

---

---

# T.PN°1:

## MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION INDEPENDANTE ET A EXCITATION SERIE

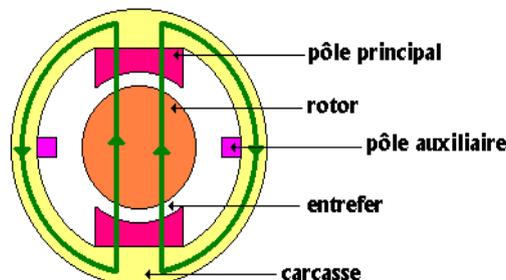
### I - But :

- Etudier le moteur à courant continu respectivement à excitation indépendante et à excitation série,
- Relever les caractéristiques électriques et électromagnétiques des deux

### II- Rappel théorique :

#### II-1-Constitution

Le rôle du circuit magnétique est de **canaliser le flux** produit par les enroulements inducteurs supportés par les pôles principaux (stator), de façon à ce qu'il englobe un maximum de conducteurs de l'induit (rotor). Voici une coupe transversale d'un moteur à courant continu à aimant permanent :



Le rotor tourne dans un champ magnétique fixe: il doit être **feuilleté** pour limiter les pertes par **hystérésis** et **courants de Foucault** (tôles en acier au silicium, isolées les unes des autres).

#### II-2-Principe de fonctionnement

Un moteur à courant continu comporte deux parties :

**le stator**, partie fixe, constitué par un aimant ou un électroaimant appelé également **inducteur** qui crée un champ magnétique dirigé vers l'axe du rotor.

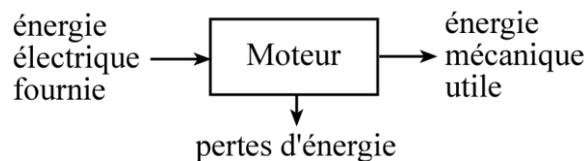
---

---

**Le rotor**, partie mobile, appelé également **induit**, constitué par un cylindre d'acier doux à la périphérie duquel sont disposés des conducteurs reliés aux lames du collecteur sur lesquelles frottent deux charbons, ou balais, qui assurent la liaison avec les bornes du moteur.

Lorsque les conducteurs sont parcourus par un courant, ils sont soumis à des forces  $F_1$  et  $F_2$  qui tendent à faire tourner le rotor. Le collecteur permet d'inverser le sens du courant dans les conducteurs lorsque ceux-ci passent le plan vertical. Ainsi le sens du couple des forces  $F_1$  et  $F_2$  et donc le sens de rotation du moteur est conservé.

### II-3-Conversion d'énergie



Le fonctionnement du moteur à courant continu est contraire à celui d'une génératrice à courant continu.

### II-4-Schéma électrique et équation de fonctionnement d'un moteur à excitation indépendante

Dans les applications comportant des machines à courant continu alimentées par des variateurs électroniques, on utilise essentiellement des machines à excitation indépendante et des machines séries (ces dernières, surtout en traction).

La machine à excitation indépendante (fig.1) est caractérisée par le fait que son courant d'excitation est fixé par un circuit extérieur.

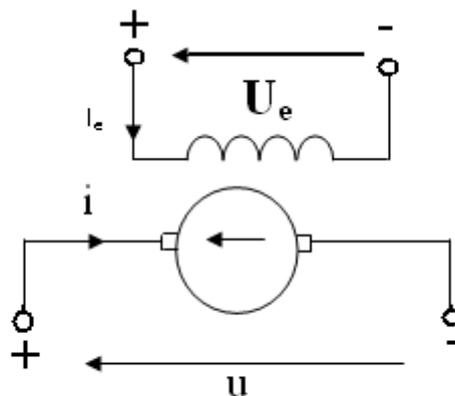


Fig.1

---

---

En régime permanent établi,  $u = U$  et  $i = I$

En supposant que le moteur est parfaitement compensé, les équations de fonctionnement sont les suivantes :

$$U = E_c(I_e, I) + R_a \cdot I .$$

avec

- U: tension d'alimentation
- E : force contre électromotrice
- $I_e$  : courant d'excitation
- I : courant d'induit
- $R_a$  : résistance de l'induit.

$$E_c(I_e, N) = k \cdot N \cdot \Phi (I_e)$$

N: vitesse de rotation de la machine ( tours / mn)

$\Phi$  : flux d'induction magnétique traversant l'induit de la machine.

La puissance électromagnétique  $P_m$  a pour expression :

$$P_m = C_{em} \frac{N * 2 * \pi}{60} = E_c * I = k * N * \phi * I$$

et le couple électromagnétique  $C_{em}$  vaut alors :

$$C_{em} = \frac{60}{2\pi} k * \phi * I$$

En régime permanent établi :  $C_{em} = C_r + C_0 = K \cdot I$ .

$C_r$  : couple résistant de la charge mécanique,

$C_0$  : couple de pertes du moteur.

## II-6-Inventaire des différentes pertes

<b>Pertes</b>	<b><u>Pertes magnétiques</u></b> $p_{fer}$ ou pertes ferromagnétiques ou pertes fer	<b><u>Pertes par effet</u></b> <b><u>joule</u></b> $p_J$	<b><u>Pertes mécaniques</u></b> $p_{méca}$
<b>Causes</b>	Elles sont dues à l'hystérésis (champ rémanent) et aux courants de Foucault (courant induit dans le fer) et dépendent de B et de $\Omega$ .	Pertes dans l'induit et l'inducteur, dues aux résistances des bobinages.	Elles sont dues aux frottements des diverses pièces en mouvement.
<b>Parades</b>	Utilisation de matériaux à cycles étroits, comme le fer au silicium et le feuilletage de l'induit.	Il faut surtout éviter l'échauffement on utilise un ventilation par exemple.	Utilisation de roulements et de lubrifiants.

**Pertes collectives**  $p_c$   $p_C = p_{fer} + p_{méca}$ .

Ces pertes sont dites « constantes » ou « collectives ». C'est-à-dire que si le moteur travaille à vitesse et flux constants, les pertes fer et mécaniques sont approximativement constantes. Elles ne varient pas avec la charge.

**Couple de perte**  $C_0$ : à flux constant,  $p_c$  est proportionnel à  $\Omega$ , donc  $p_c = cste \times \Omega$  et

$$C_0 = \frac{p_c}{\Omega} = \frac{cste \times \Omega}{\Omega} = cste .$$

*Le couple de pertes est une caractéristique constante du moteur quelle que soit la vitesse.*

### Puissance totale absorbée

Il s'agit de puissance électrique.

$$P_a = P_{a \text{ induit}} + P_{a \text{ inducteur}}$$

$$P_a = UI + U_e I_e$$

---

---

## Puissance à l'inducteur

L'inducteur étant du point de vue électrique une simple résistance, toute l'énergie qu'il absorbe et dissipée par effet joule.

Il s'agit de la puissance électrique.

$$P_{ae} = P_{je}$$
$$U_e \cdot I_e = r_e \times I_e^2$$

## Pertes totale par effet joule

$$p_j = p_j \text{ induit} + p_j \text{ inducteur}$$

$$p_j = R \cdot I^2 + r_e \cdot I_e^2 = R \cdot I^2 + P_{ae}$$

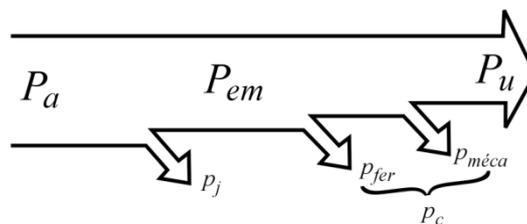
## Puissance utile

Il s'agit d'une puissance mécanique de rotation.

$$P_u = C_u \times \Omega$$

$C_u$  : couple utile (N.m)

## Bilan des puissances



### Bilan complet

$$P_a = P_u + p_j + p_c$$

### Bilan intermédiaire

$$P_u = P_{em} - p_c$$

---

---

## Rendement

### Mesure directe

Cette méthode consiste à mesurer  $P_a$  et  $P_u$ .

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{T_u \Omega}{UI + U_e I_e}$$

### Méthode des pertes séparées

Cette méthode consiste à faire des essais pour évaluer les différentes pertes.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a - \text{pertes}}{P_a}$$

### Inversion du sens de rotation :

.Pour inverser le sens de rotation, deux solutions peuvent être envisagées :

- l'inversion du sens du courant d'excitation sans changer le sens du courant d'induit ;
- l'inversion du sens du courant d'induit en maintenant le sens du courant d'excitation.

