CHAPITRE I : Transformateurs

1. Introduction :

Pour brancher un récepteur (charge) sur une source d'énergie il faut avant tout vérifier si la tension de la source *correspond* à celle du *récepteur*, sinon cela pose un problème d'adaptation de tension.

Dans le cas de non égalité des tensions (source, abonné) ; il est nécessaire d'insérer un appareil d'adaptation des tensions. Ce dernier aura comme tension d'entrée celle du réseau et comme tension de sortie celle d'abonné : c'est le **transformateur**.

Le réseau électrique compte plusieurs dizaines de milliers de transformateurs. Certains ont pour fonction d'élever la tension (transformateurs élévateurs de tension), d'autre de l'abaisser (transformateurs abaisseurs de tension), ils ont des tailles et des masses très variables. Tous sont dotés d'un dispositif permettant d'évacuer la chaleur produite pendant leur fonctionnement.

1.1. Principe de fonctionnement

Le transformateur est constitué de deux enroulements (ou plus) couplés sur un noyau magnétique, comme à la figure 1.

Le coté de la source est appelé le **primaire**. Le coté de la charge est appelé le **secondaire**.

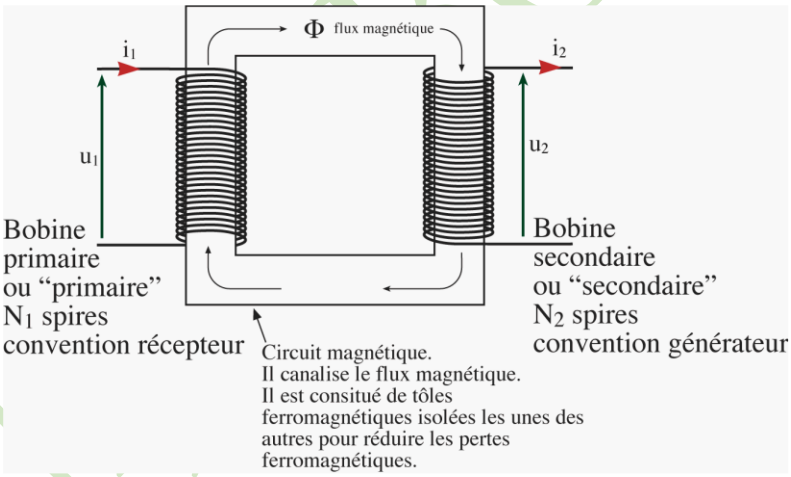


Fig. 1. Schéma d'un transformateur.

Il faut remarquer qu'il n'existe aucune connexion ´électrique entre le primaire et le secondaire. Tout le couplage entre les deux enroulements est magnétique.

Lorsqu'on applique une tension alternative à la source, ceci crée un flux alternatif dans le noyau magnétique. Selon la loi de Faraday, ce flux crée des forces ´électromotrices dans les bobines. La force électromotrice induite est proportionnelle au nombre de tours dans la bobine et au taux de variation du flux. Selon le rapport du nombre de tours entre le primaire et le secondaire, le secondaire alimente la charge avec une tension différente de celle de la source.

Le principe de fonctionnement d'un transformateur repose sur la loi de faraday :

Loi de Faraday : une ***variation de flux*** à travers une spire créer une ***f.é.m***. **'e'**. Inversement une ***f.é.m***. **'e'** dans une spire crée une ***variation de flux*** à travers celle-ci.

$$e = -\frac{d\varphi}{dt}$$

C'est ce phénomène qui est exploité dans le transformateur, donc pas de transformateur en courant continue.

h.Mellah, 2018

1.2. Types de transformateurs

Les transformateurs sont classés en différentes catégories en fonction de leur :

- ⇒ Utilisation
- ⇒ Méthode de refroidissement
- ⇒ Milieu isolant
- ⇒ Construction de base

1.2.1. Classification des Transformateurs selon leur utilisation

Les transformateurs sont classés en fonction de leur utilisation dans les catégories suivantes :

1. **Transformateurs de distribution :** Ils sont utilisés dans les réseaux de distribution de manière à transmettre de l'énergie à partir du réseau de moyenne tension (MT) sur le réseau basse tension (BT) des consommateurs. Leur puissance nominale varie généralement de 50 à 1600 kVA.
2. **Transformateurs de puissance :** Ils sont utilisés dans les centrales de forte puissance pour élévateur de tension et dans les postes de transmission pour élévateur ou abaisseur de tension. Habituellement, ils sont de puissance supérieure à 2 MVA.
3. **Autotransformateurs :** Ils sont utilisés pour la transformation de tension au sein de la relativité petite limites, pour le raccordement de systèmes d'énergie électrique de différentes tensions, pour le démarrage des moteurs à courant alternatif, etc.
4. **Transformateurs essai (MESURE) :** Ils sont utilisés pour l'exécution des tests de performance avec une haute ou ultra-haute tension.
5. **Transformateurs de puissance spécial :** Ils sont utilisés pour des applications spéciales, par exemple, dans des fours et de soudage (quatre pattes et en soudage).
6. **Transformateurs d'instrument :** Ils sont utilisés pour la mesure précise de la tension ou de courant.
7. **Transformateur de télécommunication :** Ils sont utilisés dans des applications de télécommunication destinées à la reproduction d'un signal fiable sur une large plage de fréquence et la tension.

