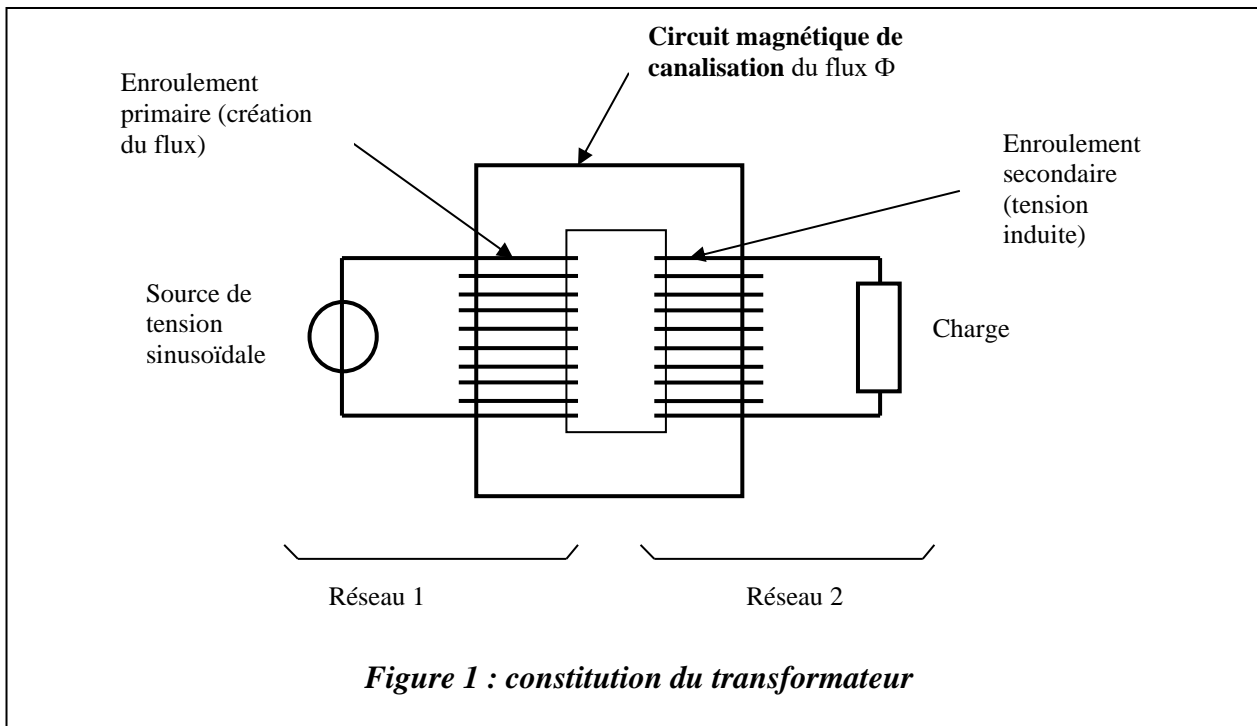


## TP N° 5 : Transformateur monophasé (partie I)

**I. But du TP :** Etude de la constitution et du fonctionnement d'un transformateur monophasé. Plus proche des considérations pratiques, ce TP traite des procédés expérimentaux de détermination des éléments du schéma équivalent par les essais à vide, en charge et en court-circuit et la détermination pratique des éléments d'exploitation du transformateur ( caractéristiques externes).

**II. Généralités :** le transformateur est une machine électrique statique permettant de transférer l'énergie électrique en adaptant les niveaux de tension (de nature sinusoïdale) et de courant entre deux réseaux de même fréquence. Il est constitué de deux parties électriques isolées, l'enroulement primaire et le secondaire, lié magnétiquement par un circuit magnétique (*Figure 1*). Pour des impératifs de fabrication et d'efficacité la réalisation pratique donne à ce dernier une autre forme : circuit magnétique cuirassé et bobinages concentriques.

Le premier enroulement fait d'un conducteur de diamètre plus grand que celui du conducteur utilisé pour le second enroulement.



Les transformateurs ont une large utilisation dans l'industrie, tel que :  
Pour les lignes de transport de l'énergie ; pour la soudure à l'arc électrique ou par point ; pour la brasure ;  
pour les tubes à néon ; pour les lampes baladeuses ; pour l'électronique faible et de puissance...etc.

