{3}r$

Pour le récepteur complet : $P = 3.P_{r1} = 3rJ^2 = 3 \frac{3}{2} R \left(\frac{I}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{3}{2} RI^2$

Finalement pour le couplage étoile : $P = \frac{3}{2} RI^2$

7.5 Remarques

Quel que soit le couplage, les puissances s'expriment de la même façon en fonction :

- de la tension composée U
- du courant en ligne I

Ces deux grandeurs sont les seules qui soient toujours mesurables quel que soit le couplage, même inconnu, du récepteur utilisé.

Lecture 220/380 V

Couplage d'un récepteur sur le réseau

Supposons que vous voulez coupler un récepteur triphasé au réseau 220V/380V et que la tension nominale pour chaque phase du récepteur soit de 380V. Quel couplage étoile ou triangle faut-il choisir? Les deux couplages sont-ils possible?

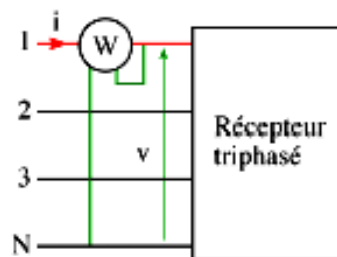
8. Mesure de puissance : le wattmètre

Le wattmètre permet de mesurer la puissance active P en monophasé ou triphasé.

Il possède au moins quatre bornes : deux bornes pour mesurer la tension et deux bornes pour mesurer le courant. Il y a donc deux branchement à réaliser : un branchement en parallèle (comme un voltmètre) pour mesurer la tension, et un branchement en série (comme un ampèremètre) pour mesurer le courant. Le wattmètre tient compte du déphasage.

Mesure en triphasé lorsque le fil neutre est accessible : ligne à quatre fils.

Montage :



Remarque : il n'est pas nécessaire de connaître le couplage du récepteur

Le wattmètre branché de cette façon mesure (puissance lue) : $P' = VI \cos \varphi$

La puissance du récepteur s'exprime (puissance absorbée) : $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$

La relation entre la puissance lue et la puissance absorbée par le récepteur est donc : $P = 3P'$

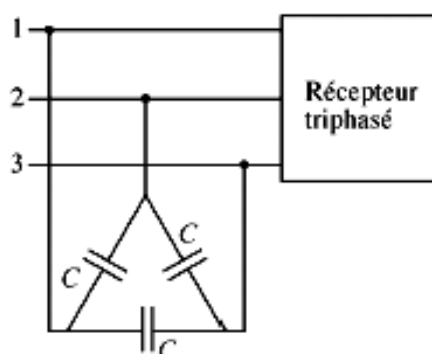
9. Résumé

	Couplage étoile	Couplage triangle
Relation entre U et V	$U = V\sqrt{3}$	$U = V\sqrt{3}$
Relation entre I et J	$I = J$	$I = J\sqrt{3}$
Déphasage	$\varphi (\hat{I}, \hat{V})$	$\varphi (\hat{J}, \hat{U})$
Puissance active	$P = 3.P_1 = 3VI\cos\varphi$ $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$	$P = 3.P_1 = 3UJ\cos\varphi$ $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$
Pertes Joules	$P = 3rI^2$ $P = \frac{3}{2}RI^2$	$P = 3rJ^2$ $P = \frac{3}{2}RJ^2$
Résistance équivalente	$R = 2r$	$R = \frac{2}{3}r$
Puissance réactive	$Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$	$Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$
Puissance apparente	$S = \sqrt{3}UI$	$S = \sqrt{3}UI$
Facteur de puissance	$k = \cos\varphi$	$k = \cos\varphi$

10. Relèvement du facteur de puissance en triphasé

10.1 Couplage des condensateurs en triangle

Montage :



Tension aux bornes d'un condensateur : U

Puissance réactive absorbée par un condensateur :

$$Q_{C1} = -C\omega U^2$$

Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs :

$$Q_C = 3Q_{C1} = -3C\omega U^2$$

	Puissance active	Puissance réactive	Facteur de puissance
Charge seule	P	$Q = P \operatorname{tg} \varphi$	On a $\cos \varphi$
les trois condensateurs seuls	0	$Q_C = -3C\omega U^2$	0
Charge + condensateurs	P	$Q' = Q + Q_C = P \operatorname{tg} \varphi'$	On veut $\cos \varphi'$

On en déduit la capacité du condensateur de la manière suivante :

$$Q_C = -3C\omega U^2 = Q' - Q$$

$$-3C\omega U^2 = P \operatorname{tg} \varphi' - P \operatorname{tg} \varphi$$

Finalemment :
$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{3\omega U^2}$$

10.2 Couplage des condensateurs en étoile

En utilisant le même raisonnement que précédemment, on montre que la capacité du condensateur est donnée par la relation :

$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{\omega U^2}$$

Le couplage en étoile est donc moins intéressant puisque la capacité des condensateurs nécessaires est trois fois plus grande que pour le couplage en triangle. Plus la capacité est grande, plus le condensateur est volumineux et onéreux.

VI/ LE COURANT ELECTRIQUE ET LE CORPS HUMAIN

1. Introduction

La plupart des accidents d'origine électrique mortels ou non, sont dus soit à une imprudence, soit à une installation défectueuse.

2. Résistance électrique du corps humain

Elle n'est pas comme celle des appareils, de valeur constante et bien définie.
Elle peut atteindre plus de 100000Ω dans certains cas mais peut aussi descendre jusqu'à 1000Ω environ, dans le cas le plus défavorable.

3. Effets du courant

- a) Brûlures
- b) Destruction nerveux : paralysie des organes (cœur, poumons)

Le danger diminue avec	Le danger augmente avec
Les mains sèches	Les mains humides
Les mains calleuses	Les mains lisses
L'indifférence au courant	La crainte du courant
Le contact volontaire	L'effet de surprise
La bonne santé	La mauvaise santé, la fatigue
Le trajet du courant hors des organes vitaux (bras, jambes)	Le trajet à travers les organes vitaux (cœur, poumons, cerveau)
Le mauvais contact (du bout des doigts)	Le bon contact (à pleine main)
Le bon isolement par rapport au sol	Le mauvais isolement (pieds nus sur la terre)

4. Intensités et tensions dangereuses

L'intensité à partir de laquelle il y a danger est $0.05A$ en continu et en alternatif (dans ce dernier cas 0.05 est la valeur efficace).

Compte tenu de la valeur de la résistance du corps humain dans les conditions les plus défavorables soit 1000Ω , la tension dangereuse est : $U=RI=0.05*1000=50V$

Les installations pour lesquelles la tension ne dépasse pas $50V$ sont classées (très basse tension).

5. Contacts dangereux

- a. On touche accidentellement deux points entre lesquels une différence de potentiel : le corps est soumis à la tension existante. On dit que le contact est bipolaire.
- b. On touche un seul fil (ou un seul point) et un autre point du corps touche le sol conducteur : le corps est soumis à la tension existant entre le fil et le sol. On dit que le contact est mono polaire.
- c. On touche une masse métallique qui elle-même est en contact avec un fil par suite d'un défaut d'isolement entre ce fil et la masse. Tout se passe comme si on touchait directement le fil.

6. Mesures de sécurité

- a. Ne jamais toucher même un seul fil sous tension.
- b. Manœuvrer les appareils de coupure haute tension avec une perche isolante, des gants en caoutchouc et de bout sur un socle isolant.
- c. Mettre les masses métalliques à la terre.
- d. Partout où le danger est particulièrement présent : cave, salle de bains, tout lieu humide, installer des interrupteurs à capot isolant ou mieux utiliser une alimentation sous tension de sécurité au plus égale à 50V.
- e. Ne jamais toucher un interrupteur avec des mains humides.
- f. Ne jamais jouer avec le courant électrique. Les (blagues) qui consistent à appliquer une tension à un camarade pour connaître ses réactions en tant que récepteur sont criminelles et doivent être totalement exclues.

VII/ MAGNETISME - ELECTROMAGNETISME

1. Magnétisme

1.1 - Les aimants

1.1.1 - Définition

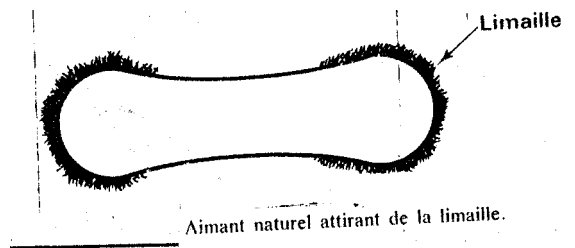
On appelle aimant tous corps capable d'attirer la limaille de fer.

1.1.2 - Sortes d'aimants :

Il y'a deux types d'aimant :

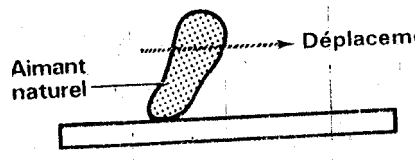
a-1) Aimants naturels

Ce sont des oxydes de fer Fe_3O_4

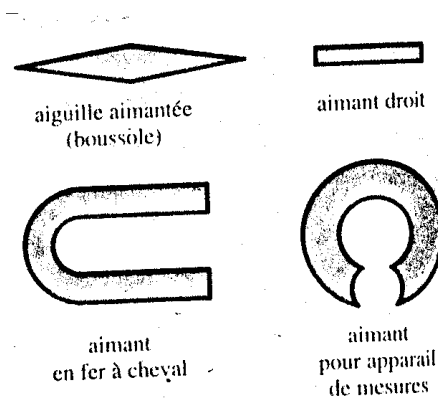


a-2) Aimants artificiels

En frottant toujours dans le même sens un morceau d'acier de forme allongé avec un aimant naturel, nous obtenons un nouvel aimant : c'est un aimant artificiel.

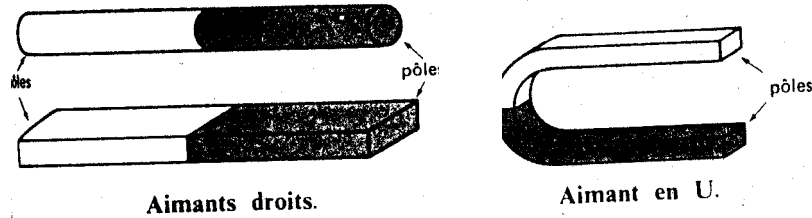


Les aimants artificiels permanents peuvent avoir des formes divers suivent l'usage au quel ils sont destinés.



1.1.3 - Les pôles d'un aimant

L'aimant attire de la limaille de fer sur deux régions appelées pôles.



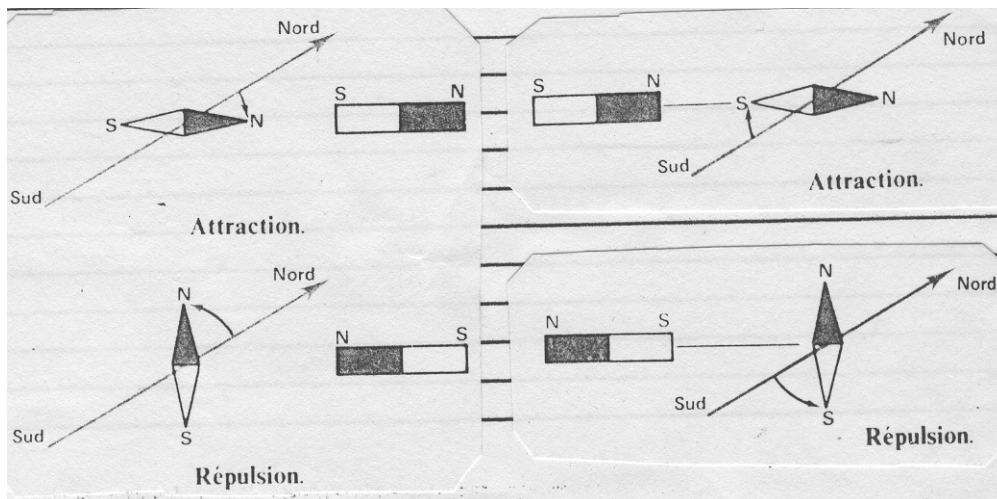
a) Différentiation des pôles :

Un aimant a toujours deux pôles :

- Un pôle nord ;
- Un pôle sud.

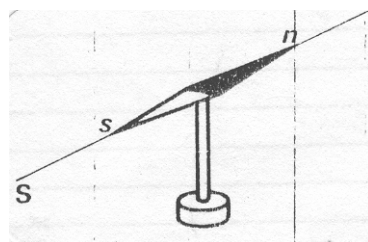
b) Actions réciproque de deux aimants :

- deux pôles de mêmes noms se repoussent ;
- deux pôles de noms contraires s'attirent.



1.1.4 - La boussole

La boussole est un aimant léger monté sur un pivot. Lorsqu'elle est placée de tout aimant et de tout circuit parcouru par un courant électrique, l'axe de la boussole s'oriente toujours dans la même direction : la direction sud nord magnétique.



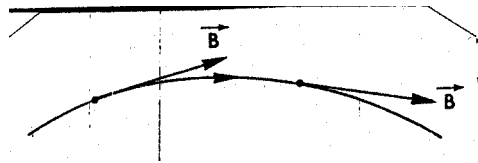
1.2 Champ magnétique

a) Espace champ magnétique :

L'espace champ magnétique de l'aimant est la zone qui l'entoure et dans laquelle il fait sentir son influence.

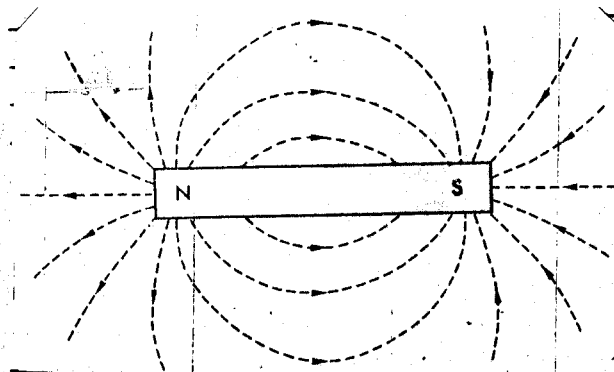
b) Ligne de champ magnétique :

Une ligne de champ magnétique est une courbe tangente en chacun de ses points au vecteur champ magnétique B , et orientée dans le sens de B .

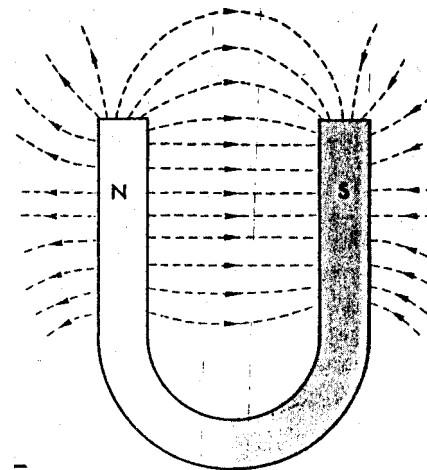


c) Spectre magnétique :

Le spectre magnétique est l'ensemble de lignes de champ d'un champ magnétique.



Spectre d'un aimant droit



Spectre d'un aimant en fer à cheval

d) Flux magnétique :

Le flux magnétique à travers une surface donnée est l'ensemble des lignes de force qui traversent cette surface.

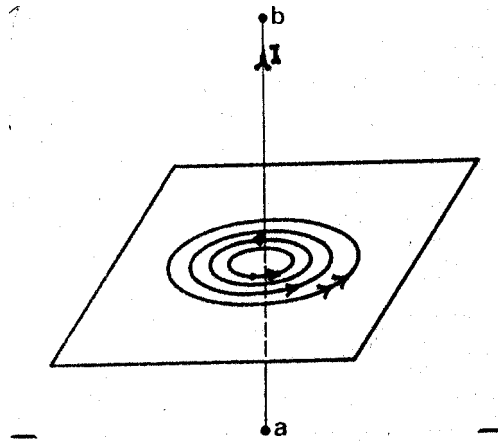
e) Applications des aimants permanents :

Les aimants permanents sont utilisés dans les appareils de mesure tels que :

- Les galvanomètres magnétoélectriques.
- Les ampèremètres et voltmètres magnétoélectriques.
- Et aussi ils sont utilisés dans les haut-parleurs.

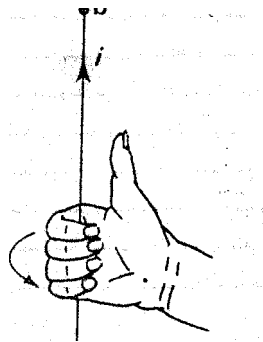
2. Electromagnétisme

2.1 - Conducteur rectiligne :



a) Spectre magnétique :

Les lignes de champ (les lignes de force) sont des cercles concentriques d'axe commun ab.

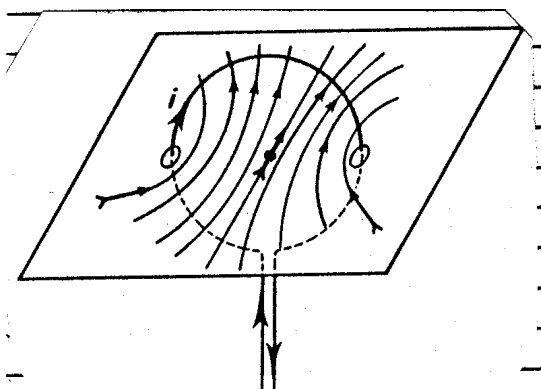


b) Sens des lignes de champ :

Règle de la main droite :

La main droite entourant le fil de façon que le pouce indique le sens du courant, le sens des lignes est donné par l'orientation des autres doigts.

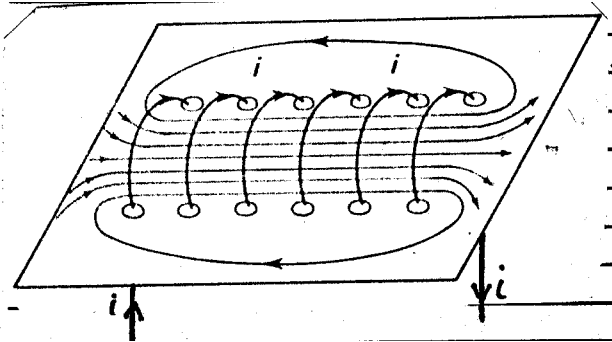
2.2 - Bobine Plate :



Spectre magnétique :

- Vers le centre de la bobine plate les lignes de force sont pratiquement des droites.
- En se rapprochant des points où la bobine coupe le plan, les lignes de champ sont des courbes de plus en plus incurvées.
- Autour des traversés des plans ils sont assimilables à des cercles .

2.3 Bobine longue (Solénoïde) :



Spectre magnétique :

- -A l'intérieur se sont des lignes parallèles à l'axe de la bobine, sauf au voisinage des fils où se sont des cercles.
- - A l'extérieur le spectre est identique à celui d'un aimant droit.

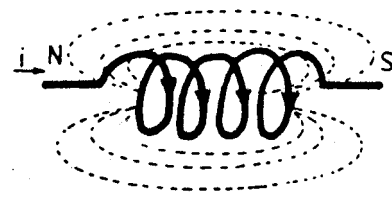
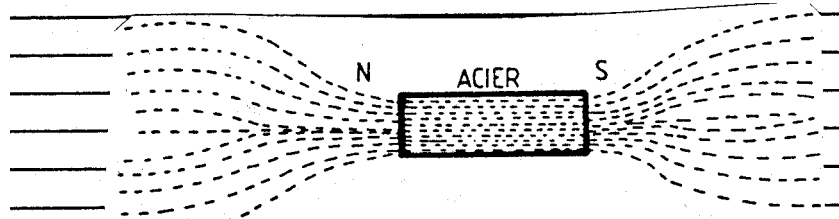
2.4 - L'électroaimant

a) Définition :

Un électroaimant est constitué par une pièce de fer (noyau magnétique) placée dans une bobine.

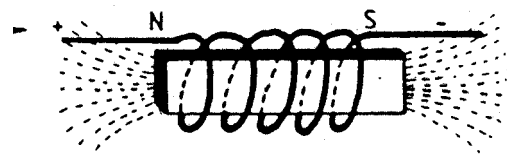
b) Action d'un noyau magnétique :

L'acier (métal magnétique) canalise et concentre les lignes de force.



Bobine seule

Les lignes de force sont dispersées



Bobine avec noyaux magnétique
(électro-aimant)

Les lignes de force sont concentrées et plus nombreuses aux extrémités des pôles

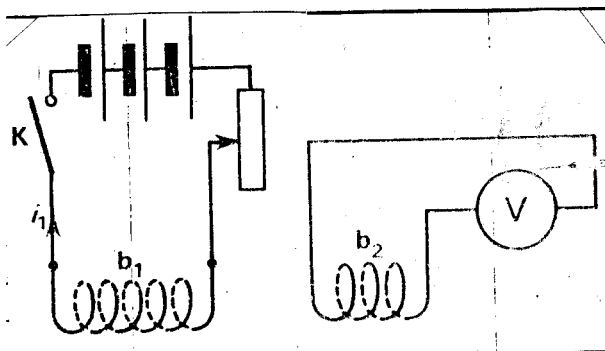
c) Domaine d'application des électroaimants :

Les électroaimants industriels, aux dimensions importantes, sont utilisés pour le levage des ferrailles.

Ils sont utilisés dans les relais et disjoncteurs, etc.

2.5 - Le phénomène de mutuelle induction

a) Montage :



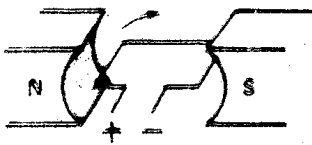
La bobine B_1 , est la seule à être alimentée et la seule à produire un champ magnétique.
 La bobine B_2 , est placée dans ce champ et ambrasse un flux magnétique dû à B_1 .
 Quand on fait varier le champ produit par B_1 , par variation du courant I_1 ou par modification de la liaison magnétique entre les deux bobines, B_2 est traversée par un flux variable et de ce fait, est le siège d'une force électromotrice induite.
 La bobine B_1 joue le rôle d'inducteur
 La bobine B_2 joue le rôle d'induit.
 C'est le phénomène de la mutuelle induction.

VIII/ LES SOURCES D'ELECTRICITE ET PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

1. Sources d'électricité

1.1 Génératrice à courant alternatif

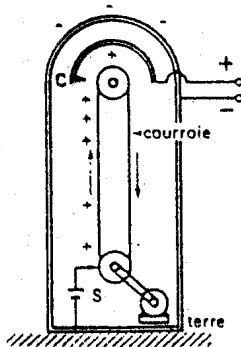
Principe de fonctionnement : Une tension est induite entre les bornes d'un conducteur lorsqu'il se déplace dans un champ magnétique.



