

TRANSFORMATEUR



EL KACEM EL MOSTAFA

Transformateur monophasé (technologie)

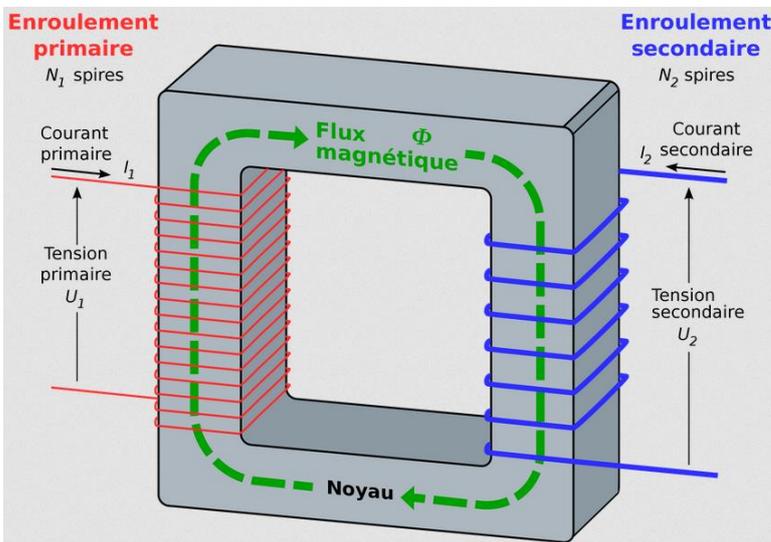
Définition :

Le transformateur est un convertisseur statique d'énergie électrique réversible.

Il fonctionne uniquement en courant alternatif, il permet d'adapter les valeurs de la tension (ou du courant) d'alimentation au récepteur.

Le rôle d'un transformateur est en général, de modifier la valeur efficace d'une tension sans changer ni la forme (sinusoïdale), ni la fréquence.

Présentation du transformateur :



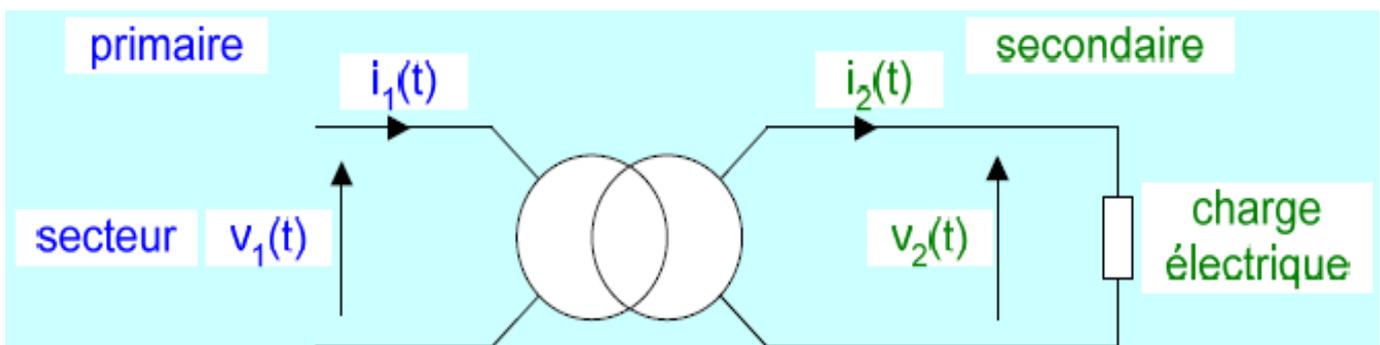
Symbole



Un transformateur est constitué d'un circuit magnétique sur lequel sont disposés deux bobinages en cuivre : le primaire et le secondaire.

L'enroulement primaire est branché à une source de tension sinusoïdale alternative.

L'enroulement secondaire alimente une charge électrique.



Les différentes sortes de transformateurs :

Selon le domaine d'utilisation les transformateurs peuvent être :

- Transformateurs de puissance utilisés dans les systèmes de production et de distribution de l'énergie électrique ;
- Autotransformateurs, dans lesquels l'enroulement secondaire n'existe pas. Il est remplacé par une portion d'enroulement primaire ;
- Transformateurs de mesure : ils sont destinés à réduire la tension ou le courant pour effectuer des mesures en sécurité ;
- Transformateurs spéciaux : de soudure, pour tubes luminescents, pour four à induction (haute et basse fréquences), etc.

Etant donné que les transformateurs de puissance sont les plus utilisés, ils seront étudiés plus précisément.

Constitution :

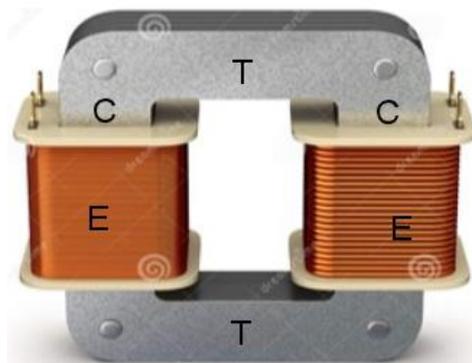
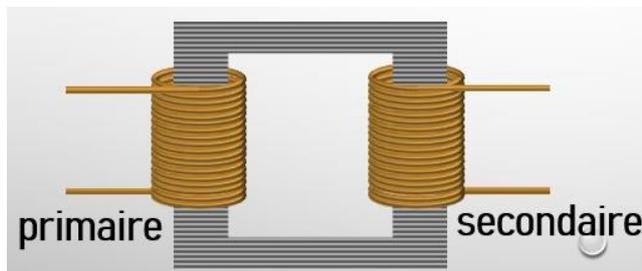
Un transformateur est composé principalement de :

- + un circuit magnétique ;
- + Un circuit électrique constitué de deux enroulements non liés électriquement mais enlaçant ce même circuit magnétique et ayant le même flux magnétique
- + Un circuit mécanique composé d'organes mécaniques.

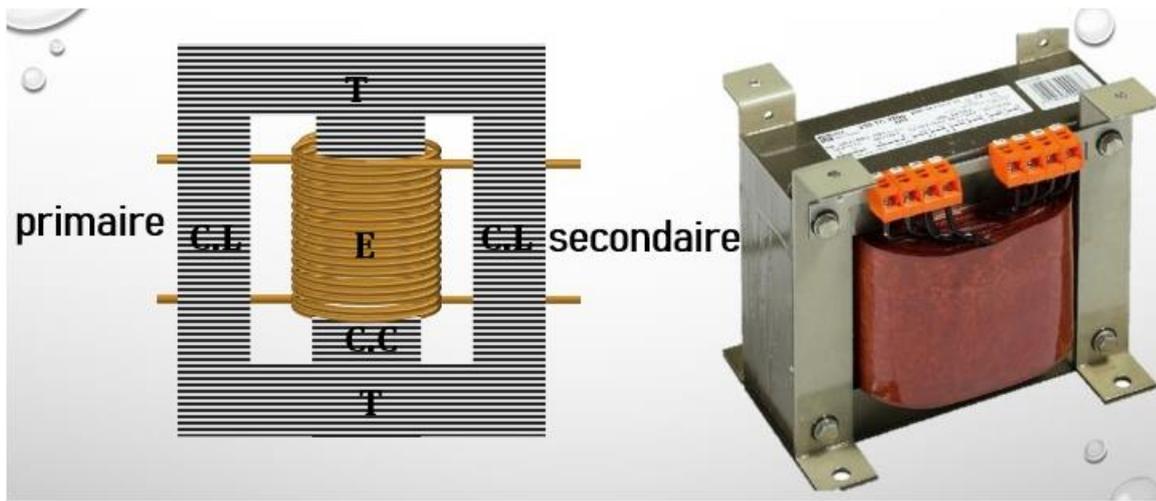
a) circuit magnétique

Le circuit magnétique se présente sous l'une des deux formes suivantes :

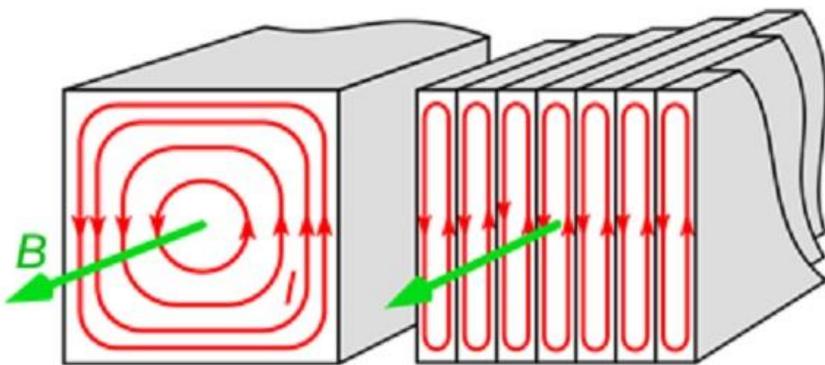
- + Transformateur à colonnes ou classique : avec deux noyaux (colonnes C) reliés par deux culasses (traverses T), les enroulements (E) étant repartis par moitié sur les deux noyaux



- + Transformateur cuirassés : avec un seul noyau central qui porte la totalité des enroulements (E). Le flux se renferme par intermédiaire des colonnes latérales (CL) de section plus faible.



Le circuit magnétique est le siège d'un champ magnétique sinusoïdal ce qui entraîne des pertes magnétiques (exprimées en watts).



Pour réduire les **pertes par courants de Foucault**, les noyaux et les culasses sont feuilletés, c'est-à-dire réalisés par des empilages de tôles minces (de 0,3 à 0,5 mm) isolées les unes des autres par un vernis ou une oxydation superficielles. De plus ces tôles sont constituées d'acier au silicium, généralement à cristaux orientés pour réduire les **pertes par hystérésis**

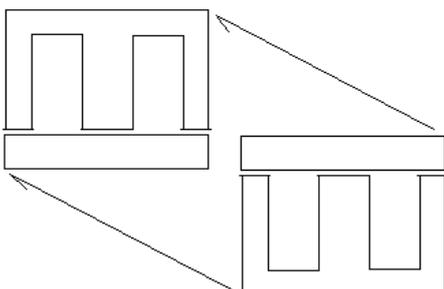
Le transformateur est d'autant plus performant que les entrefers (inutiles mais inévitables) entre les traverses et les colonnes sont plus réduits.



Couche 1



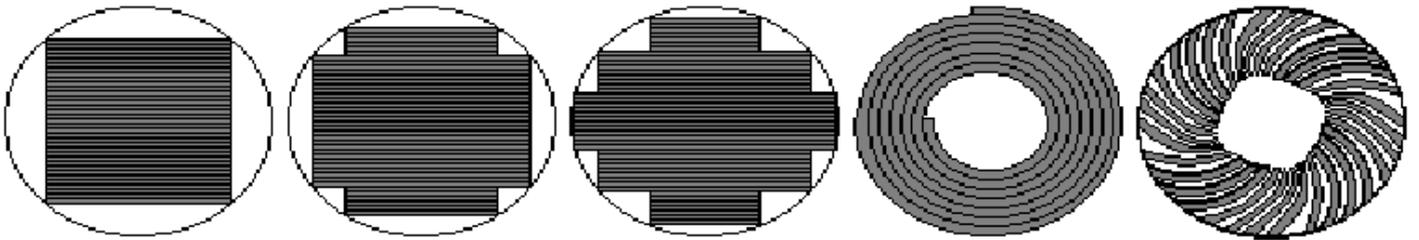
Couche 2



b) circuit électrique

Les bobinages primaire et secondaire sont montés sur Le noyau (colonne), ils sont presque circulaires de façon à mieux résister aux efforts électrodynamiques créés par les courants.

Section des colonnes



Section carré

section à un gradin

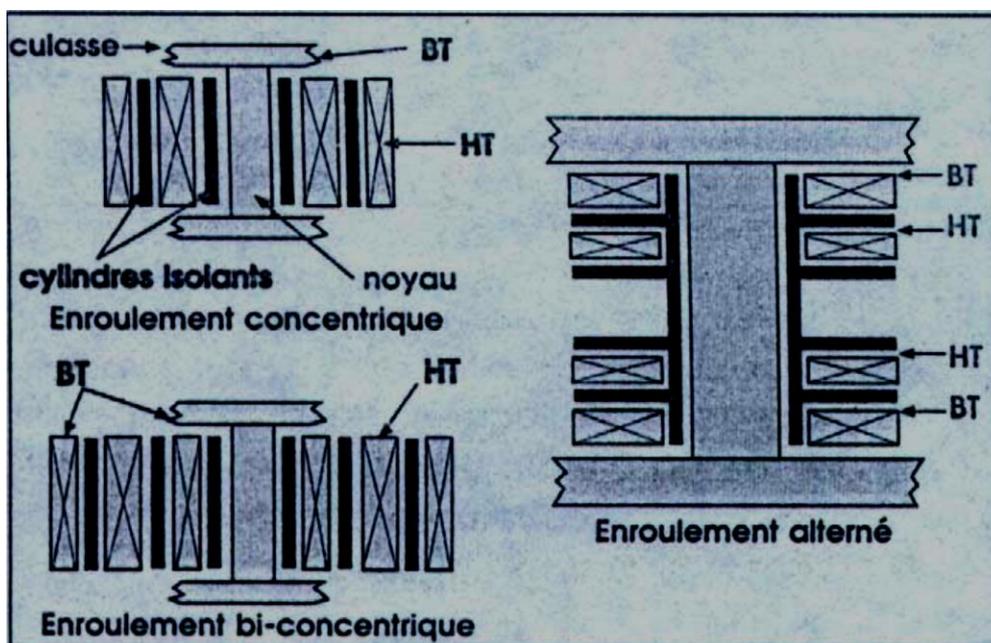
section à deux gradins

circuit enroulé

tôles en développante

Généralement il y a trois types d'enroulements qui sont retenus :

- **Enroulement concentrique**, dans lequel le circuit basse tension est disposé contre le fer du noyau ; ce type d'enroulement convient pour des gammes de puissance relativement faibles, quelque centaines de KVA ;
- **Enroulement bi-concentrique**, dans lequel le circuit haut tension est disposé entre deux bobines basses tension ;
- **Enroulement alterné en galette**, où les bobinages hauts et basse tension sont réalisés sous forme de galettes disposées alternativement.



b) circuit mécanique

Il a pour rôle :

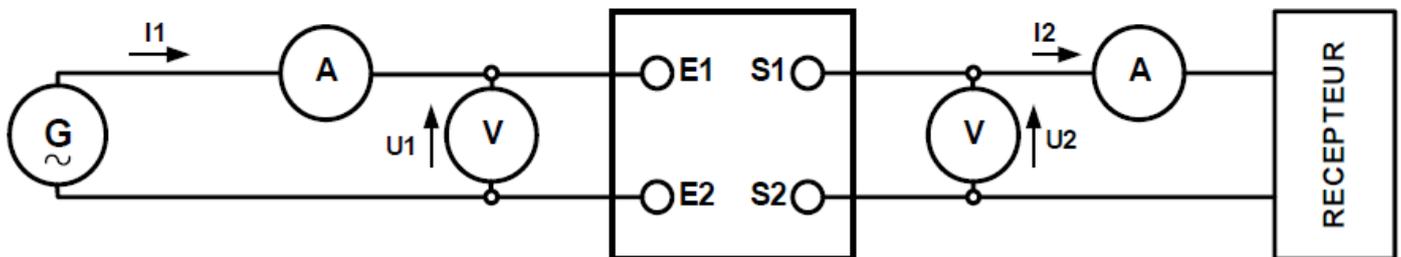
- de protéger les deux circuits précédents électrique et magnétique.
- De supporter les bornes de connexion
- De supporter l'élément de fixation

Transformateur monophasé (Etude et analyse)

Le transformateur reçoit de la puissance, entre ses bornes d'entrée, de la part du générateur qui l'alimente. C'est le côté primaire de l'appareil. Il restitue presque la totalité de cette puissance au récepteur (dit charge du transformateur) branché entre ses bornes de sortie. C'est le côté secondaire. Autrement dit, son rendement est excellent.