1.2.2. Classification des Transformateurs selon la méthode de refroidissement

L'identification des transformateurs immergés dans l'huile selon le procédé de refroidissement est exprimée par un code de quatre lettres.

- La première lettre exprime le moyen de refroidissement interne en contact avec les enroulements.
- La seconde lettre identifie le mécanisme de circulation pour le fluide de refroidissement interne.
- La troisième lettre identifie le mécanisme de circulation externe pour le milieu de refroidissement extérieur.
- La quatrième lettre identifie le mécanisme de circulation pour le milieu de refroidissement externe.

Par exemple, si le milieu de refroidissement interne est une huile minérale, qui est distribué par écoulement naturel, et le milieu de refroidissement externe est de l'air, qui est distribué par convection naturelle, cette méthode de refroidissement est codée comme ONAN (huile naturelle Air Naturel).

Dans les transformateurs de puissance, diverses méthodes de refroidissement sont utilisées, y compris la circulation d'huile par des pompes ou circulation forcée de l'air par des ventilateurs, ou les deux de ce qui précède. En conséquence, les procédés de refroidissements suivants existent :

1. **ONAF** Oil Natural Air Forced
2. **OFAN** Oil Forced Air Natural
3. **OFAF** Oil Forced Air Forced
4. **OFWF** Oil Forced Water Forced

1.2.3. Classification des Transformateurs selon le milieu isolant

Les transformateurs sont classés en fonction de leur milieu isolant dans les catégories suivantes :

1. Les transformateurs immergés dans l'huile (Oil-Immersed Transformers) **:** Le milieu isolant est l'huile minérale ou synthétique (silicium) d'huile.

h.Mellah, UFBC, 2018

2. **Transformateurs à type secs** (Dry type transformers) Le refroidissement est mis en œuvre avec circulation naturelle d'air et les enroulements sont habituellement isolés avec des matériaux de la classe H ou F. Les matières de la classe H sont conçues pour fonctionner dans des conditions normales, à des températures allant jusqu'à 180 ° C et les matières de la classe F à des températures allant jusqu'à 155 ° C.

3. **Transformateurs à type résine** (Resin type transformers) Le transformateur de type résine est un transformateur de type sec isolé avec une résine époxy coulée sous vide.

1.2.4. Classification des Transformateurs selon la construction du corps (circuit magnétique)

Construction of the magnetic circuit of three-phase transformers can be implemented, alternatively, as follows:

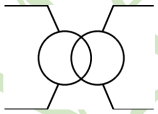
1. **Avec trois branches** (with three legs -vertical limbs-) Le flux magnétique d'une jambe doit circulez dans les deux autre jambes et aussi le flux passe par les bobines de autres phases ; c'est-à-dire le transformateur n'a pas un retour libre du flux.
2. **Avec Cinque branches** (With five legs -vertical limbs-) Un retour libre du flux par la jambe extérieure.

- Il existe deux technologies différentes pour empiler les feuilles du matériau magnétique du noyau :
  1. **Noyau empiler (Stack core)** Les couches de feuilles de matériau magnétique sont placées l'une sur l'autre, et les couches verticales et horizontales se chevauchent.
  2. **Noyau plaies (Wound core)** Le circuit magnétique est de type coquille et les feuilles sont enroulées.
- Deux matériaux différents sont utilisés pour la construction du noyau :

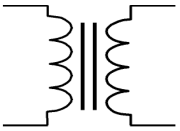
1. **Feuille de silicone d'acier (Silicon steel sheet)** La feuille d'acier au silicium qui est utilisé pour la construction de base c'est un alliage constitué de 97% de fer et 3% de silicium. Ce matériau est cristallin. Les tôles d'acier au silicium ont une épaisseur 0,18 à 0,5 mm. Il y'a aussi des feuilles d'acier au silicium pour le fonctionnement à haute induction magnétique (Hi-B).
2. **Feuille de métal amorphe** (Amorphous metal sheet) La feuille de métal amorphe qui est utilisé pour la construction de base c'est un alliage constitué de 92% de fer, 5% de silicium et 3% de bore. Ce matériau n'est pas cristallin. Il a 70% inférieur à perte sans charge que l'acier au silicium. L'épaisseur de la feuille de métal amorphe est de 0,025 mm, c'est-à-dire, il est environ 10 fois inférieure à l'épaisseur typique de la feuille d'acier au silicium.

1.3. Transformation d'énergie

Symboles

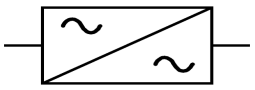


ou



Le transformateur est un *convertisseur statique* (pas de pièce en mouvement). Il transforme une tension sinusoïdale en une autre tension sinusoïdale de valeur efficace différente.

symbole :



2. Types de transformateur selon leur fonctionnement :

2.1. Transformateurs élévateurs de tension :

Le rôle de ces transformateurs est d'élever la tension électrique à la sortie des centrales électriques. En effet, le passage d'un courant électrique dans un câble occasionne des pertes d'énergie, une partie de l'énergie électrique est dissipée en chaleur par effet joule.

M.Mellah, UHBC, 2018

Afin de limiter ces pertes d'énergie, il est nécessaire de diminuer l'intensité du courant donc d'augmenter la tension aux bornes de la ligne.

2.2. Transformateurs abaisseurs de tension :

A bord des zones de consommation, la tension est progressivement abaissée jusqu'à obtenir des basses tensions (230 V ou 380 V), c'est le rôle des transformateurs abaisseurs de tension.