Energie primaire – mécanique
Tension-6V à 25 kV c.a.
Puissance –10 W à 2000 MW
Rendement -20% à 99%
Symbole **G**

1.2 Générateur électrostatique

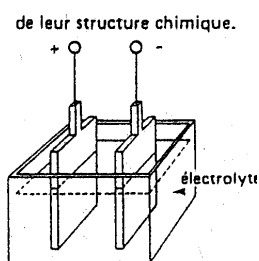
Principe de fonctionnement : Une courroie mobile amène vers une coupole C les charges positives provenant d'une source S. Une haute tension positive s'établit entre la coupole et la terre.



Energie primaire – mécanique
Tension- 100 kV à 10 MV c.c.
Puissance –10 mW à 10 kW
Rendement 5% à 30%
Symbole **G**

1.3 Pile

Principe de fonctionnement : Deux plaques de matériaux différents placées dans un électrolyte approprié libèrent de l'énergie électrique par une transformation de leur structure chimique.

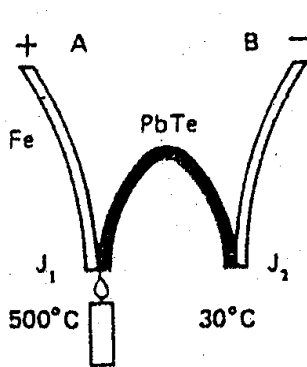


4. Générateur à ther

Energie primaire – chimique
Tension- 1V à 2V CC.
Puissance -1kJ à 1MJ
Rendement 40% à 80%
Symbole

1.4 Générateur à thermocouple

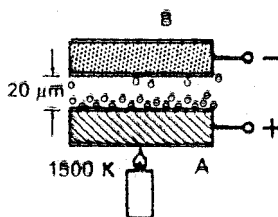
Principe de fonctionnement : Lorsque les points de jonction J_1 et J_2 de deux métaux différents sont gardés à des températures différentes, un transfert d'électrons s'effectue et une tension apparaît entre les bornes A et B.



Energie primaire – thermique
Tension- 1mV à 200mV c.c.
Puissance -1 mW à 1W
Rendement 3% à 10%
Symbole

1.5 Générateur thermo ionique

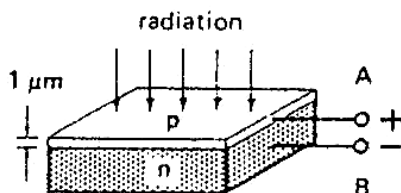
Principe de fonctionnement : En chauffant un métal A à une très haute température, les électrons libres deviennent agités à un point tel qu'ils quittent le métal pour s'accumuler sur une plaque B. Une différence de potentiel se crée entre les deux plaques.



Energie primaire – thermique
Tension- 0,5V à 3V c.c.
Puissance –1 mW à 100 W
Rendement 1% à 5%
Symbole

1.6 Cellule photovoltaïque

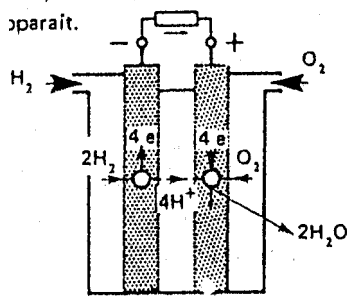
Principe de fonctionnement : Lorsqu'une jonction p-n au silicium (semblable à la jonction d'une diode) reçoit de l'énergie radiante, un transfert de charges se produit et une tension apparaît entre les bornes A et B.



Energie primaire – énergie radiante
Tension-0,3V à 0,9V c.c.
Puissance –100 mW à 100 W
Rendement -8% à 14%
Symbole

1.7 Pile à combustible

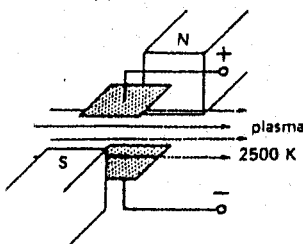
Principe de fonctionnement : La combinaison chimique de l'oxygène avec un produit comme le pétrole ou l'hydrogène libère toujours une quantité d'énergie. Habituellement, cette énergie apparaît sous forme de chaleur lorsque la combinaison de ces produits se fait par combustion. La pile à combustible permet à ces produits de se combiner chimiquement mais, au lieu de libérer de l'énergie thermique, c'est de l'énergie électrique qui apparaît.



Energie primaire – chimique
Tension-0,5V à 1,5V c.c.
Puissance –10 W à 100 kW
Rendement -30% à 70%
Symbole

1.8 Générateur magnétohydrodynamique

Principe de fonctionnement : Un gaz ionisé à très haute température (appelé plasma) est soufflé à grande vitesse entre les pôles d'un électro-aimant. Une tension apparaît les deux plaques qui touchent les parois du jet.



Energie primaire – thermique/mécanique
Tension-100V à 5kV c.c.
Puissance –10 kW à 100 MW
Rendement -15% à 35%
Symbole

2. Production de l'énergie électrique

L'énergie électrique est produite par des usines que l'on appelle centrales. Elles transforment l'énergie mécanique qu'elles reçoivent en énergie électrique.

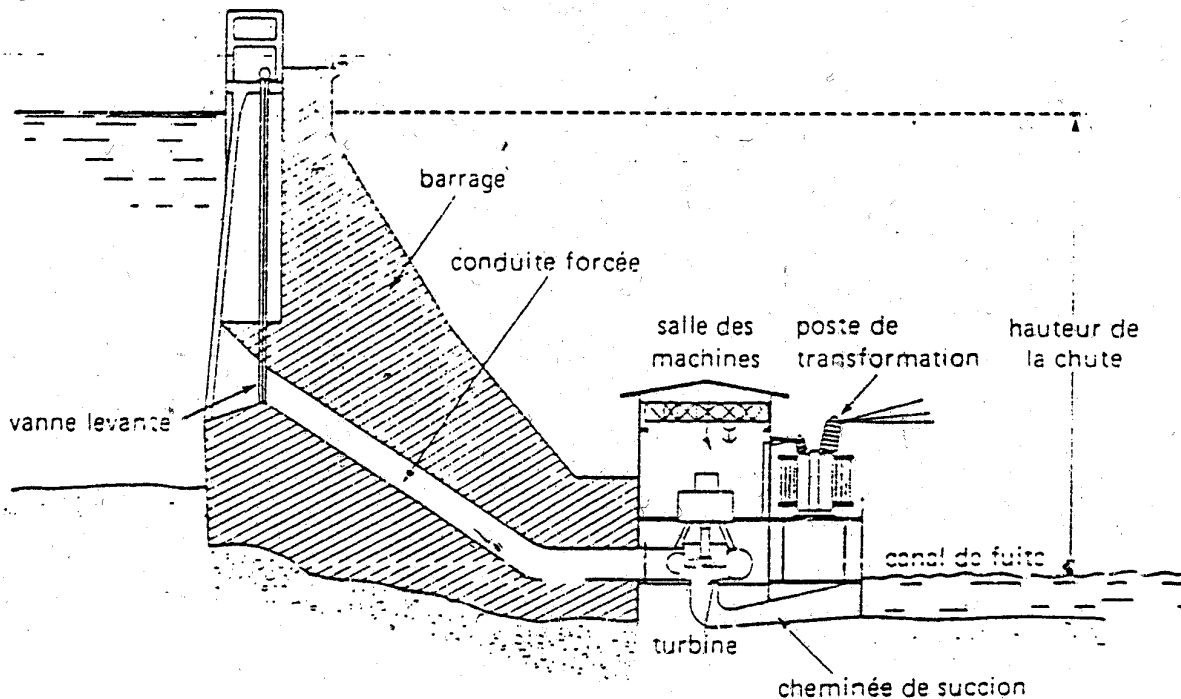
Les usines électriques diffèrent entre elles par l'origine de la force motrice et de la nature de la machine motrice, d'où la classification suivante :

2.1 Centrales hydrauliques

Ces usines utilisent l'eau fournie par une chute ou un barrage pour alimenter des turbines accouplées à des alternateurs.

Ces centrales sont classées en trois catégories :

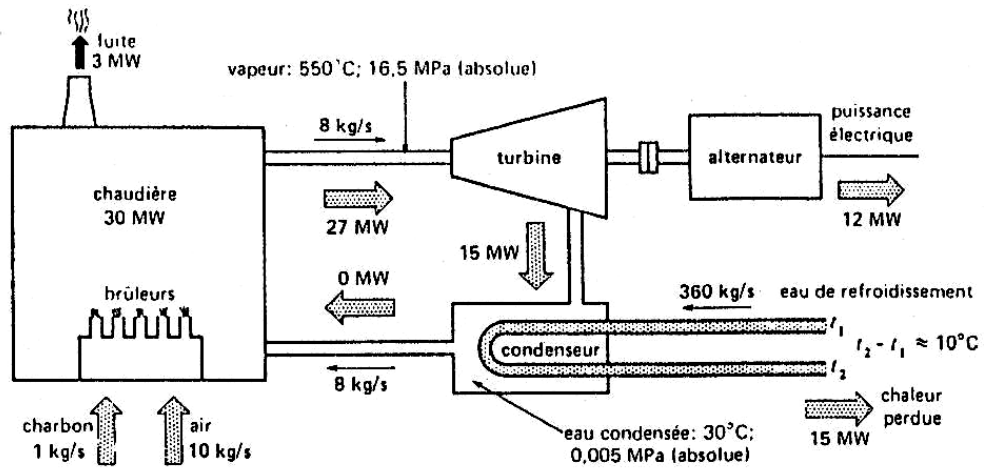
- les hautes chutes $H > 200\text{m}$
- les moyennes chutes $30\text{ m} < H < 200\text{m}$
- les basses chutes $H < 30\text{m}$



Vue en coupe d'une centrale hydro-électrique de moyenne chute.

2.2 Centrale thermique :

La centrale thermique produit l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique obtenue en brûlant un combustible tel que charbon, gaz, pétrole. Autrement dit la centrale transforme, sous l'action de la chaleur, l'eau des chaudières en vapeur sous pression qui est dirigée sur une turbine accouplée à un alternateur.



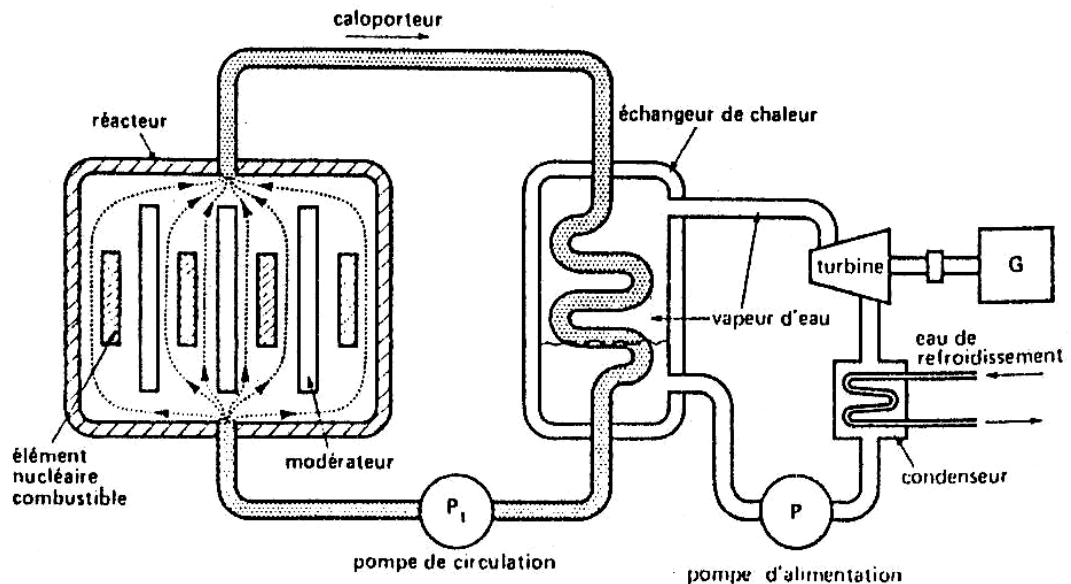
Modèle réduit d'une centrale thermique.

2.3 Centrale nucléaire :

Dans une centrale nucléaire on a remplacé les brûleurs de combustibles, charbon ou pétrole par un réacteur.

A l'intérieur du réacteur, l'uranium235 est le siège d'une réaction nucléaire qui produit une grande quantité de chaleur. Cette chaleur est continuellement évacuée hors du réacteur vers un échangeur de chaleur, grâce à un fluide dit caloporteur.

L'échangeur transfère la chaleur à un circuit eau vapeur. La vapeur produite sous forte pression entraîne un groupe turboalternateur.



Parties principales d'une centrale nucléaire.

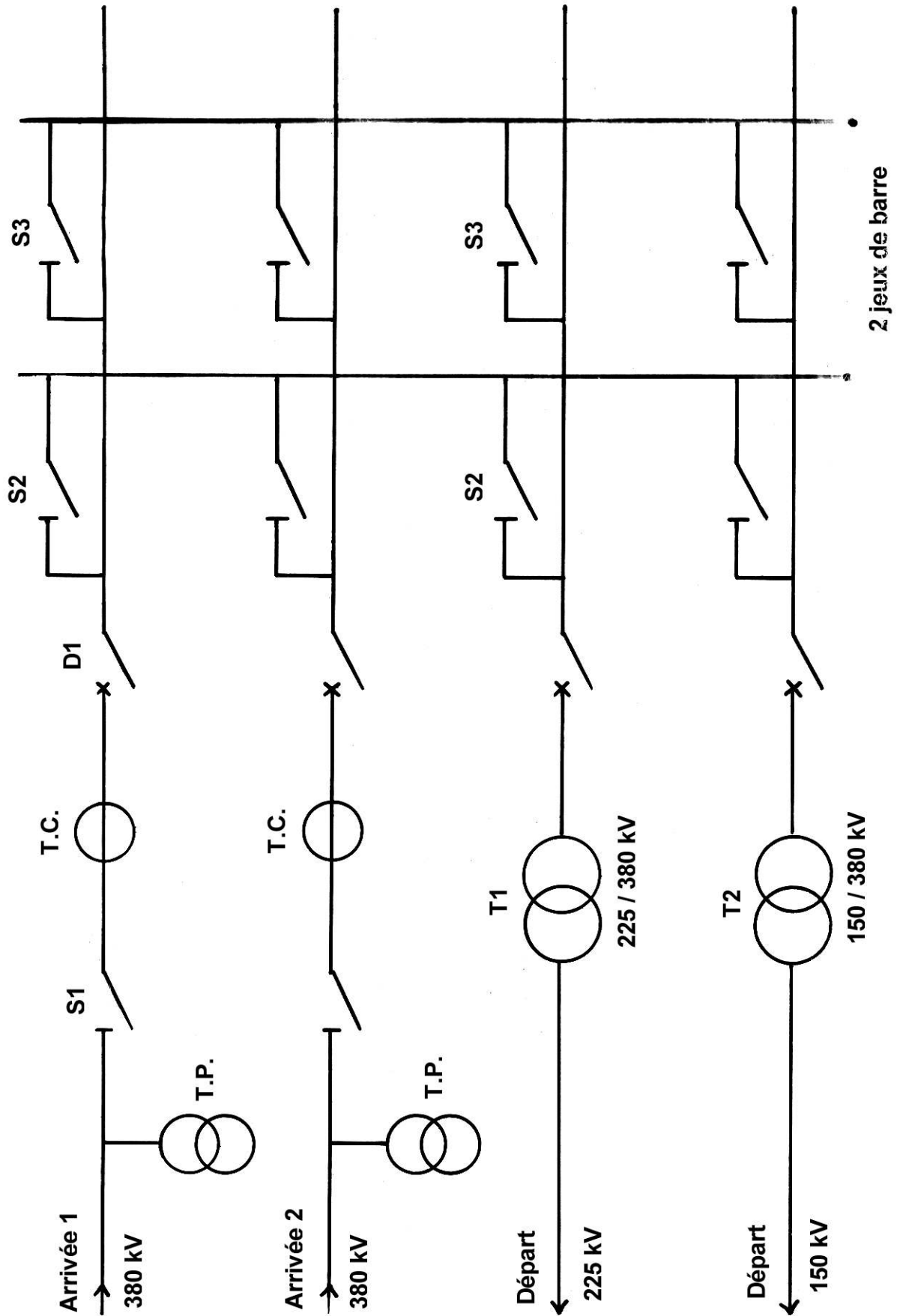
3. Problème du transport de l'énergie électrique

3.1 Introduction :

La tension délivrée par les alternateurs à une valeur comprise entre 10KV à 20KV. Cette tension est trop basse lorsqu'il s'agit de transporter à plusieurs centaines de km une puissance importante, et qui entraînerait des pertes importantes par effet joule. Pour diminuer ces pertes on doit augmenter la tension en utilisant des transformateurs de puissance. Ces machines sont réversibles et permettent, soit l'élévation, soit l'abaissement de la tension, d'où possibilité de choisir indépendamment l'une de l'autre, la meilleure tension pour le **transport, la répartition et la distribution.**

3.2 Le réseau de transport

Le réseau de transport est constitué de lignes à très haute tension. Ces lignes sont alimentées par les centrales électriques à partir de postes éleveurs de tension.

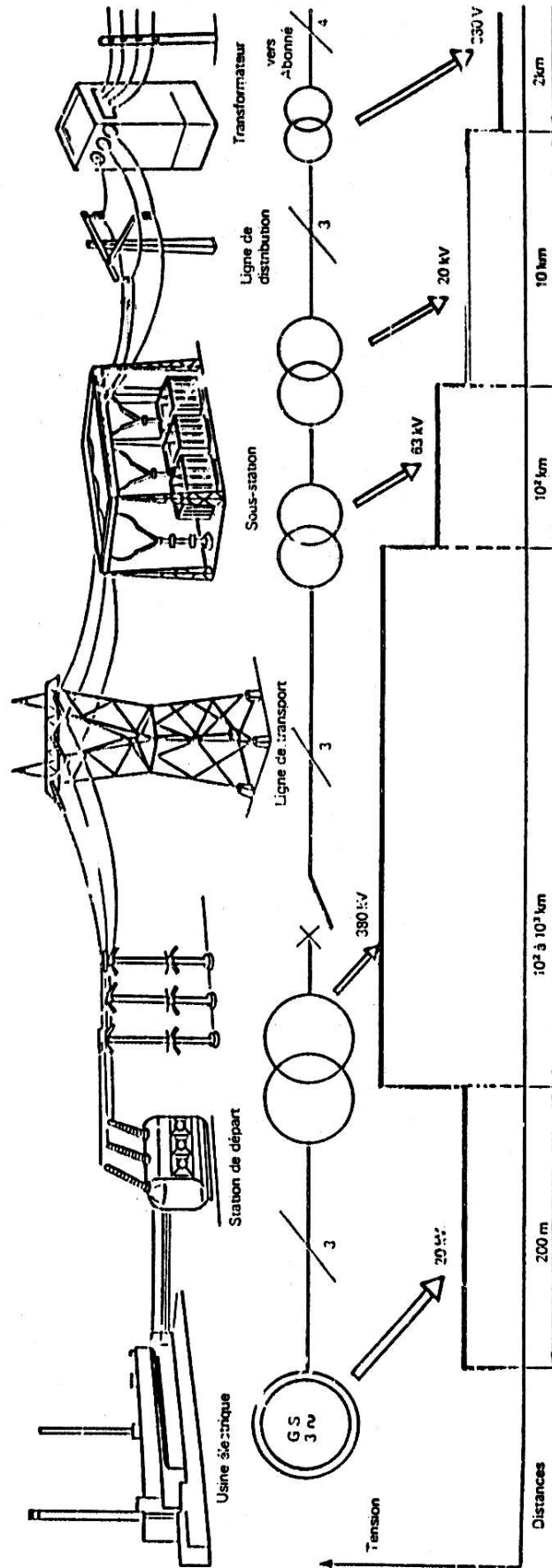


3.3 Le réseau de répartition :

Le réseau de répartition comporte des lignes en haute tension. Ces lignes sont alimentées par le réseau THT grâce à des postes de transformations dits (d'interconnexion) dont le rôle est de répartir l'énergie électrique sur tout le territoire.

3.4 Le réseau de distribution : comporte deux étapes :

- a) Les lignes en moyenne tension :
 - Alimentées par des postes HT/MT
 - Dont le rôle est de fournir de l'énergie électrique :
 - Directement aux consommateurs importants.
 - Aux différents postes MT/BT
- b) Les lignes en basse tension qui alimente les usagers triphasés en 220/380V et les usagers monophasés en 220V.



Production - Transport - Distribution

IX/ LES CONDUCTEURS NUS POUR LIGNES AERIENNES

1. Généralité

Les conducteurs de lignes aériennes doivent avoir une faible résistivité et posséder une charge de rupture élevée.

2. Matériaux utilisés

2.1 - Cuivre

On utilise le cuivre dur écroui par filage.

Caractéristiques moyennes :

- Résistivité : $16 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{Km}$
- charge de rupture : $40 \text{ daN}/\text{mm}^2$
- masse volumique : $8,89 \text{ kg}/\text{dm}^3$

Propriétés importantes

Conductibilité, dureté et ténacité intéressantes, oxydation superficielle à éliminer dans les contacts recuison par chauffage aux environs de 400° , écrouissage par déformations mécaniques.

2.2 - Aluminium

On utilise l'aluminium écroui dur A5/1-(99,5%d'Al)

Caractéristiques moyennes :

- Résistivité : $28 \text{ mm}^2/\text{Km}$
- Charge de rupture : $16 \text{ dan}/\text{mm}^2$
- Charge limité élastique : $12 \text{ dan}/\text{mm}^2$
- Masse volumique : $2,7 \text{ kg}/\text{dm}^3$

Propriétés importantes :

Très léger, mais moins bon conducteur que le cuivre pour obtenir une installation de même.

Résistance électrique, la section des conducteurs en aluminium doit être 1,6 celle des conducteurs en nécessaires, mais le poids des conducteurs en aluminium n'est que la moitié de celui des conducteurs en cuivre.

Faible dureté

Prendre des précautions pour la mise en œuvre ,déroutage,ouillages accessoires de serrage.

Faible charge de rupture :

- Toujours utilisé sous forme de câbles mixtes avec âme en acier
- S'oxyde rapidement à l'air (alumine) : pour la réalisation des contacts décaper le conducteur par brossage sous graisse neutre.
- Attaqué chimiquement par certains matériaux (chaux, ciment, fumier, engrais ; etc.), rencontrés lors du magasinage. ou de la pose.
- Electro-négatif par rapport à la plupart des métaux usuels pour le cuivre et fer en particulier ; Le contact avec ces métaux en présence d'humidité, donne lieu à formation d'un couple électrolytique qui entraîne avec rapidité la corrosion à l'aluminium .seuls le

zinc, le cadmium et l'étain peuvent être mis sans danger en contact avec l'aluminium. Lors des raccordements cuivre-aluminium, utiliser des raccords spéciaux et toujours placer l'aluminium au dessus du cuivre.