Si I_1 et I_2 sont des valeurs efficaces des courants sinusoïdaux circulant, d'une part entre E_1 et E_2 et d'autre part entre S_1 et S_2 , on a sensiblement :

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$



Les types de transformateurs :

Si $U_1 > U_2 \Rightarrow I_1 < I_2$, le transformateur est alors : abaisseur de tension, éleveur de courant.

Si $U_1 < U_2 \Rightarrow I_1 > I_2$, le transformateur est alors : éleveur de tension, abaisseur de courant.

Si $U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 = I_2$, le transformateur est alors : isolateur (isolation galvanique).

Plaque signalétique d'un transformateur monophasé :

Comme tout appareil électrique, chaque transformateur est spécialement calculé pour fonctionner :

- sous une tension primaire U_{1n} ,
- en absorbant un courant voisin d'une valeur I_{1n} .

Les valeurs U_{1n} et I_{1n} sont appelées les valeurs nominales et leur produit $S_n = U_{1n} \cdot I_{1n}$ est la puissance apparente nominale de l'appareil égale aussi à $S_n = U_{2n} \cdot I_{2n}$.

La plaque signalétique, fixée sur le transformateur, indique, les valeurs de S_n , U_{1n} et U_{2n}

Transformateur monophasé parfait

Pour faire une simplification d'étude en premier lieu on étudie le transformateur comme parfait qui ne présente aucune perte (pertes magnétiques et joules sont nulles).

- Circuit magnétique fermé de perméabilité infinie (pas de fuites de flux magnétique et pas de pertes de fer).

- Enroulements primaire et secondaire de résistance nulle (pas de pertes par effet joule dans les enroulements).

-1- Le rapport de transformation du transformateur

Sans charge :

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

Avec charge branchée :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

-2- Formule de Boucherot :

$$U = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$$

$$\Phi = B \cdot S \quad \Phi : \text{flux magnétique en weber (Wb)}$$

U : tension en volt (V)

f : Fréquence du réseau d'alimentation en Hertz (Hz)

N : nombre de spires

B_{max} : induction maximale en tesla (T)

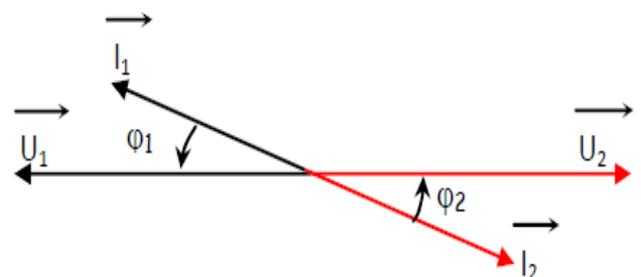
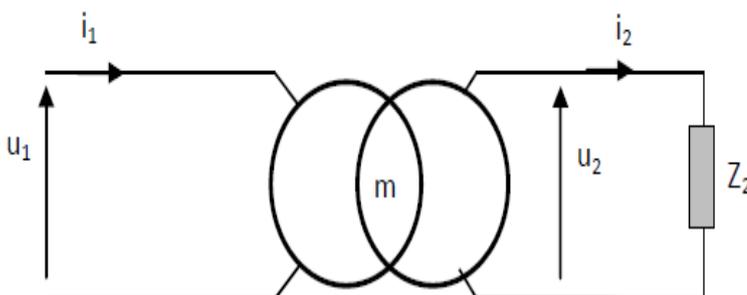
S : surface du circuit magnétique en mètre carré (m^2)

$$U_1 = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$$

$$U_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$$

-3- Schéma électrique équivalent et diagramme de Fresnel :

Un transformateur parfait est alimenté au primaire par une tension sinusoïdale u_1 . Il alimente une charge, telle que le courant i_2 présente un déphasage d'un angle φ_2 avec la tension u_2 .



L'intensité du courant I_2 dépend de la charge appliquée au secondaire, il en est de même pour le facteur de puissance $\cos \varphi_2$. Ces deux grandeurs imposent l'intensité du courant I_1 appelé au primaire, ainsi que le facteur de puissance du primaire, sachant que $\varphi_1 = \varphi_2$.

-4- Puissance et rendement : (transformateur parfait)

Bilan des puissances : $P_1 = P_2$, $Q_1 = Q_2$ et $S_1 = S_2$

- P (en watt) $U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$ (W)

- Q (en volt ampère réactive, var) $U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$ (var)

- S (en Volt Ampère) $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ (VA)

Soit le rendement est : $\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1$ $\eta = 100\%$ car il n'y a aucune perte (parfait)

Exercices transformateur monophasé parfait

Exercice 1

Le rapport de transformation d'un transformateur parfait est égal à 0,127.

- 1) Calculer la valeur efficace de la tension secondaire lorsque $U_1 = 220$ V.
- 2) L'enroulement secondaire comporte 30 spires, quel est le nombre de spire au primaire.
- 3) En charge, le primaire absorbe une intensité efficace de 0,5 A. calculer la valeur efficace du courant au secondaire.

Exercice 2 :

La mesure des valeurs efficaces des tensions primaire et secondaire d'un transformateur parfait a donné : $U_1 = 230$ V, $U_2 = 24$ V

1) Calculer :

- le rapport de transformation
- le nombre de spires au secondaire si $N_1 = 1030$ spires.

2) Le secondaire débite 2,5 A dans une charge inductive de facteur de puissance égal à 0,8.

Calculer

l'intensité efficace I_1 et les différentes puissances du primaire P_1 , Q_1 , et S_1 .

Exercice 3 :

On veut utiliser un petit outillage prévu pour être alimenté par une tension monophasée 127 V- 50 Hz. La plaque signalétique porte les indications 200 W - $\cos \varphi = 0,7$.

Le réseau dont on dispose fournit une tension $U_1 = 220$ V et de fréquence 50 Hz.

On se propose d'acheter un transformateur pour alimenter cet appareil, on a le choix entre ces transformateurs : **T1 (220 V/127 V, 100 VA)** et **T2 (220 V/127 V 330 VA)**

1) Lequel faut-il prendre ? Justifier.

2) L'appareil est alimenté par le transformateur choisi supposé parfait. Il consomme 200 W avec un facteur de puissance de 0,7. Calculer I_2 et I_1 .

Exercice 4 :

La puissance apparente d'un transformateur parfait en charge est de 3 k VA ;

- a – Quelle est la puissance active fournie par le secondaire si la charge est :

- purement résistive

- inductive avec un facteur de puissance de 0.8

- b – Les mesures de l'intensité fournie par le secondaire et de la tension aux bornes de l'enroulement du primaire ont donné : $I_2 = 27.3$ A et $U_1 = 220$ V avec une charge résistive :

- 1 – Quel est le rapport de transformation ?

- 2 – Quelle serait l'intensité du courant débité par le secondaire si la charge était inductive ($\cos \varphi = 0.8$) et si la tension du primaire était de 210 V avec $P_2 = 2.4$ kW.

Exercice 5 :

Un transformateur parfait, branché sur le réseau 15 kV-50 Hz, fournit au secondaire une tension $U_2 = 220$ V. Son circuit magnétique a une section utile $s = 0.02$ m² ; la valeur maximale du champ magnétique dans le fer est $B_{\max} = 1$ T.

- a – Quels sont les nombres de spires des deux enroulements.

- b – Quelle est la valeur efficace de l'intensité du courant traversant le primaire lorsque le secondaire débite un courant d'intensité efficace de 200 A.

- c – Le débit précédent se faisant sur charge inductive, avec un $\cos \phi$ de 0.93, quelles sont les différentes puissances au primaire et au secondaire ?

Exercice 6 :

La plaque signalétique d'un transformateur monophasé parfait porte les indications suivantes :

$$U_{1n} = 220 \text{ V} ; U_2 = 24 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; S_n = 60 \text{ VA}$$

La section utile du circuit magnétique est 2 cm x 3 cm. Sachant que le champ magnétique a une amplitude de 1,6 T, calculez :

- Le nombre de spires de chacun des enroulements (la tension secondaire correspondante à U_{1n} étant de 24 V) ;
- La valeur nominale du courant primaire et le courant secondaire correspondant ;
- Les puissances active et réactive absorbées par le primaire lorsque le secondaire débite dans un récepteur inductif dont le courant $I_2 = 2 \text{ A}$ et le facteur de puissance est $\cos \phi = 0,8$.

Transformateur monophasé réel :

Au contraire du transformateur parfait où on considère que les pertes sont nulles (ce qui est illogique), un transformateur réel présente deux types de pertes :

- Les pertes joules dues aux résistances des enroulements primaires et secondaires R_1 et R_2 lorsqu'ils sont traversés par les courants I_1 et I_2 .
- Les pertes magnétiques dues aux pertes par hystérésis et courant de Foucault.

-1- Le rapport de transformation du transformateur

- Sans charge ou à vide :

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

U_{20} : tension secondaire à vide où $I_2=0$

- Avec charge branchée ou en charge :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

U_2 : tension secondaire en charge où $I_2 \neq 0$

-2- Puissance apparente d'un transformateur monophasé :

$$S_n = U_{1n} \cdot I_{1n} = U_2 \cdot I_2$$

$$\text{Autrement : } S = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

-3- Formule de Boucherot :

$U = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$

$\Phi = B \cdot S$ Φ : flux magnétique en weber (Wb)

U : tension en volt (V)

f : Fréquence du réseau d'alimentation en Hertz (Hz)

N : nombre de spires

B_{max} : induction maximale en tesla (T)

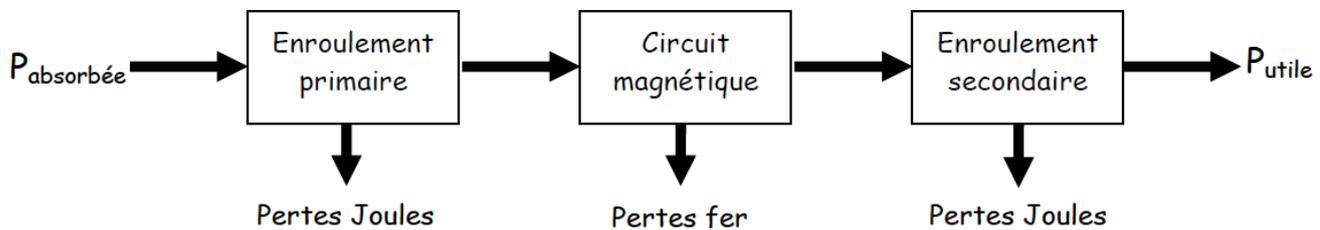
S : surface du circuit magnétique en mètre carré (m²)

$U_1 = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$

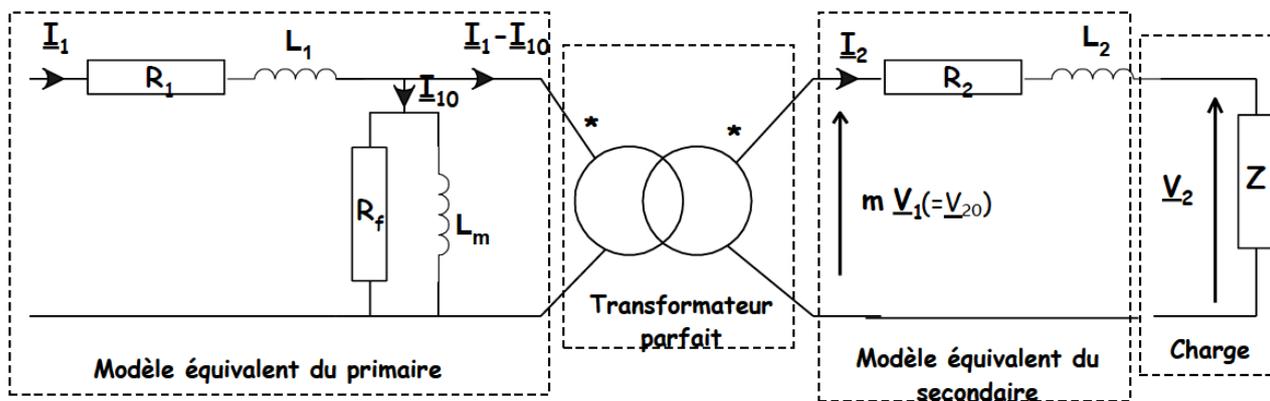
$U_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$

-4- Le modèle équivalent d'un transformateur réel :

Du point de vue de transfert de puissance, le transformateur peut-être modélisé de la manière suivante :



Puissance absorbée : P1, Puissance utile : P2

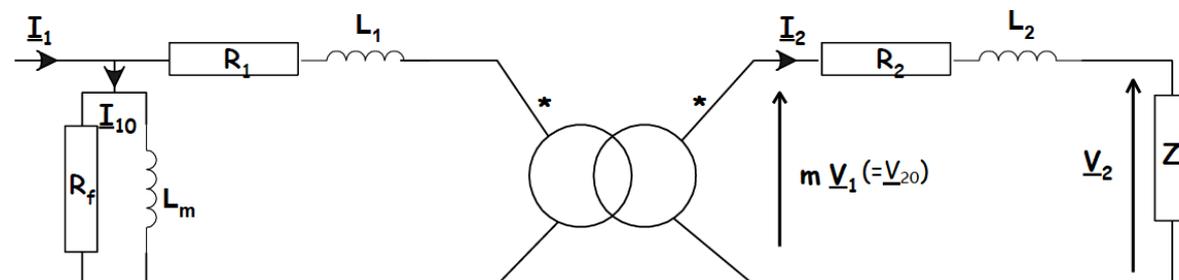


-5- Hypothèse de Kapp : Pour simplifier l'étude

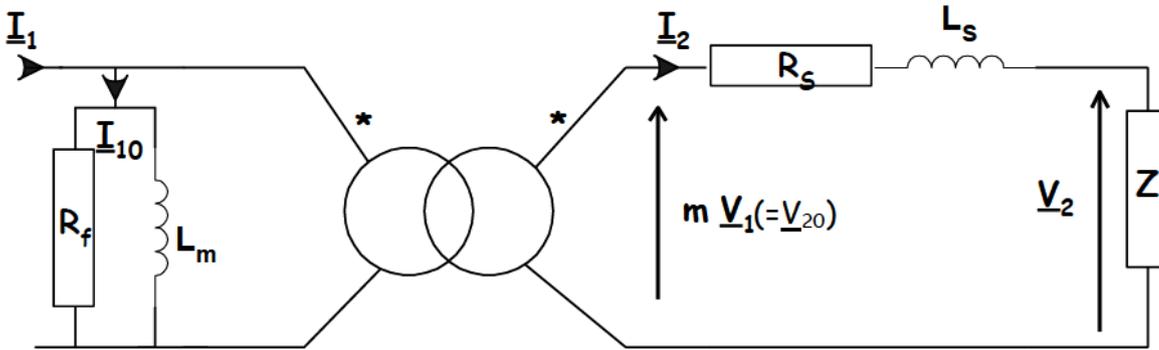
1- Comme le courant à vide I₁₀ est très faible devant I₁ en charge I₁ >> I₁₀.