- Quelques exemples de transformateurs :

Fig.2 Centre de distribution locale

Ce centre reçoit l'énergie électrique par le biais de lignes haute tension (90 000 V) et l'aiguille vers les communes environnantes par des lignes moyenne tension (30 000 V). Ce centre possède également un poste de contrôle d'où un opérateur peut agir sur le fonctionnement du réseau.

Fig.3 Gros plan d'un transformateur du centre local

Ce transformateur transforme la haute tension en basse tension, il s'agit d'un puissant transformateur abaisseur de tension. Il est équipé de trois ventilateurs destinés à le refroidir. En effet un transformateur peut dégager beaucoup de chaleur, ce qui nuit à son bon fonctionnement et pourrait même aboutir à la longue à la dégradation de l'appareil.

Fig.4 Transformateur de quartier

h.Mellah HB 2018

Ce transformateur de petite taille est destiné à convertir une moyenne tension (20 000 volts) en une basse tension. Ce transformateur est placé en bout de ligne sur le dernier pylône, l'énergie électrique emprunte ensuite une ligne enterrée.

Il est équipé d'un radiateur (masse métallique dotée d'ailettes de refroidissement) destiné à évacuer la chaleur qu'il produit.

Fig.5 Transformateur de quartier

A la différence du transformateur précédent, ce transformateur de quartier n'est pas placé sur le dernier pylône d'une ligne. Il possède lui aussi un radiateur destiné à le refroidir.

2.3. ROLE :

Le transformateur constitue l'un des moyens utiles et les plus utilisés pour l'adaptation des tensions. C'est grâce au transformateur qu'on arrive à transporter l'énergie électrique à grande distance, d'une façon économique. Dans le transport et la distribution de l'énergie électrique, on utilise des transformateurs triphasés de grande puissance. Ils sont installés dans les centrales, les postes d'interconnexion et de distribution, sur les poteaux et dans les zones de distribution. On peut considérer dans le principe de fonctionnement qu'un transformateur triphasé est équivalent à trois transformateurs monophasés. La différence tient essentiellement aux modes de couplage des enroulements des transformateurs triphasés.

3. Constitution et caractéristiques :

La figure suivante montre la constitution d'un transformateur triphasé.

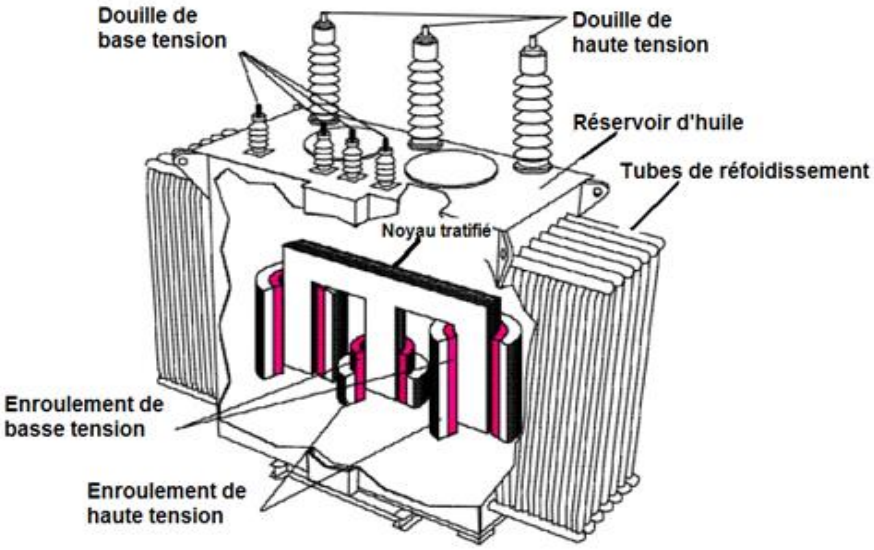


Fig. 6. Transformateur de puissance

3.1. Circuit magnétique :

a. Formes de circuits magnétiques

http://www.mellah.e-monsite.com

h.M _ UHBC, 2018

Le rôle du circuit magnétique est de canaliser le flux magnétique Φ [Wb] et de présenter le minimum de pertes par Hystérésis et par courant de Foucault.

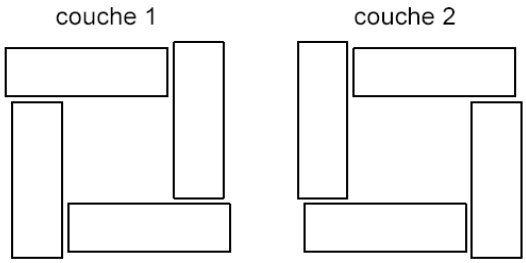
Pour augmenter la perméabilité magnétique et donc la diminution de la f.é.m. et du courant nécessaire pour maintenir le flux voulu ; on utilise un acier spécial : l'acier au silicium (à grains orientés).