- Coefficient de dilatation élevé lors des assemblages avec d'autres métaux, compensés les dilatations différentielles à l'aide de rondelles spéciales, ou en utilisant une boulonnerie en alliage léger.

2.3 – Almelec

Alliage d'aluminium, magnésium et silicium avec traitements thermiques et mécaniques

Désignation : A.G.S/L

Composition : Al+Mg 0,6 à 0,8% Si 0,5 à 0,7%

Caractéristiques moyennes :

- Résistivité : $32,5 \Omega \text{ mm}^2 / \text{Km}$
- Charge de rupture : 32 daN/mm^2
- Charge limite élastique : 28 daN/mm^2
- Masse volumique : $2,7 \text{ kg/dm}^3$

Propriétés importantes :

- Dureté et ténacité très améliorées par rapport à l'aluminium, toutes les autres propriétés sont semblables à celles de l'aluminium et nécessitent les mêmes précautions pour la mise en œuvre des conducteurs.

2.4 - Acier

L'acier n'est pas utilisé comme conducteur d'énergie, mais entre dans la constitution des câbles mixtes aluminium acier ou almelec acier et peut-être, éventuellement, utilisé comme conducteur de garde. Tous les aciers utilisés sont galvanisés.

Caractéristiques moyennes :

- Charges de rupture : Acier N (normal) : $117,5 \text{ daN/mm}^2$
- Acier R (renforcé) : 156 daN/mm^2
- Masse volumique : $7,8 \text{ kg/dm}^3$

3. Constitution des conducteurs

Les conducteurs pour lignes aériennes sont des câbles sauf pour le cuivre dont on peut utiliser des conducteurs uniques (Troly) en lignes BT seulement.

Les fils ou brins des câbles sont enroulés en hélice par des toronneuses autour d'un brin central.

Chaque couche de brins est enroulée avec un sens de câblage inverse de celui de la couche précédente pour éviter le détorage sous l'effet de la traction.

Dans les câbles composés par des brins de même diamètre. Chaque couche contient 6 brins de plus que sa précédente.

On obtient ainsi des câbles à :

7 brins = 1 + 6

19 brins = 1 + 6 + 12

37 brins = 1 + 6 + 12 + 18 etc.

Les câbles peuvent être :

Homogènes, Hétérogènes ou mixtes, Equibrins et non Equibrins.

Formules pratique

Section d'un câble

$$S=0,6 D^2$$

Avec S = section en mm²

D= diamètre du câble en mm

Résistance d'un câble

$$R= \rho.L/S$$

Avec R = résistance en Ω /KmP = résistivité $\Omega \times \text{mm}^2/\text{Km}$ S = section en mm²

Poids d'un câble

$$P= \delta. S$$

Avec P = Poids en daN/Km

 δ = masse volumique en kg/dm³S = section en mm²

4. Principales caractéristiques des câbles

4.1 Charge de rupture : C'est la charge en kg/ mm² de section qu'il faut appliquer au câble pour le rompre.

4.2 Charge de travail : C'est la charge en (kg/mm²) de section qui agit a maximum sur le câble sans le rompre.

4.3 Coefficient de sécurité : C'est le rapport entre la charge de rupture et la charge de travail dans la construction des lignes électriques

4.4 Pas : Intervalle sur le câble pour lequel on retrouve un brin dans la même position .le sens de câblage de la couche extérieure est généralement à gauche.

4.5 Limite d'élasticité : Lorsqu'un fil (ou un câble) est tendu, il s'allonge sous l'effet de la tension,si cette tension est excéssive.le câble ne reprend plus sa longueur initiale lorsque la tension cesse.

4.6 Sens de câblage : C'est le sens d'enroulement des brins de la couche extérieure d'un câble pour un observateur placé au bout du câble, le sens de câblage est dit :

- **à droit :** lorsque vissant un écrou dans le sens de l'enroulement des brins, l'écrou tourne vers la droite de l'opérateur.
- **à gauche :** lorsque vissant un écrou dans le sens de l'enroulement des brins, l'écrou tourne vers la droite de l'opérateur.

Le sens de câblage de la couche extérieure est généralement à gauche.

CARACTERISTIQUES DES CONDUCTEURS

Section (mm ²)	Composition nombre de brins diamètre en mm	Diamètre extérieur (mm)	Masse au km (kg)	Charge de rupture (daN)	Résistance électrique à 20°C (Ω/km)
-------------------------------	--	-------------------------------	------------------------	--------------------------------	--

CUIVRE

12,56	1 x 4	4	111	515	1,40
14,1	7 x 1,6	4,8	127	585	1,27
22	7 x 2	6	198	910	0,816
29,3	19 x 1,4	7	266	1185	0,616
38,2	19 x 1,6	8	348	1530	0,472
48,3	19 x 1,8	9	440	1940	0,373
74,9	19 x 2,24	11,2	682	2970	0,240

ALMELEC

34,4	7 x 2,5	7,5	95	1105	0,958
54,6	7 x 3,15	9,45	150	1755	0,603
75,5	19 x 2,25	11,25	209	2430	0,438
117...	19 x 2,8	14	324	3765	0,283
148,1	19 x 3,15	15,75	410	4765	0,224

ALUMINIUM-ACIER

Section (mm ²)	Composition nombre de brins diamètre en mm	Diamètre extérieur (mm)	Masse au km (kg)	Charge de rupture (daN)	Résistance électrique à 20°C (Ω/km)
37,75 _N	9x2A 3X2C	8,30	155	1540	1,02
59,7 _N	12x2A 7X2C	10	279	3050	0,765
75,5 _N	12x2,25A,7x2,25C	11,25	351	3640	0,605
116,2 _N	30x2A, 7x2C	14	439	4145	0,306
147,1 _N	30x2,25A,7x2,25C	15,75	553	5200	0,243
228 _N	30x2,8 A+7x2,8C	19,60	861	7710	0,157

5. Utilisation du matériel preformé et des manchons

5.1 Définitions :

- **Câble homogène** : Pour un câble homogènes tous les brins sont de même nature.

Exemple : câble acier (AC) ; cuivre (Cu), Almélec (Alce)

- **Câble hétérogène** : Il comporte en proportion variable, deux types de brins en générale :

- **Câble équilibrin** : Tous leurs brins sont de même diamètre.

- **Câble non équilibrin** : Tous leurs brins sont de diamètre différent.

Exemple :

Aluminium - acier (AL-AC) ; Aluminium - Alumoweld (Al-Alw);

Almelec - acier (Al-ac).

5.2 Matériel Préformé

Le matériel pro ferme généralement utilise sont:

- **Line splice (L.S) : qui assure :**

- La jonction de tous les câbles homogènes jusqu'à 37 brins et les câbles Hétérogènes sans âme d'acier ou d'alumoweld, c'est le cas des câbles suivants :
46,4 mm²AL- ALW ; 58,56mm² Al et 182,8mm² ALW-AC.

- La réparation des câbles à brins coupés.

- Pour les câbles heterogenes jusqu'à la totalité des brins d'aluminium

- Un même line splice (L.S) pour une section donnée ou un groupe de section de câbles peut être utilise indifféremment pour :

- ❖ La réparation des câbles homogène

- ❖ La réparation des câbles heterogenes

Exemple : Un line splice pour un câble de 147mm² :

- manchonnera où réparera un câble 148mm² Alec

- réparera un câble de 147,1mm² Al-ac ou 147,1 Alu-Alw ou 142,6Al-ac

6. Attaches

6.1 Fixation des conducteurs sur isolateurs rigides

Les conducteurs sont placés sur la gorge latérale de l'isolateur, à l'intérieur de la console en alignement et de manière que l'effort dû à la tension de la ligne soit dirigée vers l'isolateur dans les angles, ils sont fixés à l'aide d'attaches.

ATTACHES DES CONDUCTEURS :

Cas envisagé	Ligne en cuivre	Ligne en alu-méc ou aluminium acier
Alignements et angles	Attache croisée simple	Attache croisée renforcée ou attache à archet
Traversées avec arrêt des conducteurs	Attache croisée bifilaire	Attache à archet avec serre câbles à rainures parallèles
Arrêt des conducteurs	Attache d'arrêt ou arrêt par mâchoires à rainures parallèles et à serrage double	Attache d'arrêt ou arrêt par mâchoires à rainures parallèles et à serrage double

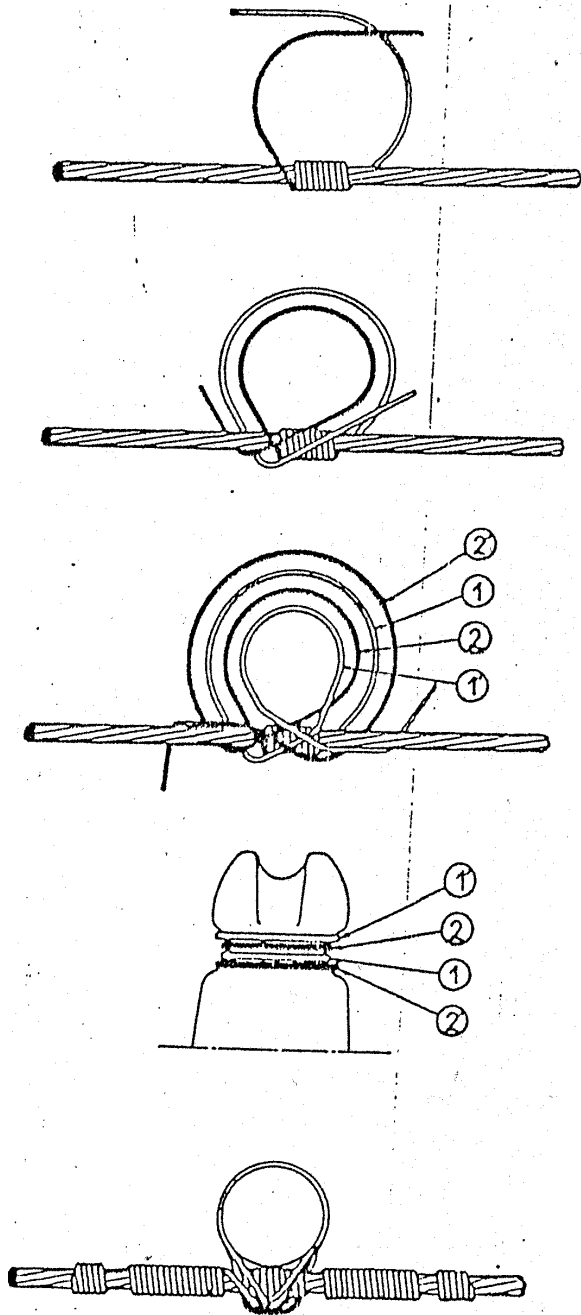
6.2 Remarques :

- Une bonne attache doit répondre aux conditions suivantes :
 - Créer un contact intime entre les différentes pièces.
 - Eviter tout glissement longitudinal du conducteur.
 - Ne pas déformer les conducteurs.
- Les attaches mal serrées favorisent la fonction nuisible aux ondes radiophoniques.

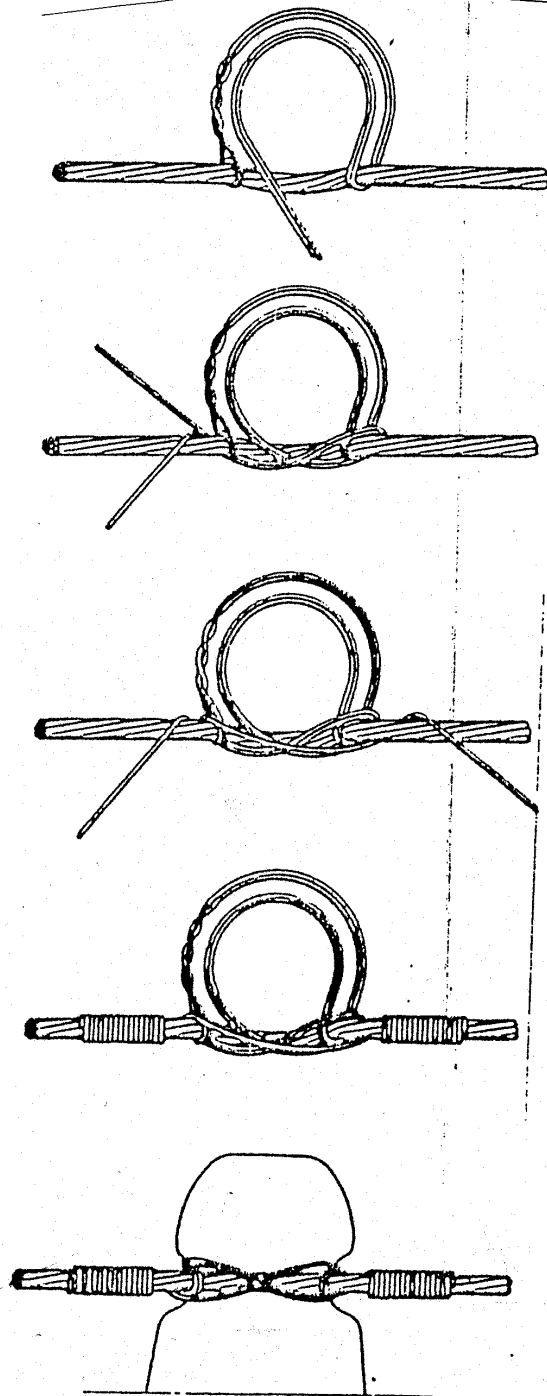
6.3 Matières d'œuvre :

- **Cuivre** : fil d'attache en cuivre recuit de diamètre 25/10 de mm.
- **Aluminium** : Fil d'attache en aluminium demi dur de diamètre 31,5/10 de mm.
Ruban de protection en aluminium recuit de 10*1 mm.
Renforcement par un morceau de fil d'attache ou profilé spécial
Pour les sections inférieures à 93,3mm².

Attache Croisée simple cuivre

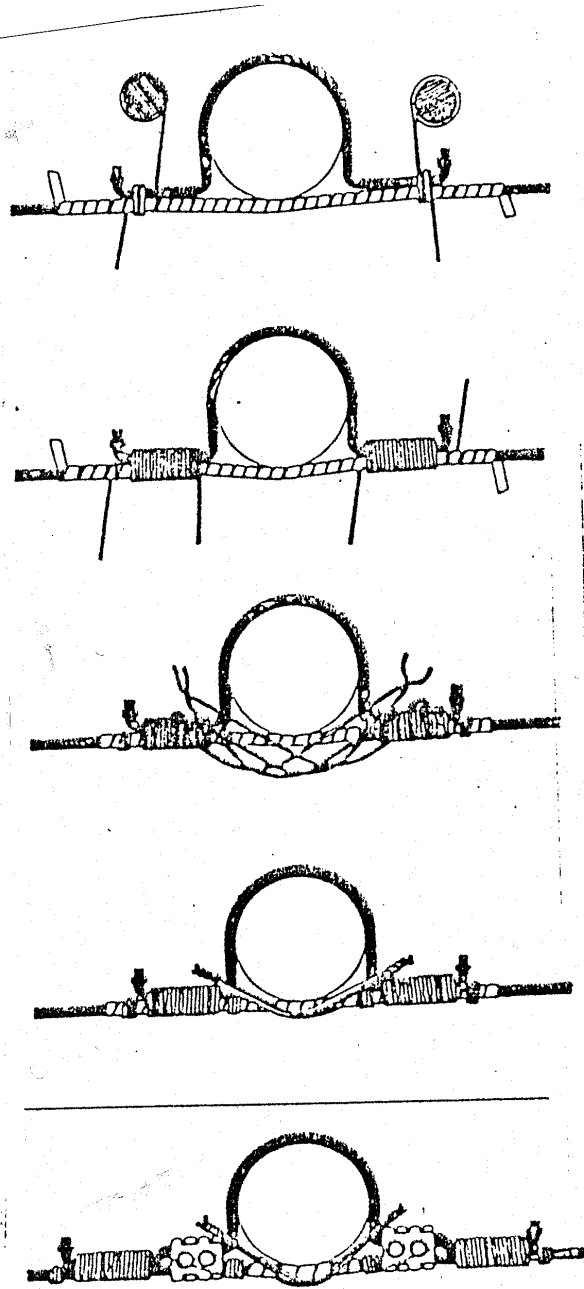
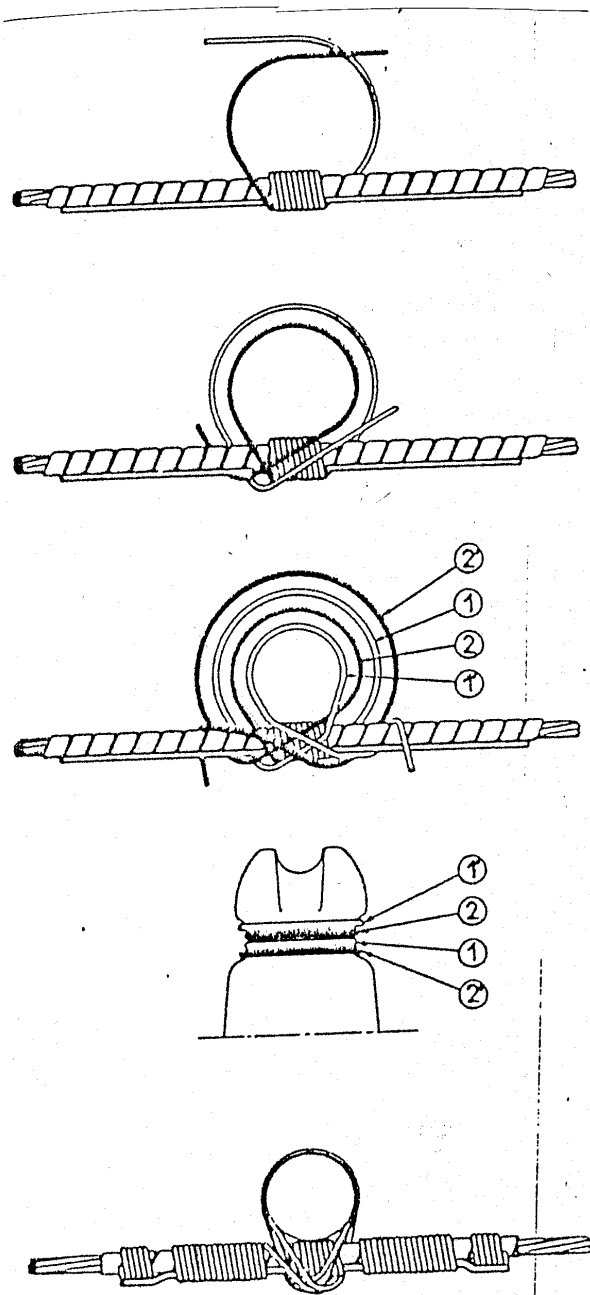


Attache croisée bifilaire cuivre



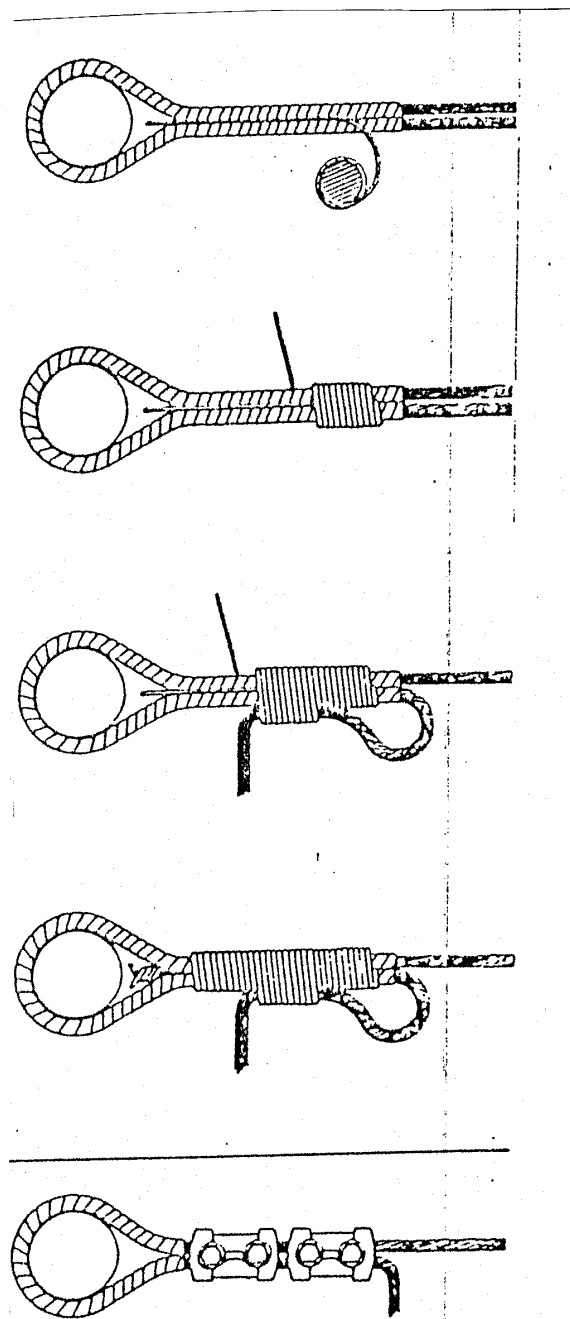
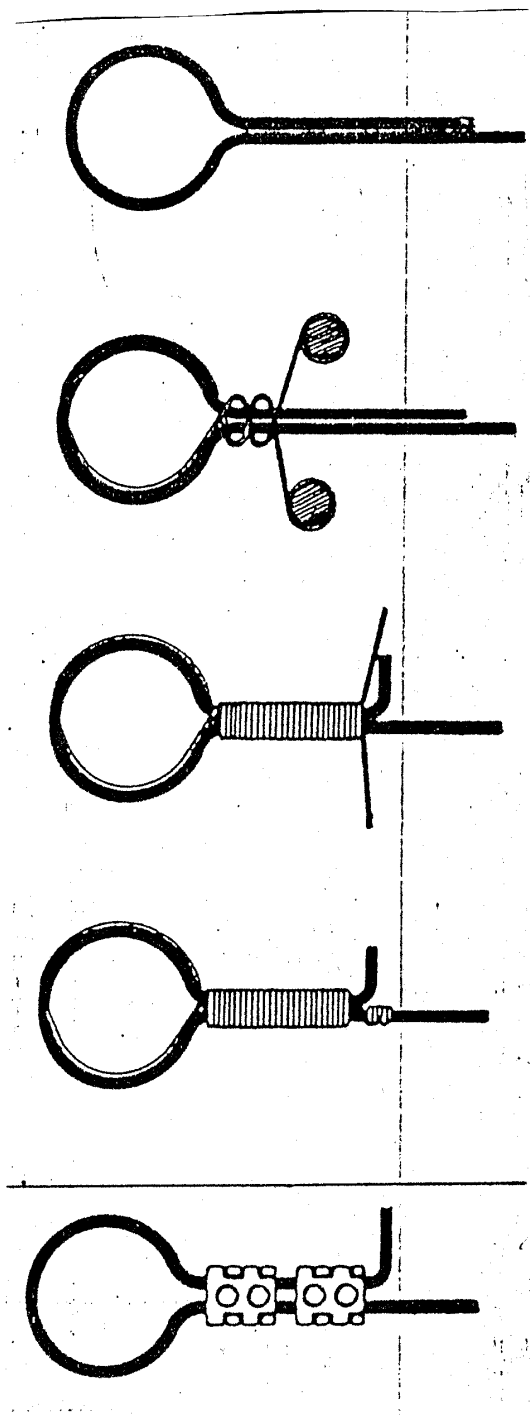
Attache croisée renforcée Aluminium

Attache à archet Aluminium



Attache tête de ligne Cuivre

Attache tête de ligne Aluminium



X/ LES ISOLATEURS

1. Rôle

Les lignes aériennes sont généralement établies en conducteurs nus. Ces conducteurs doivent être supportés et isolés des masses au moyen d'un ou plusieurs isolateurs employés sous formes de cloches simples ou multiples ou sous formes de chaînes.