on peut mettre l'impédance magnétisante (R_f et L_f en amont de R₁ et L₁)

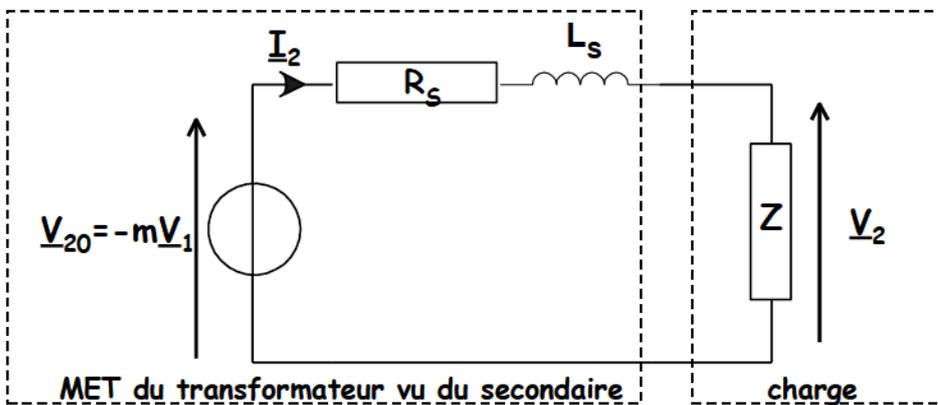
NB : On note R_f ou R_m et aussi L_f ou L_m



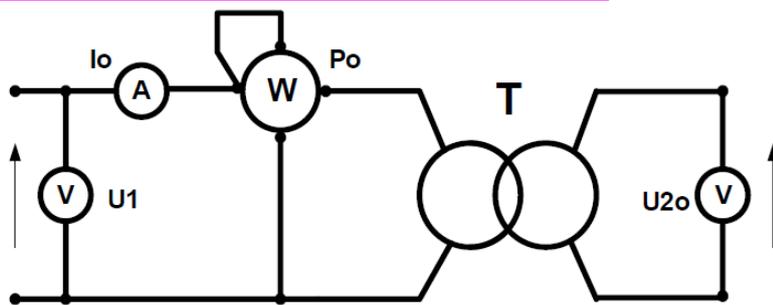
- 2- On peut alors ramener R_1 et L_1 au secondaire. Celles-ci deviennent m^2R_1 et m^2L_1 .
 La résistance totale R_S ramenée au secondaire a pour expression $R_S=R_2+m^2R_1$.
 L'inductance de fuite totale ramenée au secondaire a pour expression $L_S=L_2+m^2L_1$.
 Le modèle équivalent du transformateur réel éléments ramenés au secondaire est donc :



- 3- L'étude du transformateur vis-à-vis de la charge sera vue du secondaire comme un générateur de Thévenin de tension $E_{th}= U_{20}$ et résistance de Thévenin $R_{th}=Z_s= R_S+jX_Ls$



a) Fonctionnement à vide ou essai à vide :

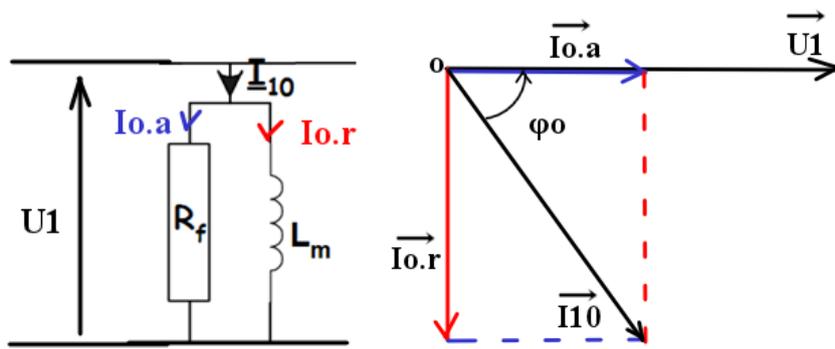


A l'aide du montage suivant on mesure les valeurs :

- ✓ La puissance absorbée P_0 ou P_{10} ;
- ✓ Le courant primaire I_0 ou I_{10} ;
- ✓ La tension secondaire U_{20} .

Cet essai permet de déterminer :

- Le rapport de transformation $m = \frac{U_{20}}{U_1}$
- L'impédance magnétisante



$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{o.a}}{I_{10}}$$

- R_f ou R_m : correspond à la composante active $I_{o.a}$

$$P_{10} = U_1 \cdot I_{10} \cdot \cos\varphi_0$$

$$P_{10} = U_1 \cdot I_{o.a}$$

$$R_f = \frac{U_1^2}{P_{10}}$$

- L_f ou L_m : correspond à la composante réactive $I_{o.r}$

$$Q_{10} = U_1 \cdot I_{10} \cdot \sin\varphi_0$$

$$Q_{10} = U_1 \cdot I_{o.r}$$

$$X.L_m = \frac{U_1^2}{Q_{10}}$$

- Les pertes magnétiques ou pertes fer (P_{mag} ou P_{fer})

Pour les faibles $P_{10} = P_{fer} + P_{j10}$ primaire

$$P_{j10} = R_1 \cdot I_{10}^2$$

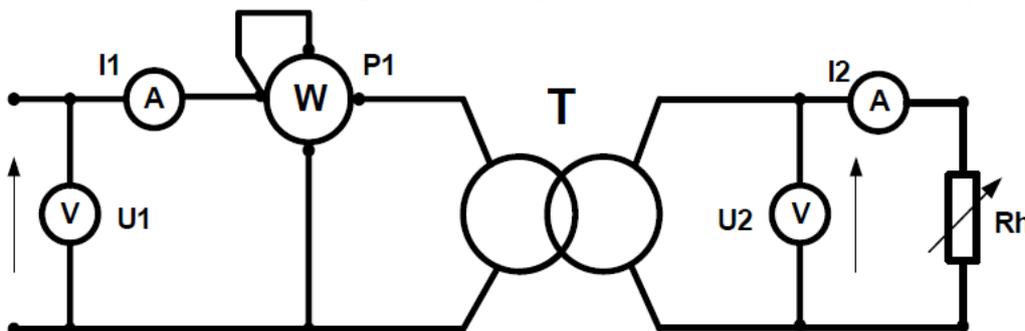
Puisque $I_1 \gg I_{10}$ donc $P_{j1} \gg P_{j10}$ donc on peut les négliger.

$P_{10} \approx P_{fer}$ d'où les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension.

$$P_{fer} = \frac{U_1^2}{R_f} = \frac{1}{R_f} \cdot U_1^2 = K \cdot U_1^2$$

b) Fonctionnement en charge ou essai en charge :

- En charge un transformateur réel délivre une tension secondaire qui décroît légèrement lorsque le courant secondaire augmente (la chute de tension au secondaire ; l'enroulement du transformateur est aussi un consommateur).
- En charge un transformateur réel est parcouru, comme un transformateur parfait, par des courants I_1 et I_2 , tel que $I_1 = m \cdot I_2$
- Contrairement au transformateur parfait, les pertes existent et croissent avec le courant I_2 . Le rendement du transformateur $\eta = P_2 / P_1$ reste bon, mais inférieur à 100%

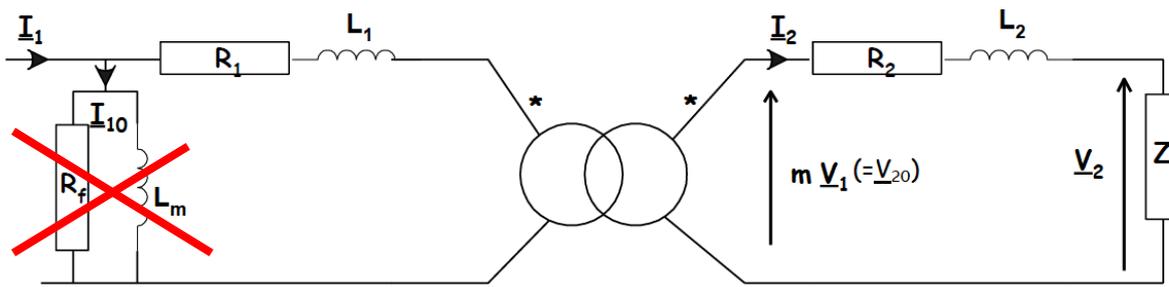


$$U_2 = U_{20} - \Delta U$$

ΔU : chute de tension qui augmente avec le courant I_2

L'approximation de Kapp consiste à négliger le courant i_0 devant i_1 sauf aux faibles charges,

Ne pas tenir compte de I_{10} revient, dans le modèle complet, à débrancher l'impédance magnétisante $R_m // X_m$, donc le schéma devient :



Donc $I_1 = m \cdot I_2$

Pertes joules dans un transformateur monophasé

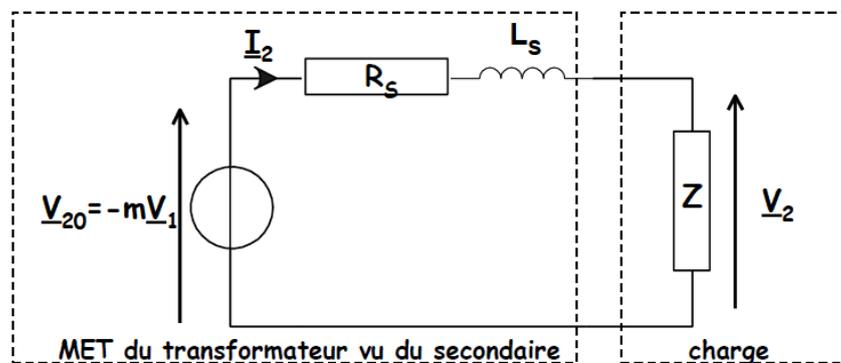
$$P_j = P_{j1} + P_{j2} \implies P_j = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 \implies P_j = R_1 \cdot (m \cdot I_2)^2 + R_2 \cdot I_2^2$$

$$P_j = (R_1 \cdot m^2 + R_2) \cdot I_2^2 \implies P_j = R_S \cdot I_2^2$$

Donc $R_S = R_1 \cdot m^2 + R_2$ avec R_S : Résistance ramenée au secondaire

De même $X_S = X_{L1} \cdot m^2 + X_{L2}$ avec X_S : Réactance ramenée au secondaire ($X_L = L \omega$)

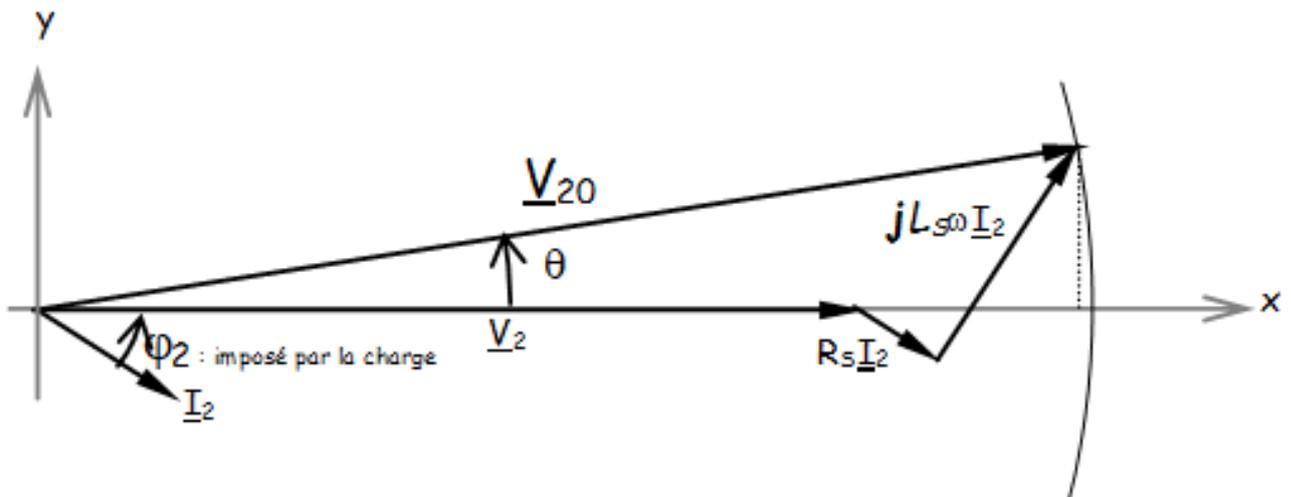
Calcul de chute de tension :



COS Ψ (AR) : facteur de puissance arriéré le cas d'un récepteur inductif

COS Ψ (AV) : facteur de puissance avant le cas d'un récepteur capacitif (**sin Ψ à un signe négatif**)

$$-m \cdot \vec{U}_1 = \vec{U}_{20} = \vec{U}_2 + R_S \vec{I}_2 + j X_S \vec{I}_2$$



En projetant sur x $V_{20} \cos \theta = V_2 + R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2$

Donc $\Delta V_2 = V_{20} - V_2 = \frac{V_2 + R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2}{\cos \theta} - V_2$

et comme θ est faible donc $\cos \theta \approx 1$

Donc

$$\Delta V_2 = V_{20} - V_2 = R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2$$

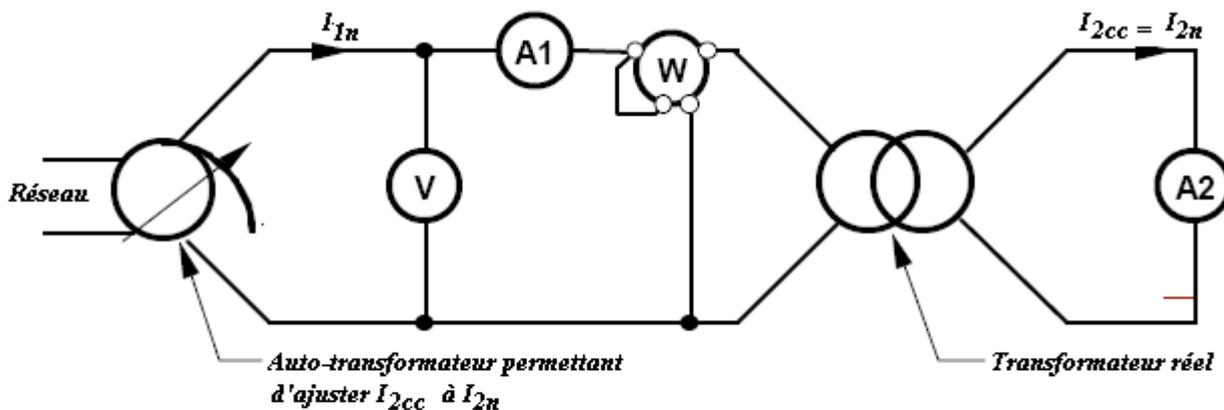
Il est commode d'indiquer la chute de tension pour le courant nominal par un pourcentage de la tension à vide :

$$\Delta U_2 (\%) = 100 \times \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}}$$

c) essai en court-circuit ou cct :

Dans un essai avec secondaire en court-circuit, il faut limiter la tension primaire pour avoir au secondaire un courant de court-circuit égal au courant nominal.