### Questions :

- Evaluer la formule du rendement d'un moteur à courant continu à excitation série.
- Comparer le couple développé par un moteur à courant continu à excitation séparée avec celui d'un moteur à courant continu à excitation série.
- Etudier l'emballement des deux moteurs.

## III – Etude pratique :

### III-1-Moteur à courant continu à excitation indépendante :

- Câbler le schéma du montage de la figure n°2.
- A vide, noter les valeurs des grandeurs électriques suivantes :  $I_0$ ,  $N_0$ ,  $U_0$ .
- Remplir le tableau suivant :

<b>I</b>	I0								
$\Delta V = R.I$									
<b>N ( tr/mn )</b>	N0								
<b>Rendement :<math>\eta</math></b>									

- A l'aide d'un montage voltampère métrique ou d'un multimètre, déterminer la valeur de la résistance de l'induit du moteur.
- Tracer les courbes suivantes :  $N = f(I)$  ,  $\eta = f(I)$  et  $\Delta V = f(I)$  .
- Interpréter les résultats obtenus et conclure.

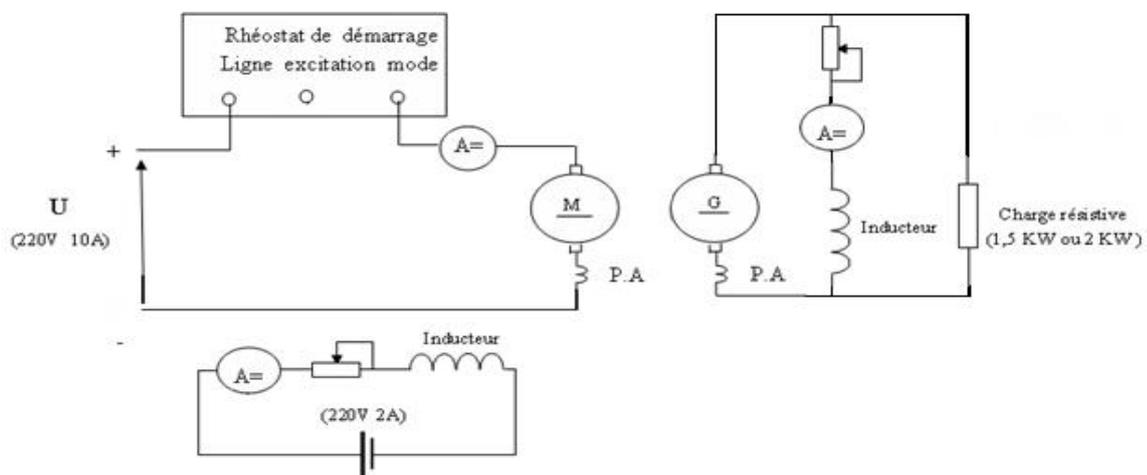


Figure n°2: montage électrique de l'essai en charge

### III-2-Moteur à courant continu à excitation shunt ou parallèle:

Appliquer l'étude précédente pour le moteur à excitation shunt.

Pour l'essai en charge du moteur, il suffit aux bornes de la génératrice une charge résistive.

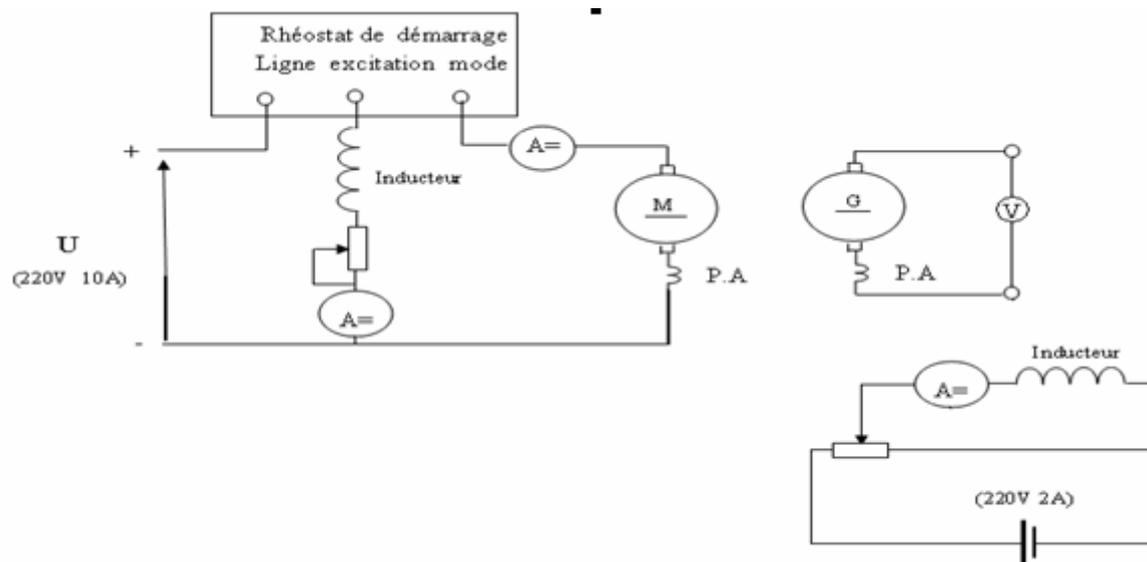


Figure:3 : montage électrique de l'essai à vide

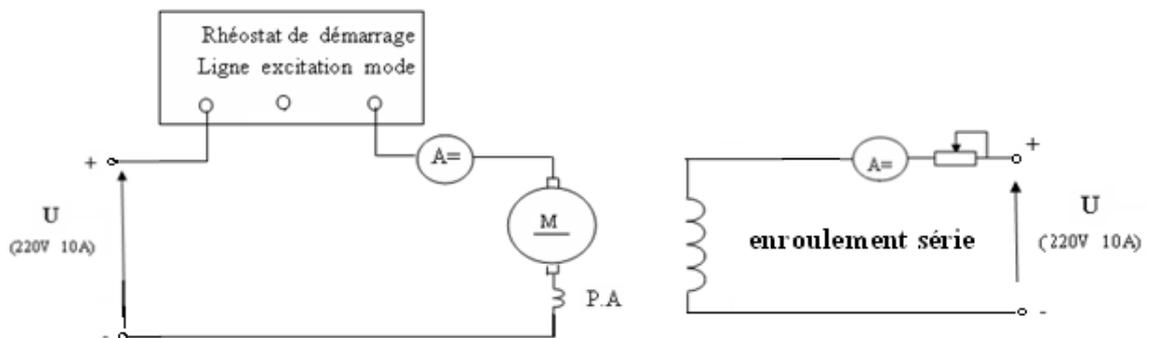
### III-3-Moteur à courant continu à excitation série :

- Réaliser le câblage nécessaire du moteur série.
- Remplir le tableau suivant (*faire attention car d'une part il ne faut pas démarrer à vide*):

<b>I</b>									
$\Delta V = R.I$									
<b>N ( tr/mn )</b>									
<b>Rendement :<math>\eta</math></b>									

- A l'aide d'un montage voltampère métrique ou d'un multimètre, déterminer la valeur de la résistance de l'induit du moteur.
- Tracer les courbes suivantes :  $N = f(I)$  ,  $\eta = f(I)$  et  $\Delta V = f(I)$  .
- Interpréter les résultats obtenus et conclure.