2. Contraintes appliquées aux isolateurs

a- contraintes mécaniques :

- Traction des conducteurs
- Intempéries

b- Contraintes électriques :

- Tension des services
- Surtension atmosphérique

3. Propriétés mécaniques et électriques des isolateurs

3.1 Isolateur n céramique (Porcelaine)

- a. Propriétés :
 - i. Densités = 2,4
 - ii. Assez bonne résistance aux variations brusques de température.
- b. Excellent isolant
 - Rigidité diélectrique de 90 à 160 KV/cm
 - Résistivité élevée supérieure à $10^{14} \Omega \text{ cm}^2/\text{cm}$
- c. Très bonne résistance a la compression mais fragilité assez grande.

3.2 Isolateur en verre

- a. Propriétés :
 - i. Densités = 2,5
- b. Très on isolant
 - Rigidité diélectrique de 80 à 100 KV/cm
 - Résistivité élevée 10^{12} à $10^{19} \Omega \text{ cm}^2/\text{cm}$

Nota : La trempe augmente considérablement la résistance mécanique et diminue la fragilité.

3.3 Isolateur en matériaux composite

- L'isolateur composite se compose :
- d'une tige à haute résistance mécanique l'absorbation des forces de traction.
 - d'une enveloppe en matière synthétique conçue en forme de chapelet de boucliers pour augmenter la distance de fuite entourant la tige et assurant la fonction d'isolation.
 - armatures métalliques aux deux extrémités de la tige pour l'introduction des contraintes mécaniques.

4. Différents types d'isolateurs

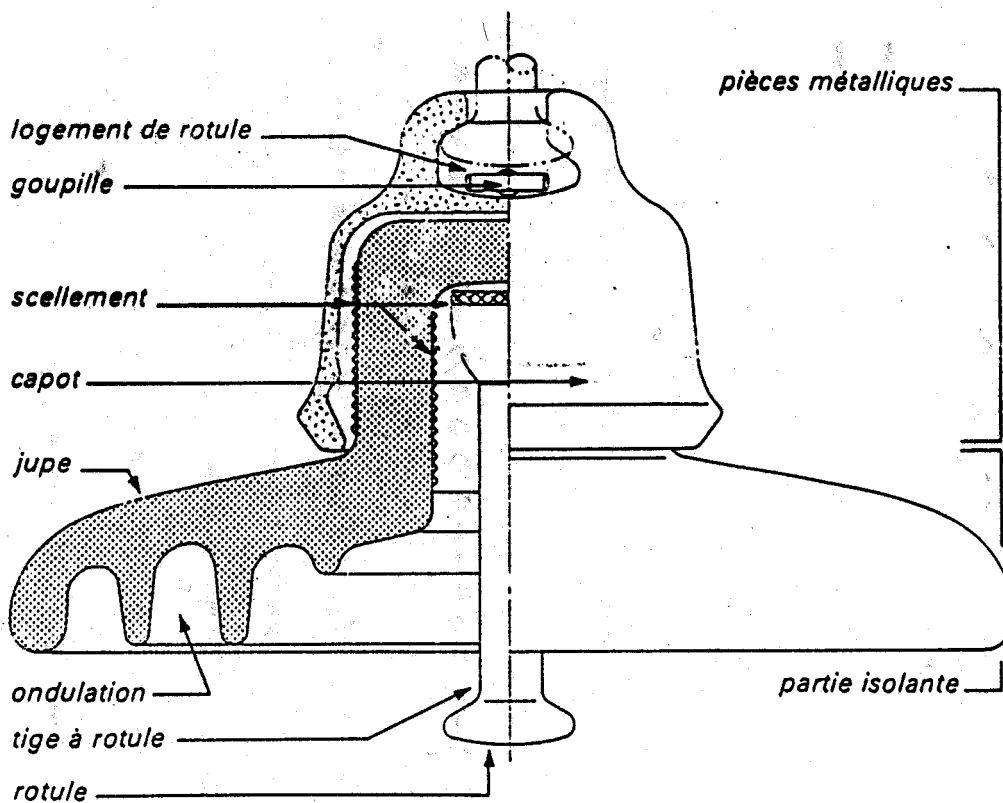
4.1 Isolateurs rigides :

Ils sont formés d'un bloc de verre ou de porcelaine, scellés sur une ferrure utilisée en MT.

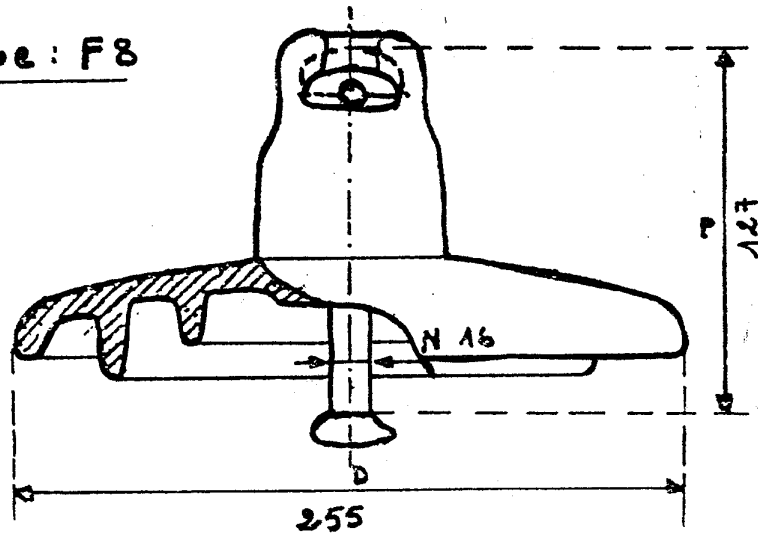
4.2 Isolateurs suspendus (ou à chaînes) :

Composés de plusieurs éléments associés en chaînes articulées et employés en MT et en HT.

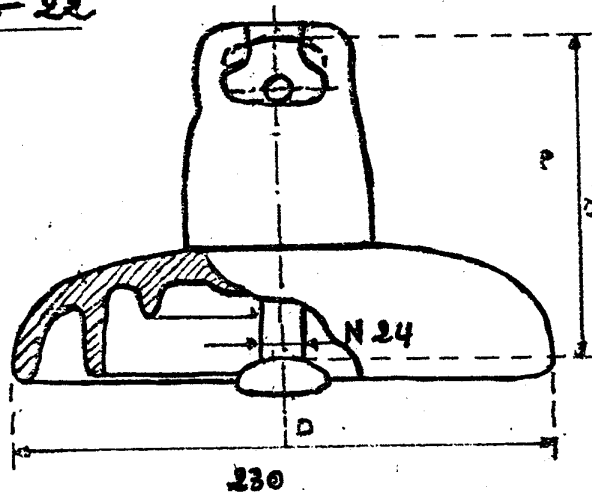
5. Partie et éléments d'un isolateur à capot et tige



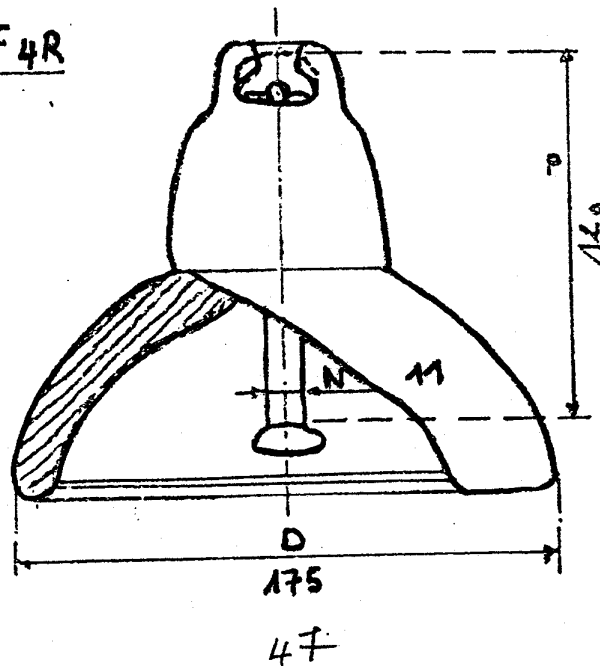
Type : F8



Type : F22



Type : F4R



XI/ CARACTERISTIQUES D'UNE LIGNE DE DISTRIBUTION

A. Définitions

1.1 Conducteur de phase

Conducteur servant au passage de l'énergie électrique' relié à une phase du dispositif d'alimentation.

1.2 Câble de garde

Conducteur généralement mis à la terre et disposé normalement au-dessus des conducteurs de phases pour les protéger contre les coups de foudre.

1.3 Conducteur de mise a la terre

Conducteur assurant une liaison électrique entre une prise de terre et soit la masse d'un support métallique, soit le câble de garde.

1.4 Contre poids

Masse constituée d'une ou plusieurs galettes, généralement attachées à une pince de suspension et destinées à diminuer le soulèvement de la chaîne de suspension et, par conséquent, à limiter l'amplitude du balancement.

1.5 Pince

a) Pince d'ancrage

Raccord que l'on boulonne, servant à attacher un conducteur à une chaîne d'ancrage ou à un support, et pouvant soutenir la tension mécanique du conducteur

b) Pince de suspension

Raccord que l'on boulonne, servant à fixer un conducteur à une chaîne de suspension.

1.6 Manchon

a) Manchon d'ancrage

Type de manchon destiné à relier une extrémité d'un conducteur, mécaniquement à la chaîne isolante ou au support et, électriquement à un autre conducteur

b) Manchon de jonction

Type de manchon destiné à relier bout à bout mécaniquement et électriquement deux tronçons d'un conducteur.

1.7 Amortisseur de vibration

Dispositif fixé à un conducteur, soit sur la pince de suspension ou sur le conducteur lui-même, et destiné à réduire ou à supprimer les vibrations dus au vent.

a) Amortisseur à poids

Amortisseur comportant un poids suspendu élastiquement à un conducteur.

b) Amortisseur à torsion

Amortisseur à poids constitué d'une masse oscillante et d'une articulation munie de rondelles de caoutchouc qui assurent l'amortissement.

c) Amortisseur tubulaire

Amortisseur constitué d'un tube en caoutchouc, d'un diamètre plus grand que le conducteur sur lequel il est glissé, et qui agit par impact.

1.8 Entretoise

Dispositif qui maintient les sous conducteurs d'un faisceau à un espacement constant.

Il y a différents types d'entretoises doubles :

- entretoise à ressort
- entretoise préformée
- entretoise rigide

1.9 Garniture

a) Garniture de câble

Ensemble de fils préformés, enroulés en hélice autour d'un conducteur.

b) Garniture de protection

Type d garniture de câble fixé sur un conducteur pour le protéger contre les détériorations au point de suspension.

c) Garniture de réparation

Type de garniture de câble formant un couché complète autour du conducteur et servant à lui restitué ses propriétés électriques.

1.10 Isolateurs

Ils servent à amarrer les conducteurs et à les isoler du support.

1.11 Ferrures

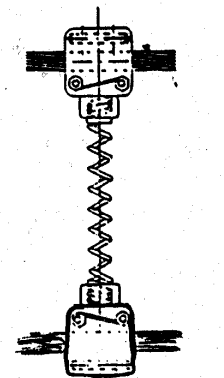
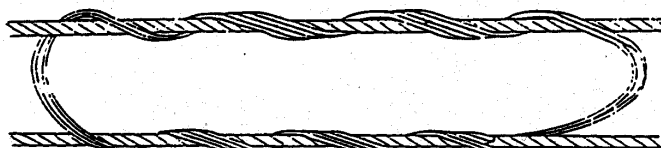
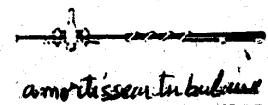
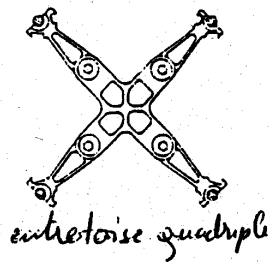
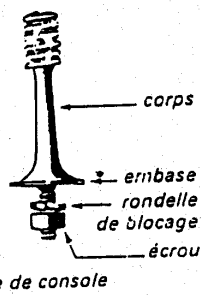
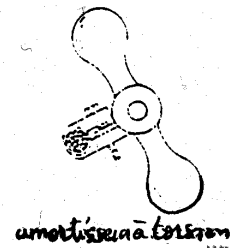
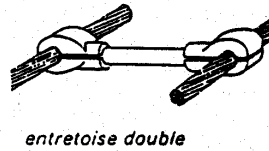
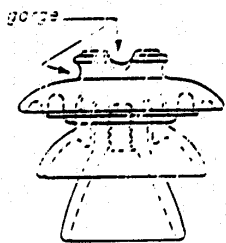
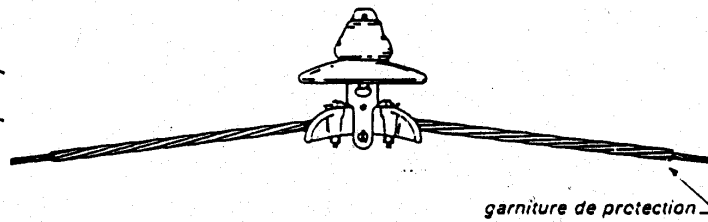
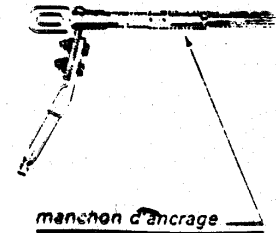
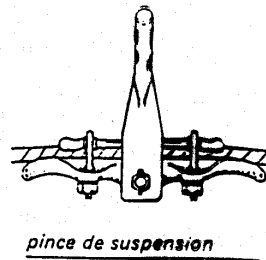
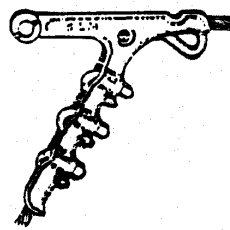
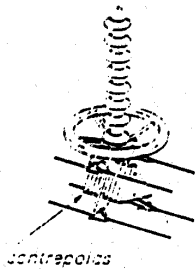
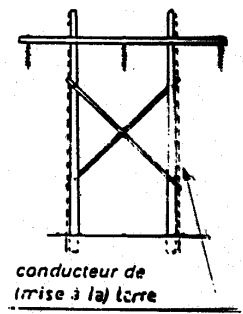
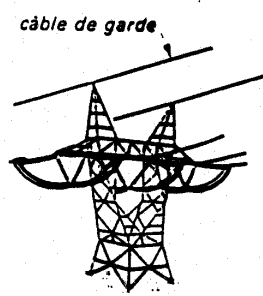
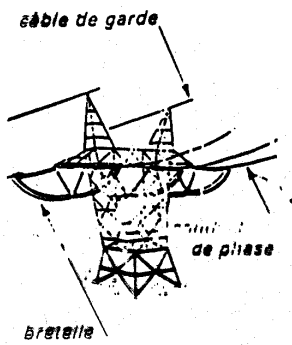
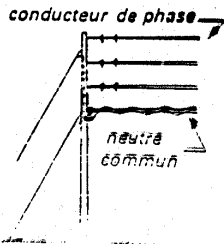
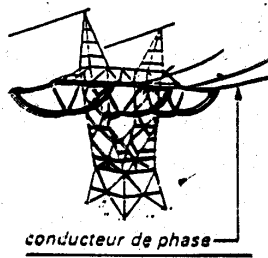
Les ferrures maintiennent les isolateurs et les fixent mécaniquement au support. Elles sont généralement acier protégé contre les agents atmosphériques par galvanisation. Leurs formes sont adaptées aux types d'armement correspondant.

1.12 Supports

Terme générique s'appliquant à tout dispositif conçu pour supporter les conducteurs d'une ligne aérienne par l'intermédiaire d'isolateurs.

Les lignes aériennes peuvent être montées sur trois sortes de supports :

- Les poteaux
- Les pylônes
- Les portiques (en bois, en béton ou à treillis)



1. Utilisation des poteaux

Les poteaux utilisés sur les lignes seront de la classe A et B. Ils seront choisis dans la gamme suivante :

TABLEAU 1

Efforts nominaux - hauteur totale - classe et utilisation des poteaux en béton.

EFFORTS NOMINAUX (daN)	HAUTEUR TOTALE (mètres)				
	Supports BT		Supports MT		
	8m.	9m.	12m.	13m.	14m.
150	A	A			
200			A		
300		A	A	A	A
500		A	A	A	A
700		A			
800			A	A	A
1000			B	B	B
1250			B	B	B
1500			B	B	B

2. Implantation des poteaux

Les poteaux doivent être encastrés dans les massifs bétonnés à pleine fouille. Les dimensions des hauteurs d'implantations sont données pour les cas les plus courants par le tableau 2.

Les supports BT de 8 et 9 mètres classe A de 150 et 300 daN doivent être calés à la pierre sèche (sauf terrain sablonneux, marécageux ou inondable).

TABLEAU 2

Hauteurs d'implantation des massifs de fondation pour poteaux en béton armé.

SUPPORT		Coefficient de stabilité de la fondation	
		Ks = 1,2	Ks = 1,75
Fonction du support		Double ancrage simple, alignement, BT en général	Semi arrêt Arrêt simple Arrêt double et cas particuliers
Bois ou assemblage en bois			
Béton	F < 500 daN	$\frac{H}{10} + 0.50$ (m)	$\frac{H}{10} + 0.70$
métal	F ≥ 500 daN	$\frac{H}{20} + 1.30$ (m)	$\frac{H}{20} + 1.50$ (m)

B. Caractéristiques d'une ligne de distribution

1. Utilisation des poteaux

Les poteaux utilisés sur les lignes seront de la classe A et B. Ils seront choisis dans la gamme suivante :

TABLEAU 1

Efforts nominaux - hauteur totale - classe et utilisation des poteaux en béton.

EFFORTS NOMINAUX (daN)	HAUTEUR TOTALE (mètres)				
	Supports BT		Supports MT		
	8m.	9m.	12m.	13m.	14m.
150	A	A			
200			A		
300		A	A	A	A
500		A	A	A	A
700		A			
800			A	A	A
1000			B	B	B
1250			B	B	B
1500			B	B	B

2. Implantation des poteaux

Les poteaux doivent être encastrés dans les massifs bétonnés à pleine fouille. Les dimensions des hauteurs d'implantations sont données pour les cas les plus courants par le tableau 2.

Les supports BT de 8 et 9 mètres classe A de 150 et 300 daN doivent être calés à la pierre sèche (sauf terrain sablonneux, marécageux ou inondable).

TABLEAU 2

Hauteurs d'implantation des massifs de fondation pour poteaux en béton armé.

SUPPORT		Coefficient de stabilité de la fondation	
		Ks = 1,2	Ks = 1,75
Fonction du support		Double ancrage simple, alignement, BT en général	Semi arrêt Arrêt simple Arrêt double et cas particuliers
Bois ou assemblage en bois			
Béton	F < 500 daN	$\frac{H}{10} + 0.50$ (m)	$\frac{H}{10} + 0.70$
métal	F ≥ 500 daN	$\frac{H}{20} + 1.30$ (m)	$\frac{H}{20} + 1.50$ (m)

3.LIGNES AERIENNES A MOYENNE TENSION

Conducteurs

Les lignes à moyenne tension comportent trois conducteurs identiques.
La nature et la section des conducteurs à utiliser sont choisies dans les tableaux suivants

Nature et section des conducteurs (en construction neuve)

ALLIAGE D'ALUMINIUM			ALMELEC- ACIER		
Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C en ohms	Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C en ohms
34,4	7/2,5	0,958	59,7	acier:7/2 Alu:12/2	0,880
54,6	7/3,15	0,603	147,1	Acier: 7/2,25 Alu: 30/2,25	0,279
75,5	19/2,25	0,438			
148	19/3,15	0,224			

Nature et section des conducteurs (entretien)

CUIVRE			ALUMINIUM ACIER		
Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C en ohms	Section	Composition (nombre de fils et diamètre exprimé en mm)	Résistance électrique à 20°C en ohms
22	7/ 2	0,81	27,8	Acier: 1/ 2,25 Alu : 6/ 2,25	1,210
38,2	19/ 1,6	0,47	43,1	Acier: 1/ 2,8 Alu : 6/ 3,8	0,780
48,3	19/ 1,8	0,37	80	Acier: 7/ 2,3 Alu : 12/ 2,3	0,605
60	19/ 2,24	0,29	116	Acier : 7/ 2 Alu : 30/ 2	0,306
			147	Acier : 7/ 2,25 Alu: 30/ 2,25	0,243

(*) en entretien abandonné, remplacer par conducteur 43,1 pour permettre TST

58,56 (alumoweld) en zone givrée.

4. Les armements des lignes et ferrures

4.1 Définition

On désigne par armement d'une ligne, la disposition des conducteurs par rapport au support et par extension, les pièces servant à fixer les isolateurs sur le support.