Pour diminuer les pertes par courants de Foucault on utilise des tôles isolées les unes des autres (circuit magnétique feuilleté) :

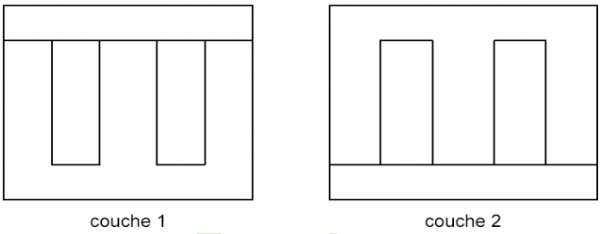
- Par phosphatation
- Par vernis synthétique

Ce circuit peut avoir différentes formes :

Soit à 2 colonnes formées par un empilage de tôles décalées (couche 1 puis couche 2 et ainsi de suite)

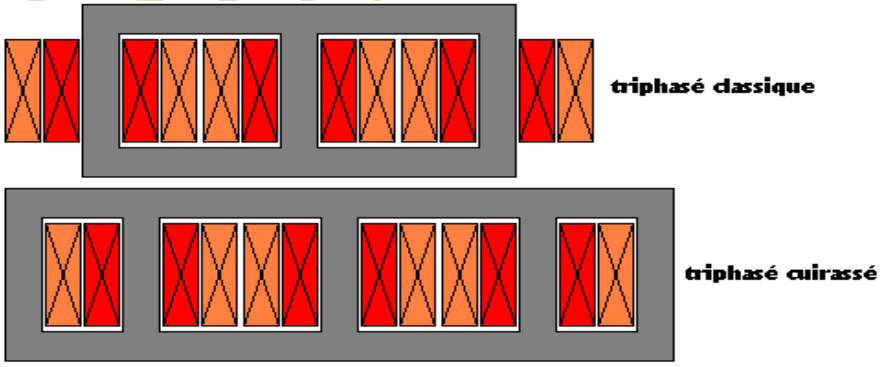


Soit de forme cuirassée, c'est-à-dire que les enroulements sont placés sur une colonne centrale et le flux magnétique Φ [Wb] se referme par chacun des côtés qui forment la cuirasse.

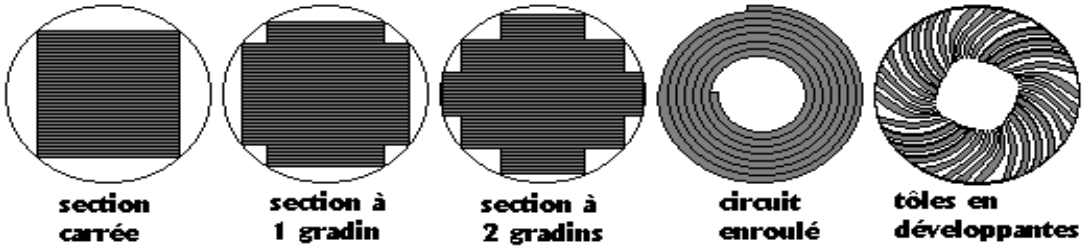


La forme des tôles, selon les dimensions du circuit magnétique, peut être en E, en U, en L, en C ou en I, l'assemblage s'effectuant toujours en croisant les joints. Le circuit magnétique est constitué de trois colonnes en général alignées et de deux culasses qui assurent la fermeture du circuit.

b. Diffèrent types de circuits magnétiques :



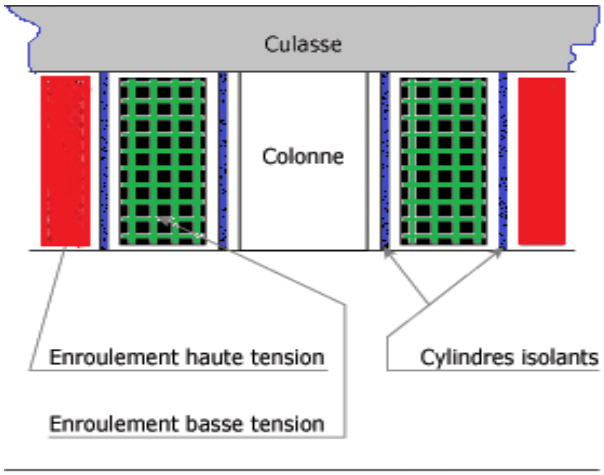
c. Section des colonnes :



Le noyau (colonne) porte les bobinages qui sont circulaires de façon à mieux résister aux efforts électrodynamiques. La section du noyau doit donc s'inscrire dans un cercle, l'encombrement minimal étant obtenu pour une section circulaire. Pour réduire les pertes par courant de Foucault, les colonnes et les traverses sont constitués par des tôles minces empilées l'une sur l'autre et isolées électriquement entre elles. Les pertes par hystérésis seront réduites lorsque ces tôles sont généralement en acier doux au silicium. Dans les gros transformateurs, ce sont des tôles à cristaux orientés. Chacune des colonnes reçoit les bobinages primaires et secondaires d'une phase comme pour les transformateurs monophasés. Les organes mécaniques ont un rôle plus important pour les transformateurs de forte puissance, tels que les anneaux de manutention ou le système de refroidissement.