Pour amener le courant secondaire à la valeur nominale, la tension primaire est réglée avec un autotransformateur. On mesure la tension primaire, le courant primaire et secondaire et la puissance absorbée au primaire.



Puisque au régime nominal de courant, les pertes mesurées en court-circuit sont les pertes Joule nominales, appelées aussi pertes cuivre

En effet comme $U_{1cc} \ll U_{1n}$ les pertes magnétiques qui sont proportionnelles à U_1^2 sont ici très réduites, donc en court-circuit $P_{mag} \ll P_j$ on peut négliger les pertes fer

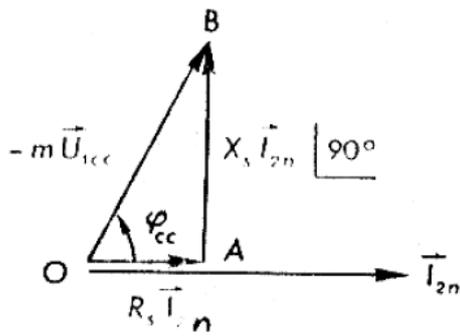
D'où $P_{1cc} = R_S \cdot I_{2n}^2$

$R_S = P_{1cc} / I_{2n}^2$

$P_{1cc} = P_j$ si $I_{2cc} \neq I_{2n}$

alors $P_j = P_{1cc} \cdot \left(\frac{I_{2n}}{I_{2cc}}\right)^2$

La réactance ramenée au secondaire X_s :



$$(m.U_{1cc})^2 = (R_s.I_{2n})^2 + (X_s.I_{2n})^2$$

$$\text{D'où } X_s = \sqrt{\left(\frac{mU_{1cc}}{I_{2n}}\right)^2 - R_s^2}$$

d) essai en courant continu

Dans un essai en cc et sous tension réduite U_c on détermine la valeur de la résistance de l'enroulement primaire R_1 ou secondaire R_2 par la méthode volt-ampérométrique.

$$U_c = R \cdot I_c$$

Bilan de puissance d'un transformateur :

$P_2 = P_1$ - les pertes fers- les pertes joules

$$= P_1 - P_{fer} - P_j \quad (P_{10} \approx P_{fer}) \text{ et } (P_{1cc} \approx P_j)$$

Rendement du transformateur

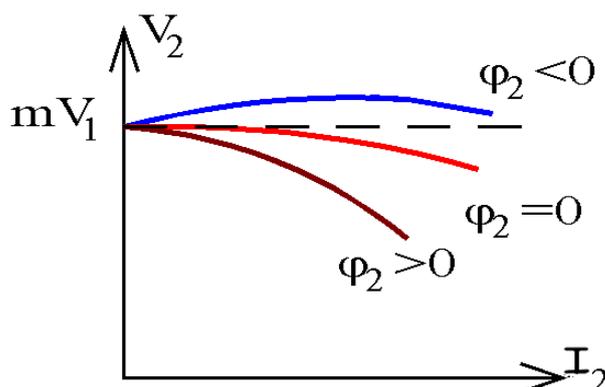
Le rendement (η) d'un transformateur est défini comme le rapport de la puissance active au secondaire sur la puissance active au primaire.

$$\eta = P_2/P_1$$

$$\eta = \frac{U_2.I_2.Cos \varphi_2}{U_1.I_1.Cos \varphi_1} = \frac{U_2.I_2.Cos \varphi_2}{(U_2.I_2.Cos \varphi_2) + P_{fer} + P_j}$$

NB :

- ❖ Le rendement est maximum si $P_{fer} = P_j$
- ❖ La tension U_2 change de valeur en fonction du courant I_2 et la nature de charge ;
 - Elle chute si la charge est inductive $0 < Cos \varphi_2 < 1 \Leftrightarrow +90^\circ > \varphi > 0^\circ$
 - Elle chute si la charge est résistive $Cos \varphi_2 = 1 \Leftrightarrow \varphi = 0^\circ$
 - Elle augmente si la charge est capacitive $0 < Cos \varphi_2 < 1 \Leftrightarrow -90^\circ < \varphi < 0$



Exercices transformateur monophasé réel

Exercice 1

On veut déterminer le rendement d'un transformateur monophasé par la méthode des pertes séparées. Pour cela, trois essais sont réalisés :

Essai à vide : $U_{10} = 220 \text{ V} - U_{20} = 125 \text{ V} - I_{10} = 0.5 \text{ A} - P_{10} = 75 \text{ W}$

Essai en court-circuit : $U_{1cc} = 20 \text{ V} - I_{2cc} = 10 \text{ A} - P_{1cc} = 110 \text{ W}$

Essai sur charge résistive : $U_{1n} = 220 \text{ V} - U_2 = 120 \text{ V} - I_2 = 10 \text{ A}$

- a – Calculez le rapport de transformation.
- b – Quel est le facteur de puissance à vide ?
- c – Déterminer les pertes dans le fer et dans le cuivre au fonctionnement nominal.
- d – Calculer le rendement du transformateur pour ce fonctionnement nominal.

Exercice 2

La puissance apparente d'un transformateur monophasé 5,0 kV / 230 V ; 50 Hz est $S = 21 \text{ kVA}$. La section du circuit magnétique est $s = 60 \text{ cm}^2$ et la valeur maximale du champ magnétique $B_{max} = 1,1 \text{ T}$.

❖ L'essai à vide a donné les résultats suivants :

$U_1 = 5\,000 \text{ V} ; U_{20} = 230 \text{ V} ; I_{10} = 0,50 \text{ A}$ et $P_{10} = 250 \text{ W}$.

❖ L'essai en court-circuit avec $I_{2CC} = I_{2n}$ a donné les résultats suivants :

$P_{1CC} = 300 \text{ W}$ et $U_{1CC} = 200 \text{ V}$.

- 1- Calculer le nombre de spires N_1 au primaire.
- 2- Calculer le rapport de transformation m et le nombre N_2 de spires au secondaire.
- 3- Quel est le facteur de puissance à vide de ce transformateur ?
- 4- Quelle est l'intensité efficace du courant secondaire I_{2n} ?
- 5- Déterminer les éléments $R_S ; Z_S$ et X_S de ce transformateur.

6- Calculer le rendement de ce transformateur lorsqu'il débite un courant d'intensité nominale dans une charge inductive de facteur de puissance 0,83.

Exercice 3

Un moteur électrique reçoit l'énergie d'une ligne monophasée 10 kV, 50 Hz. Un transformateur d'entrée abaisse cette tension.

✓ Un essai à vide a montré qu'avec $U_{10}=10$ kV, on obtient $U_{20}=700$ V, $P_{10}=6900$ W.

1. Si le nombre de spires au secondaire est $N_2=595$, calculer le nombre de spires N_1 au primaire.

✓ Un essai en court-circuit a donné les résultats suivants : $U_{1CC}=1000$ V, $I_{2CC}=400$ A,

$P_{1CC}=8000$ W

2. Quelle sera la tension de fonctionnement lorsque le secondaire débite 400 A dans un circuit inductif de facteur de puissance 0,8 quand le primaire est toujours alimenté sous 10 kV.

3. Calculer le rendement du transformateur pour un débit de 200 A avec le même facteur de puissance.

Exercice 4

On étudie un transformateur dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tension primaire nominale $U_1=220$ V, fréquence, $f=50$ Hz, nombre de spires au primaire

$N_1=500$ spires.

✓ Essai à vide : $U_1=220$ V : $U_2V=110$ V .Intensité au primaire à vide $I_{1V}=0,3$ A ; puissance consommée au primaire à vide $P_{1V}=36$ W

✓ Essai en court-circuit : tension primaire $U_{1CC}=10$ V ; intensité secondaire $I_{2CC}=10$ A ; puissance consommée au primaire $P_{1CC}=30$ W

Charge nominale pour $U_1=220$ V : intensité au secondaire $I_2=20$ A sur charge inductive de facteur de puissance $\cos \varphi_2=0,8$

1. Calculer :

1a- Le facteur de puissance de l'essai à vide

1b- Le nombre de spires au secondaire

2. Déterminer pour la charge nominale

2a- La tension secondaire U_2 à l'aide du diagramme de Kapp

2b- En déduire la chute relative de tension.

3. Calculer les puissances actives au secondaire et au primaire .En déduire le rendement.

Exercice 5

L'étude d'un transformateur monophasé a donné les résultats suivants :

Mesure en continu des résistances des enroulements à la température de fonctionnement :
 $r_1 = 0,2 \Omega$ et $r_2 = 0,007 \Omega$.

Essai à vide : $U_1 = U_{1n} = 2300 \text{ V}$; $U_2 = 240 \text{ V}$; $I_{10} = 1,0 \text{ A}$ et $P_{10} = 275 \text{ W}$.

Essai en court-circuit : $U_{1CC} = 40 \text{ V}$; $I_{2CC} = 200 \text{ A}$.

1- Calculer le rapport de transformation m .

2- Montrer que dans l'essai à vide les pertes Joule sont négligeables devant P_{10} .

3- Déterminer la valeur de la résistance ramenée au secondaire R_S .

4- Calculer la valeur de P_{1CC} .

5- Déterminer X_S .

6- Déterminer par la méthode de votre choix, la tension aux bornes du secondaire lorsqu'il débite un courant d'intensité $I_2 = 180 \text{ A}$ dans une charge capacitive de facteur de puissance $\cos \varphi = 0,9$.

7- Quel est alors le rendement.

Exercice 6

Un transformateur $5000 \text{ V} / 220 \text{ V}$ a une puissance nominale S de 60 kVA . Un essai à vide sous tension primaire nominale a donné $P_{10} = 600 \text{ W}$ et un essai en court-circuit une puissance $P_{1cc} = 120 \text{ W}$ pour un courant au secondaire de 100 A . Calculer :

- a – L'intensité nominale du courant dans le secondaire.

- b – Les pertes dans le cuivre pour ce courant, pour un courant de 200 A , en admettant qu'elles sont proportionnelles au carré du courant.

- c – Le rendement de ce transformateur pour ces trois courants avec un $\cos \varphi_2 = 1$ puis égal à 0.8 si la tension au secondaire reste égale à 220 V .

Transformateur triphasé (Technologie)

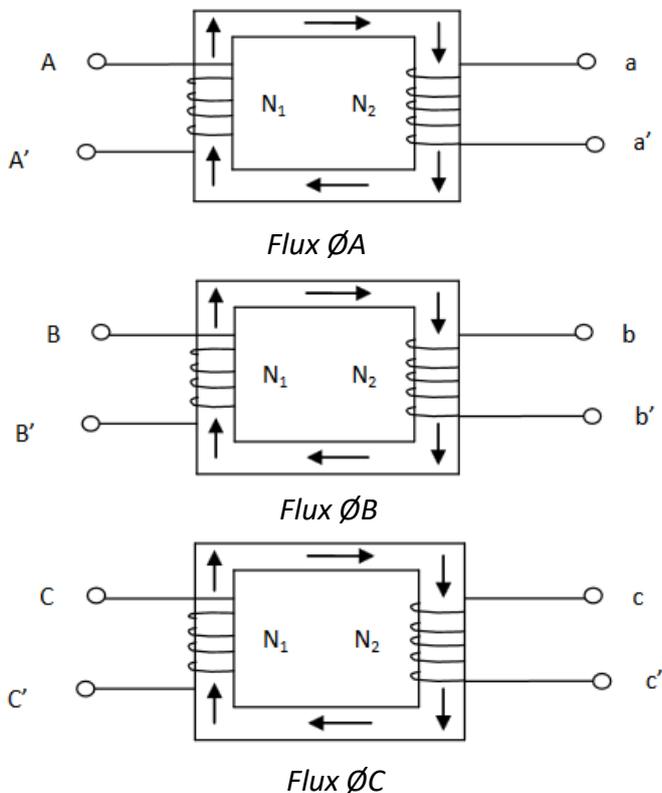
Intérêt :

La production de l'énergie électrique et son transport se fait généralement en triphasé et en haute tension afin de diminuer les pertes joules dans les lignes et aussi les diamètres de fils conducteurs ; ce type de transport est plus économique d'où la nécessité d'employer des transformateurs élévateurs à la sortie de centrale de production et abaisseur tout proche des centres de consommation.

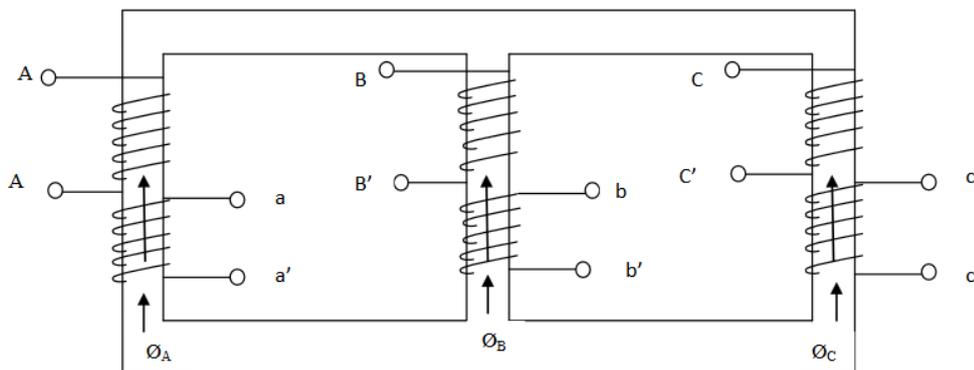
Types de transformateurs triphasés :

Un transformateur triphasé est réalisé :

- ✓ Soit 3 transformateurs monophasés identiques



- ✓ Soit un seul transformateur triphasé (la solution la plus économique)



Transformateur triphasé (flux forcés $\vec{\phi}_A + \vec{\phi}_B + \vec{\phi}_C = \vec{0}$)

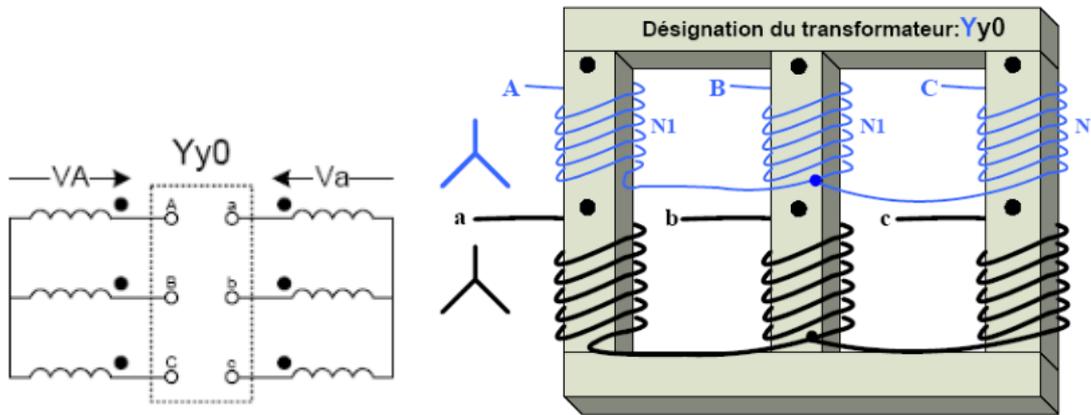
Remarque :

On convient de repérer les bornes comme suit :

- Enroulements primaires par des lettres majuscules (A.B.C.), neutre N

- Enroulements secondaires par des lettres minuscules (a.b.c.n), neutre n

Les bornes désignées par la même lettre sont dites « **Homologues** » et portent un point sur le schéma c.à.d. ayant même polarité à un instant t en plus sont enroulés de manière identique.