**Remarque :** pour déterminer les pertes collective, on fait fonctionner le moteur en excitation indépendante comme l'indique le schéma suivant :



---

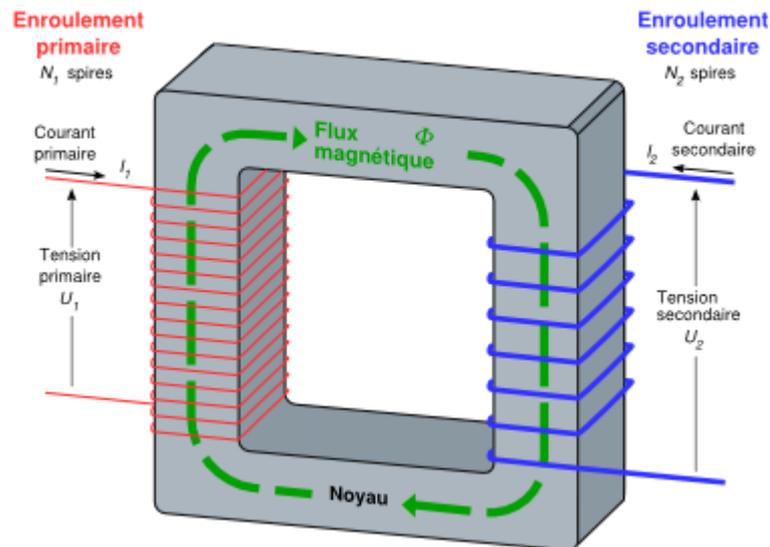
---

## T.PN°2:

### TRANSFORMATEUR MONOPHASE

#### I- Etude théorique:

##### 1-Transformateur parfait ou idéal



##### Transformateur monophasé idéal

C'est un transformateur virtuel sans aucune perte. Il est utilisé pour modéliser les transformateurs réels. Ces derniers sont considérés comme une association d'un transformateur parfait et de diverses impédances.

Dans le cas où toutes les pertes et les fuites de flux sont négligées, le rapport du nombre de spires primaires, secondaires détermine totalement le rapport de transformation du transformateur.

**Exemple:** Un transformateur dont le primaire comporte **230 spires** alimenté par une tension sinusoïdale de **230 V** de tension efficace, le secondaire qui comporte **12 spires** présentera à ses bornes une tension sinusoïdale dont la valeur efficace sera égale à **12 V**.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

---

---

Comme on néglige les pertes, la puissance est transmise intégralement, c'est pourquoi l'intensité du courant dans le secondaire sera dans le rapport inverse soit près de 19 fois plus importante que celle circulant dans le primaire.

De l'égalité des puissances apparentes :  $S_1 = S_2$ , soit  $U_1 I_1 = U_2 I_2$  on tire

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Au risque de surchauffer très rapidement, le conducteur du secondaire devra avoir une section adaptée à l'intensité de ce courant.

## **2-Les pertes de puissance d'un transformateur**

### **2-1-Les pertes par effet Joule**

Les pertes par effet Joule dans les enroulements sont appelées également « pertes cuivre », elles dépendent de la résistance de ces enroulements et de l'intensité du courant qui les traverse : avec une bonne approximation elles sont proportionnelles au carré de l'intensité.

$$P_J = \sum_i R_i I_i^2$$

Avec  $R_i$  est la résistance de l'enroulement  $i$  et  $I_i$  est l'intensité du courant qui le traverse.

### **2-Les pertes magnétiques**

Ces pertes dans le circuit magnétique, également appelées « pertes fer », dépendent de la fréquence et de la tension d'alimentation. À fréquence constante on peut les considérer comme proportionnelles au carré de la tension d'alimentation. Ces pertes ont deux origines physiques :

**2-1-Les pertes par courants de Foucaults** : Elles sont minimisées par l'utilisation de tôles magnétiques vernies, donc isolées électriquement les unes des autres pour constituer le circuit magnétique, ce en opposition à un circuit massif.

## 2-2-Les pertes par hystérésis : voir annexe

Les pertes par hystérésis sont générées en parcourant un cycle d'hystérésis, partiel ou complet.

$\oint HdB = \text{énergie magnétique volumique} \cong \text{surface d'un cycle}$

Les pertes par hystérésis sont proportionnelles au carré de l'induction et à la fréquence.

$$P_H = C_H \left( \frac{f}{f_0} \right) \left( \frac{B}{B_0} \right)^2 m$$

## 3-Schémas électriques:

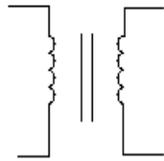


Figure : transformateur monophasé

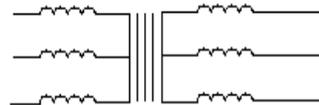
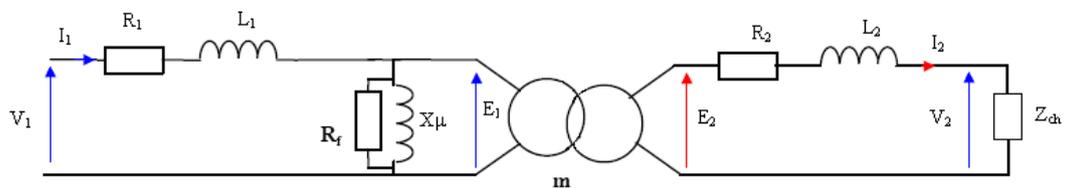
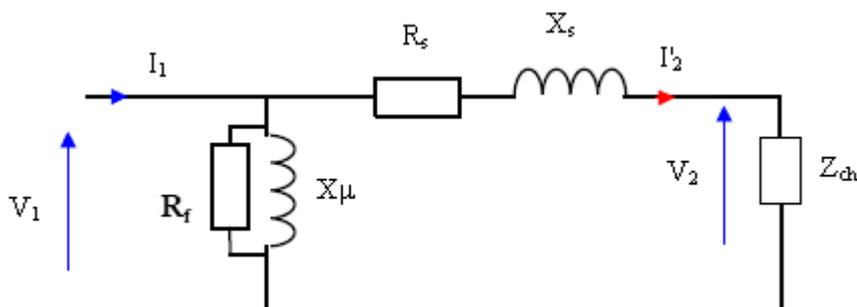


Figure : transformateur triphasé

## 4-Schémas électrique équivalent d'un transformateur monophasé



En modifiant le schéma précédent, on aboutit au schéma suivant:



---

---

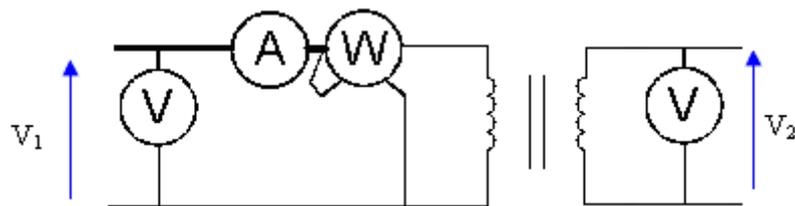
## Questions:

1-En exploitant le dernier schéma, évaluer la formule du rendement du transformateur monophasé.

2-Calculer la valeur du rendement maximal.

## II- Partie pratique

### 1- Essai à vide :



On mesure sous  $V_1 = V_{1n}$ ,  $P_{10}$ ,  $I_{10}$ ,  $V_{10}$ .

$$R_f = V_{10}^2 / P_{10}$$

$$X_{\mu} = V_{10}^2 / Q_{10}$$

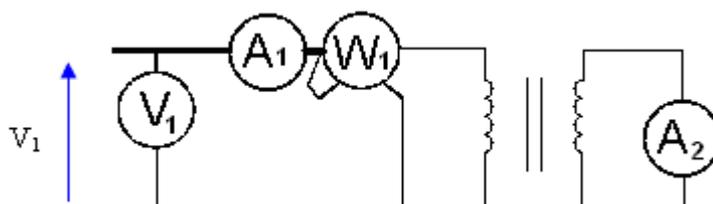
### 2- Essai en court circuit:

L'essai se fait sous une tension  $V_1$  faible, On mesure à  $f = f_n$ ,  $P_{1cc}$ ,  $V_{1cc}$  et  $I_{1cc} = I_{1n}$ .

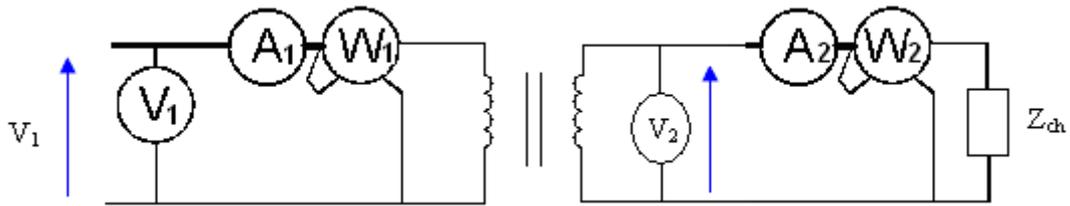
Comme  $V_{1cc}$  est très faible devant  $V_{1n}$ ,  $R_f$  et  $L_{\mu}$  ont un effet négligeable.

$$R = P_{1cc} / 3I_{1cc}^2$$

$$V_{1cc} / I_{1cc} = Z \text{ et } Z^2 = R_s^2 + X_s^2.$$



**3- Essai en charge sous la tension nominale :**



$I_1$ (A)	$P_a$ (W)= $P_1$	$P_u$ (W)= $P_2$	$I_2$ (A)	$V_2$ (V)	$\Delta V_2= V_{20}- V_2$	$\eta$ %

**4- Questions :**

4-1- Relever les essais cités en haut.