3.2. Bobinage d'un enroulement :

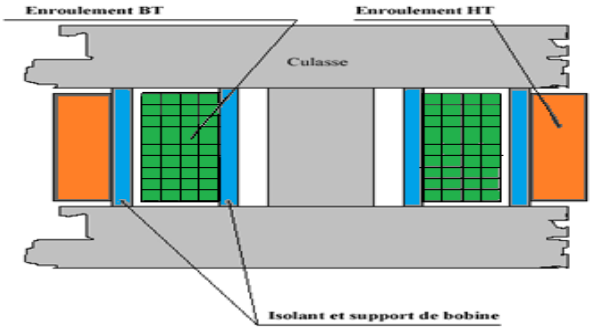
Le bobinage d'un seul enroulement est illustré par la figure suivante :



➢ **Selon l'emplacement des enroulements sur les colonnes on distingue :**

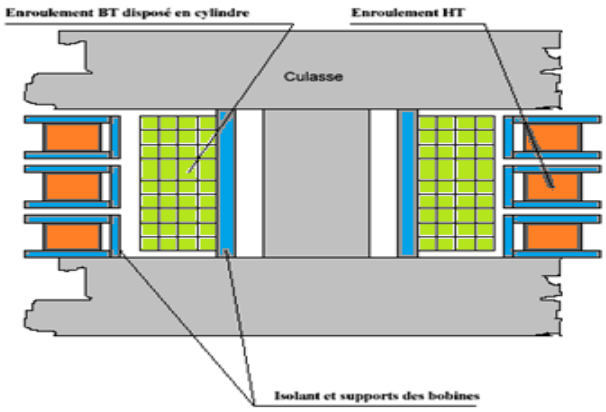
a) Bobinage concentrique (en tonneau) :

L'enroulement BT est placé près de la colonne car la distance d'isolation entre la bobine et la colonne sera la plus faible.

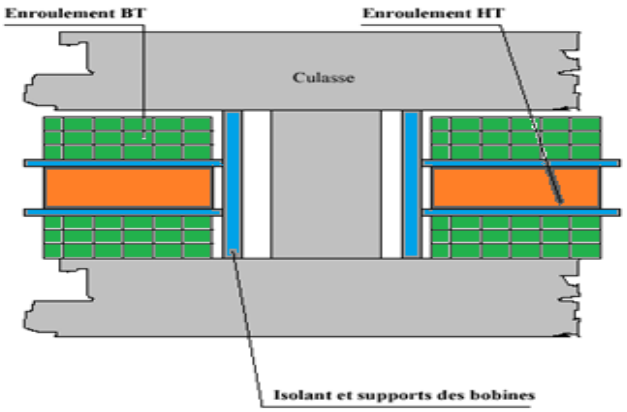


b) Bobinage mixte :

Pour éviter les très fortes différences de potentiel entre les spires d'extrémité de deux couches successives, on réalise des bobines plates (galettes) qui sont montées en série les unes avec les autres, utilisé surtout en HT et THT



http://www.mellah.e-monsite.com

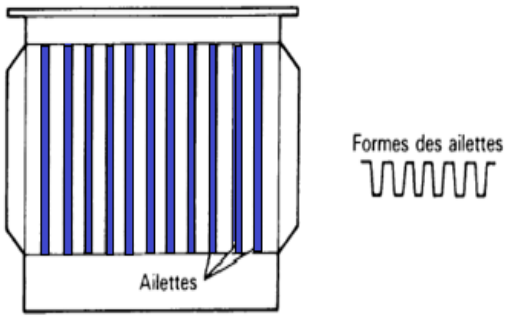
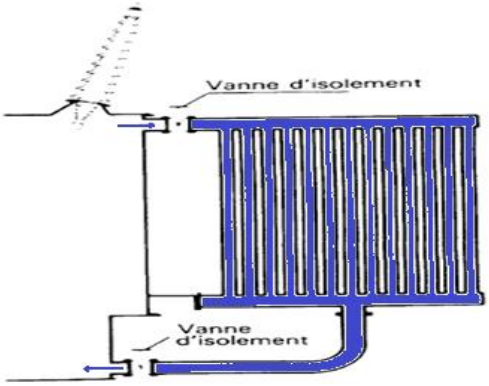
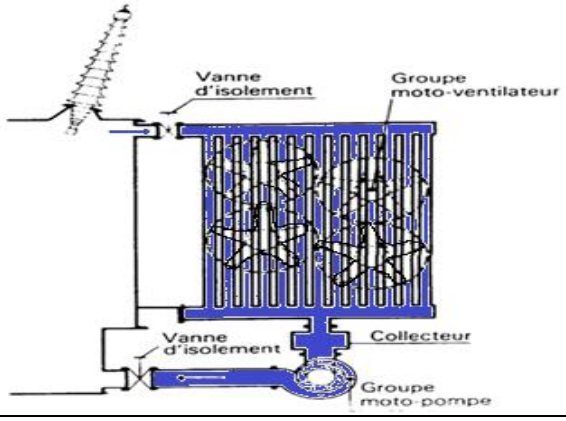
c) **Bobinage alterné en galettes :**	
Les galettes HT et BT sont alternées, l'empilage est terminé par les galettes BT plus faciles à isoler du circuit magnétique.	

4. Modes de refroidissement des transformateurs :

Il est nécessaire de refroidir les transformateurs de grosses puissances afin d'éviter la détérioration des vernis isolants (courant de Foucault).