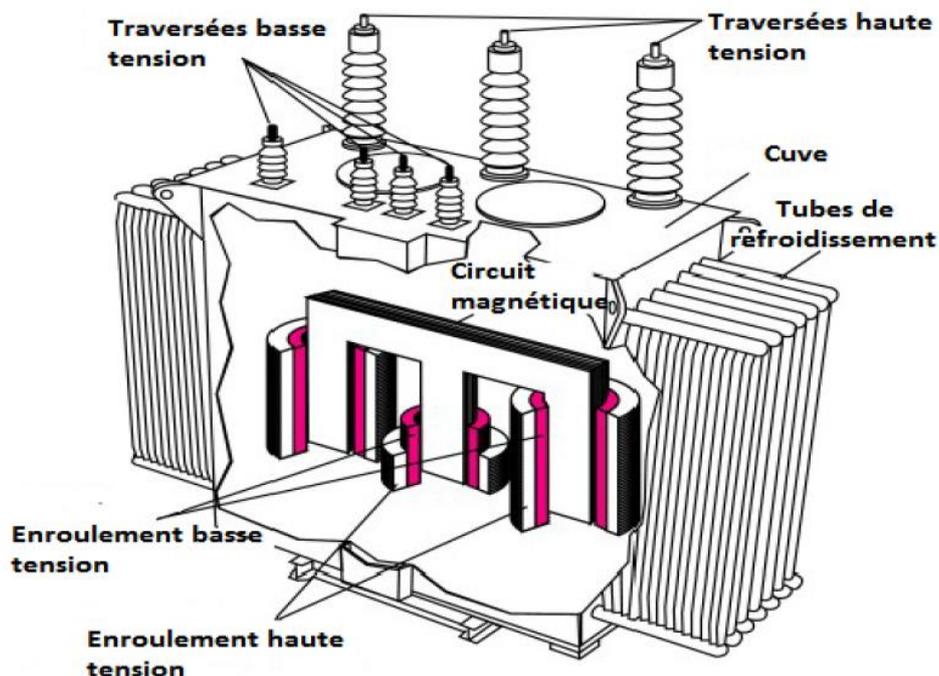
Constitution du transformateur triphasé :

Le circuit magnétique est formé de trois noyaux fermés par 2 culasses.

Il est fabriqué en tôles Magnétiques feuilletées, chaque noyau porte :

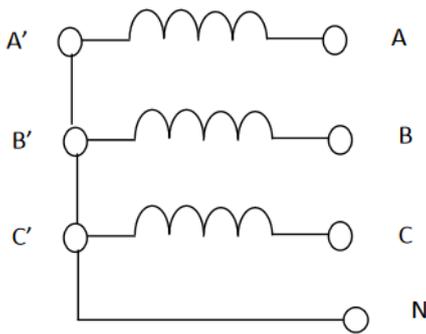
- Un enroulement primaire
- Un ou plusieurs enroulements secondaires

Remarque : L'enroulement primaire (à N_1 spires) et l'enroulement secondaire (à N_2 spires) étant bobinés dans le même sens et traversés par le même flux Φ , les tensions V_A et V_a sont en phase (bornes homologues).

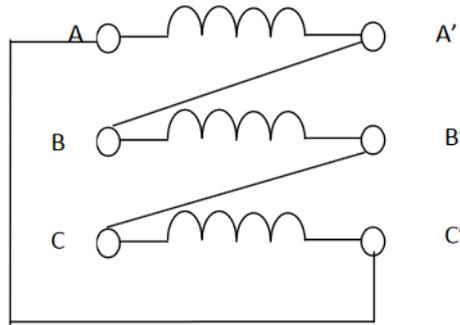


Mode de couplage :

Au primaire les enroulements peuvent être connectés soit en étoile(Y) soit en triangle(D)

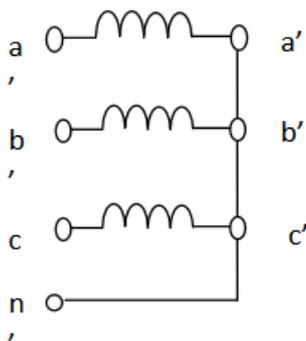


Couplage étoile :Y

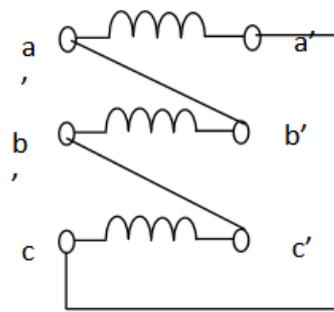


Couplage triangle :D

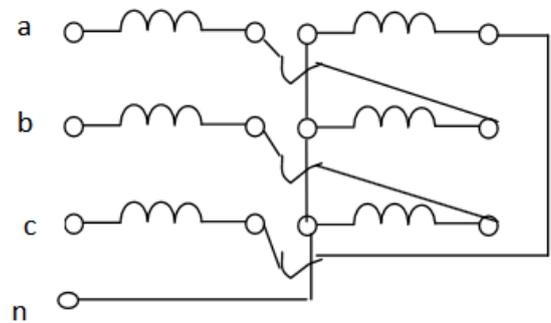
Au secondaire les enroulements peuvent être couplés de 3 manières différentes : étoile(y), triangle(d) et zigzag(z)



Couplage étoile y



Couplage triangle d



Couplage zigzag z

On obtient ainsi 6 couplages possibles entre primaire et secondaire :

Y-y : étoile –étoile

D-y : triangle- étoile

Y-d : étoile-triangle

D-d : triangle –triangle

Y-z : étoile-zigzag

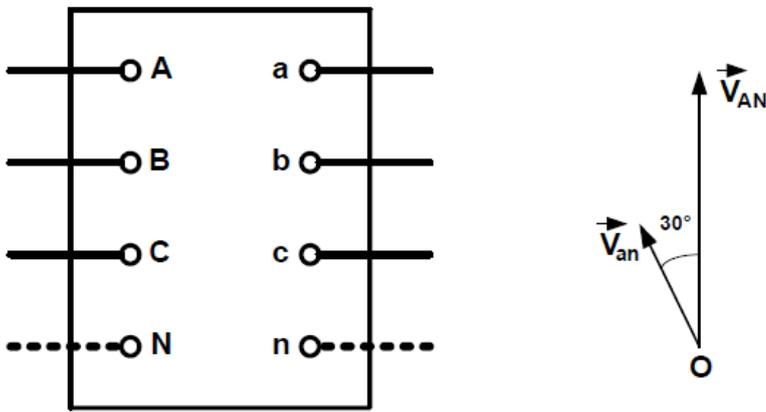
D-z : triangle-zigzag

Le couplage « Etoile » permet de sortir le neutre et de le connecter au fil neutre du réseau de distribution.

Indice horaire :

L'indice horaire indique le déphasage entre une tension primaire et celle d'une tension secondaire correspondante (VAN et Van, par exemple), il est toujours un multiple de 30° et de valeur comprise entre 0 et 11.

Par suite, si la tension VAN est représentée par un vecteur vertical orienté vers le haut, la tension Van est représentée par un vecteur plus court et l'ensemble évoque les aiguilles d'une horloge indiquant une heure entière

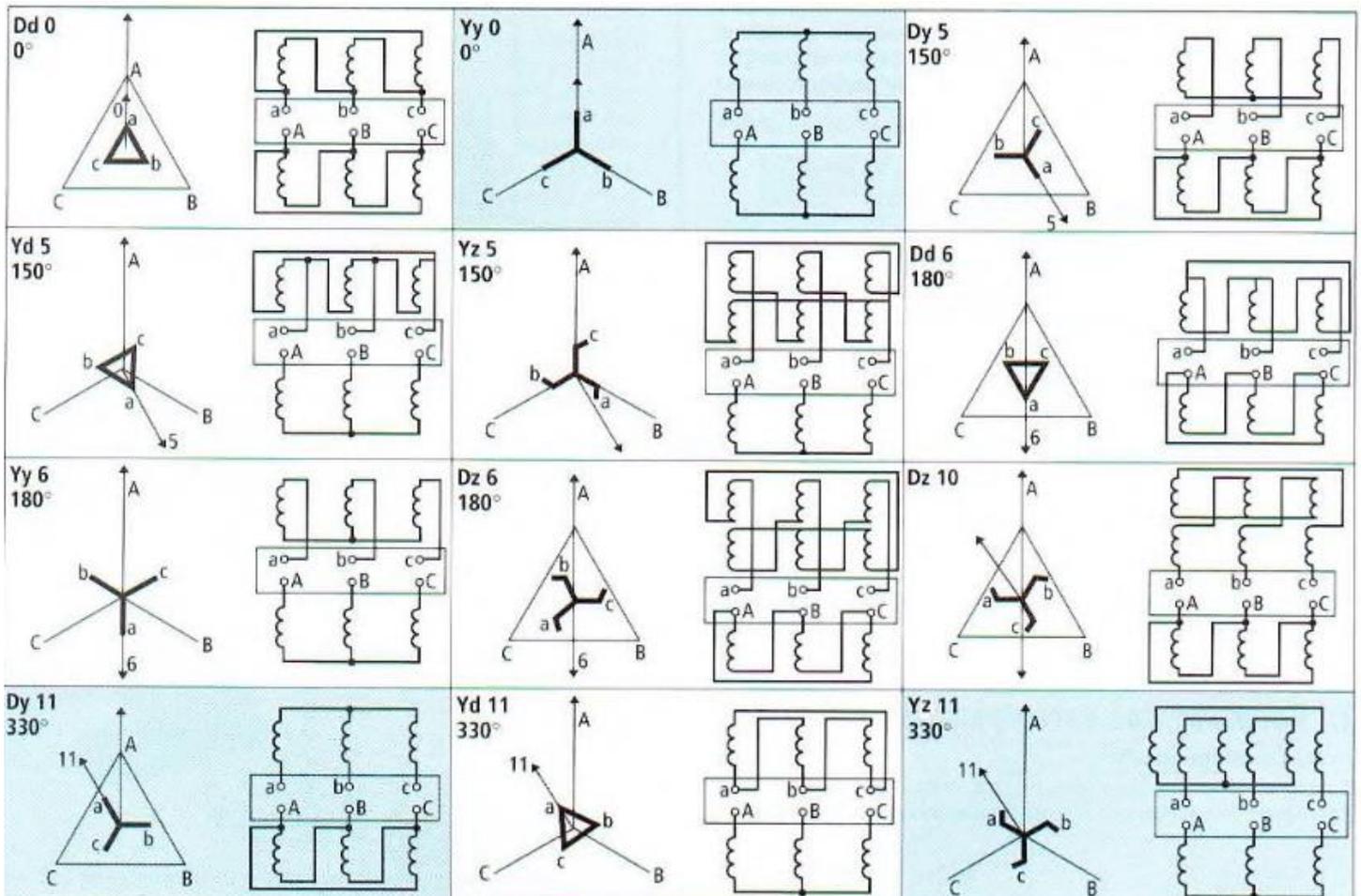


Ainsi, sur la figure ci-dessus on lit 11 heures : on dit que l'indice horaire est 11.

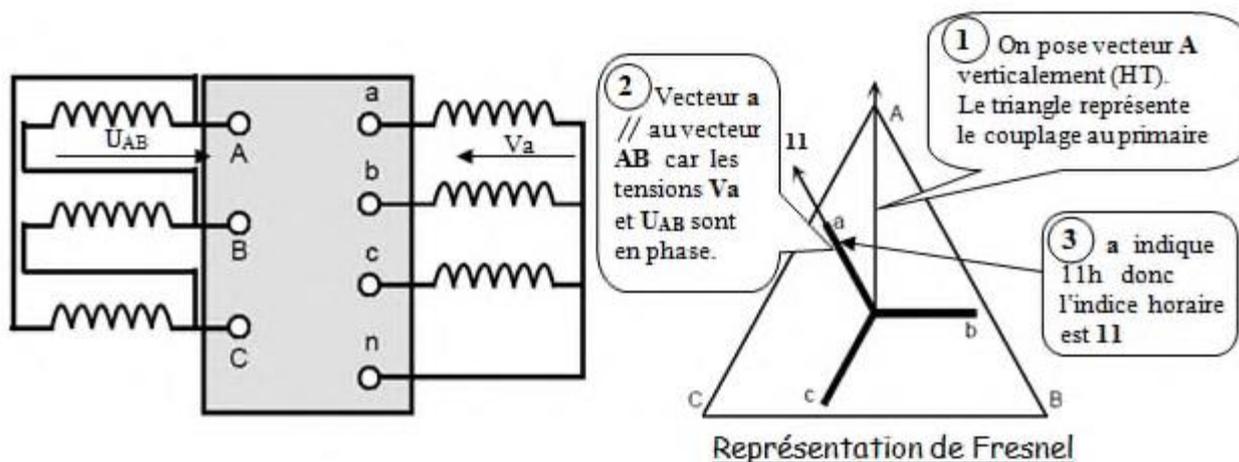
Les couplages les plus utilisés sont :

- Le couplage Dy 11 utilisé comme élévateur de tension à la sortie des centrales électriques ;
- Le couplage Yy 0 employé comme abaisseur de tension entre un réseau HT-B et un réseau HT-A ;
- Le couplage Dyn 11 utilisé en distribution lorsque les déséquilibres risquent d'être un peu importants ;
- Le couplage Yzn 11 adopté en distribution lorsque les déséquilibres peuvent être importants.