4-2- Calculer les éléments du schéma équivalent par phase du transformateur.

4-3- Tracer les courbes suivantes:

$P_1 = f(I_1)$ ,  $P_2 = f(I_2)$ ,  $\eta \% = f(I_1)$ ,  $\eta \% = f(I_2)$  et  $\Delta V_2 = f(I_2)$ .

4- 4- Interpréter les résultats obtenus et conclure.

Remarque: relever l'essai en charge pour différent type de charges.

---



---

## T.PN°3: Transformateur triphasé

### I- Rappel théorique:

#### 1- Constitution et principe de fonctionnement

##### 1-1-Circuit primaire:

Il est constitué de trois enroulements (bobines) parcourus par des courants alternatifs triphasés et possède p paires de pôles.

##### 1-2- Circuit secondaire:

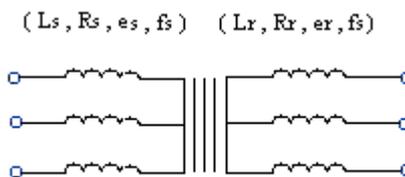
Il est constitué de trois enroulements (bobines) à p paires de pôles.

##### 1-3- Circuit magnétique:

Il est formé de trois colonnes.

Généralement, il est feuilleté avec des tôles qui sont épilées l'une sur l'autre.

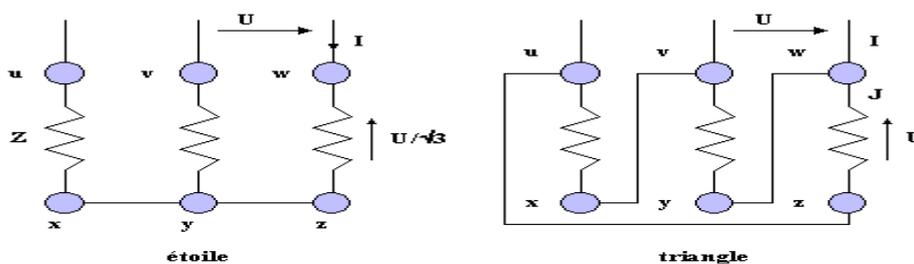
### 2-Symbole:



**Figure: transformateur triphasé**

### 3- Couplage des enroulements :

Le primaire ou le secondaire peut être couplé en étoile ou en triangle



---

---

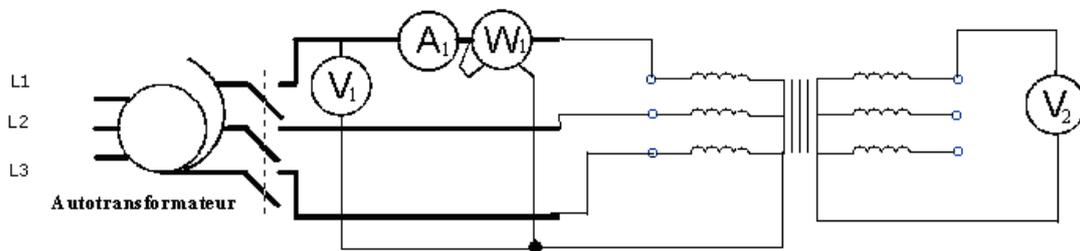
## Questions:

- 1- Donner le schéma équivalent par phase (ramenée coté primaire) du transformateur.
- 2- Evaluer la formule du rendement.

## II- Partie pratique :

### 1- Essai à vide :

Câbler le montage suivant:



On mesure sous  $V_1 = V_{1n}$  à  $f = f_n$ ,  $P_{10}$ ,  $I_{10}$ ,  $V_{10}$ .

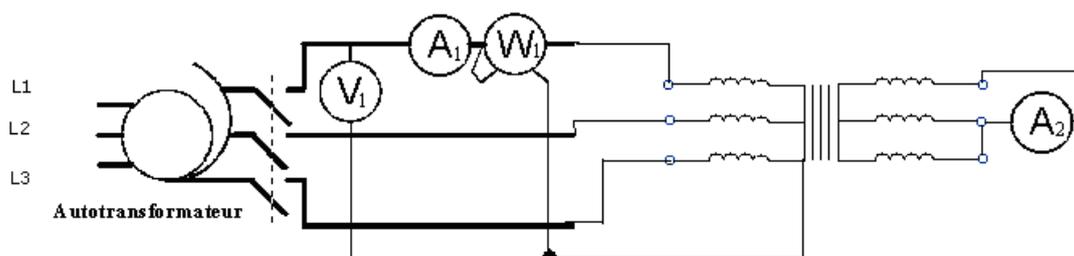
$$R_f = 3 \cdot V_{10}^2 / P_{10}$$

$$X_\mu = L_\mu \cdot \omega_s = 3V_{10}^2 / Q_{10}$$

Le rapport de transformation du transformateur est noté  $m = V_{20} / V_1$ .

### 2- Essai en court circuit:

Câbler le montage suivant:



L'essai se fait sous une tension  $V_1$  faible.

On mesure à  $f = f_n$ ,  $P_{1cc}$ ,  $V_{1cc}$  et  $I_{1cc} = I_{1n}$ .

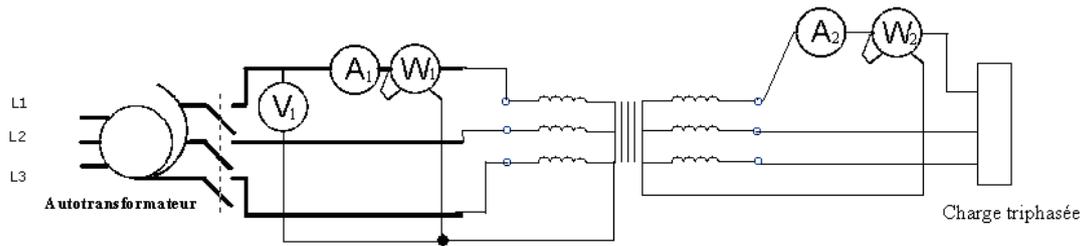
Comme  $V_{1cc}$  est très faible devant  $V_{1n}$ ,  $R_f$  et  $X_\mu$  ont un effet négligeable.

$$R = P_{1cc} / 3I_{1cc}^2$$

$$V_{1cc} / I_{1cc} = Z$$

**Essai en charge sous la tension nominale :**

Câbler le montage suivant:



Prendre  $I$  ou  $P_a$  comme variable de mesure. A charge croissante du point à vide au point nominal, remplir le tableau suivant:

$I_1$ (A)	$P_a$ (W)= $P_1$	$I_2$ (A)	$P_a$ (W)= $P_2$	$V_2$	$\Delta V_2$

**4- Questions:**

4-1- Remplir le tableau cité en haut.

4-2- Calculer les éléments du schéma équivalent par phase du transformateur.

4-3- Tracer les courbes suivantes:  $P_1 = f(I_1)$ ,  $P_2 = f(I_2)$ ,  $\Delta V_2 = f(I_2)$  et  $\eta \% = f(I_2)$ .

4- 4- Interpréter les résultats obtenus et conclure.

**Remarque: relever l'essai en charge pour différent type de charges.**

---

---

## T.PN°4:

### GENERATRICES A COURNT CONTINU

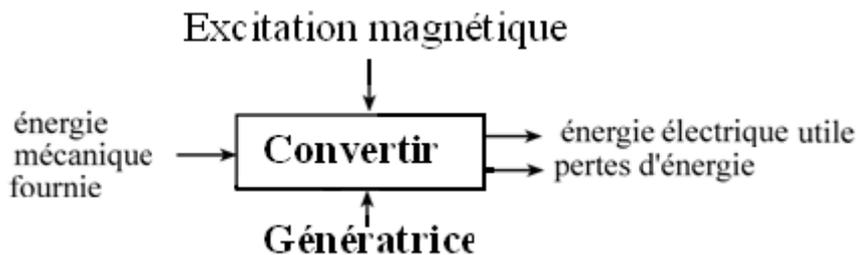
#### I-But:

- Relever les caractéristiques respectivement à vide et en charge de la génératrice à courant continu à excitation séparée ou indépendante ;
- Etudier la RMI d'une génératrice à courant continu à excitation séparée ou indépendante ;
- Voir l'amorçage des génératrices à courant continu à excitation shunt ;
- Relever la caractéristique en charge d'une génératrice à excitation shunt.