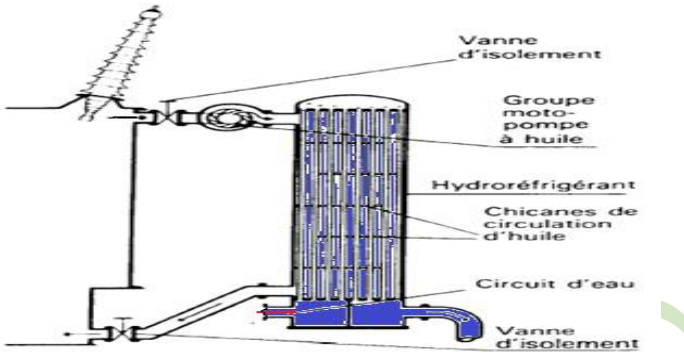
4.1. Différents types de refroidissement :

Ce refroidissement peut se faire de différentes façons :

a) **Refroidissement dans l'air**	
Le transformateur est mis dans une enceinte grillagée, la ventilation peut être naturelle ou forcée (ventilateur)	
b) **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)	
c) **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.	

http://www.mellah.e-monsite.com

h.Mellah, UHBC, 2016

d) Refroidissement avec hydroréfrigérant	
La circulation de l'huile s'effectue dans une cuve contenant des tubes à l'intérieur desquels circule de l'eau froide.	

4.2. Diélectrique

L'isolation diélectrique qu'elle soit solide ou liquide doit permettre au transformateur de résister à la fois à la tension alternative en régime permanent et aux surtensions transitoires sans décharge électrique.

- **Huile**

Les transformateurs de puissance sont traditionnellement remplis d'huile minérale spécifique. Elle permet l'isolation diélectrique des enroulements entre eux ainsi que le refroidissement du transformateur. L'huile est un bon conducteur thermique, et sa circulation au travers de radiateurs permet d'évacuer la chaleur produite par les bobines et le circuit magnétique du transformateur. L'huile perd de ses propriétés diélectriques avec le vieillissement, avant tout causé par la température. Pour limiter le phénomène on utilise des additifs antioxydants, on parle alors d'huile inhibée, dans le cas contraire d'huile non-inhibée. Ces dernières années ont vu l'apparition d'huile de substitution : huile de silicone, ester synthétique et ester naturel. Pour éviter de graves conséquences écologiques en cas de fuite d'huile, un bac de rétention est installé sous les transformateurs.

- **Papier**

L'isolation papier est réalisée à l'aide de couches de papier superposées, imprégnées d'huile puis séchées. Les pores du papier atteignent alors une grande rigidité diélectrique, des pertes diélectriques faibles et une constante diélectrique proche de celle de l'huile. Il est à noter que le papier associé à l'huile a de bien meilleures propriétés diélectriques que le papier ou l'huile séparément. La présence d'humidité dans l'isolation est très néfaste pour ses propriétés.

Il est à noter que les enroulements sont également entourés d'une fine bande de papier isolant afin d'isoler les différents bobinages en parallèle. Au niveau axial, les enroulements sont isolés à l'aide de cales de papier pressé.

L'isolation papier à la propriété de pouvoir absorber une grande quantité d'humidité. Cela détériore ses propriétés diélectriques et augmente considérablement son volume. L'isolation doit donc être séchée avant d'être placée dans la cuve.

5. Schéma équivalent

5.1. Transformateur monophasé dans l'approximation de Kapp

L'hypothèse de Kapp consiste à négliger le courant $I0$ devant le courant I_{1n}.Ne pas tenir compte de I_0, revient à débrancher l'impédance magnétisante (Rm//jXm), le schéma équivalent devient :

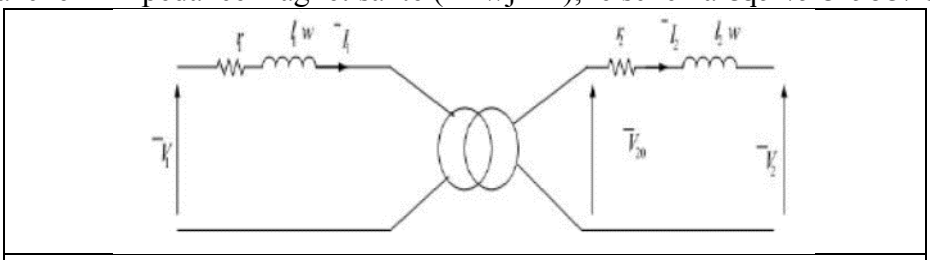


Figure 3.9 – Schéma équivalent +hypothèse de Kapp

http://www.mellah.e-monsite.com

h.Mellah, UHBC 2016

5.2. Transformateur monophasé réel

Le schéma équivalent du transformateur réel est représenté par la figure suivante :

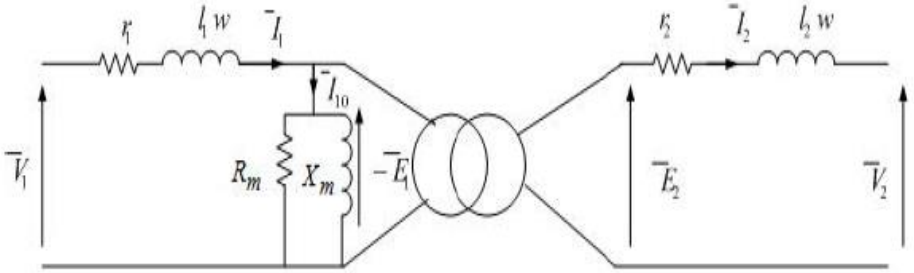


Figure 3.8 – Transformateur réel

$r_1(\Omega)$: Résistance de l'enroulement primaire
$l_1(H)$: Inductance de l'enroulement primaire
$r_2(\Omega)$: Résistance de l'enroulement secondaire
$Rm(\Omega)$: Résistance de circuit magnétique
$Xm(\Omega)$: Réactance de circuit magnétique
$l_2(H)$: Inductance de l'enroulement secondaire