4.2 Dispositions types

a) Armement drapeau (figure 1, 2 et 3)

a-1) Avantages :

- Facilite les dérivations
- Permet le rapprochement des supports contre les façades

a-2) Utilisations :

- Lignes basse tension
- Grands angles et arrêts des lignes

b) Armement quinconce (figure 4)

b-1) Avantages :

- espacement important entre conducteurs

b-2) Utilisations :

- lignes basse tension en écarts
- lignes HT sur isolateurs rigides

c) Armement triangle (figure 5)

c-1) Avantages :

- pas de conducteurs superposés

c-2) Utilisations :

- lignes haute tension sur isolateurs rigides en régions givrées

d) Armement en nappe horizontale

d-1) Avantages :

- pas de conducteurs superposés
- gain de hauteur de poteau

d-2) Utilisations :

- traversés importantes en basse tension
- dérivation et arrêts des lignes haute tension

e) Armement nappe voûte (figure 3)

e-1) Avantages :

- pas de conducteurs superposés
- gain de hauteur de poteau
- grand écartement entre conducteur

e-2) Utilisations :

- lignes haute tension sur isolateurs suspendus

4.3 Choix des ferrures

Le choix des ferrures se fait au point de vue de la résistance mécanique pour les lignes sur isolateurs rigides, dont les portées sont limitées à une centaine de mètres.

Pour les lignes suspendues, le choix est fait en fonction de la résistance mécanique, de la distance minimale admissible entre conducteurs et entre conducteurs et masse.

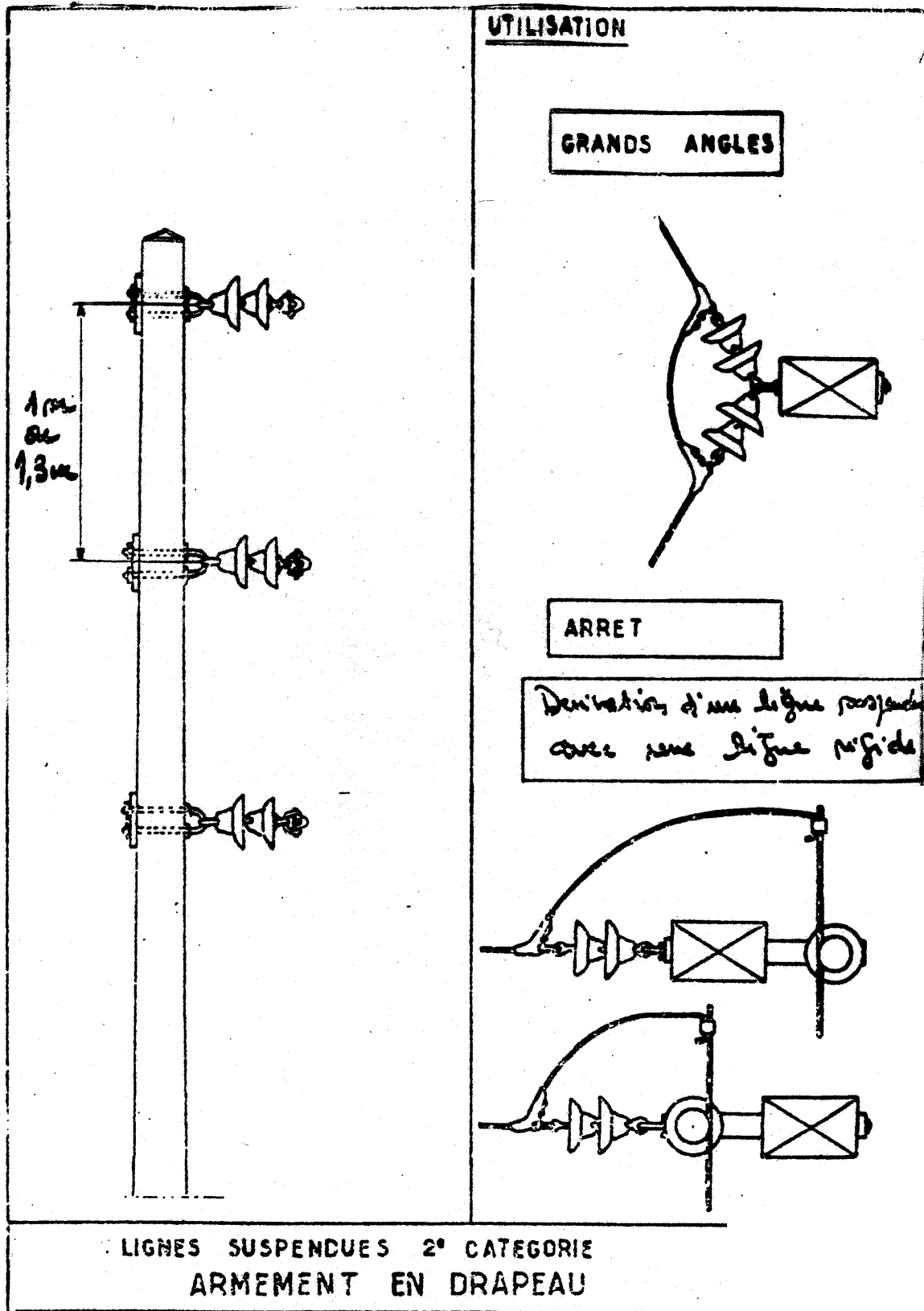


Figure 1

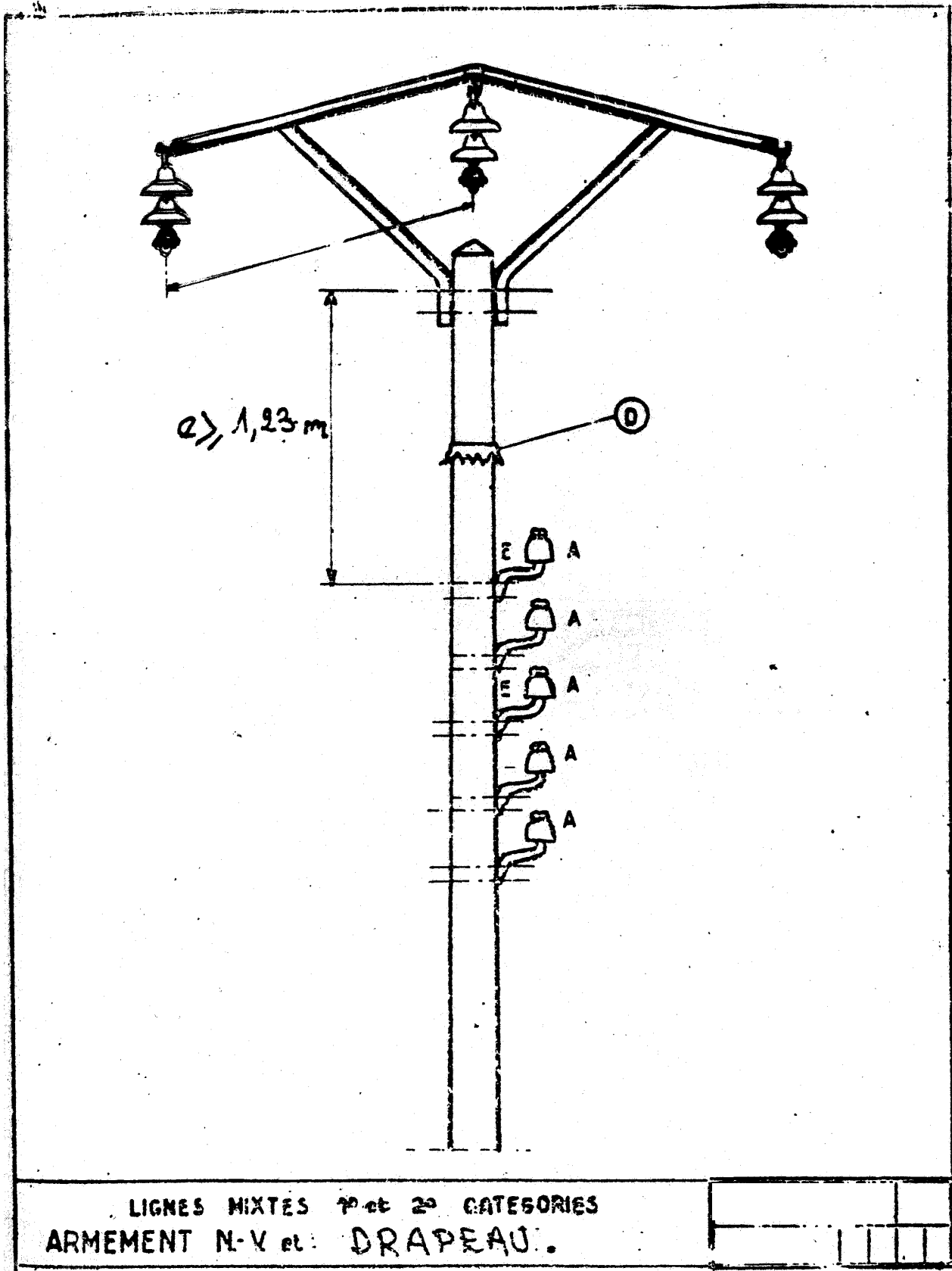


Figure 2

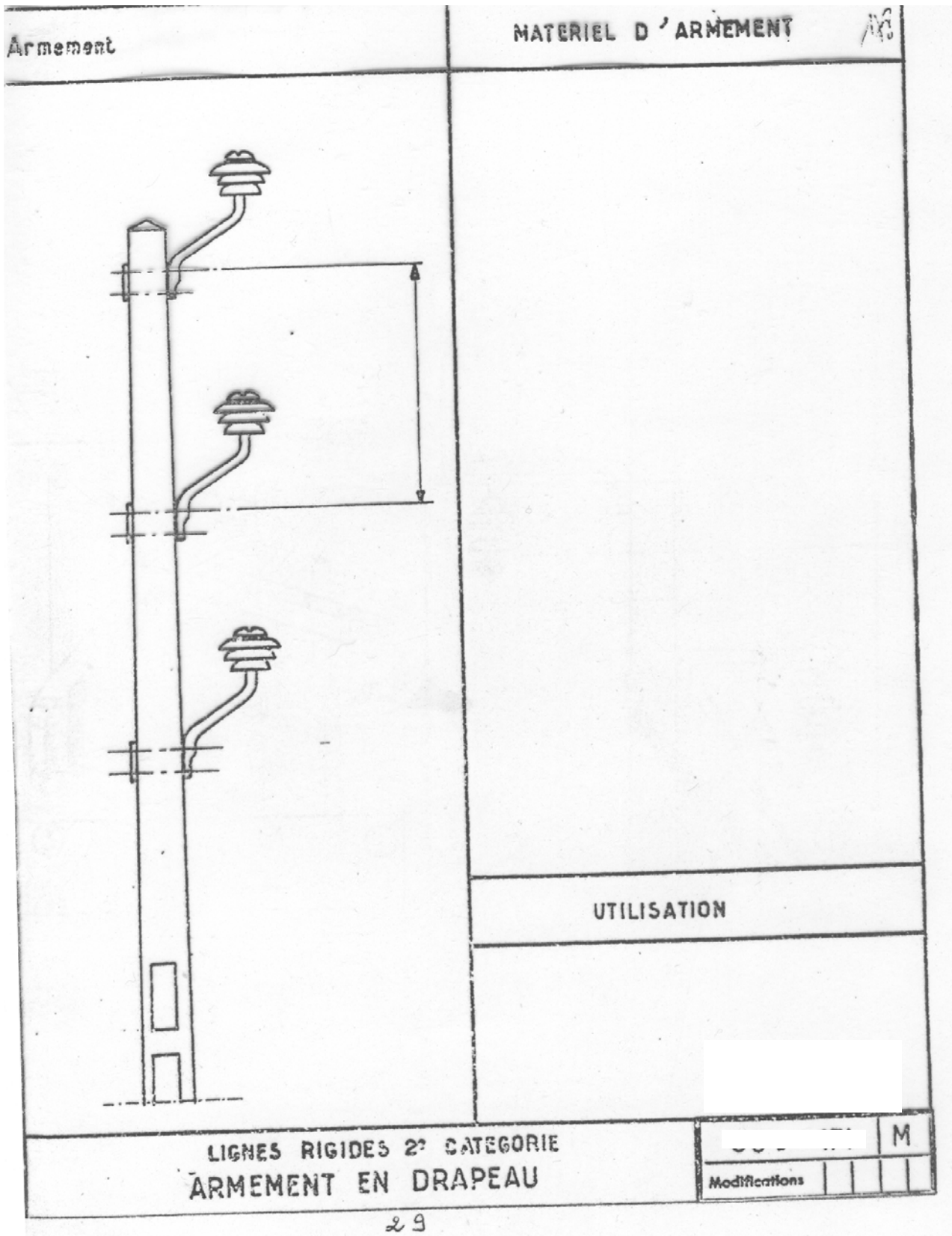


Figure 3

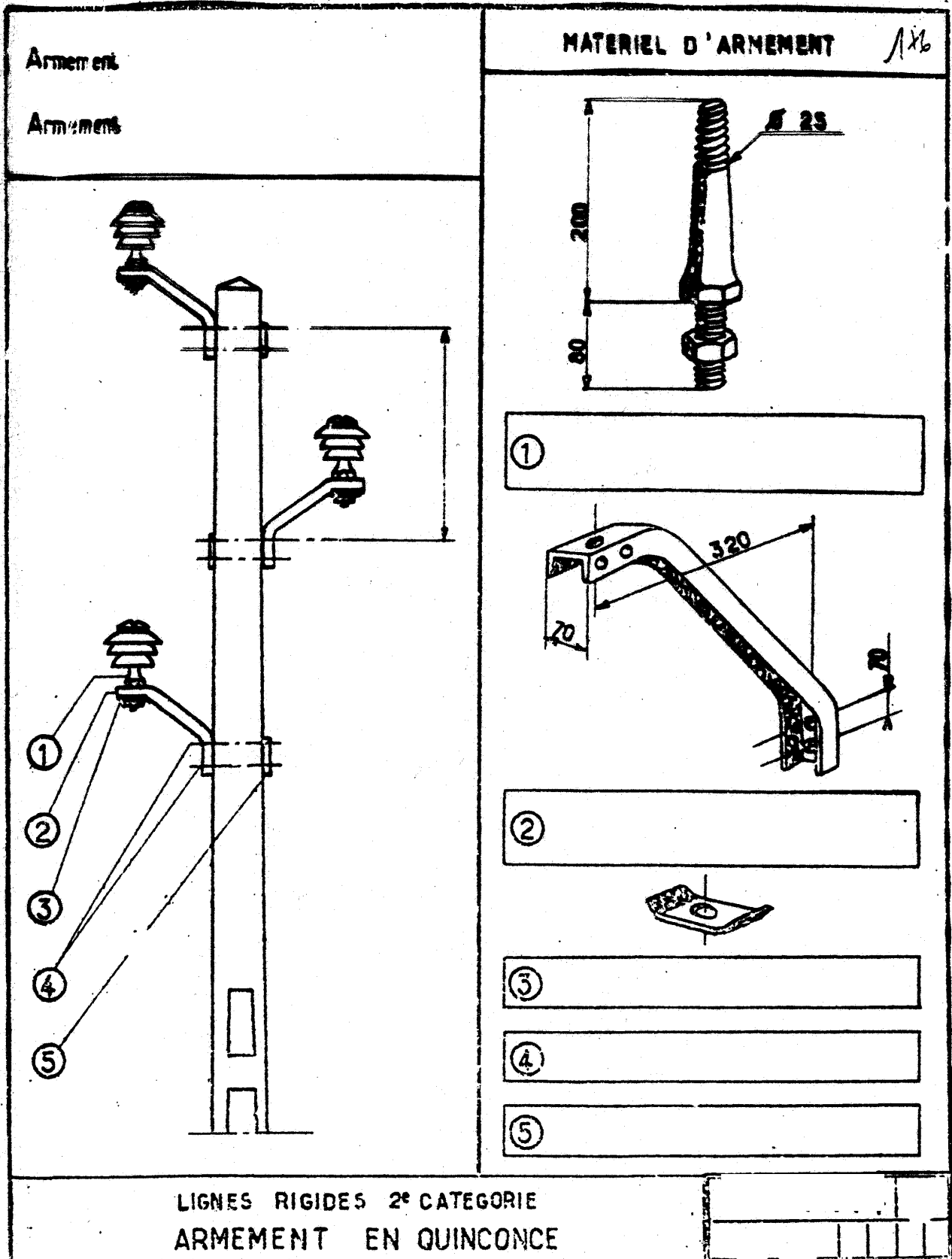


Figure 4

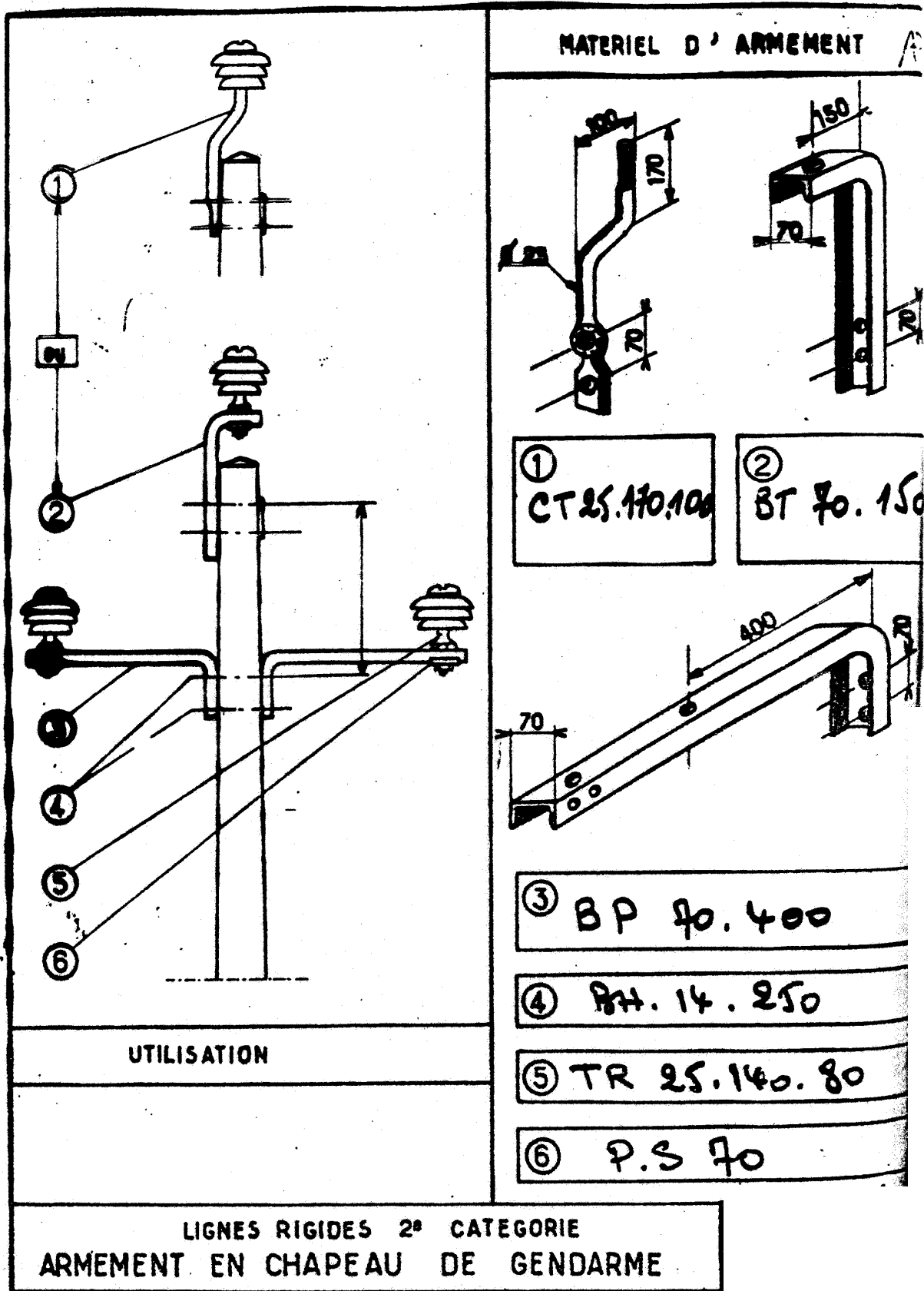


Figure 5

4. Ferrures à utiliser pour les lignes à moyenne tension

TYPE	DESIGNATION	REFERENCE	ARMEMENT
1 - LIGNES SUR ISOLATEURS SUSPENDUS			
1. Etriers	D 1,05 m	Plans 5994 AR et 3967 STR	Drapeau sur fût
	D 1,30 m		
2. Traverses et montants	NV	Plans 5994 AR et 3967 STR	Nappe voûte
3. Traverses et montants	H 170	Plans 5994 AR et 3967 STR	Armement horizontal d'ancrage
4. Quinconce	Q 0,65 - 1,30 m	Plan 3967 STR	Alterné
inclinée, et 5. Bras horizontal	D 1,05 - D 1,70 m	Plan 3967 STR	Drapeau
2 - LIGNES SUR ISOLATEURS RIGIDES			
Console de tête ou bras incliné et bras de tête	A 0,63 ou 1,30 m		Quinconce
Bras horizontal	D 1,30 m	Plan 3967 STR	Drapeau

5. Isolateurs pour lignes à moyenne tension 22 kV (X)

TYPE	LIGNES SUR ISOLATEURS SUSPENDUS												LIGNE SUR ISOLATEURS RIGIDES		
	ISOLATEURS CAPOT ET TIGE VERRE TREMPE						ISOLATEURS EN MATERIAUX COMPOSITE						ISOLATEURS RIGIDES EN VERRE RECUIT		
	Zone bord de mer et continentale à vandalisme insignifiant						Zone continentale à vandalisme important						Zone urbaine		
	Zone normale Isolateurs 24 kV			Zone polluée Isolateurs 36 kV			Zone normale Isolateurs 24 kV			Zone polluée Isolateurs 36 kV			Zone normale Isol. 24 kV	Zone polluée Isol. 36 kV	
	Norme 11	Norme 16	N éléments	Norme 11	Norme 16	N éléments	Norme 11	Norme 16	Norme 11	Norme 16	N éléments	Norme 11	Norme 16		
Alignement normal	CT 175	-	2	CT 175	-	3	ADI 05BBB/N11 o 22/3(126)375/N11	-	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	VHT32ARVI32	VHT36ARVI36
Alignement traversée	CT 175	-	3	CT 175	-	4 ou 3 + cônes	ADI 05BBB/N11 o 22/3(126)375/N11	-	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	VHT32ARVI32	VHT36ARVI36
Angle souple < 10 g	CT 175	-	2	CT 175	-	3	ADI 05BBB/N11 o 22/3(126)375/N11	-	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	VHT32ARVI32	VHT36ARVI36
ngle drapeau o quiconque < 30	CT 175	-	3	CT 175	-	3	ADI 05BBB/N11 o 22/3(126)375/N11	-	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)395/N11	-	CT 175	CT 175
Ancrage sans éclateurs	CT 175	CT 255	3	CT 175	CT 255	4	ADI 07BBB/N11 o 22/4(126)380/N11	ADI 07BBB/N16 o	ADI 09BBB/N11 o	ADI 07BBB/N16 o 22/4(126)380/N11	ADI 09BBB/N11 o	ADI 09BBB/N16 o	ADI 09BBB/N16 o	CT 175	CT 175
Ancrage avec éclateurs	E 1753 NAO	E 2004 NAO	1	E 1753 NAO	E 2004 NAO	1	-	-	-	-	-	-	-	E 1753 NAO	E 1753 NAO

NOTA : Les zones d'utilisation des isolateurs en verre trempé et en matériau composite, ainsi que les fabricants autorisés, font l'objet de la directive n°6 du 24/03/1997. La norme de 16 ne doit être envisagée que dans le cas où l'effort de rupture de l'isolateur à la norme de 11 est dépassé, soit pour F > 1330 daN par conducteur au coefficient 3.