#### II-Rappel théorique :

##### II-1-Modélisation :

La Génératrice à courant continu permet de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique utile et ceci en présence d'une excitation magnétique .la figure suivante décrit la transformation réalisée par la génératrice à courant continu :



Le fonctionnement en génératrice à courant continu est contraire à celui du moteur à courant continu.

##### II-2-constitution :

La génératrice est une machine à courant continu ayant des enroulements d'excitation (parallèle ou shunt et série)et un induit.

Suivant le type d'excitation, on peut avoir :

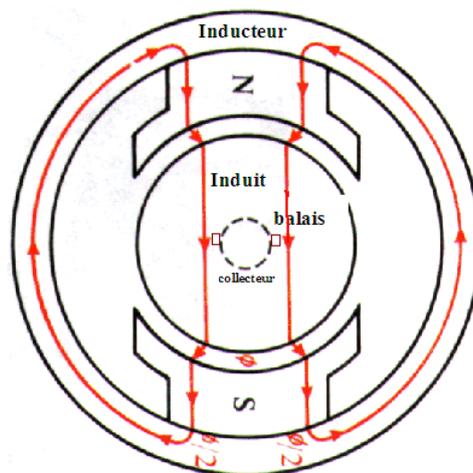
- Une génératrice à courant continu à excitation indépendante (ou séparé) ;
- Une génératrice à courant continu à excitation parallèle ou shunt ;
- Une génératrice à courant continu à excitation série ;

- Une génératrice à courant continu à excitation composée si on tient compte des des enroulements).
- Une génératrice à courant continu à excitation séparée ou indépendante est donc constituée des éléments suivants :
  - **Inducteur ou le stator ;**
  - **Induit ou le rotor ;**
  - **balais et collecteur**

L'inducteur est un circuit magnétique immobile sur lequel un enroulement est bobiné afin de produire un champ magnétique traversant le rotor. Aussi pour créer ce champ, l'inducteur peut-être constitué d'aimants permanents.

L'induit est un cylindre qui est formé par des tôles magnétiques isolés entre elles et perpendiculaire à l'axe du cylindre et qui contient le bobinage induit.

L'induit est mobile autour de son axe et est séparé de l'inducteur par un entrefer (voir figure suivante)



**Figure 1 : coupe transversale d'une génératrice à courant continu**

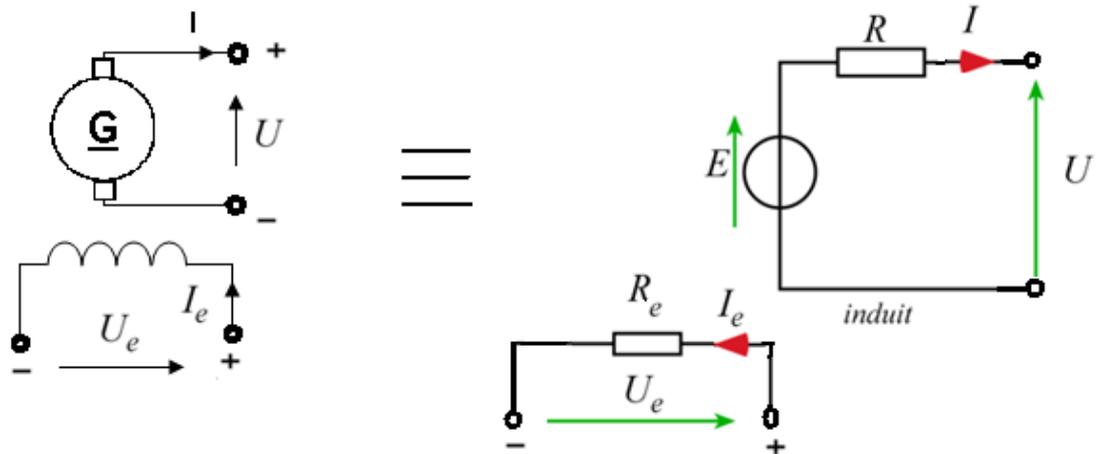
Le collecteur et les balais forment un redresseur mécanique des f.é.m. Induites du rotor.

La génératrice fonctionne d'après la loi de Faraday (un conducteur en mouvement placé dans une région où règne un champ magnétique est le siège d'une f.é.m. Induite).

## **II-2-Equation de fonctionnement :**

On se place dans le cas du fonctionnement en régime permanent établi (point de fonctionnement fixe caractérisé par une vitesse constante, un courant constant et une tension

constante). Le schéma électrique équivalent d'une génératrice à courant continu à excitation indépendante est le suivant :



Le fonctionnement est alors régi par les équations suivantes :

- $U = E_0$  à vide  
Avec  $E_0 = k \cdot N \cdot \Phi(I_e)$ ,  $N$  : vitesse de rotation de l'induit en tours/mn,  $\Phi(I_e)$  : flux sous un pôle inducteur et  $k$  : constante.
- $U = E_{ch} - RI$  en charge avec  $RI$  : chute de tension ohmique de l'induit,

$$E_{ch} = k \cdot N \cdot \Phi(I_e, I) = E_0 - \varepsilon(I)$$

$\varepsilon(I)$  : chute de tension due à la réaction magnétique de l'induit.

On rappelle qu'en charge, l'induit est le siège d'une part du champ inducteur créé par  $I_e$  et d'autre part du champ créé par le courant induit. C'est le phénomène de la réaction magnétique de l'induit notée RMI. Comme résultat de ce phénomène, le flux en charge diminue et favorise la création de la chute de tension  $\varepsilon(I)$ .

On pose  $h(I) = R \cdot I + \varepsilon(I)$  : réaction magnétique de l'induit totale.

- $U_e = R_e \cdot I_e$ .

### Questions :

- 1- représenter le bilan énergétique d'une génératrice à courant continu à excitation séparée et évaluer la formule du rendement.
- 2- Donner le schéma électrique équivalent d'une génératrice schunt puis celui d'une génératrice série.

- 3- Ecrire les équations de fonctionnement des deux génératrices respectivement schunt et série.
- 4- Etudier l'amorçage respectivement d'une génératrice schunt et d'une génératrice série.

### III-Etude pratique:

#### III-1-Génératrice à courant continu à excitation indépendante :

##### III-1-1-Caractéristique à vide :

- Cabler le schéma du montage de la figure suivante :