5.2.1. Détermination des éléments du schéma équivalent

On effectue deux essais :

- Essai à vide

Cet essai consiste à alimenter l'enroulement primaire par sa tension nominale et on mesure la tension à vide au secondaire, le courant et la puissance à vide absorbées par le primaire comme le montre la figure suivante :
Dans ce cas, on peut déterminer pratiquement :

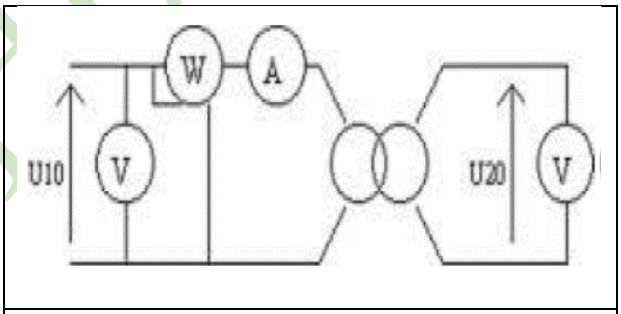


Figure 3.11 – Essai à vide

Le rapport de transformation $m = \frac{V_{20}}{V_{10}}$

La résistance de circuit magnétique $R_m = \frac{V_{10}^2}{P_0}$

La réactance de circuit magnétique $X_m = \frac{V_{10}^2}{Q_0}$

- Essai en court-circuit sous tension primaire réduite

On applique au primaire une tension réduite $U_{1cc} \ll U_{1n}$ (tension nominale), on augmente progressivement U_{1cc} depuis 0 jusqu'à avoir $I_{2cc} = I_{2n}$

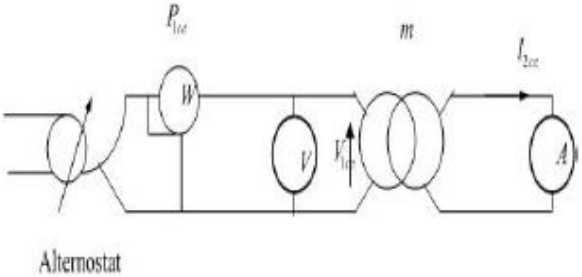


Figure 3.12 – Essai en court-circuit

Puisque $U_{1cc} \ll U_{1n} \Rightarrow$ les pertes fer lors de l'essai en court-circuit sont négligeables et par conséquent la résistance ramenée au secondaire est égale à :

$$R_s = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2}$$

http://www.mellah.e-monsite.com

h.Mellah, UFBC, 2018

Le schéma équivalent ramené au secondaire (en court-circuit) est le suivant :

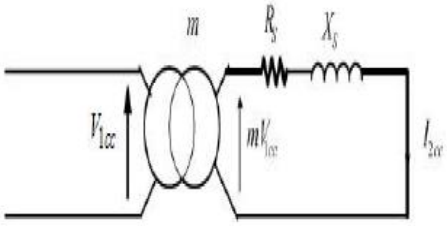


Figure 3.13 – schéma équivalent en court-circuit

L'impédance et la réactance ramenées au secondaire sont :

$$Zs = m\frac{V_{1cc}}{I_{2cc}^2}$$

$$Xs = \sqrt{\left(Z_s^2 - X_s^2\right)}$$

5.3. Chute de tension

Par définition la chute de tension notée ΔV2 est la différence entre valeurs efficaces de la tension secondaire à vide et en charge comme suit :

$$\Delta V_2 = V_{2vide} - V_{2\ en\ charge}$$

5.4. Rendement

On applique le théorème de Boucherot :

Puissance fournie : $P_2 = V_2 I_2 \cos\varphi_2$

Pertes Joule : $p_{Joule} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = R_S I_2^2$, $(R_s = R_1' + R_2)$

Pertes fer : $p_{fer} = \frac{V_1^2}{R_m} = P_{vide}$, $(R_m ou\ R_f$ du circuit magnetique)

D'où le rendement : $\eta = \frac{P_2}{P_2 + p_{Joule} + p_{fer}} = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi_2}{V_2 I_2 \cos\varphi_2 + R_S I_2^2 + p_{fer}}$

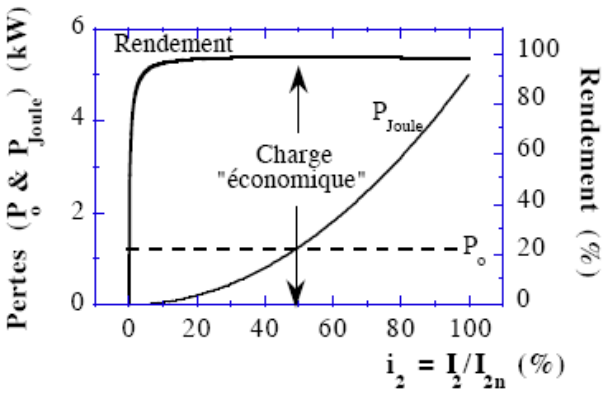
- L'essai à vide donne les pertes fer et l'essai en court-circuit donne les pertes Joule.

Numériquement, ce rendement est très bon pour un transformateur industriel (η>95%). Il dépend de V_2, I_2, φ_2.

- Le rendement est nul pour $I_2 = 0$ et $I_2 = \infty$.