6. Conducteurs et armements pour les lignes BT nues

Types de lignes	Types de conducteurs	Types d'armements
Lignes d'écart	<p>CUIVRE: 3 * 19,63 = 1 * 19,63 3 * 29,63 + 1 * 29,63 3 * 38,2 + 1 * 29,63 3 * 48,3 + 1 * 38,2</p>	<p>A 35 ou A 42 exceptionnellement EDS 35 ou EDD 35</p>
Lignes d'agglomération	<p>CUIVRE: 3 * 19,63 = 1 * 19,63 3 * 29,63 + 1 * 29,63 3 * 38,2 + 1 * 29,63 3 * 48,3 + 1 * 38,2</p>	<p>AD 35</p>

7. Isolateurs pour lignes à basse tension

UTILISATION	FERRURES	ISOLATEURS		
		VERRE	DOUILLES (renseignements donnés à titre indicatif)	Charge de rupture (daN)
En alignement	Consoles diamètre 18	DC 3	DF 18-40	(n'a pas à être pris en considération du fait que les isolateurs sont choisis en fonction du diamètre des ferrures)
	Consoles diamètre 20	DC 4	DF 20-40	
Angles et arrêts	ES - ES 1	A 21		700
	ES - ED 1	A 22		1 350

8. Attaches des conducteurs (plan n° 3957 AR standard ONE)

Nature des conducteurs	Cuivre	Alliage aluminium - Almélec - acier
Constitution du fil d'attache, conforme aux spécifications en vigueur	Fil de cuivre recuit de 2,5 mm de diamètre	Fil d'aluminium demi-dur de 3,15 mm de diamètre
Support d'alignement et d'angle	Attache croisée simple	Attache croisée - renforcée bande d'aluminium
Support de traversée où les dispositions réglementaires en vigueur imposent un arrêt des conducteurs	Attache croisée bifilaire	Attache croisée renforcée bande d'alu ou pince (isolateur à pince)

9. Raccords de jonctions et de dérivation

Les seuls raccords autorisés sont quelle que soit la nature du conducteur, par ordre de préférence :

- le manchon rétreint,
- le manchon comprimé.

Les manchons à fils en hélice préformée sont limités aux réparations des conducteurs dont quelques brins sont endommagés ou rompus.

10. Lignes aériennes à basse tension en conducteurs isolés assemblés en faisceau (Annexe 3)

Conducteurs

Les conducteurs de phase doivent être en aluminium et conformes aux spécifications des règles en vigueur.

Composition et caractéristiques physiques des faisceaux conducteurs isolés

COMPOSITION DU FAISCEAU			CARACTERISTIQUES PHYSIQUES APPROXIMATIVES	
Neutre en alliage d'aluminium	Phases en aluminium	Eclairage public, conducteurs en aluminium	Masse du faisceau (kg/km)	Diamètre extérieur du faisceau (a) (mm)
54,6 mm ²	3 x 35 mm ²	1 x 16 mm ²	670	31,5
	3 x 50 mm ² (1)	1 x 16 mm ² ou	800	
	3 x 70 mm ²	1 x 16 mm ² ou	870	33,5
70 mm ²	3 x 150 mm ²	1 x 16 mm ² ou	1030	38
		1 x 16 mm ²	1100	
70 mm ²	3 x 150 mm ²	1 x 16 mm ²	1700	48
		1 x 16 mm ²	1770	

XII/ TRANSFORMATEURS

1. Transformateur de puissance

1.1 Définition :

Le transformateur est un appareil statique, à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courants alternatifs en un ou plusieurs systèmes de courants alternatifs de même fréquence et d'intensité et de tension généralement différentes.

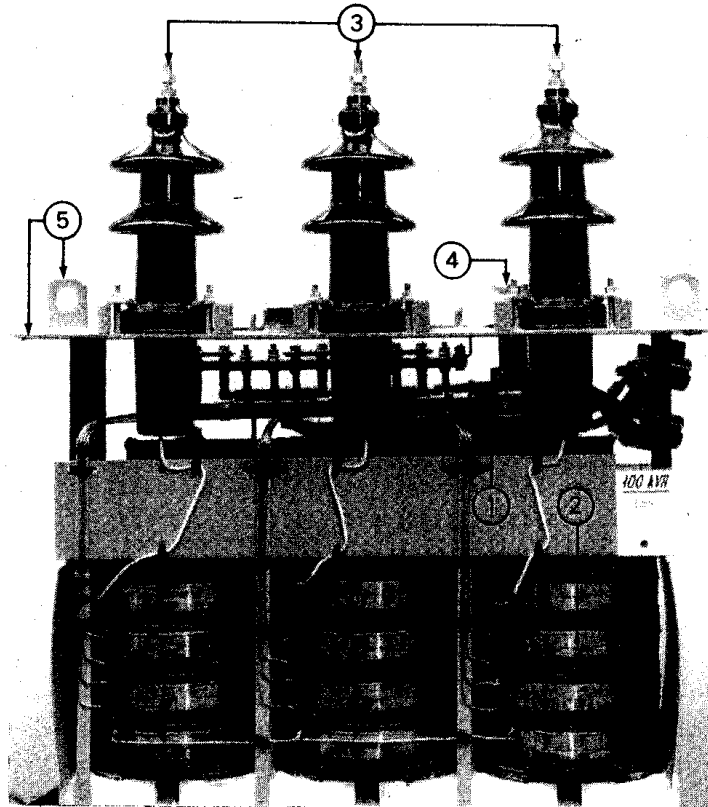


Fig.2 Transformateur triphasé 100 kVA-20kV/380V. (France-Transfor)

1.2 Utilisation :

Les transformateurs sont utilisés principalement :

- pour élever ou abaisser la tension.
- pour élever ou abaisser le courant.
- comme réducteur ou diviseur de tension (autotransformateur)

1.3 Principe de fonctionnement :

Sur un circuit magnétique, on réalise deux enroulements, l'un appelé primaire de N_1 spires ; l'autre secondaire de N_2 spires.

Lorsque l'enroulement primaire est relié à une source alternative de tension U_1 , il crée un flux alternatif. Ce flux variable induit dans l'enroulement secondaire une f.e.m. Si l'on relie ce secondaire à un récepteur, un courant alternatif parcourt le circuit. La puissance électrique passe du primaire au secondaire par l'intermédiaire des variateurs de flux.

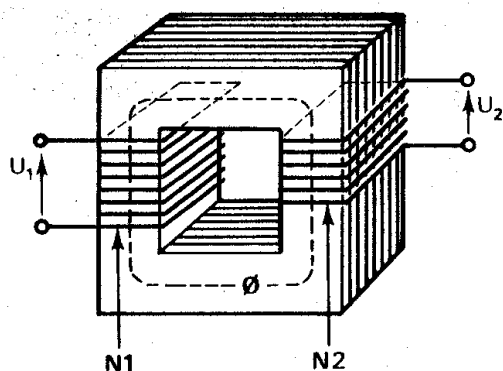


Fig. 1

1.4 Caractéristique :

Un transformateur de puissance est caractérisé généralement par :

- La puissance
- La tension du réseau d'alimentation
- La tension secondaire
- LA fréquence
- La tension de court circuit
- Le couplage des enroulements.
- Le mode de refroidissement
- Le lieu d'installation intérieur ou extérieur

1.5 Constitution :

Le transformateur est une machine d'induction qui comporte principalement :

- Un circuit magnétique
- Un circuit électrique
- Des organes mécaniques assurant les fonctions telles que :

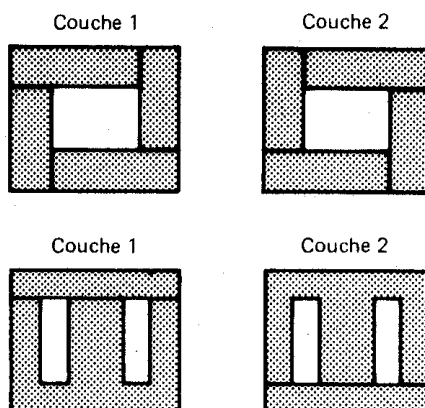
A/ Circuit magnétique :

Il a pour rôle :

- ✓ De canaliser le flux électromagnétique avec le minimum de pertes.
- ✓ De supporter les enroulements primaires et secondaires.

a-1) différentes formes :

❖ Transformateur monophasé :



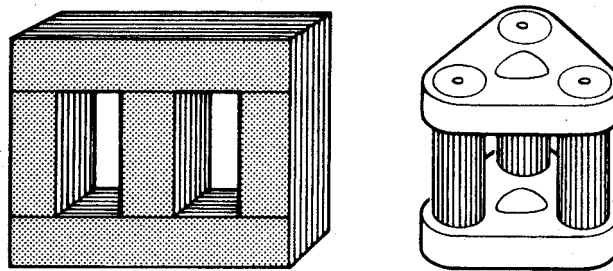
Il peut être :

- soit à deux colonnes formés par un empilage de tôles décalés : couche 1, couche 2.
- - soit de forme cuirassée, c'est à dire que les enroulements sont placés sur une colonne centrale et le flux se referme par chacun des cotés qui forme cuirasse.

❖ **Transformateur triphasé :**

Le circuit comporte 3 colonnes placées dans un même plan et fermées par deux culasses horizontales.

Le serrage des culasses et l'assemblage des noyaux sont obtenus par des matériaux non magnétiques.



B/ Circuit électrique :

Il est constitué par les enroulements primaires et secondaires et leurs isolements.

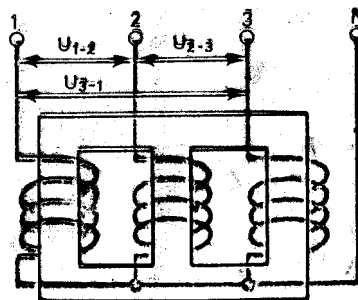
b-1) Les enroulements primaires et secondaires.

- L'enroulement primaire est celui qui reçoit la tension fournie au transformateur. son rôle est de créer le flux électromagnétique.
- L'enroulement secondaire comprend un nombre de spires supérieur ou inférieur à celui de l'enroulement primaire. Son rôle est de fournir la tension destinée à l'utilisation.

b-2) Couplages des enroulements :

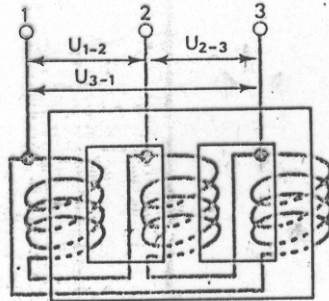
b-2-1) Couplage étoile :

Il permet la sortie du point neutre, très utile en basse tension. Deux tensions disponibles : tension simple et tension composée.



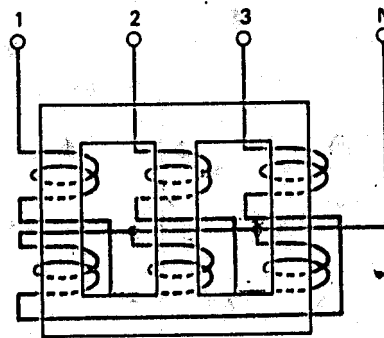
b-2-2) Couplage triangle :

Nécessite plus de spires par colonne que l'enroulement étoile ; pas de neutre sorti.



b-2-3) Couplages zigzag :

Chaque enroulement comprend deux demi bobines placées sur des noyaux différents ; la deuxième demi bobine a ses sorties inversées. Les f.e.m. de chaque demi bobine sont déphasées de 120° électriques. Avec ce type de couplage on obtient une meilleure répartition des tensions en cas de réseau déséquilibré côté basse tension.



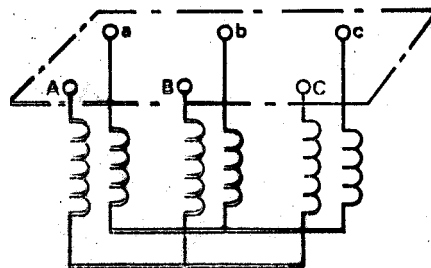
b-2-4) Désignations des couplages :

Elle s'effectue par un groupe de 2 lettres et un nombre :

Exemple : Dy11

Couplage HT en triangle, basse tension en étoile

Décalage $11 \times 30 = 330^\circ$



b-3) Traversées isolantes :

Elles assurent la liaison électrique entre les enroulements et les circuits électriques extérieurs. C'est une borne isolante qui doit permettre :

- L'isolement de la liaison par rapport au couvercle
- D'assurer l'étanchéité
- D'obtenir une résistance suffisante

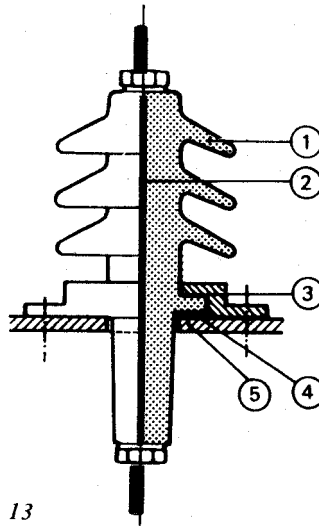


Fig. 13

b-4) Diélectriques :

Selon les tensions appliquées aux enroulements, l'isolement général peut être assuré par :

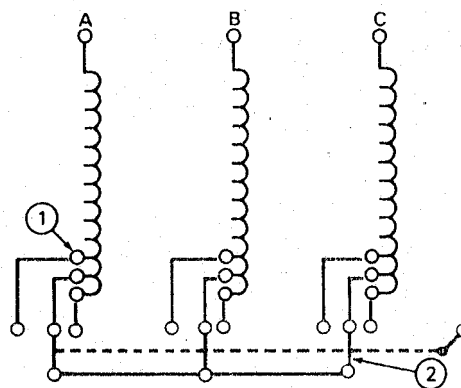
- De l'air : c'est le cas des petits transformateurs en basse tension.
- De l'huile, très employée dans tous les transformateurs de puissance.
- Du quartz : c'est un sable qui étouffe les flammes mais rend le refroidissement plus difficile

b-5) Dispositifs de réglage de la tension :

Le réglage de la tension s'effectue de la façon suivante :

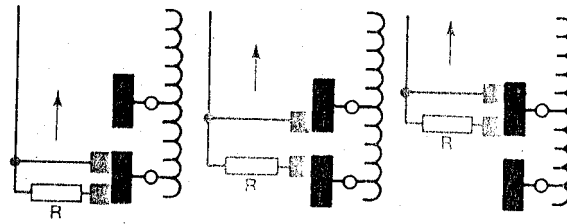
- a) **réglage hors tension** : c'est le rôle de l'ajusteur de tension qui modifie le nombre de spires coté HT.

Ajustement de la tension



- b) **Réglage en charge** : le réglage précédent ne suffit pas car la continuité de l'exploitation exige que le réglage puisse s'effectuer en charge. C'est le rôle du régleur de tension.

Commutateur de Réglage en charge

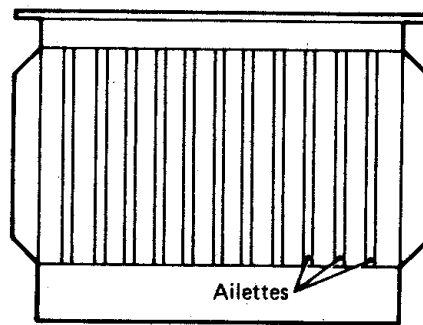


C/ Partie mécanique :

c-1) Cuve et couvercle :

Ils assurent plusieurs fonctions :

- Protection mécanique de la partie active
- Contenance du diélectrique et de son refroidissement
- Support du circuit magnétique
- Fixation des traversées
- Manutention



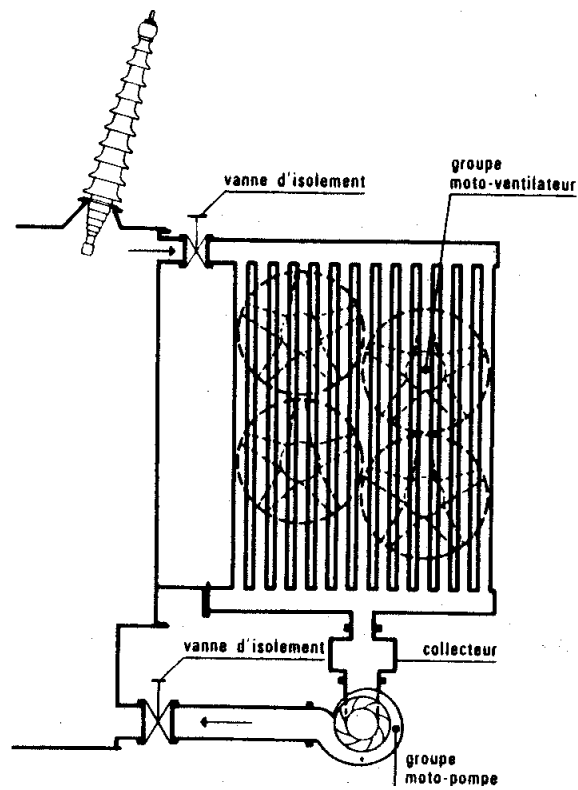
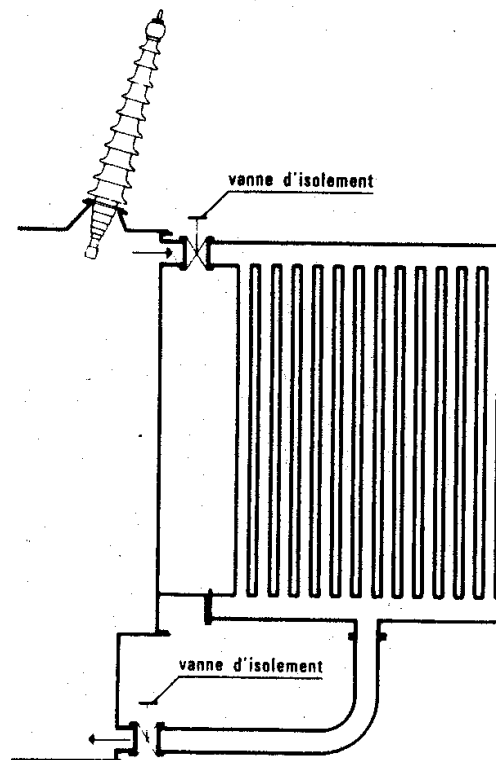
Formes des ailettes

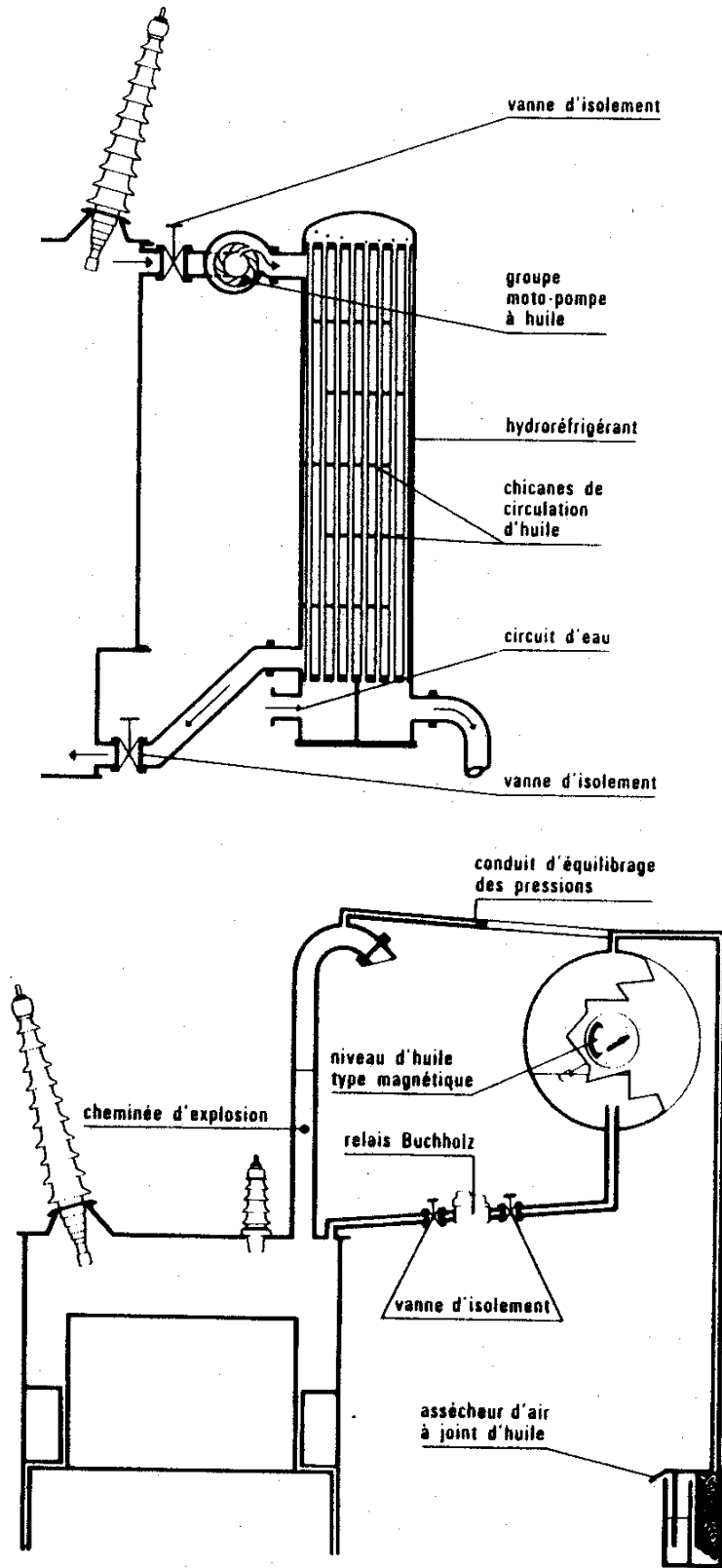


c-2) Refroidissement :

Les pertes dans le circuit magnétique et par effet joule dans les enroulements provoquent des échauffements. Pour éviter la détérioration des isolants, on refroidit les transformateurs.