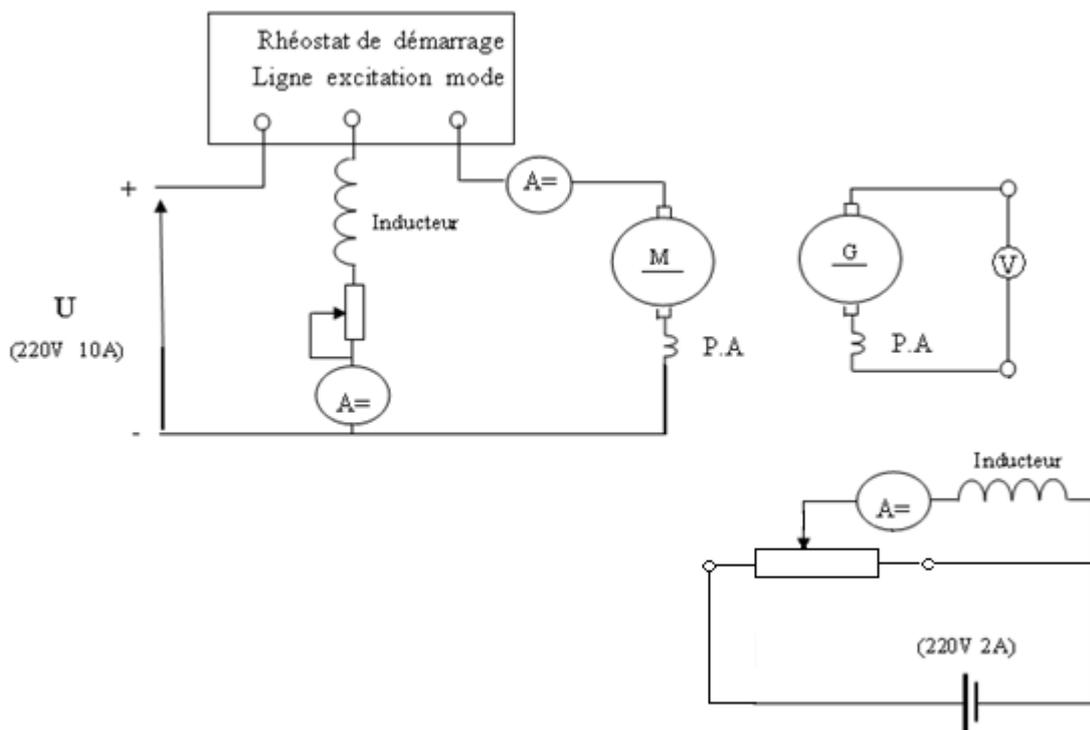


Figure n°1: montage électrique de l'essai à vide

- Remplir le tableau de valeurs suivant pour une vitesse constante ( $N = 1500$  tr/mn) :

<b>I<sub>e</sub>(A)</b>									
<b>E<sub>0</sub>(V)</b>									

##### III-1-2-Caractéristique en charge :

- Brancher une charge résistive en série avec un ampèremètre aux bornes de l'induit de la génératrice .
- Remplir le tableau suivant pour une vitesse constante ( $N = 1500$  tr/mn) et un courant d'excitation de la génératrice constant( $I_e$  nominal):

---



---

<b>U(V)</b>							
<b>I(A)</b>							
<b>R.I (V)</b>							
<b><math>\epsilon(I)</math></b>							
<b>h(I) (V)</b>							

La résistance R est à mesurer à chaud par un montage voltampèremétrique ou par un appareil multimètre.

**Tracage des caractéristiques:**

- Tracer la caractéristique à vide ;
- Tracer la caractéristique en charge  $U = f(I)$ ;
- Tracer la caractéristique  $\epsilon(I) = f(I)$  ;
- Tracer la caractéristique  $h(I) = f(I)$  ;
- Interpréter les résultats obtenus et tirer des conclusions.

**III-2- Génératrice à courant continu à excitation schunt:**

- Cabler le schéma du montage de la figure n°2 .
- Après avoir démarré le moteur d'entraînement et à vide ( interrupteur K ouvert), voir si la tension de la génératrice augmente lorsqu'on augmente le courant d'excitation. Si non faire les corrections nécessaires pour rendre la génératrice amorcée.
- Relever la caractéristique à vide et celle en charge.
- Tracer les caractéristiques suivantes :  $U = f(I)$ ;  $\epsilon(I) = f(I)$  et  $h(I) = f(I)$  .
- Interpréter les résultats obtenus et tirer des conclusions.

<b>Ie(A)</b>									
<b>E0(V)</b>									

<b>U(V)</b>							
<b>I(A)</b>							
<b>R.I (V)</b>							
<b><math>\epsilon(I)</math></b>							
<b>h(I) (V)</b>							

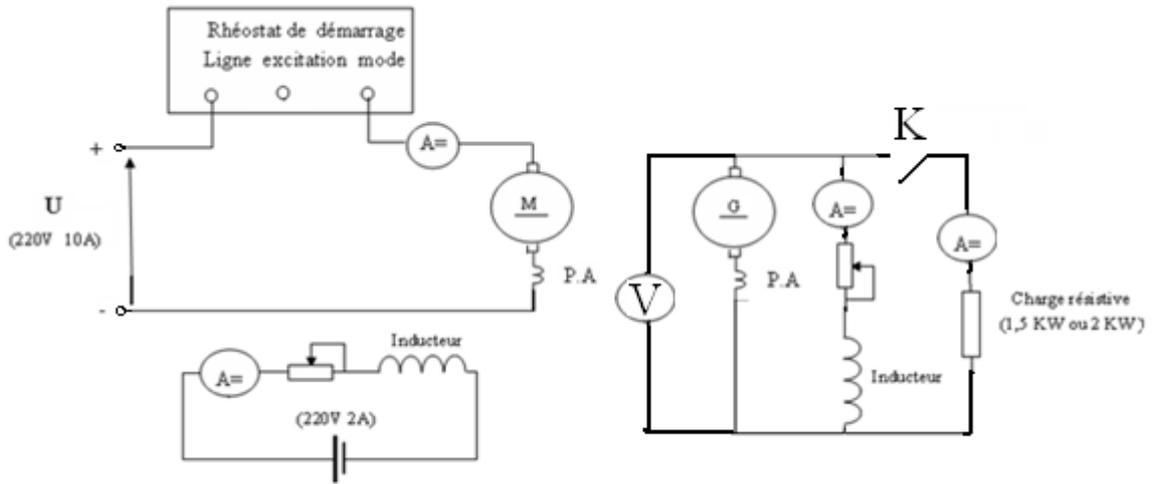


Figure n°2: montage électrique de l'essai en charge

---

---

## T.PN°5:

### MARCHE EN PARALLELE DE DEUX TRANSFORMATEURS

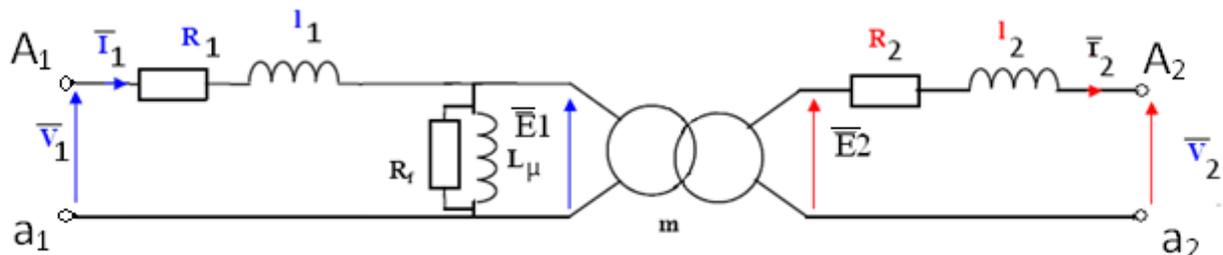
#### I- But :

- comprendre le fonctionnement en parallèle de deux transformateurs montés en parallèle ;
- être capable de mettre deux transformateurs monophasés en parallèle ;
- déterminer l'indice horaire d'un transformateur triphasé ;
- être capable de mettre deux transformateurs triphasés en parallèle ;

#### II- Rappel théorique :

##### II-1-Transformateurs monophasés:

Le schéma électrique équivalent d'un transformateur monophasé est le suivant :



Les deux bobines sont bobinées sur la même colonne.

Les f.é.m. induites ont les expressions suivantes :

$e_1 = -N_1 \cdot (d\Psi/dt)$  ,  $e_2 = -N_2 \cdot (d\Psi/dt)$  avec  $\Psi$  : flux commun utile par colonne .D'où on peut considérer que les f.é.m. sont en phase. L'objectif de coupler deux transformateurs monophasés en parallèle est d'augmenter la puissance à transférer vers la charge. Pour ce faire, on doit avoir deux transformateurs qui ont mêmes tensions primaires et mêmes tensions secondaires.

Les puissances apparentes peuvent être différentes (rapport de 3).

---

---

## II- Transformateurs triphasés :

### II-1-couplages des enroulements des transformateurs triphasés

L'association dans un même transformateur, d'une part au primaire, d'autre part au secondaire, de 2 modes de connexions constitue un couplage.

Le primaire du transformateur peut être couplé, par exemple, en étoile ou en triangle.