### II-1 Notations et Symbolisation :

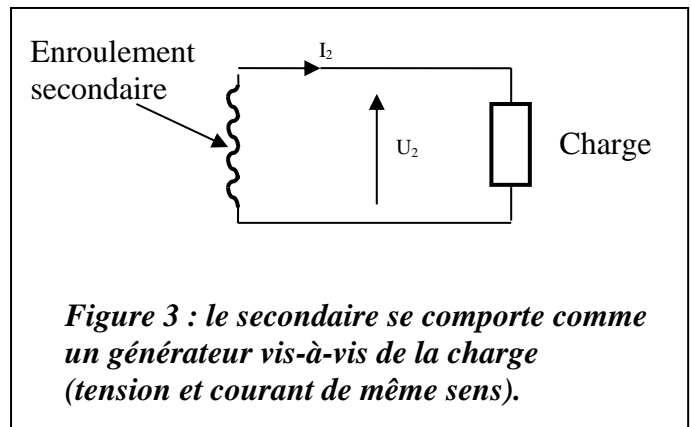
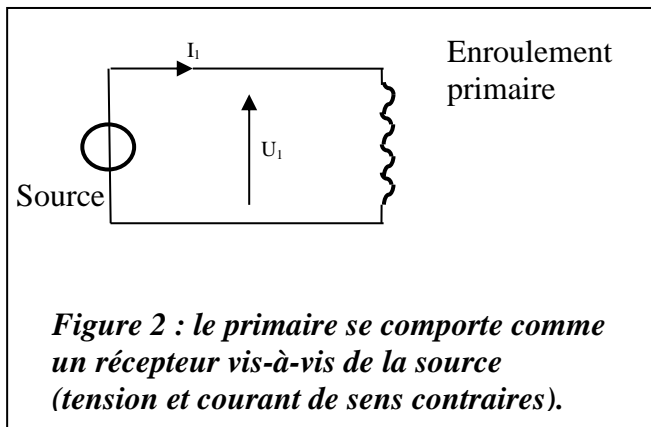
On adopte différentes notations suivants les parties du transformateur que l'on décrit :

Primaire : indice 1 ; secondaire : indice 2 ;

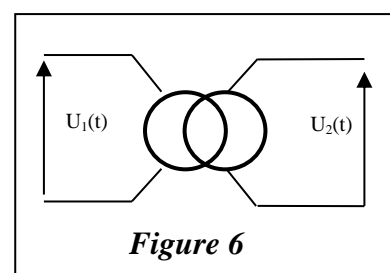
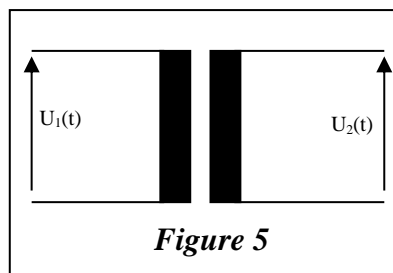
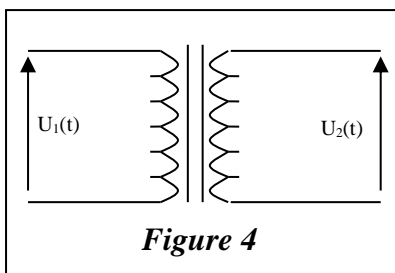
Grandeurs à vide : indice 0 ; grandeurs nominales : indice n ;

Grandeurs en court-circuit : indice cc.

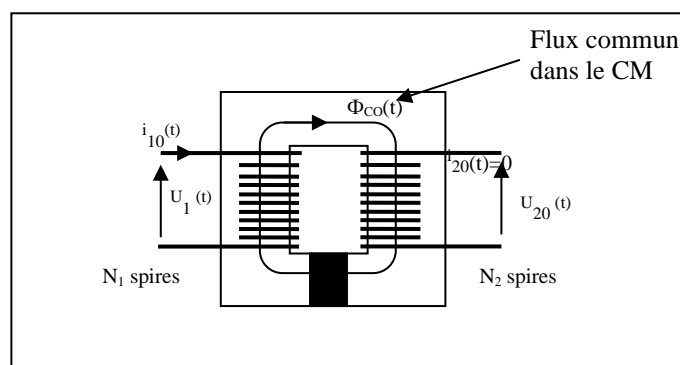
C'est le courant primaire qui impose le sens positif du flux dans le circuit magnétique.  
Le marquage des tensions et des courants traduit le sens de transfert de l'énergie.