- Refroidissement dans l'air
- Refroidissement naturel dans l'huile
- Refroidissement par radiateur d'huile
- Refroidissement avec hydro réfrigérant





2. Transformateurs de mesures

2.1 Transformateur de tension

DÉFINITION :

Un transformateur de tension est un transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est pratiquement proportionnelle à la tension primaire.

UTILISATION :

Les transformateurs de tension sont utilisés pour alimenter les relais, les voltmètres et bobines tension des wattmètres sur les circuits haute tension.

PRINCIPE :

Le transformateur de tension est un transformateur statique dans lequel le circuit primaire est placé en dérivation dans le circuit à mesurer ou à protéger, et le secondaire est choisi pour que la tension secondaire nominale soit 100 volts. Les deux enroulements sont isolés entre eux.

PRATIQUE INDUSTRIELLE :

Ils sont généralement monophasés et sont construits comme les transformateurs de puissance, mais pour une puissance très faible, de quelques centaines de volts-ampères. La tension secondaire est généralement 100 volts. Jusqu'à 10 kV, ils sont généralement construits à isolement sec, c'est-à-dire avec des cartons isolants; au-dessus de cette tension, à isolement dans l'huile. On trouve des transformateurs de tension à 2 sensibilités, obtenues par une prise sur l'enroulement secondaire et sortie sur une troisième borne. Les 2 tensions secondaires ainsi obtenues, sont en général, dans le rapport $\sqrt{3}$.

Pour les réseaux dont la tension est supérieure à 70 kV, qui fonctionnent avec neutre à la terre, les transformateurs de tension sont généralement branchés entre phase et terre, ce qui réduit à $\frac{U}{\sqrt{3}}$ la tension à laquelle sont soumis ces enroulements.

Néanmoins, la fabrication de ces appareils est délicate, pour éviter les claquages entre les galettes. Les constructeurs utilisent différents artifices pour répartir le potentiel entre chaque galette; nous citerons par exemple celui qui consiste à intercaler entre chaque galette un condensateur.

Suivant la précision, on fabrique 4 classes d'appareils.

MONTAGE :

En général, ces appareils sont munis d'un socle de fixation.

Les bornes primaires sont repérées P1 et P2 pour les appareils monophasés, et P0, P1, P2, P3 pour les appareils triphasés, P0 étant le neutre.

Les bornes secondaires sont repérées S1 et S2 pour les appareils monophasés, et S0, S1, S2, S3 pour les appareils triphasés.

CARACTÉRISTIQUES :

Les caractéristiques des transformateurs de tension sont indiquées sur une plaque fixée sur l'appareil et qui précise :

1° La mention « TRANSFORMATEUR DE TENSION » ;

2° Les tensions nominales primaire et secondaire, séparées par un trait oblique.

Exemple I. — 15.000/100 désigne un transformateur de tension qui convient pour un réseau de 15.000 volts entre phases au primaire et qui fournit une tension secondaire de 100 volts.

Exemple II. — 220.000 : $\sqrt{3}/110$: $\sqrt{3}$, désigne un transformateur de tension qui convient pour un réseau de 220.000 volts et sera branché entre phase et terre au primaire (127.000 V), et fournira au secondaire de 110 : $V\sqrt{3} = 63,5$ volts.

3° La fréquence nominale ;

4° La puissance nominale ou puissance de précision ;

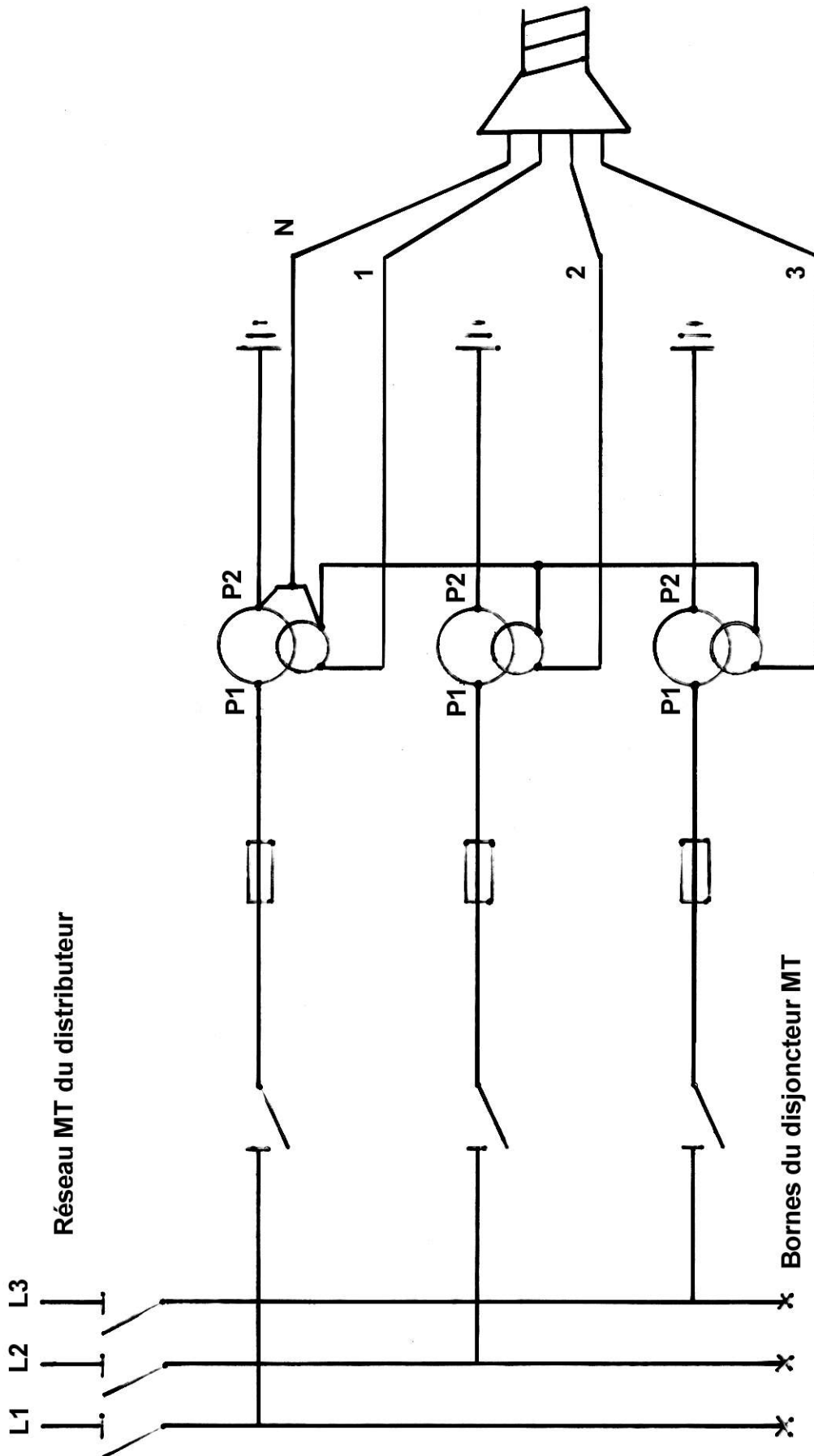
5° L'erreur nominale de rapport ;

6° Le déphasage nominal ;

7° Le mode d'installation intérieur ou extérieur ;

8° La puissance d'échauffement ;

9° L'état de connexion du primaire par rapport à la masse.



Réseau MT du distributeur

Bornes du disjoncteur MT

2.2 Transformateur de courant

DÉFINITION :

Un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est pratiquement proportionnel au courant primaire.

UTILISATION :

Les ampèremètres et les circuits intensité des compteurs, wattmètres, phasemètres, bobines et contacts de relais, ne peuvent être branchés sur les circuits parcourus par de fortes intensités, car ils seraient difficiles à réaliser industriellement. On interpose entre le circuit et les appareils ci-dessus un transformateur de courant.

PRINCIPE :

Le transformateur de courant est un transformateur statique, dont les buts essentiels sont :

- 1° Isoler les appareils de mesure, relais, déclencheurs de la partie haute tension ;
- 2° Réduire le courant à une valeur convenable pour les appareils de mesure, relais, déclencheurs ;
- 3° Protéger les appareils ci-dessus contre l'effet de courant de court-circuit.

L'enroulement primaire est intercalé en série dans le circuit à protéger ou à mesurer, et l'enroulement secondaire est fermé sur les appareils désignés ci-dessus. Le rapport de transformation est constant, et l'intensité secondaire est, en général, 5 A ou 10 A. On trouve des transformateurs à 2 sensibilités, obtenues par le couplage en série ou en parallèle des 2 parties de l'enroulement primaire.

Dans les transformateurs barres, la deuxième sensibilité est obtenue par prise au secondaire.

Les 2 intensités sont ordinairement dans le rapport 1/2.

Entre le secondaire et le primaire, on a la relation : $I_p \times N_p = I_s \times N_s$.

- I_p = Intensité primaire.
- N_p = Nombre de spires primaires
- I_s = Intensité secondaire.
- N_s = Nombre de spires secondaires.

PRATIQUE INDUSTRIELLE :

On distingue différents types d'appareils, suivant le mode d'isolement, l'intensité primaire, le lieu d'installation et la tension de l'installation.

- Suivant le mode d'isolement, on distingue les transformateurs dans l'air ou dans l'huile.
- Suivant l'intensité, les transformateurs de courant à primaire bobiné ou transformateurs barres, pour les intensités supérieures à 100 A.
- Suivant le lieu d'installation : les transformateurs de courant pour l'intérieur ou pour l'extérieur.
- Suivant la tension de l'installation, le primaire et le secondaire doivent être isolés en fonction de la tension.

Certains transformateurs de courant sont incorporés dans un appareil disjoncteur ou transformateur, ce dispositif est quelquefois appelé BUSCHING.

Enfin, signalons que l'on fabrique des transformateurs de courant compoundé, possédant un enroulement spécial, destiné à réduire le décalage entre les courants primaire et secondaire.

NORMALISATION :

Les courants nominaux primaires des transformateurs de courant construits, sont en Ampères :

1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7,5
10	12,5	15	20	25	30	40	50	60	75
100	125	150	200	250	300	400	500	600	750
1.000	1.250	1.500	2.000	2.500	3.000				

MONTAGE :

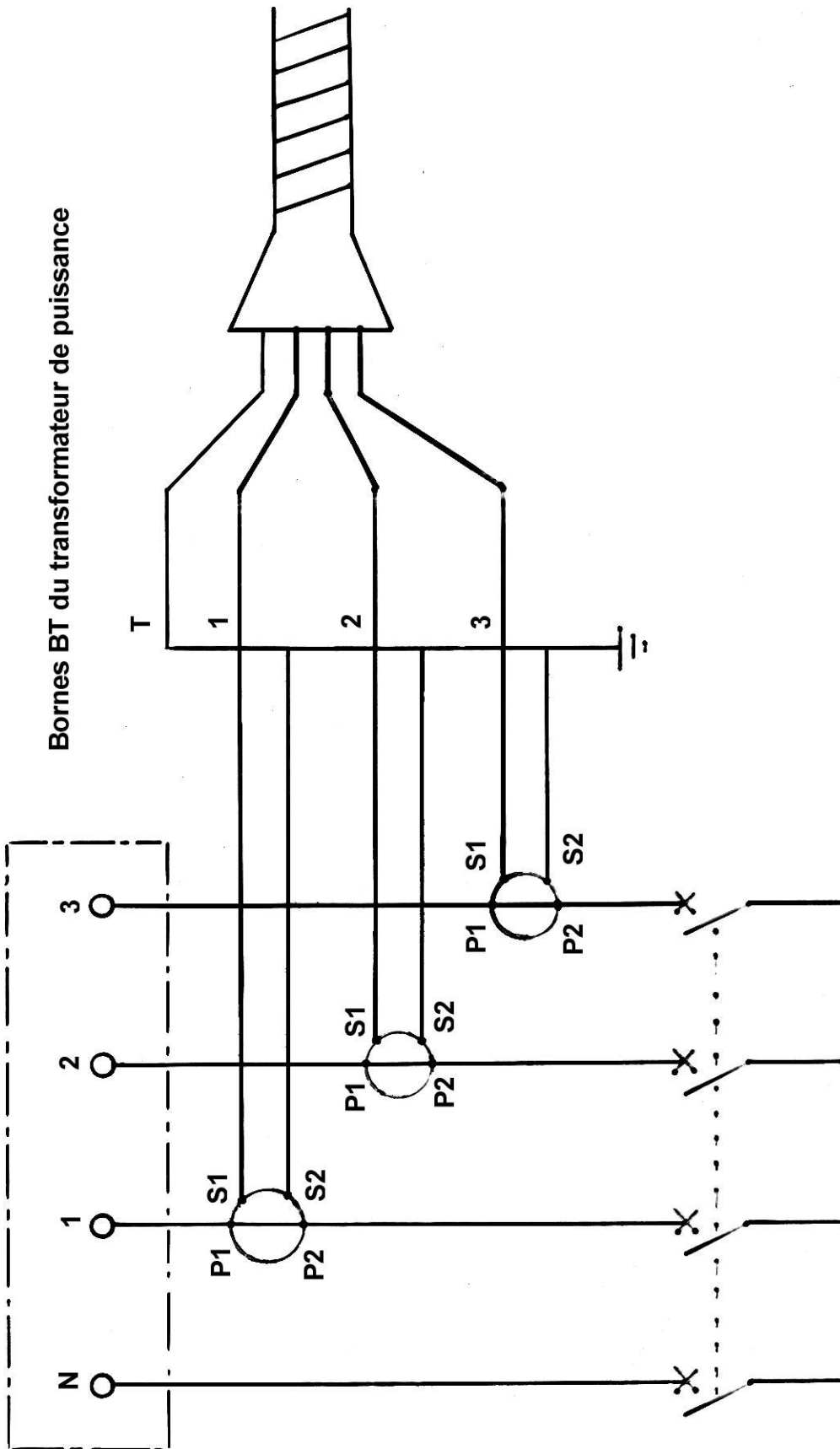
En général, ces appareils sont munis d'un socle de fixation. Les bornes primaires sont repérées P1 et P2, et se montent en série sur le circuit.

Les bornes secondaires sont repérées S1 et S2, et les appareils de mesure ou les relais se montent en dérivation sur ces bornes. Pour éviter un échauffement exagéré de l'appareil, le secondaire ne sera jamais débranché, si le primaire est sous tension, pour cette même raison, on ne placera pas de coupe-circuit sur le circuit secondaire.

CARACTÉRISTIQUES :

Les caractéristiques des transformateurs de courant sont indiquées sur une plaque fixée sur l'appareil, et qui précise :

- 1° La mention « Transformateur de courant » ;
- 2° Les courants nominaux primaire et secondaire, séparés par un trait oblique :
Exemple I. — $I_p = 100 \text{ A}$; $I_s = 5 \text{ A}$; indications portées : 100/5.
Exemple II. — Si le transformateur comporte plusieurs sensibilités aux enroulements :
 $I_p = 25 \text{ A} - 50 \text{ A} - 100 \text{ A}$ et $I_s = 5 \text{ A}$ et 10 A ;
- 3° La fréquence nominale ;
- 4° La tension nominale d'emploi ;
- 5° La puissance nominale ;
- 6° L'erreur nominale de rapport ;
- 7° Le déphasage nominal ;
- 8° Le courant de court-circuit nominal admissible ;
- 9° Le repérage de la polarité des bornes : P1 et P2 au primaire ; S1 et S2 au secondaire.



XIII/ PHENOMENES D'INDUCTION EN LIGNE HAUTE TENSION

1. Induction électrostatique

Elle ne dépend que de la tension de la ligne inductrice et nullement de l'intensité transmise. Elle est donc aussi forte lorsque la ligne est simplement sous tension sans aucun courant que lorsque la ligne transite sa puissance maximale.

Chaque conducteur de ligne consignée d'une part et le sol d'autre part constituent les deux armatures d'un condensateur.

La proximité d'une ligne HT que celle-ci soit sous tension à vide ou bien qu'elle transite du courant fait que ce condensateur se charge et qu'une tension apparaît entre chaque conducteur et le sol.

Pour faire disparaître cette tension, il faut de la même façon que l'on veut

décharger un condensateur, court-circuiter les deux armatures : cela consiste, dans le cas de ligne, à mettre chaque conducteur à la terre en cas de protection pour travaux sur cette ligne (voir figure 2).

2. Induction électromagnétique

Elle ne dépend que de l'intensité du courant.

Dans le cas d'un court-circuit ou d'un coup de foudre qui donne naissance à plusieurs milliers d'ampères, la tension induite peut atteindre une valeur dangereuse.

Là encore les DMT et Ct/Ct doivent obligatoirement être posés en cas de protection pour travaux sur une ligne (voir figure 3).

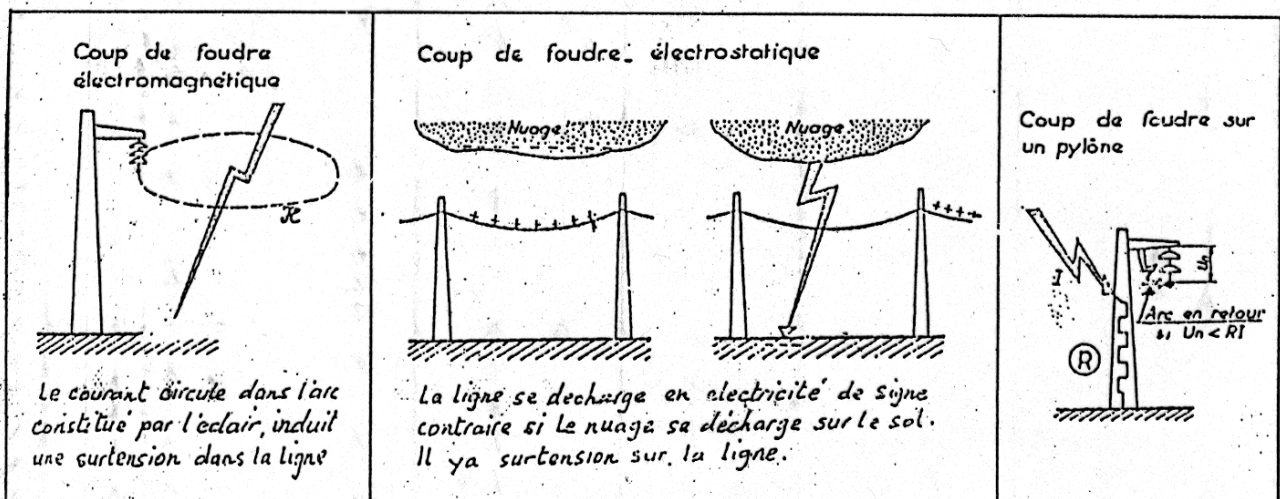
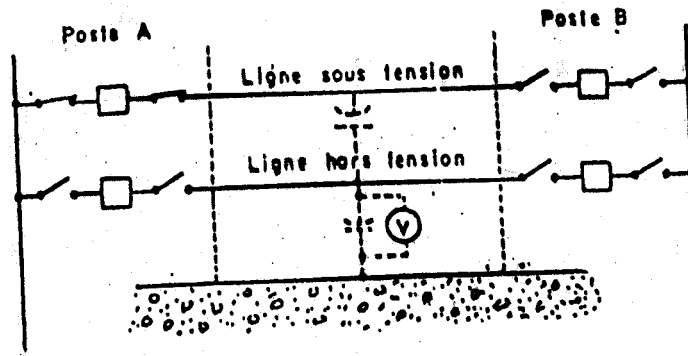


Figure 1



F

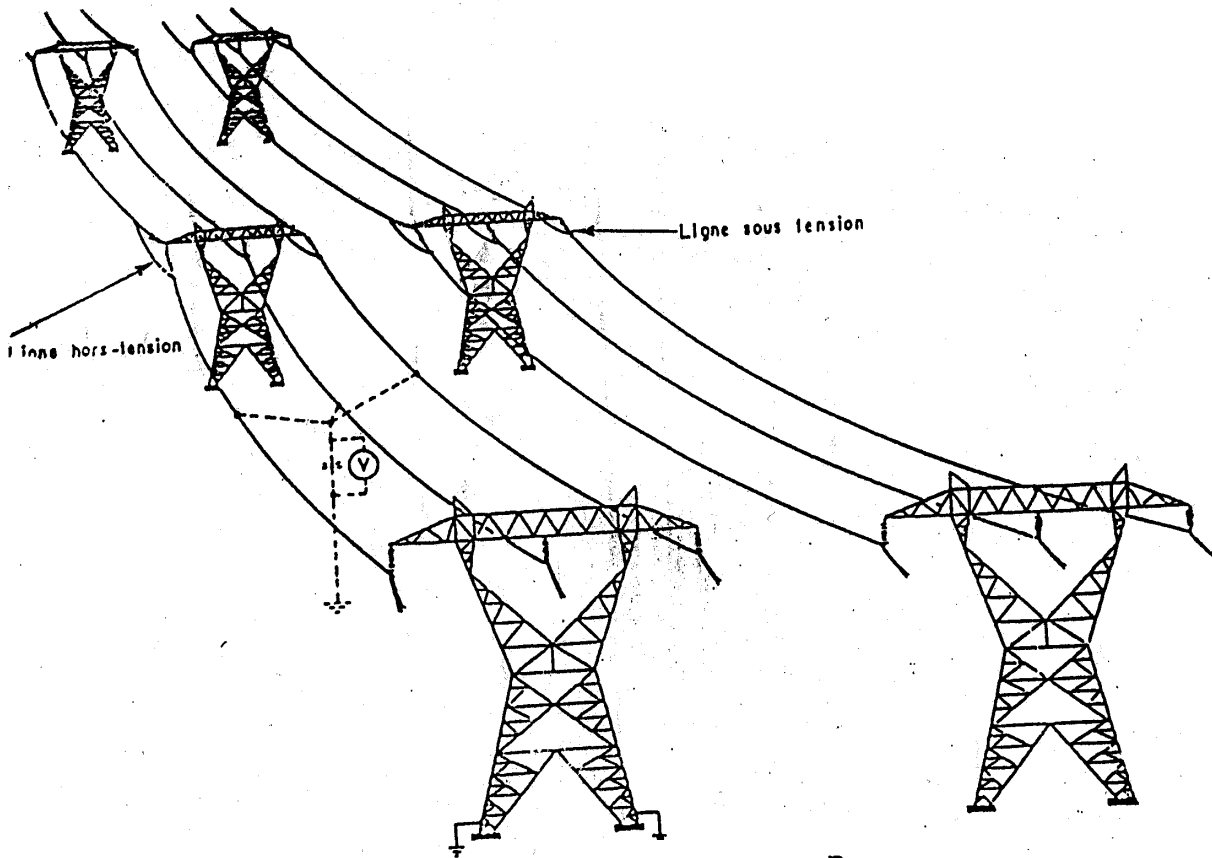


Figure 3

XIV/ COMPTEUR A INDUCTION

1. Principe de fonctionnement du compteur a induction

- Le disque du compteur est soumis à une aimantation variable due à la bobine tension (image de la tension alternative du réseau).
Cette aimantation engendre dans le disque un courant électrique I_a proportionnel à U .

$$I_a = k_1 U$$

- Soumettons ce disque, siège du courant I_a , à une aimantation créée par la bobine intensité. Le champ B embrasse le disque est proportionnel à l'intensité I consommée.