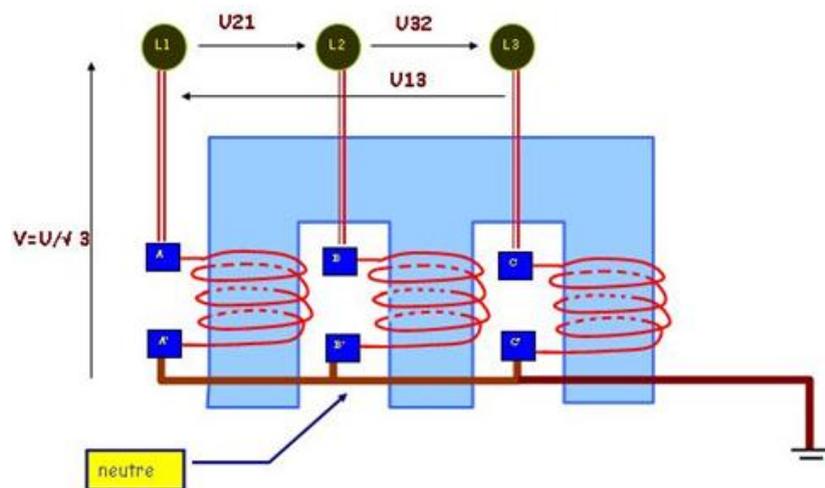
Le secondaire du transformateur peut être couplé, par exemple, en étoile ou en triangle.

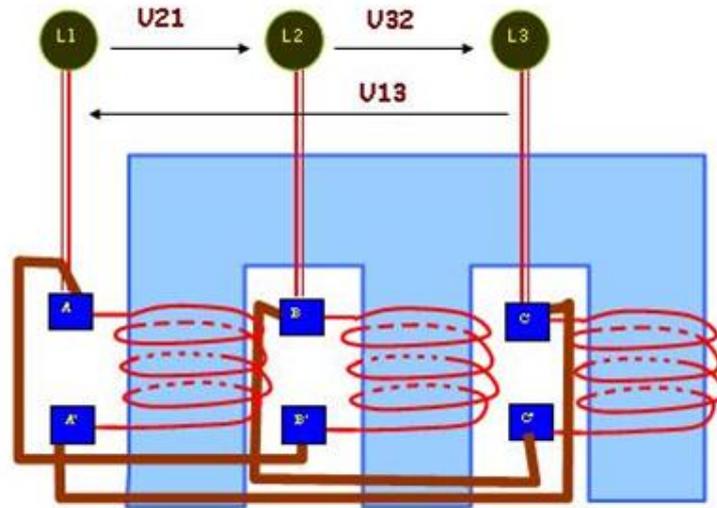
Le couplage étoile est défini par la lettre Y (coté primaire) et y (coté secondaire).

Le couplage triangle est défini par la lettre D ou  $\Delta$  (coté primaire) et d (coté secondaire).

On peut citer les couplages possibles suivants: Yy0, Dd0, Yd1, Dy1, Yd5, Dy5, Yd6, Dd6. les indices indiquent l'indices horaires(voir la suite).

Les deux figures suivantes présentent respectivement le couplage des enroulements en étoile puis en triangle :





## II-2-Indice de couplage :

### II-2-1-Définition :

C'est la caractéristique d'un transformateur triphase indiquant le type de couplage réalisé au primaire et au secondaire ainsi que le déphasage entre le système de tensions primaires et le système de tensions secondaires. Les systèmes triphasés de tension sont : « triangle » (D ou d) et « étoile » (Y ou y). La première lettre de l'indice de couplage est toujours en majuscule et indique le système triphasé à tension la plus élevée ; la deuxième lettre est en minuscule et indique le système à tension la plus basse. Dans le système « étoile », le « neutre » (point central de l'étoile) peut être sorti au bornier du transformateur : ceci est indiqué par la présence de la lettre N (ou n) dans l'indice de couplage. L'indice de couplage est complété par un « indice horaire » qui donne, par pas de  $30^\circ$ , le déphasage horaire en  $12^{\text{es}}$  de tour (comme sur une montre) entre le primaire et le secondaire du transformateur (ex. : 11 =  $11 \times 30^\circ = 330^\circ$  en sens horaire ou  $30^\circ$  en sens anti-horaire).

**Par exemple**, un indice de couplage « Dyn11 » définit donc un transformateur dont :

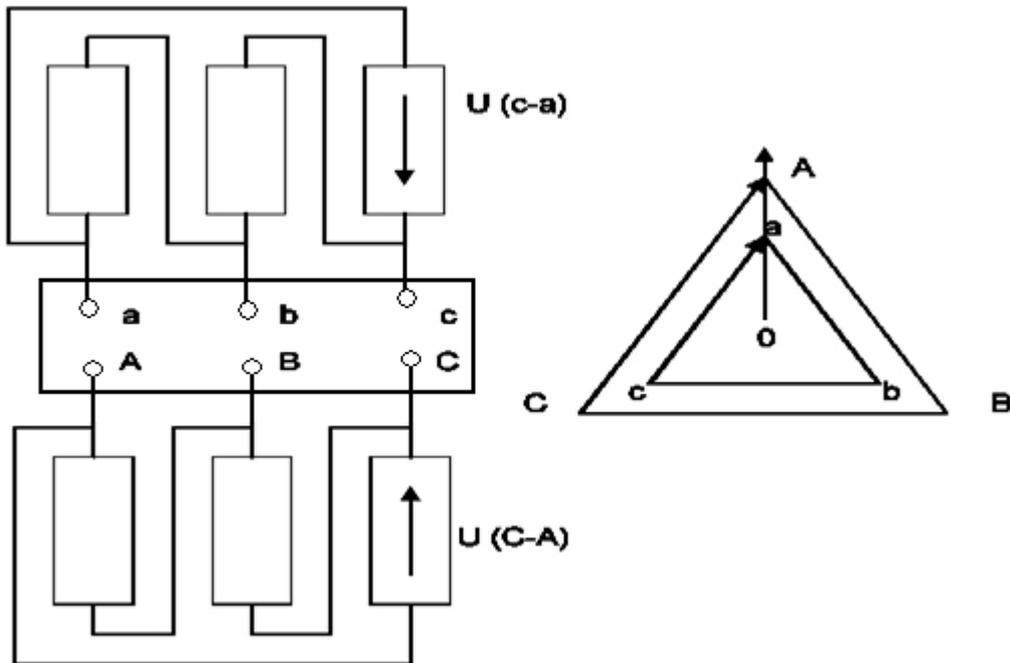
- le système triphasé de tension élevé est en « triangle » ;
- le système triphasé de tension basse est en « étoile » avec neutre sorti (indiqué par le « n ») ;
- le décalage entre les deux systèmes est de  $330^\circ$  (=  $-30^\circ$  ou bien  $11 \times 30^\circ$ ).

### II-2-2-Exemples :

### II-2-2-1-Exemple1 :

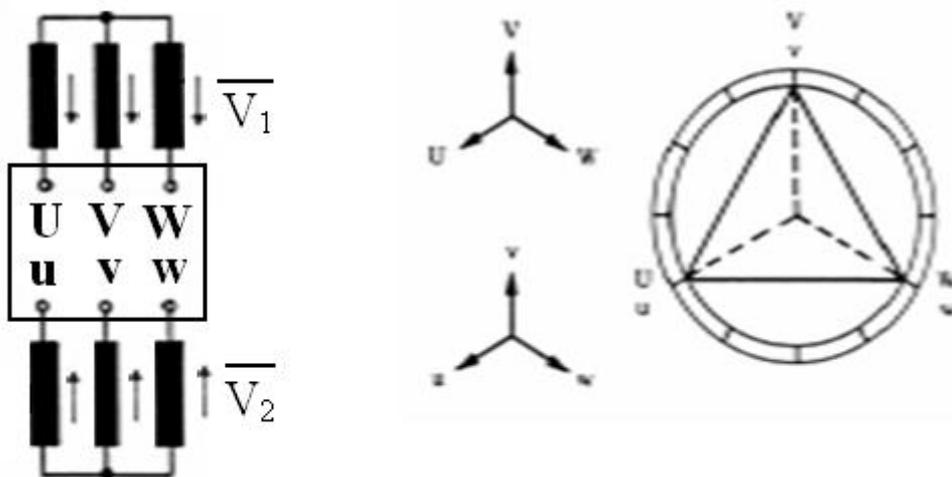
Le transformateur suivant est couplé en triangle coté primaire et coté secondaire ( $Dd_0$ ).

Les schémas sont représentés en admettant que les bobinages ont le même sens relatif de bobinage.