Les figures suivantes représentent les symboles des transformateurs les plus souvent rencontrés :



**II-2 Fonctionnement à vide :** Le transformateur comporte deux enroulements de résistance  $r_1$  et  $r_2$  comportant  $N_1$  ou  $N_2$  spires (*Figure 7*). Le primaire reçoit la tension  $u_1(t)$  et absorbe le courant  $i_{10}(t)$ . Le secondaire délivre la tension  $u_{20}(t)$  et un courant  $i_{20}(t)$  nul puisqu'il est à vide. Le flux  $\Phi_1(t)$  créé par l'enroulement primaire se décompose en un flux de fuite au primaire  $\Phi_{f1}(t)$  auquel s'ajoute le flux commun  $\Phi_{CO}(t)$  dans le circuit magnétique.



*Figure 7 : Notations autour du transformateur à vide*

Equations des tensions :

Le comportement du primaire est le suivant :

$$u_1 = r_1 \cdot i_{10} + N_1 \cdot \frac{d\phi_1}{dt} = r_1 \cdot i_{10} + I_{f1} \cdot \frac{di_{10}}{dt} + N_1 \cdot \frac{d\phi_{co}}{dt}$$

Le schéma équivalent (figure 8) est identique à la différence de l'insertion d'un transformateur parfait (figure 9) en parallèle avec les éléments de magnétisation et des pertes fer

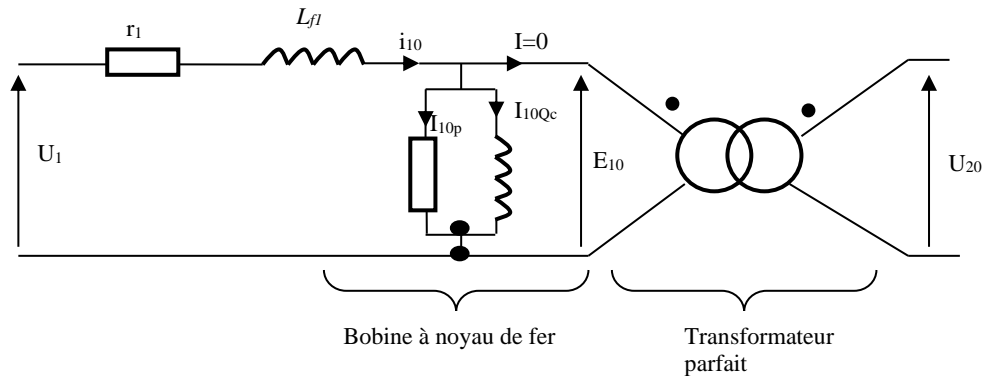
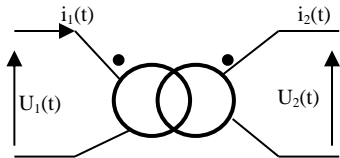


Figure 8 : schéma équivalent (c'est celui d'une bobine à noyau de fer).



$m = \frac{N_2}{N_1}$  est le rapport de transformation

Elimination du flux  $\Phi$  des lois de Faraday :

$$\frac{U_2(t)}{U_1(t)} = m$$

Le rendement est unitaire donc :  $P_1(t) = P_2(t)$ , en conséquence  $u_1(t)i_1(t) = u_2(t)i_2(t)$ ,

Soit  $\frac{U_2(t)}{U_1(t)} = \frac{i_1(t)}{i_2(t)} = m$  soit  $i_1(t) = m \cdot i_2(t)$

Figure 9 : définition et description d'un transformateur parfait

Puisque c'est un élément de transfert d'énergie, l'étude du transformateur nécessite d'effectuer un bilan des puissances mises en jeu dans le but de déterminer le rendement.

A vide, le transformateur absorbe une puissance active  $P_{10}$  et une puissance réactive  $Q_{10}$ . Pour effectuer le bilan des puissances, on utilise le théorème de Boucherot.

$$P_{10} = r_1 \cdot I_{10}^2 + \frac{E_{10}^2}{R_\mu}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1 \cdot I_{10}^2 : \text{Pertes Joules dans la résistance de l'enroulement primaire.} \\ \frac{E_{10}^2}{R_\mu} = R_\mu \cdot I_{10\mu}^2 : \text{Pertes fer dans le circuit magnétique.} \end{array} \right.$$

On peut aussi écrire :  $P_{10} = U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_{10}$  ; où  $\cos \varphi_{10}$  est le facteur de puissance à vide.