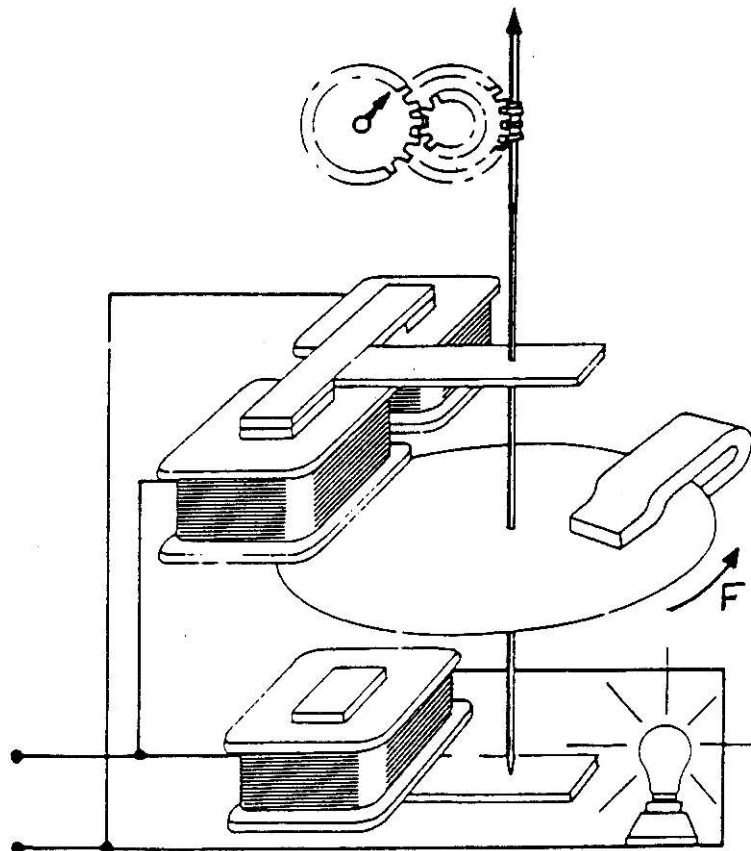
$$B = k_2 I$$

- Or tout conducteur parcouru par un courant I_a et placé dans un champ développe une force électromagnétique F qui est fonction de B , et de I_a , de l longueur du conducteur et de l'angle α entre le vecteur champ et le conducteur.

$$F = B I_a l \sin \alpha \Rightarrow F = k_2 I \times k_1 U \times l \times \sin \alpha \Rightarrow F = k_3 P$$

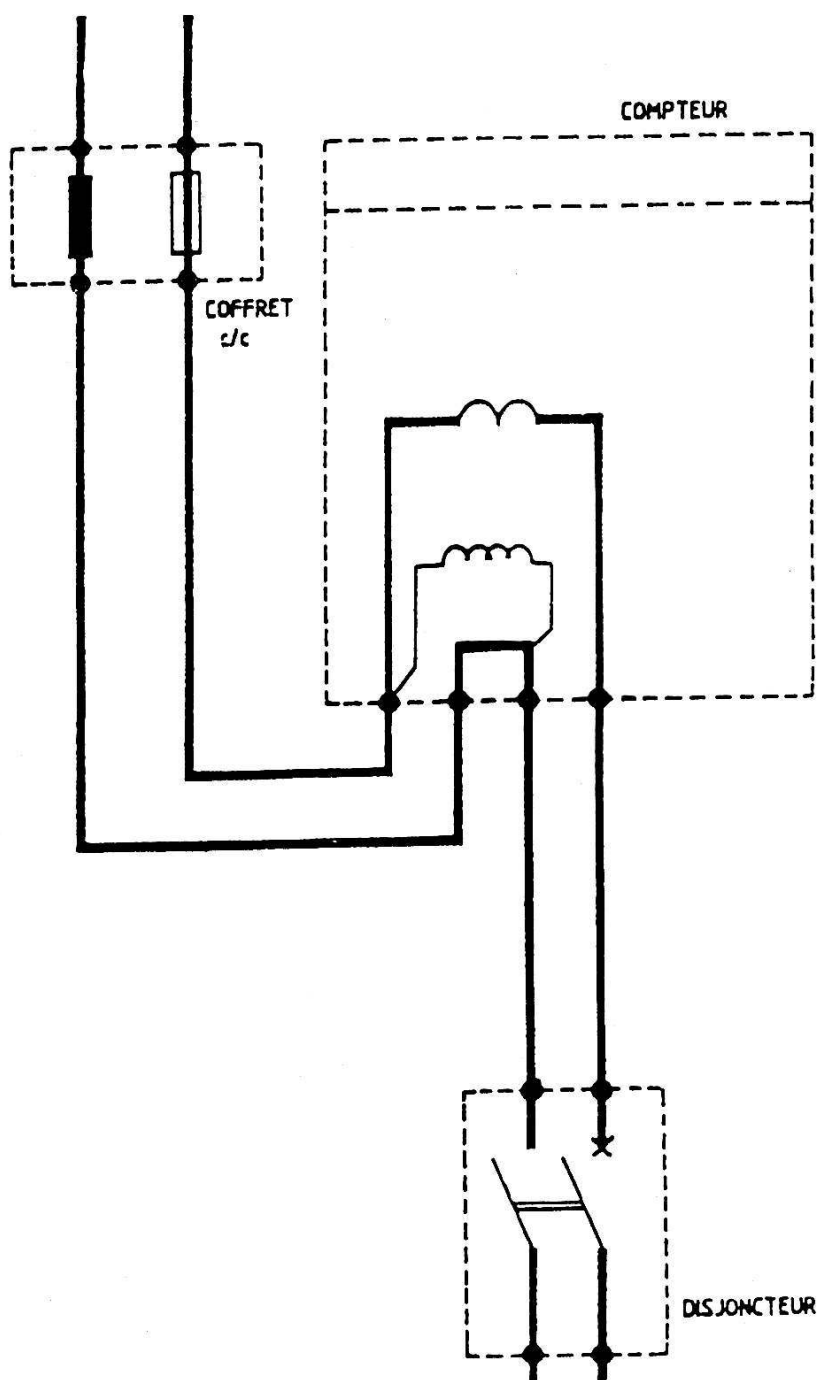
$$\text{avec } k_3 = k_1 \times k_2 \times l \times \sin \alpha$$

On en déduit donc que la rotation du disque est l'image de la puissance P consommée. Il suffit d'intégrer dans le temps cette mesure pour obtenir le décompte de l'énergie.



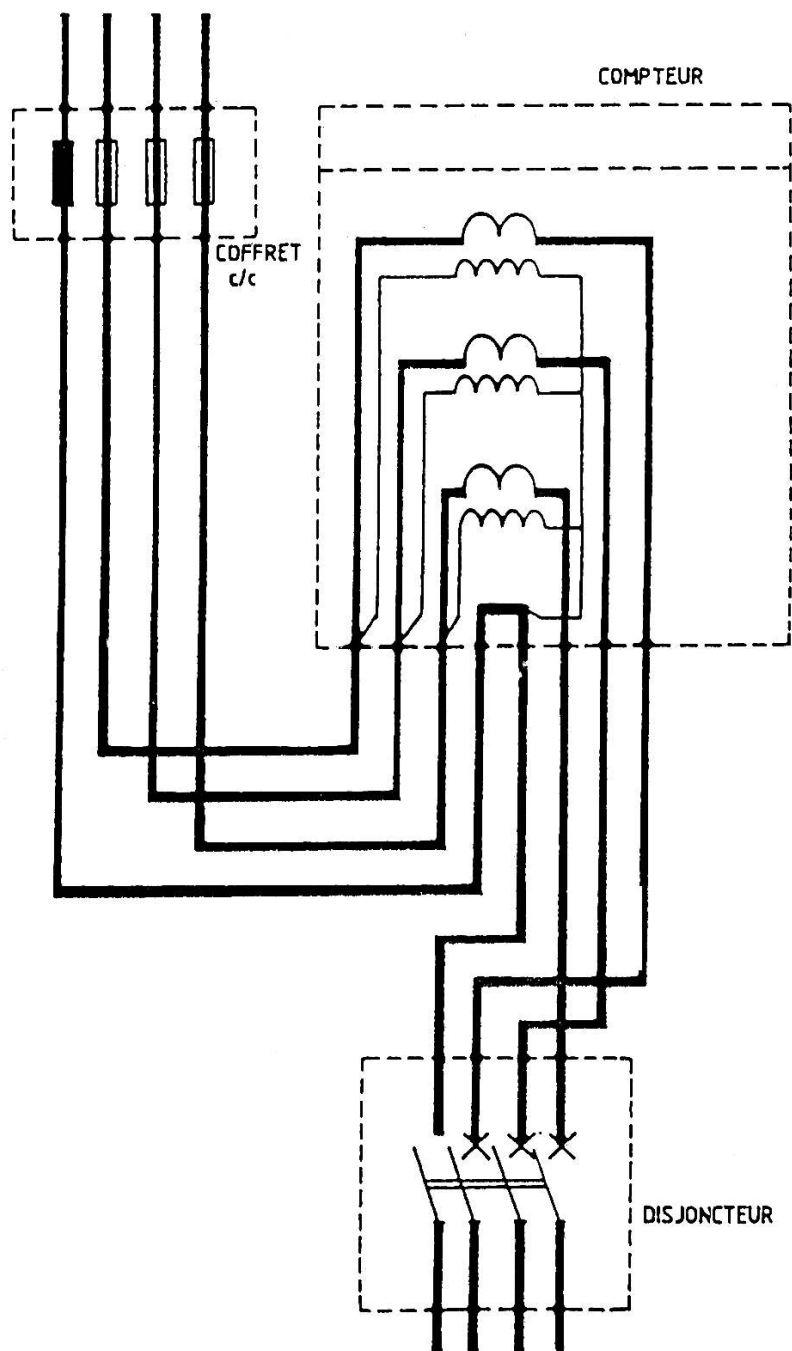
2. Schéma de branchement deux fils :

COMPTAGE SIMPLE TARIF 2 FILS



3. Schéma de branchement quatre fils :

COMPTAGE SIMPLE TARIF 4 FILS



Module 03: NOTIONS D'ELECTRICITE
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

TP1 – Mesure de l'intensité du courant électrique

I.1. Objectif visé

Mesurer l'intensité du courant électrique d'un dipôle composé d'éléments en série.

I.2. Durée du TP

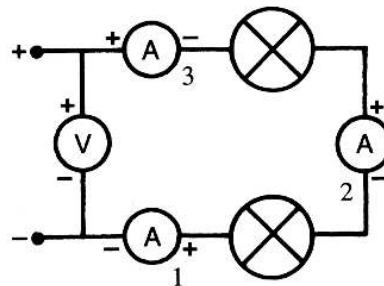
Durée : 1 heure

I.3. Matériels (Equipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension continue, réglable
- 1 ampèremètre pour courant continu
- 1 voltmètre pour courant continu
- 2 lampes à incandescence : 40w220v et 100w 220v
- Cordons
- Schéma de montage

I.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage ci-dessous :



- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

I.5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schème de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Régler la tension à 6 V;
- Choisir les calibres convenables pour les appareils de mesures;
- Placer successivement l'ampèremètre, en A₁, A₂ et en A₃ et prendre les mesures;
- Remplir le tableau de mesures.

voltmètre	Ampermètre1	Ampermètre2	Ampermètre3

- Conclure.

TP2 – Mesure de l'intensité du courant électrique

II.1. Objectif visé

Mesurer l'intensité du courant électrique d'un dipôle composé d'éléments en en parallèle.

II.2. Durée du TP

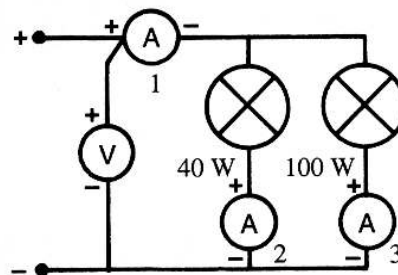
Durée : 1 heure

II.3. Matériels (Equipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension continue, réglable;
- 1 ampèremètre pour courant continu;
- 1 voltmètre pour courant continu;
- 2 lampes à incandescence : 40 W – 220 V et 100 W – 220 V;
- Cordons;
- Schéma de montage.

II.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage ci-dessous :



- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

II.5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schème de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Régler la tension à 6 V;
- Choisir les calibres convenables pour les appareils de mesures;
- Placer successivement l'ampèremètre, en A₁, A₂ et en A₃ et prendre les mesures;
- Compléter le tableau de mesures par le calcul de la somme I₂ + I₃.

Ampermètre1	Ampermètre2	Ampermètre3	I ₂ + I ₃

- Conclure.

TP3 — Mesure de la tension électrique

III.1. Objectif visé

Mesurer la tension électrique d'un dipôle composé d'éléments en série.

III.2. Durée du TP

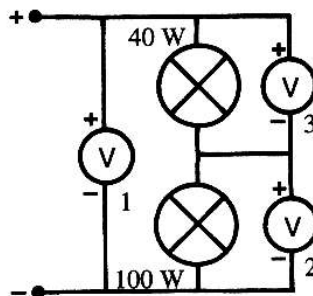
Durée : 1 heure

III.3. Matériels (Equipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension continue, réglable;
- 1 voltmètre pour courant continu;
- 2 lampes à incandescence : 40 W – 220 V et 100 W – 220 V;
- Cordons;
- Schéma de montage.

III.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage ci-dessous :



- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

III.5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schéma de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Régler la tension à 6 V;
- Choisir les calibres convenables pour les appareils de mesures;
- Placer successivement le voltmètre, en V_1 , V_2 et en V_3 et prendre les mesures;
- Compléter le tableau par le calcul de la somme $U_2 + U_3$.

VOLTMETRE 1	VOLTMETRE 2	VOLTMETRE 3	$U_2 + U_3$

- Conclure.

TP4 — Mesure de la tension électrique

IV.1. Objectif visé

Mesurer la tension électrique d'un dipôle composé d'éléments en parallèle.

IV.2. Durée du TP

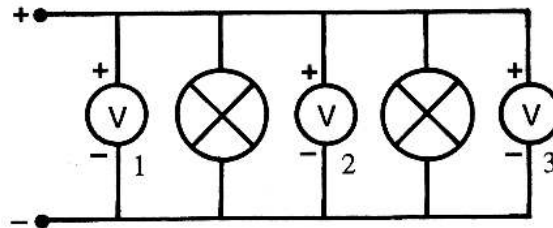
Durée : 1 heure

IV.3. Matériels (Équipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension continue, réglable;
- 1 voltmètre pour courant continu;
- 2 lampes à incandescence : 40 W – 220 V et 100 W – 220 V;
- Cordons;
- Schéma de montage.

IV.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage ci-dessous :



- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

IV..5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schème de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Régler la tension à 6 V;
- Choisir les calibres convenables pour les appareils de mesures;
- Placer successivement le voltmètre de façon à mesurer la tension aux bornes du dipôle et la tension aux bornes de chaque lampe et prendre les mesures.

VOLTMETRE 1	VOLTMETRE 2	VOLTMETRE 3

- Conclure.

TP5 — Mesure de la résistance électrique

V.1. Objectif visé

Mesurer la résistance électrique par la méthode volt-ampèremétrique.

V.2. Durée du TP

Durée : 1 heure

V.3. Matériels (Équipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension continue, réglable;
- 1 voltmètre numérique;
- 1 ampèremètre numérique;
- 2 fils de ferronickel ($l=0,60m$; $d=0,80mm$);
- Schéma de montage.

V.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage :

- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

V.5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schème de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Régler l'alimentation de façon à obtenir un courant de 100 mA;
- Mesurer la tension correspondante;
- Compléter le tableau de mesures par le calcul de la résistance.

Diamètre	Longueur	Ampèremètre		Voltmètre		Résistance
		Calibre	Mesure	Calibre	Mesure	
0.80mm	0.60m			2V		
0.80mm	1.20m			2V		

- Conclure.

TP6 — Mesure de la puissance par la méthode voltampèremétrique

VI.1. Objectif visé

Mesurer la puissance électrique par la méthode volt-ampèremétrique.

VI.2. Durée du TP

Durée : 1 heure

VI.3. Matériels (Équipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension alternative, réglable;
- 1 voltmètre numérique;
- 1 ampèremètre numérique;
- 2 lampes à incandescence : 40 W – 220 V et 100 W – 220 V;
- Cordons;
- Schéma de montage.

VI.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage :

- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

VI.5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schème de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Choisir les calibres convenables des appareils de mesure;
- Mesurer la tension et le courant correspondants;
- Compléter le tableau de mesures par le calcul de la puissance.

Ampèremètre				Voltmètre				Puissance
Lecture	Calibre	Echelle	Mesure	Lecture	Calibre	Echelle	Mesure	

- Conclure.

TP7 — Mesure de la puissance par la méthode des wattmètres

VII.1. Objectif visé

Mesurer la puissance électrique par la méthode des wattmètres.

VII.2. Durée du TP

Durée : 1 heure

VII.3. Matériels (Équipements et matière d'œuvre) par équipe

- 1 alimentation tension alternative, réglable;
- 1 wattmètre;
- 2 lampes à incandescence : 40 W – 220 V et 100 W – 220 V;
- Cordons;
- Schéma de montage.

VII.4. Description du TP

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. En référence au schéma de montage :

- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser le montage;
- Prendre les mesures.

VII.5. Déroulement du TP

Les stagiaires doivent étudier le schème de principe présenté par le formateur.

Pour relever les mesures il faut suivre le mode opératoire :

- Réaliser le montage;
- Choisir les calibres convenables des circuits courant et tension;
- Mesurer la tension et le courant correspondants;
- Compléter le tableau de mesures par le calcul de la puissance.

Calibre Ampèremètre	Calibre Voltmètre	Echelle	Lecture	Mesure	Puissance

- Conclure.

TP8 — Confection des attaches

VIII.1. Objectif visé

Réaliser les différents types d'attaches pour des conducteurs en cuivre et en aluminium.

VIII.2. Durée du TP

Durée : 1 heure

VIII.3. Matériels (Équipements et matière d'œuvre) par équipe

- Console courte ou longue;
- Etrier droit ou serré;
- Isolateur d'arrêt;
- Isolateur double cloche;
- Fil conducteur rigide en cuivre 2,5 mm²;
- Fil conducteur rigide en aluminium 4 mm²;
- Feuillard d'aluminium 1 mm x 10 mm;
- Pince universelle;
- Pince coupante;
- Bloc de doublement;
- Clés appropriées.

VIII.4. Description du TP

Le TP doit être effectué individuellement. En référence aux différents plans présentés (voir annexe).

- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage;
- Réaliser les attaches.

VIII.5. Déroulement du TP

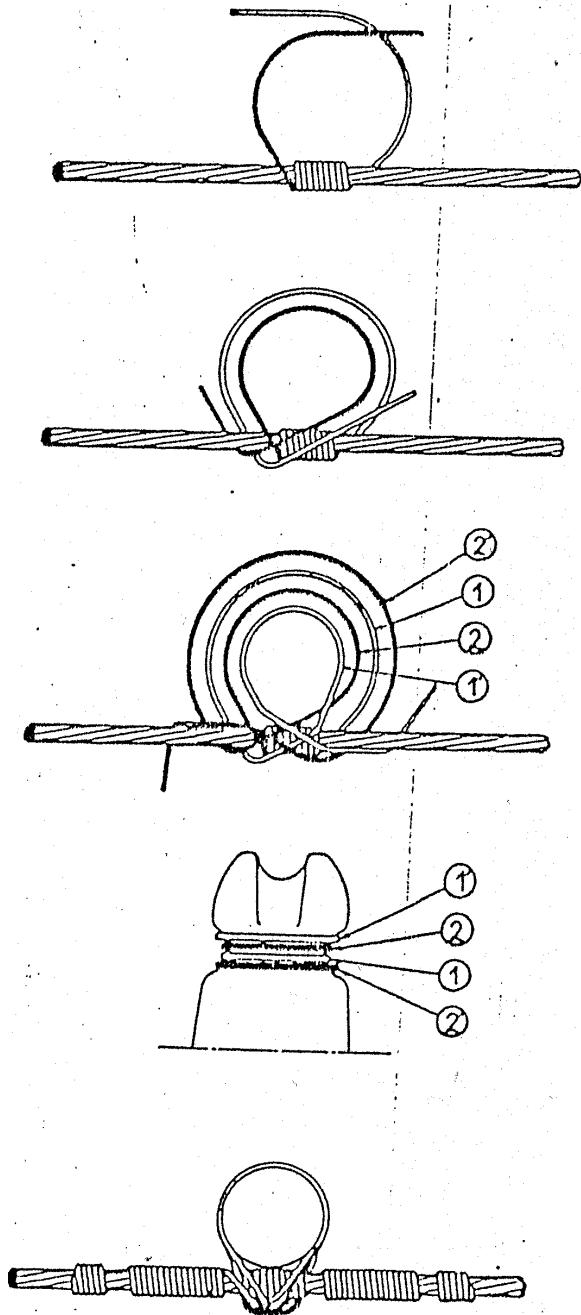
Les stagiaires doivent étudier les plans des attaches présentés par le formateur.

Pour réaliser les attaches il faut suivre le mode opératoire :

- Lire chaque plan;
- Préparer la liste de matériel et des éléments nécessaires;
- Préparer l'outillage et la matière d'œuvre;
- Réaliser les attaches.

ANNEXE TP 8

Attache Croisée simple cuivre



Attache croisée bifilaire cuivre