### II-2-2-2-Exemple2 :

Le transformateur suivant est couplé en étoile coté primaire et coté secondaire ( $Yy_0$ ):



### II-3-Détermination de l'indice horaire par la méthode des électriciens :

---

---

On considère un transformateur triphasé dont on détermine son indice horaire. on suit les étapes suivantes :

- on relie deux bornes homologues (A et a par exemple) ;
- on mesure  $U_{AB}$  ,  $U_{AC}$  et  $U_{BC}$  ;
- on construit le triangle (ABC) ;
- on relie une borne du voltmètre à la borne b et on mesure les tensions
- ( $U_{Ab}$  ,  $U_{Bb}$  ,  $U_{Cb}$ ) ;
- On trace le cercle de centre A ( a) et de rayon  $U_{Ab}$  ;
- On trace le cercle de centre A ( a) et de rayon  $U_{Cb}$  ;
- On trace le cercle de centre A ( a) et de rayon  $U_{Ab}$  ;
- On mesure l'angle entre les tensions étoilées (entre  $U_{ab}$  et  $U_{AB}$ ) ;
- On divise la valeur trouvée de l'angle par  $30^\circ$  pour obtenir l'indice horaire.

A, B et C sont les bornes du transformateur coté primaire liées au réseau d'alimentation tan dis que a, b et c sont bornes du transformateur coté secondaire à relier à la charge.

#### **II-4-Marche en parallele de deux transformateurs triphasés :**

Un fonctionnement correcte en parallele n'est possible que si les conditions suivantes sont satisfaites :

- même tension de ligne primaires et secondaires ( même rapport de transformation) ;
- même groupe hauraire(indices hauraires multiples de 4 ou multiples de 8 ou memes indices hauraires).

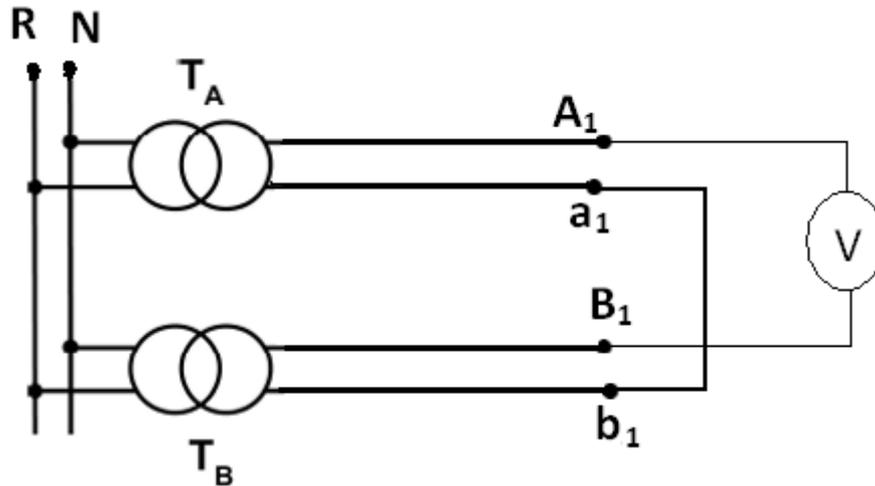
#### **Questions :**

- rappeler brièvement le schema équivalent d'un transformateur monophasé ramené coté secondaire ;
- rappeler brièvement le schema équivalent par phase d'un transformateur triphasé ramené coté secondaire ;
- exprimer le rendement d'un transformateur monophasé et celui d'un transformateur triphasé(exploiter les deux shémas équivalents) ;
- déterminer le shéma équivalent de deux transformateurs monophasés en parallele puis des deux transformateurs triphasés en parallele.

### III-ETUDE PRATIQUE :

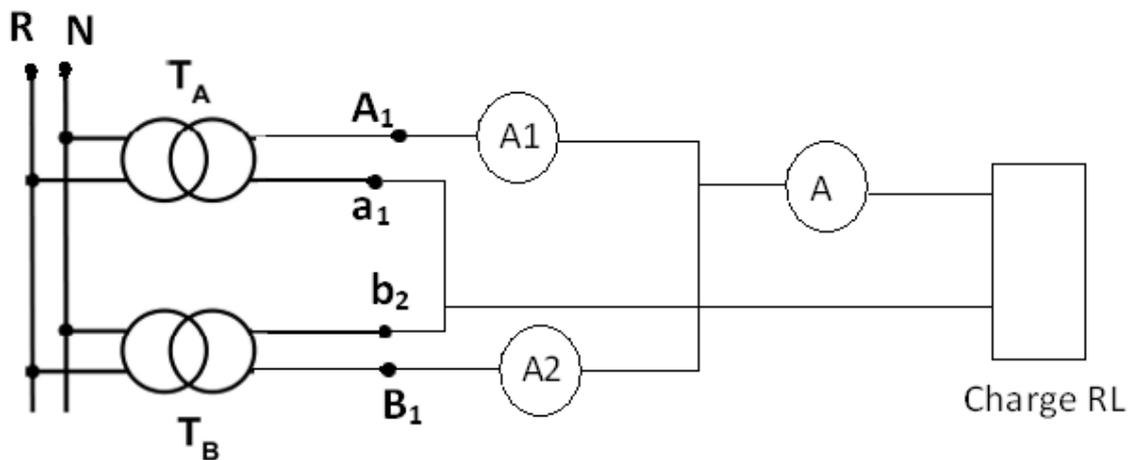
#### III-1-Couplage de deux transformateurs monophasés en parallèle :

- vérifier le rapport de transformation des deux transformateurs ( essai à vide);
- vérifier l'essai en court-circuit de chaque transformateur ;
- cabler le montage suivant :



A l'aide du voltmètre, vérifier que le voltmètre indique 0V. Si non brancher le voltmètre entre B1 et a1 pour avoir 0V alors que A1 sera reliée à b1 .

- passer au câblage du montage suivant :



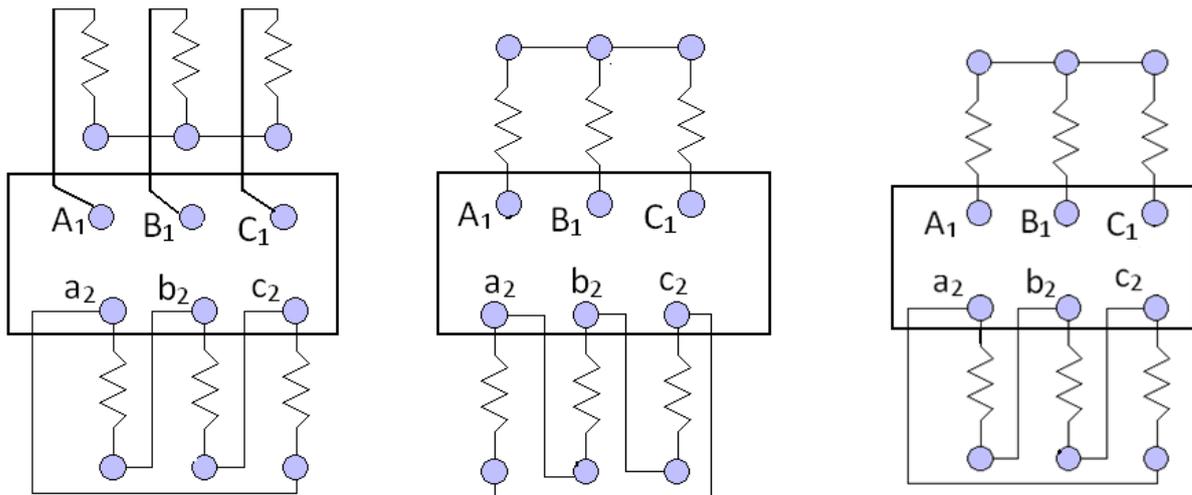
- remplir un tableau de valeurs des courants et interpréter le résultat.

I1(A)						
-------	--	--	--	--	--	--

I2(A)						
I(A)						

### III-2-Couplage de deux transformateurs triphasés en parallèle :

- Prendre un des trois schémas suivants (montage désigné par l'enseignant) :



- Déterminer l'indice horaire du transformateur triphasé par la méthode des électriciens.
- Déterminer l'indice horaire du transformateur triphasé par la méthode graphique citée en haut ( II-2).
- Monter en parallèle un autre transformateur de même indice horaire (suivre la méthode décrite dans le cas d'un transformateur monophasé).
- Faire un essai en charge et comparer les valeurs des courants.
- Interpréter les résultats obtenus et tirer une conclusion.