$$Q_{10} = L_{f1} \cdot \omega \cdot I_{10}^2 + \frac{E_{10}^2}{L_{\mu} \cdot \omega}$$

Avec :

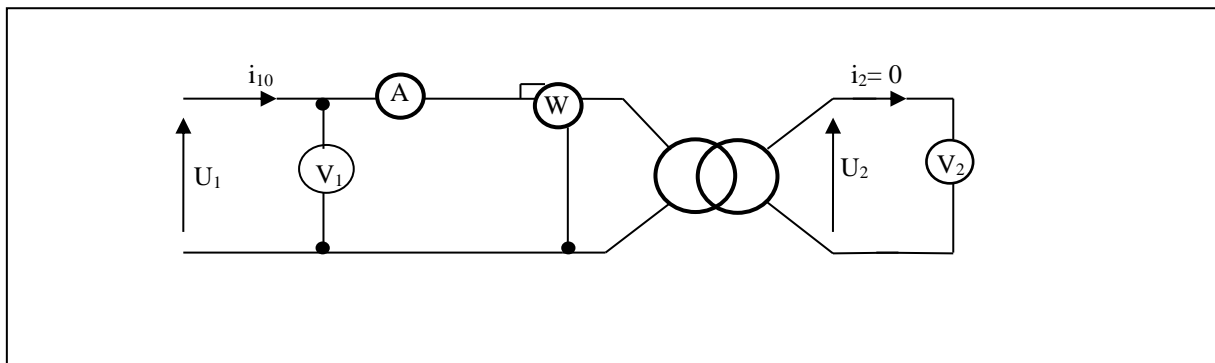
$$\left\{ \begin{array}{l} L_{f1} \cdot \omega \cdot I_{10}^2 : \text{Puissance réactive de fuite dans l'enroulement primaire.} \\ \frac{E_{10}^2}{L_{\mu} \cdot \omega} = L_{\mu} \cdot \omega \cdot I_{10Q}^2 : \text{Puissance magnétisante du circuit magnétique.} \end{array} \right.$$

On peut aussi écrire :  $Q_{10} = U_{10} \cdot I_{10} \cdot \sin \varphi_{10}$  .

### III. Partie pratique

#### III-1 Essai à vide :

Réaliser le schéma du montage suivant :



Lors d'un essai à vide, les courants et par conséquent les pertes Joule, sont faibles. On mesure les tensions primaire et secondaire à l'aide de voltmètres supposés parfaits (impédance infinie), le courant primaire (ampèremètre impédance nulle) et la puissance absorbé au primaire.

Détermination des pertes fer matérialisées par la  $R_{\mu}$  pour un transformateur réel :

$$P_{10} = P_{j10} + P_{fer}$$

- On a  $I_{10} \ll I_{1n}$  donc  $P_{j10} \ll P_n$  ;
- La fréquence  $f$  et la fem  $E_1 = U_1$  sont constantes donc l'induction  $B$  est constante.

(Formule de Boucherot :  $U_1 = 4.44.f.B.N_1.S$  ;  $S$  : section du circuit magnétique).

Par conséquent les pertes fer restent constantes et  $P_{j10} \ll P_{fer}$ .

- Donc :  $P_{10} \approx P_{fer}$  ;

$$P_{10} = \frac{U_1^2}{R_{\mu}} = P_{fer}$$

Quel que soit le modèle utilisé, les pertes mesurées à vide représentent les pertes fer du transformateur ( $P_{10} \approx P_{fer}$ ). Ces dernières ne dépendent que de la fréquence et de la tension primaire, constantes en utilisation industrielle.

3-2) Relever des résultats : Au cours de cet essai, le secondaire sera ouvert. A l'aide de l'alimentation variable varier progressivement  $U_{10}$  de  $U_{1min}$  jusqu'à  $U_{1max}$  .et relever pour chaque valeur de  $U_{10}$  les valeurs des paramètres  $I_{10}$ ,  $U_{20}$  et  $P_{10}$ .

On se place au régime nominal pour relever les grandeurs suivantes :

Tension primaire  $U_{10} = U_{1n}$  avec  $V_1$  ;

Tension secondaire  $U_{20} = U_2$  avec  $V_2$  ;

Courant primaire à vide  $I_{10}$  qui n'est autre que le courant magnétisant  $I_\mu$  avec A ;

La puissance primaire  $P_{10}$  avec W.

Remplir le tableau des valeurs suivant.