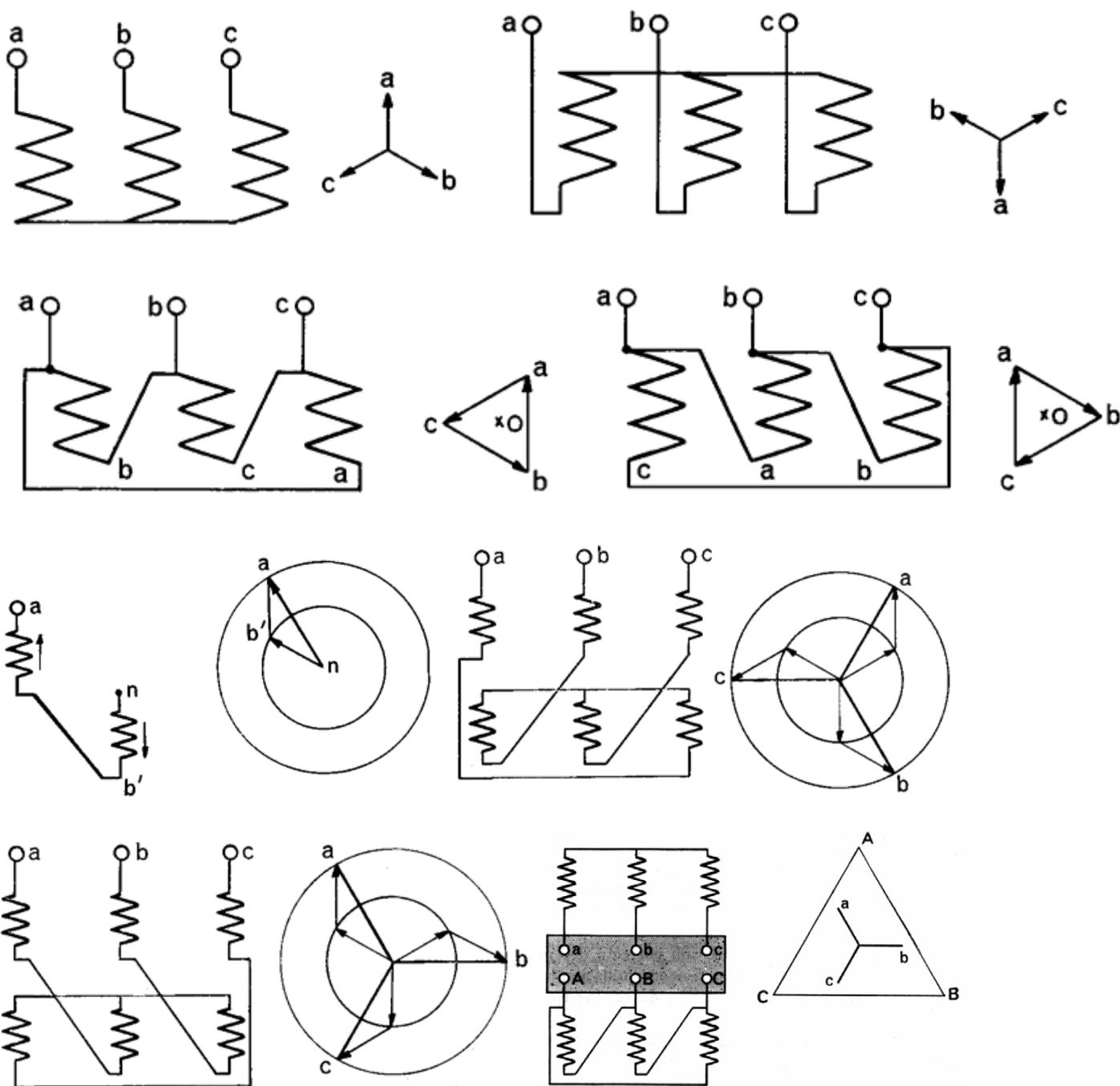
Différents couplages normalisés avec indice horaire :



Détermination de l'indice horaire à partir du schéma de couplage du transformateur.



Donc la désignation de ce transformateur est **Dyn11**



Modes de refroidissement des transformateurs

Il est nécessaire de refroidir les transformateurs de grosses puissances afin d'éviter la détérioration des isolants causée par les échauffements. (Pertes fer et pertes cuivre).

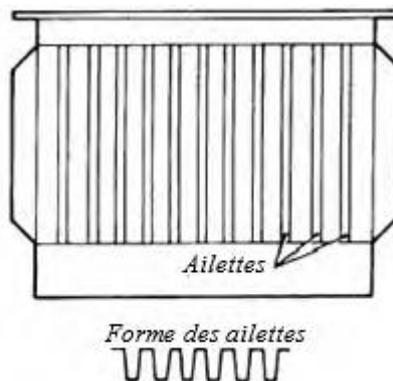
Différents types de refroidissement

- Refroidissement dans l'air

Le transformateur est mis dans une enceinte grillagée, la ventilation peut être naturelle ou forcée (ventilateur).

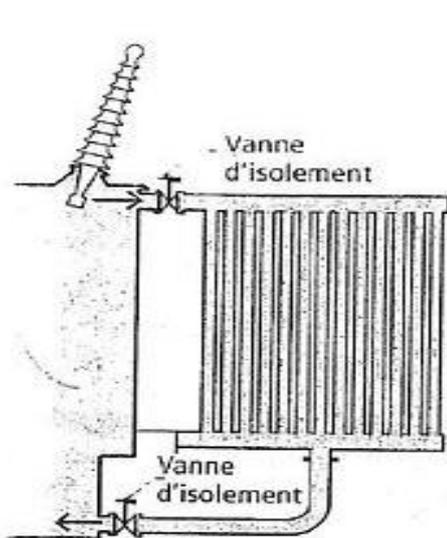
Refroidissement naturel dans l'huile

Une cuve renferme le transformateur. Cette cuve est munie d'ailettes. L'huile se refroidit au contact des parois (échange thermique).

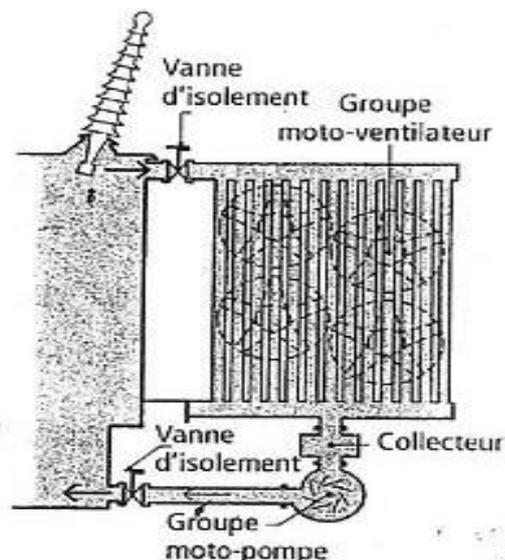


- Refroidissement par radiateur d'huile

L'huile circule naturellement dans un radiateur séparé de la cuve. Ce radiateur peut être ventilé et la circulation d'huile forcée par une pompe qui en accélère le passage.



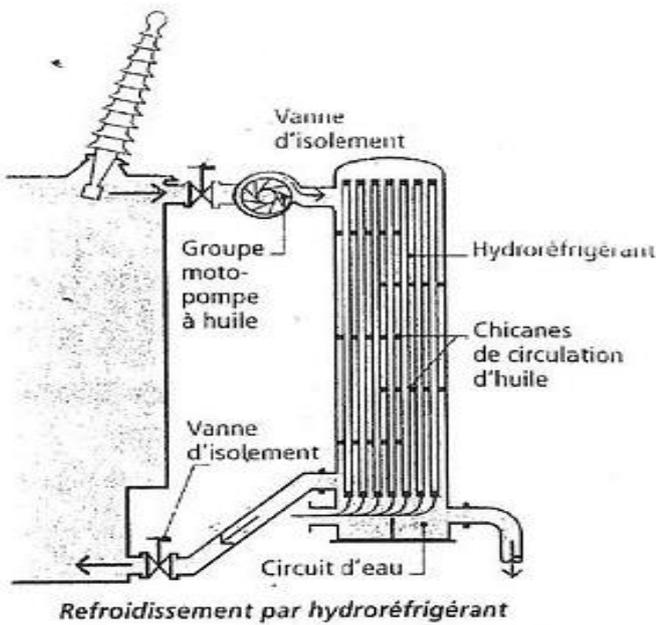
Refroidissement par radiateur d'huile



Refroidissement par circulation d'huile forcée

- Refroidissement avec hydro réfrigérant

La circulation de l'huile s'effectue dans une cuve contenant des tubes à l'intérieur desquels circule de l'eau froide



Diélectrique

Le diélectrique assure le refroidissement et l'isolement des transformateurs. Selon les tensions appliquées aux enroulements, l'isolement peut être assuré par :

- **L'air**, c'est le cas des petits transformateurs en BT ;
- **L'huile minérale**, très employée dans tous les transformateurs de puissance, mais elle présente des risques d'incendies et d'explosion ;
- **Quartz**, c'est un sable qui étouffe les flammes mais rend le refroidissement plus difficile.

Une codification internationale a été mise en place afin de savoir quel type de refroidissement était employé.

1 ^{ère} lettre	2 ^{ème} lettre	3 ^{ème} lettre	4 ^{ème} lettre
<i>Nature du diélectrique</i>	<i>Mode de circulation diélectrique</i>	<i>Fluide du refroidissement Symbole comme 1^{ère} lettre</i>	<i>Mode de circulation fluide Symbole comme 2^{ème} lettre</i>
O : huile minérale L : diélectrique chloré G : gaz A : air S : isolant solide	N : naturel F : forcée D : forcée et dirigée dans les enroulements	O L G A S W : Eau	N F D

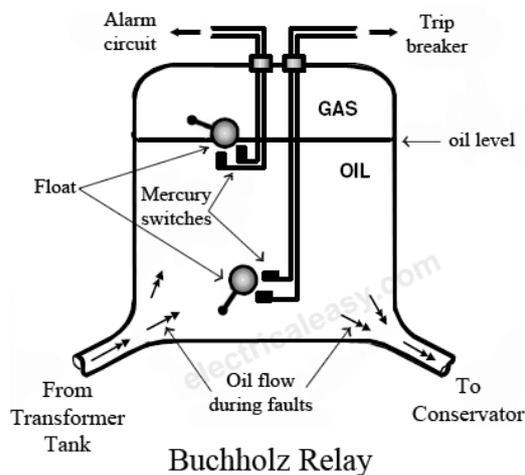
Dispositifs de préservation de l'huile du transformateur :

Relais Buchholz

Le liquide de refroidissement (huile ou askarel) peut se détériorer rapidement à la suite d'un incident interne (par exemple, arc électrique). Cette dégradation peut se traduire par :

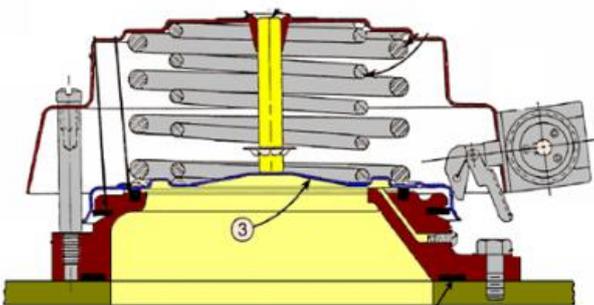
- un dégagement gazeux provenant de la décomposition des isolants sous l'action de la chaleur ou de l'arc électrique ;
- un mauvais remplissage du transformateur ;
- une baisse du niveau du diélectrique.

Ces différents incidents peuvent être détectés par un relais de protection appelé relais Buchholz



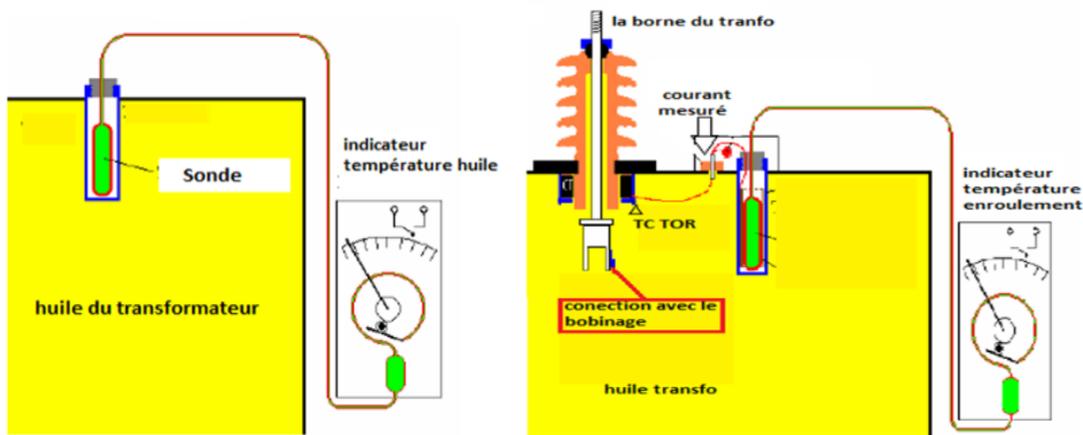
soupape de sécurité ou mano-contact :

Le but de la soupape de sécurité ou du mano-contact est de mettre hors tension le transformateur au cas où une pression excessive prendrait naissance à l'intérieur de la cuve en agissant sur le déclenchement de l'appareil de protection amont.



Protection par indicateur de température Huile et d'enroulements :

A l'aide d'une sonde immergée dans la cuve pour détecter la température d'huile du transformateur est connecté à un indicateur qui est équipé de deux contacts réglables un pour l'alarme est l'autre pour le déclenchement.

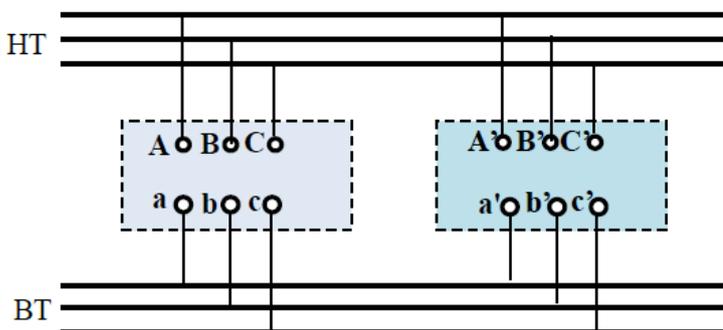


Couplage en parallèle des transformateurs

Des transformateurs sont en parallèle lorsque leurs primaires sont alimentés par un même réseau et leurs secondaires connectés à une même ligne ou débitent dans une même charge.

Pour cela il faut que :

- Les transformateurs soient alimentés sous la même tension.
- Les rapports de transformations à vide soient identiques.
- Les tensions de court-circuit égales à 10 % près.
- Mêmes indices horaires de couplage ou indices compatibles.