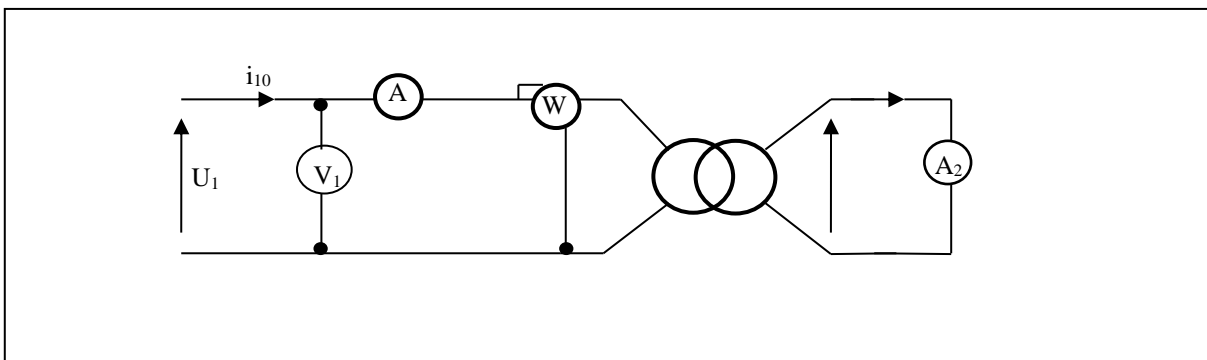
En déduire le rapport de transformation  $m_0$ . avec  $m_0 = U_{20}/U_{10}$

$U_{10}(V)$	$I_{10}(A)$	$U_{20}(V)$	$P_{10}(W)$	$P_{fer}(W)$	$m_0$
30					

Tracer le même graphe :  $U_{10} = f(I_{10})$  et  $P_{fer} = f(U_1)$ .

### III-2 Essai en cour circuit :

Réaliser le schéma du montage suivant



Dans un essai avec secondaire en court circuit, il faut limiter la tension primaire pour se placer au régime nominal de courant au secondaire. Dans ces conditions, les tensions sont faibles. Le secondaire est fermé sur un ampèremètre.

Pour amener le courant secondaire à la valeur nominale, la tension primaire est réglée avec un Autotransformateur. On mesure la tension primaire à l'aide d'un voltmètre supposé parfait (impédance infinie), les courants primaire et secondaire (ampèremètres d'impédance nulle) et la puissance absorbée au primaire (*figure 11*).

Pour un transformateur réel on a :  $P_{1cc} = r_1 \cdot I_{1cc}^2 + r_2 \cdot I_{2cc}^2 + P_{fercc}$

Or les pertes fer dépendent de la tension primaire qui est ici très faible : les pertes  $P_{fercc}$  sont négligeables devant les autres.

En conclusion :

$$P_{1cc} \approx r_1 \cdot I_{1cc}^2 + r_2 \cdot I_{2cc}^2 = r_1 \cdot I_{1n}^2 + r_2 \cdot I_{2n}^2 = P_{jn}$$

Puisque on se place au régime nominal de courant, les pertes mesurées en cour circuit sont les pertes Joule nominales, appelées aussi pertes cuivre car elles concernent uniquement la dissipation de puissance dans les conducteurs électriques.

- Relever des résultats : faire varier lentement la tension primaire  $U_{1cc}$  tout en tenant compte de  $I_{2cc}$  (courant de cour circuit).

On relève les grandeurs suivantes :

Tension primaire  $U_{1cc}$  avec  $V$ .

Courant primaire  $I_{1cc}$  avec  $A_1$ , essentiellement pour contrôler le courant dans le wattmètre et éviter de dépasser le calibre courant de cet appareil ;

Courant secondaire  $I_{2cc}$  avec  $A_2$ .

La puissance primaire  $P_{1cc}$  avec  $W$ .

Relever les valeurs de  $U_{1cc}$  ,  $I_{1cc}$  .

Remplir le tableau suivant :

$I_{2cc}(A)$	$I_{1cc}(A)$	$U_{1cc}(V)$	$P_{1cc}(W)$	$I_{1cc}/I_{2cc}$	$m$
0.5					
1.0					
1.5					
2.0					
2.4					

Tracer le graphe  $U_{1cc} = f(I_{2cc})$ . Pour  $\cos \varphi_2 = 1$

Calculer le rapport  $(I_{1cc}/I_{2cc})$  et le comparer à  $m_0$ .