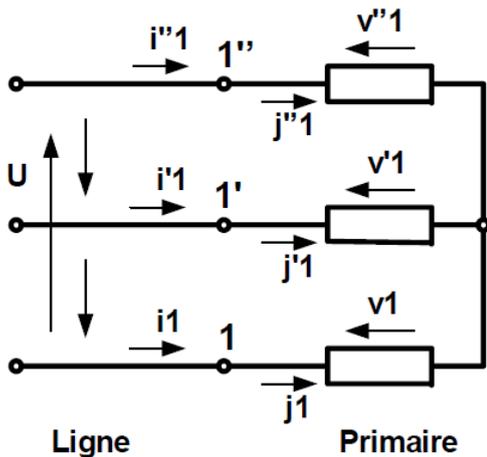


Groupe	Indices	Couplages
I	0, 4, 8	Yy - Dd - Dz
II	2, 6, 10	Yy - Dd - Dz
III	1, 5	Dy - Yz - Yd
IV	7, 11	Dy - Yz - Yd

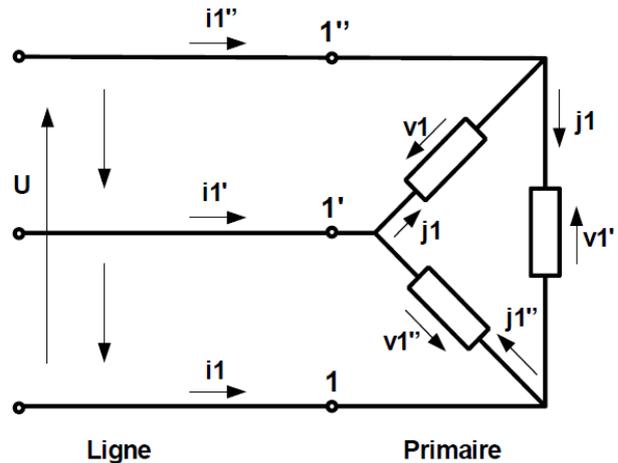
Transformateur triphasé (Etude et analyse)

En régime équilibré toute la théorie du transformateur monophasé est applicable à condition de raisonner « phase à phase », c'est-à-dire « une phase du primaire avec la phase correspondante du secondaire ».

Pour faciliter l'étude on travaille par phase c.à.d. par enroulement quel que soit le couplage.



Couplage étoile



Couplage triangle

Couplage « Etoile »

Les courants i_1, i'_1, i''_1 (valeur efficace I_1) qui circulent dans les fils de phase de la ligne sont les mêmes que les courants j_1, j'_1, j''_1 (valeur efficace J_1) qui circulent dans les phases du transformateur : **$I_1 = J_1$**

Les tensions v_1, v'_1, v''_1 (valeur efficace V_1) constituent les tensions simples de la ligne (puisque le centre de l'étoile est au potentiel zéro ou neutre). Les tensions entre deux fils de phase de cette ligne ont pour valeur efficace : **$U_1 = V_1 \cdot \sqrt{3}$**

Couplage « Triangle »

Les courants i_1, i'_1, i''_1 (valeur efficace I_1) qui circulent dans les fils de phase de la ligne ne sont plus les mêmes que les courants j_1, j'_1, j''_1 (valeur efficace J_1) qui circulent dans les phases du transformateur : **$I_1 = J_1 \cdot \sqrt{3}$**

Les tensions v_1, v'_1, v''_1 (valeur efficace V_1) constituent les tensions entre deux fils de phase de cette ligne ont pour valeur efficace : **$U_1 = V_1$**

Formule de Boucherot :

$$V = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$$

$$\phi = B \cdot S \quad \phi : \text{flux magnétique en weber (Wb)}$$

V : tension en volt (V)

f : Fréquence du réseau d'alimentation en Hertz (Hz)

N : nombre de spires

B_{max} : induction maximale en tesla (T)

S : surface du circuit magnétique en mètre carré (m²)

$$V_1 = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$$

$$V_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S$$

Le rapport de transformation (m)

- Sans charge ou à vide :

$$m = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

V_2 : tension secondaire à vide où $J_2=0$

- Avec charge branchée ou en charge :

$$m = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{J_1}{J_2}$$

V_2 : tension secondaire en charge où $J_2 \neq 0$

Le rapport de transformation industriel (mi)

Dans l'industrie on utilise surtout le rapport de transformation faisant intervenir la tension U_2 entre deux fils de phase de la ligne secondaire (dans le fonctionnement à vide) et la tension U_1 entre deux fils de phase de la ligne primaire.

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

Les tensions U_2 et U_1 changent avec le couplage donc de même le rapport de transformation industriel (m_i) par rapport au rapport normal par phase (m).

Couplage	U_2	U_1	m_i
Y - y	$V_{20} \cdot \sqrt{3}$	$V_1 \cdot \sqrt{3}$	m
D - d	V_{20}	V_1	m
Y - d	V_{20}	$V_1 \cdot \sqrt{3}$	$m / \sqrt{3}$
D - y	$V_{20} \cdot \sqrt{3}$	V_1	$m \cdot \sqrt{3}$

$$m = \frac{V_2}{V_1} = \frac{n_s}{n_p}$$

primaire secondaire	Étoile	Triangle
Étoile	$\frac{n_S}{n_P}$	$\sqrt{3} \frac{n_S}{n_P}$
Triangle	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_S}{n_P}$	$\frac{n_S}{n_P}$
Zigzag	$\sqrt{3} \frac{n_S}{n_P}$	$3 \frac{n_S}{n_P}$

L'avantage du rapport mi est qu'il ne fait intervenir que des grandeurs (tensions et courants) directement mesurables quel que soit le couplage du transformateur.

Puissance apparente d'un transformateur triphasé :

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot I_{1n} = \sqrt{3} \cdot U_{2n} \cdot I_{2n}$$

$$S_n = 3 \cdot V_{1n} \cdot J_{1n} = 3 \cdot V_{2n} \cdot J_{2n}$$

Autrement avec un courant inférieur au courant nominal

$$S = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2$$

$$S = 3 \cdot V_1 \cdot J_1 = 3 \cdot V_2 \cdot J_2$$

Etude expérimentale et prédétermination du fonctionnement en charge :

- ❖ L'essai à vide détermine les pertes magnétiques ou pertes fer

$$P_{fer} = P_{10} - P_{j10} \text{ avec } P_{j10} = 3 \cdot R_1 \cdot J_{10}^2$$

Si on néglige les pertes joules à vide

$$P_{10} = P_{fer}$$

- ❖ L'essai en charge permet de déterminer les puissances actives P1 et P2 ainsi que les pertes joules en charge

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 3 \cdot V_1 \cdot J_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 3 \cdot V_2 \cdot J_2 \cdot \cos \varphi_2$$

La puissance mesurée par la méthode des deux wattmètres ;

$$P = W_1 + W_2 ; \quad Q = (W_1 - W_2) \cdot \sqrt{3}$$

$$P_J = 3 \cdot R_S \cdot J_2^2 \text{ ou } P_J = 3 \cdot R_1 \cdot J_1^2 + 3 \cdot R_2 \cdot J_2^2$$

❖ L'essai en court-circuit

$$P_{1cc} = PJ = 3.R_s.j2n^2 \quad \text{Donc} \quad R_s = \frac{P_{1cc}}{3.J2n^2} \quad \text{si } I_{2cc} = I_{2n}$$

$$X_s = \sqrt{\left(\frac{m.V_{1cc}}{J2n}\right)^2 - R_s^2}$$

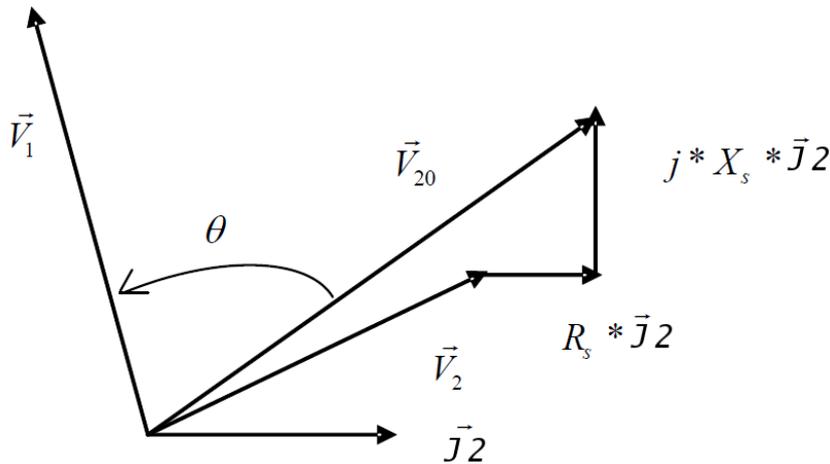
Chute de tension :

On déduit de ces deux essais :

- La chute de tension aux bornes de chaque phase du secondaire

$$\Delta V_2 = R_s.J_2.\cos \varphi_2 + X_s J_2 \sin \varphi_2$$

$$-m.\vec{V}_1 = \vec{V}_2\vec{0} = \vec{V}_2 + R_s \vec{J}_2 + j X_s \vec{J}_2$$



Par suite la chute de tension entre deux fils de phase de la ligne secondaire suivant le couplage existant.

Le rendement du transformateur :

$$\eta = P_2/P_1$$

$$\eta = \frac{\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos \varphi_2}{\sqrt{3}.U_1.I_1.\cos \varphi_1} = \frac{\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos \varphi_2}{(\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos \varphi_2) + P_{fer} + P_j}$$

P_j étant proportionnel à J_2^2 ($P_j = 3.R_s J_2^2$) et aussi à proportionnel à I_2 quel que soit le couplage ; et comme $P_j = P_{1cc}$ pour $I_2 = I_{2n}$, on a :

$$P_j = P_{1cc} . (I_2 / I_{2n})^2$$

Quel que soit le couplage, on a

$$\eta = \frac{\sqrt{3} U_2 . I_2 . \cos \varphi_2}{\sqrt{3} . I_2 . U_2 . \cos \varphi_2 + P_0 + P_{cc} . \left(\frac{I_2}{I_{2n}}\right)^2}$$

Exercices transformateur triphasé

Exercice 1

Un transformateur Dy, avec neutre au secondaire, possède un rapport de nombres de spires $m = 0,04$. La tension primaire est de 5000 V.

a) Quelles sont les tensions disponibles au secondaire ?

b) Quand le débit secondaire est de 100 A, quelle est l'intensité du courant primaire :

- Dans un enroulement ?

- Dans un fil de ligne ou dans la ligne ?

Exercice 2

Un transformateur triphasé a été soumis à deux essais au cours desquels la puissance a été mesurée par la méthode des deux wattmètres, NB : $P = W_1 + W_2$; $Q = (W_1 - W_2) \cdot \sqrt{3}$

• A vide : $P_A = 500$ W, $P_B = - 200$ W.

• En court-circuit pour I_2 nominal : $P_A = 250$ W, $P_B = 100$ W.

Calculer :

a) Les pertes fer et le facteur de puissance à vide.

b) Les pertes cuivre et le facteur de puissance en court-circuit.

Exercice 3

Un transformateur triphasé dont le primaire est en étoile, est alimenté sous une tension de 20KV. Les nombres de spires par noyau sont $N_1 = 4000$ au primaire et $N_2 = 76$ au secondaire.

a) Calculer les tensions disponibles au secondaire (entre phases et éventuellement entre neutre et phase) pour les couplages suivants :

• étoile avec neutre ;

• triangle ;

b) La puissance apparente du transformateur étant $S = 140 \text{ kVA}$, calculer au secondaire pour chacun des deux couplages :

- l'intensité du courant dans la ligne ;
- l'intensité du courant dans un enroulement

Exercice 4

Un transformateur triphasé Dyn, 1,5 kV - 410 V, à un courant nominal secondaire égal à 70 A. Deux essais ont permis de déterminer $P_{10} = 400 \text{ W}$ et $P_{1cc} = 780 \text{ W}$ à I_{2n} . Calculez :

- 1) Le rapport de transformation m et m_i
- 2) L'intensité primaire nominale
- 3) La puissance apparente nominale au primaire.
- 4) La puissance active fournie par le secondaire à une charge résistive absorbant 70 A.
- 5) La puissance active fournie par le secondaire à une charge inductive $\cos \varphi = 0,85$ absorbant 50 A.

Exercice 5

Un transformateur de distribution Dy est tel que $S_n = 250 \text{ kVA}$; $U_{1n} = 20 \text{ kV}$. Il a donné aux essais suivants :

- A vide sous 20 kV ; $U_{20} = 392 \text{ V}$; $P_0 = 650 \text{ W}$
- En court-circuit pour I_{2n} ; $U_{1cc} = 815 \text{ V}$; $P_{1cc} = 2800 \text{ W}$

1- Calculer :

a) Le rapport de transformation phase à phase

b) La valeur nominale du courant secondaire

2- Sachant que la section utile des noyaux est 170 cm^2 et que $B_{\max} = 1,6 \text{ T}$, déterminer les nombres de spires de phase au primaire et au secondaire

3- Calculer la résistance R_s et la réactance X_s

4- Le transformateur, alimenté sous 20 kV, débite un courant $I_2 = 336 \text{ A}$ dans un circuit inductif de facteur de puissance 0,9. Calculer :

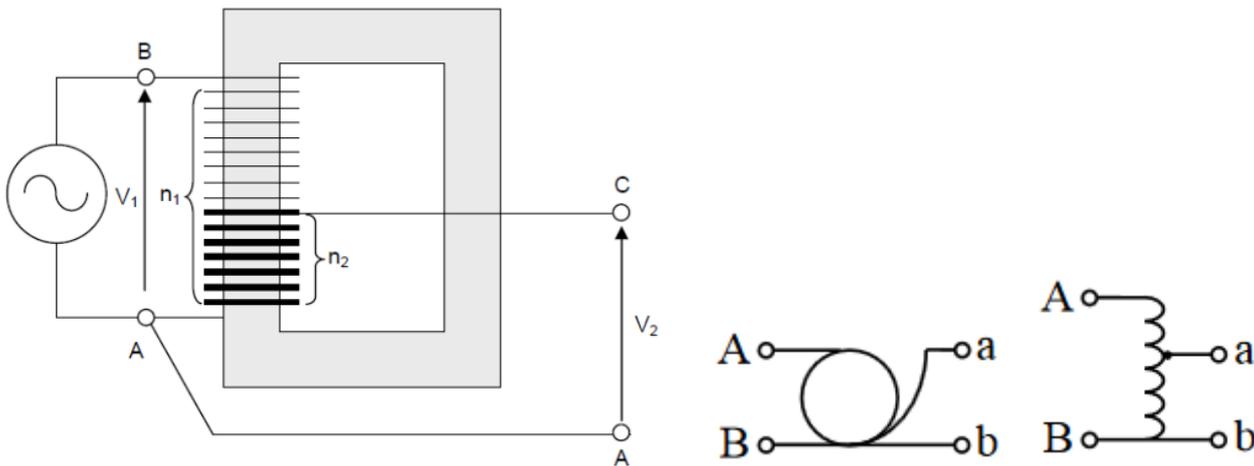
a) la tension U_2

b) Le rendement du transformateur

TRANSFORMATEURS SPECIAUX

Autotransformateurs mono et triphasés :

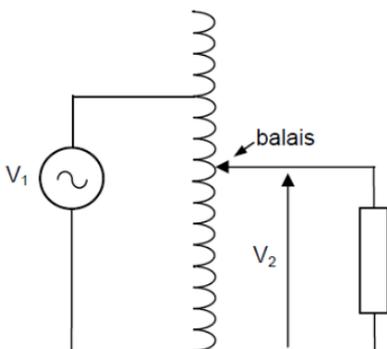
Dans un autotransformateur l'enroulement BT n'existe pas : il est remplacé par une portion de l'enroulement HT.



Ils comportent un seul bobinage muni d'une prise intermédiaire. Ils peuvent être utilisés également en élévateur, en appliquant la tension d'alimentation entre a et b et en branchant la charge entre A et B.

Quel que soit le mode d'utilisation, il n'y a pas d'isolation galvanique entre le primaire et le secondaire. On trouve aussi les autotransformateurs variables, où la borne a est reliée à un balai glissant sur une partie dénudée du bobinage. Dans ce cas, la tension d'alimentation sera toujours appliquée entre les bornes extrêmes A et B.

$$V_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot V_1$$

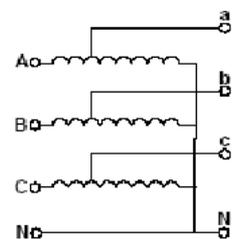


Autotransformateur variable

220V- 0 à 260V



Symbole 1

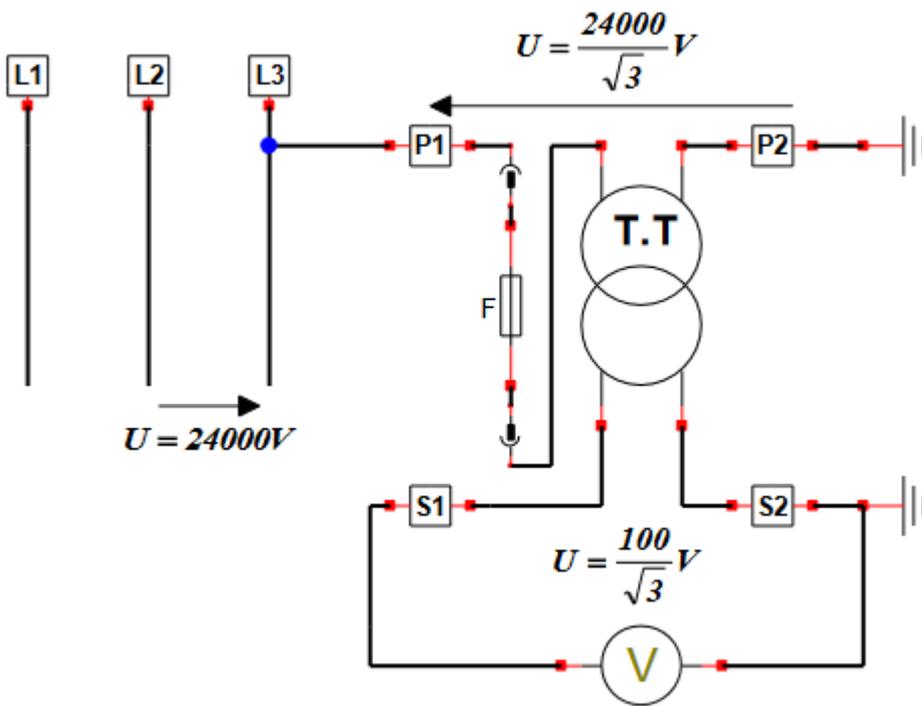
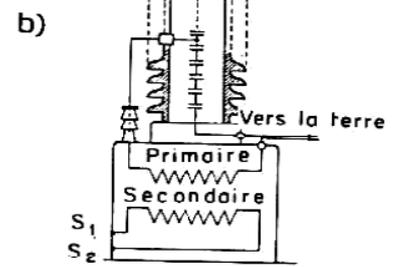
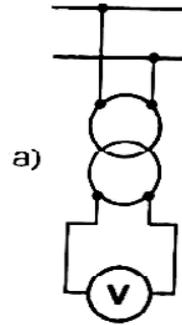
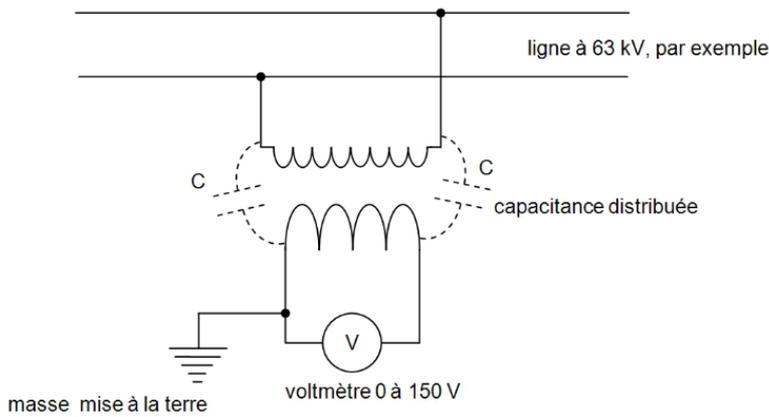


Symbole 2

Autotransformateur triphasé

Transformateur de tension ou de potentiel (T.P.)

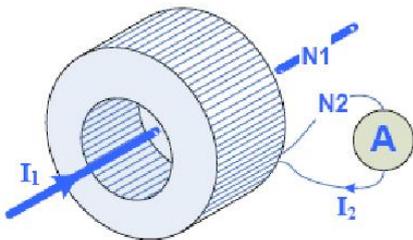
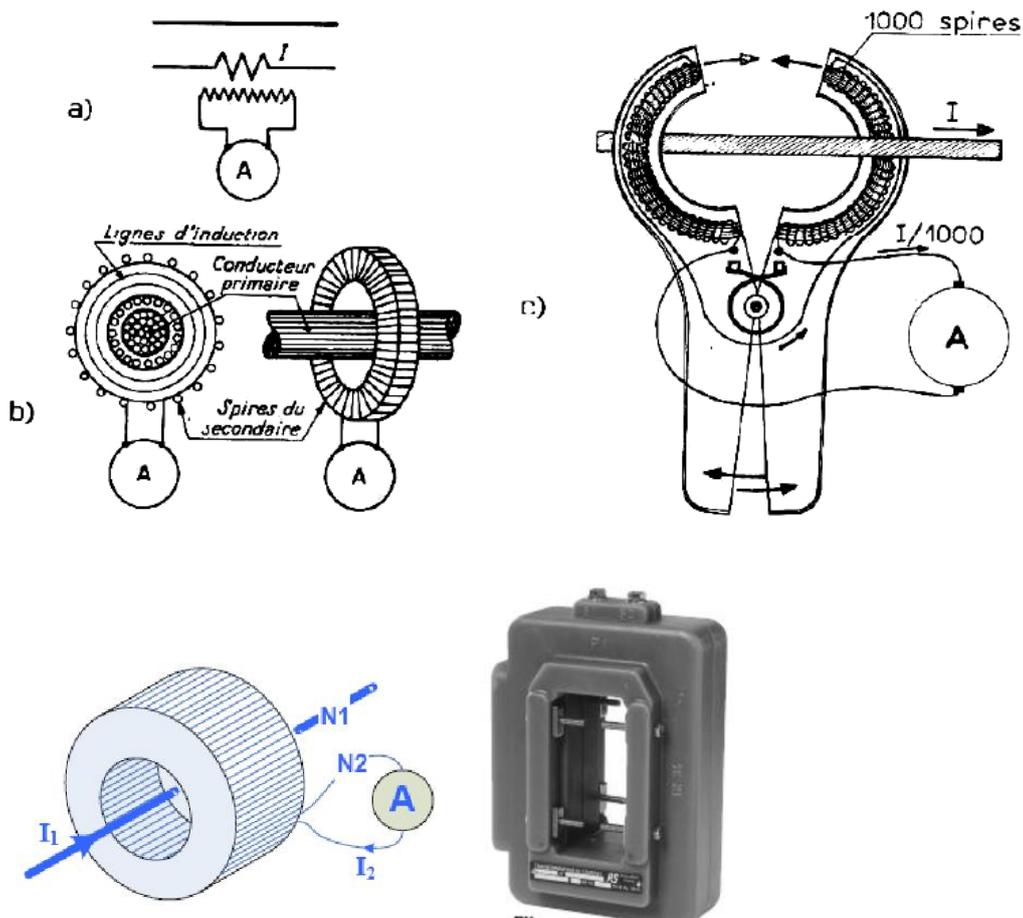
Les transformateurs de tension sont utilisés sur les lignes à haute tension pour alimenter des appareils de mesure (voltmètre, wattmètre, etc.) ou de protection (relais). Ils servent à isoler ces appareils de la haute tension et à les alimenter à des tensions appropriées. Le rapport de transformation est choisi de façon que la tension secondaire soit d'une centaine de volts, ce qui permet l'utilisation d'instruments de fabrication courante pour la mesure de tensions élevées.



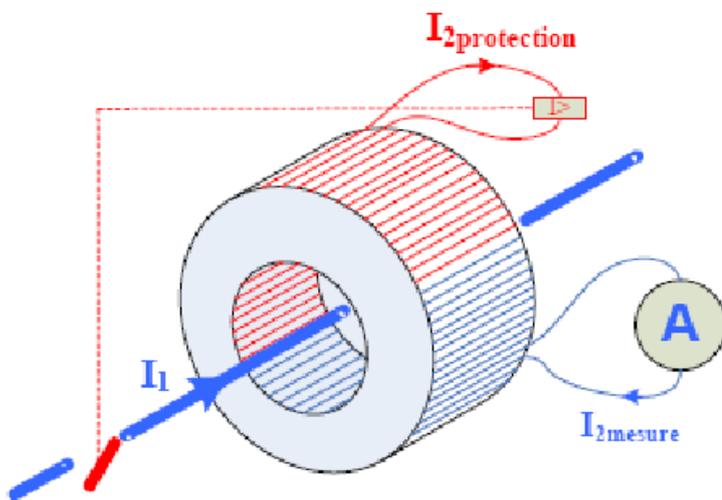
Le secondaire d'un transformateur de tension ne doit jamais être court-circuité !

Transformateur de courant ou d'intensité (T.C.)

Leur rôle est ici similaire au transformateur de potentiel, il permet de ramener le courant à une valeur pouvant être mesurée par un appareil de mesure comme un ampèremètre.



Le TC peut être doté de 2 enroulements secondaires : dans ce cas, l'un des enroulements est dédié à la mesure du courant, l'autre à la protection du circuit contrôlé : par exemple commande de relais à maximum de courant



Le secondaire d'un transformateur de courant ne doit jamais rester ouvert !

ENTRETIEN DES TRANSFORMATEURS

L'entretien désigne les interventions sur les équipements en vue de les maintenir en bon état.

Donc on peut parler de l'entretien surtout pour les transformateurs de puissance, Les petits transformateurs sont la plupart non réparables.

Pour les transformateurs de grande puissance il faut appliquer les deux concepts de maintenance :

- maintenance préventive, effectuée selon des critères déterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du service rendu, dans ses deux formes : systématique et conditionnelle ;
- maintenance corrective, effectuée après une défaillance.

Opérations de maintenance préventive :

- Inspection

Activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie.

Pour les transformateurs l'inspection peut comporter : l'examen minutieux des fondations, de l'état extérieur des cuves, des fuites éventuelles, de l'état des isolants, etc.

- Contrôle

Vérification de la conformité à des données préétablies, suivi d'un jugement. Les activités de contrôle peuvent aboutir à des actions correctives. Pour les transformateurs le contrôle peut comporter : l'examen du niveau de l'huile, de l'état des surfaces des corps isolants, de l'état des relais Buchholz, de l'état de fonctionnement des équipements de protection et de commutation, etc.

- Visite (de maintenance)

Opération de maintenance préventive consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien. Pour les transformateurs les visites peuvent comporter les mêmes opérations que pour le contrôle, si elles sont planifiées dans le temps.

Opérations de maintenance corrective

Si les opérations de la maintenance préventive aboutissent à des actions correctives, ou, si un bien tombe en panne, on procède à des opérations de maintenance corrective. La maintenance corrective, selon les conditions, peut s'exprimer en deux activités :

- Dépannage

Action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement, au moins provisoirement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coût et de qualité, et dans ce cas sera suivi d'une réparation.

- Réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

Démarche de la maintenance :

Les interventions sur les équipements sont nécessaires pour la conservation de leur bon état de fonctionnement. Mais l'état d'esprit lié à la maintenance implique également que ce bon fonctionnement soit atteint dans les meilleures conditions de coût et de réalisation et que les problèmes passés et présents soient mis à profit pour améliorer la situation future de l'équipement.

Il est donc possible de garder en mémoire :

- les pannes et les incidents qui se sont présentés ;
- les coûts de remise en état ;
- les temps d'indisponibilité ;
- les coûts de pertes de production liés à l'indisponibilité ;
- les modifications techniques apportées ;
- les valeurs avant et après correction, etc.

Cette nécessité conduit à mettre en place, pour chaque équipement, un dossier qui, en pratique, se présente en deux parties :

- dossier technique ;
- dossier machine.

Dossier technique :

Il regroupe tout ce qui est propre à un modèle de machine : données constructeur, plans, schémas électriques, caractéristiques générales, nomenclatures, etc. Il suffit donc d'un dossier technique par type de transformateurs. On peut trouver les données exigées dans les catalogues ou dans les documents qui accompagnent les transformateurs.

Dossier machine :

✚ Relatif à chaque machine (transformateur), il est individuel et regroupe :
d'une part: année de mise en service, montant d'investissement, caractéristiques et consignes particulières, configuration de fonctionnement, modifications apportées, opérations spécifiques de réglage, travaux d'entretien, instructions de graissage, résultats de contrôles et de visites, etc.

✚ Il contient la trace écrite de toutes les opérations d'entretien réalisées sur la machine.
Cette dernière partie constitue un sous-dossier appelé « dossier historique » ou plus simplement, « historique »

HISTORIQUE DES PANNES ET DES INTERVENTIONS																		1
EQUIPEMENT		Transformateur		MARQUE				TYPE				PARC				N°		
Dates janvier 1988	N° B.T.	N° code	Désignation des travaux exécutés	Méthodes d'entretien						Heures d'arrêt machine	Temps passé					Coûts		
				1	2	3	4	5	6		Méca.	Elec.	Pneu.	Hydrau.	Total	M.O.	Fournit.	Total
04/01		2	Remplacer butées de posit.	1,5						2,00	1,5				1,5	270	20	290
05/01		1	Remplacer capteur D4	0,5						0,50		0,5			0,5	90	220	310
07/01		0	Réparer goulotte alimentation pièces	1						1,25	1				1	180		180
12/01		1	Remplacer	1						1,50			1		1	180	240	420
13/01		2	Remplacer capteur C 3	0,5						1,00			0,5		0,5	90	140	230
15/01		1	Régler butée T	0,2						0,50	0,2				0,2	36		36
20/01		3	Remplacer	1,75						2,00	1,75				1,75	315	250	565
22/01		5	Remplacer les fusibles sur Q1			0,25				0,25							40	40
23/01			Visite préventive "Gamme-type 3"					< 1,5 >			1,5				1,5	270	300	570
25/01		6	Remplacer voyant H2			0,25											40	40
26/01		1	Suite à VP: remplacer flexible sur R		0,5								0,5		0,5	90	30	120
27/01		0	Décoincer goulotte alimentation	0,5						0,75	0,5				0,5	90		90
30/01			Graissage mensuel					0,25			0,25				0,25	45	5	50
				6,95	0,5	0,5		< 1,75 >		9,75	6,7	0,5	2		9,2	1656	1285	2941
Méthodes d'entretien				1 - dépannage 2 - réparation		3 - entretien de conduite 4 - entretien préventif conditionnel				5 - entretien systématique 6 - améliorations								