Si on suppose V_2 et φ_2 constants, il est maximum lorsque : $R_S I_2 = \frac{p_{fer}}{I_2}$ □, soit lorsque $p_{Joule} = p_{fer}$.

$$\eta = \frac{V_2 \cos\varphi_2}{V_2 \cos\varphi_2 + R_S I_2 + \frac{p_{fer}}{I_2}}$$



http://www.mellah.e-monsite.com

h.Mellah, UHBC, 2018

	Calcul d'un transformateur d'alimentation Fréquence secteur = 50 Hz - P< 500 watts - B = 10000 gauss - Sans étage push-pull - Tôles ordinaires, Source : *Calcul et réalisation des transformateurs* Ch. Guilbert - Ed. Radio – 1976	

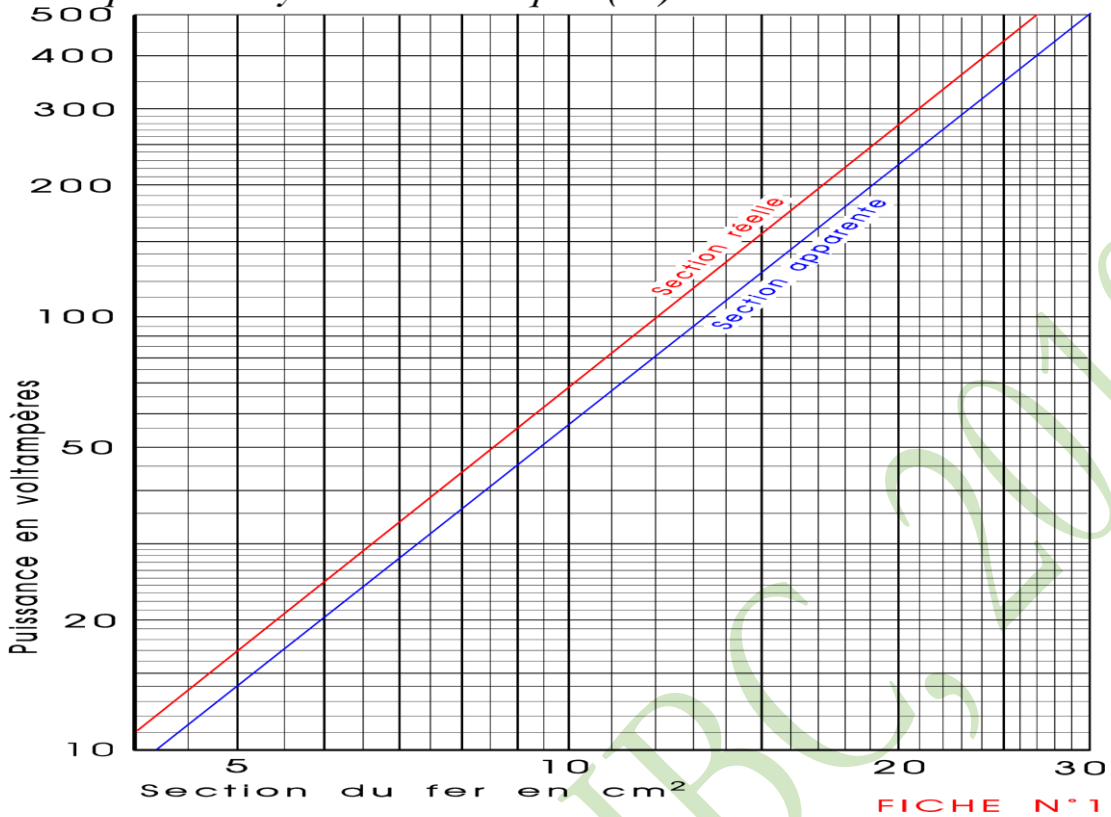
Détermination de la puissance que doivent délivrer les secondaires alimentant le chauffage des lampes et de la valve. (Voir exemple)	$P_{ch} = E_{eff} I_{eff}$	Les données numériques nécessaires sont fournies par les data-sheets de chaque lampe. Faire la somme des puissances individuelles
Détermination de la puissance que doit fournir le secondaire HT (Voir exemple et annexe 1)	Détermination de la tension (Er) à la sortie du système valve-filtre, connaissant la tension de service (Es) sous une intensité (Is) : $E_r = E_s + R\,I_s$	RI_s est la tension aux bornes de la self de filtrage ou de la bobine d'excitation du HP (de résistance *R*) en série dans le circuit HT.
	Détermination de la tension V_{eff} (celle du demi-secondaire HT) en fonction de E_r, de I_s et de la valve employée) Choisir l'un des deux cas suivants :	
	<u>Cas N°1</u> : s'il alimente un redresseur avec filtre à condensateur d'entrée, la puissance que doit fournir le secondaire HT est : $P_{ht} = 2,2\, V_{eff} I_s$	Consulter l'annexe N°1 ou une data-sheet de la valve
	<u>Cas N°2</u> - s'il alimente un redresseur avec filtre à inductance d'entrée, la puissance que doit fournir le secondaire HT est : $P_{ht} = 1,5\, V_{eff} I_s$	Consulter l'annexe N°1 ou une data-sheet de la valve
Détermination de la puissance totale que doivent fournir tous les secondaires :	$P = P_{ch} + P_{ht}$	Faire la somme de toutes les puissances.

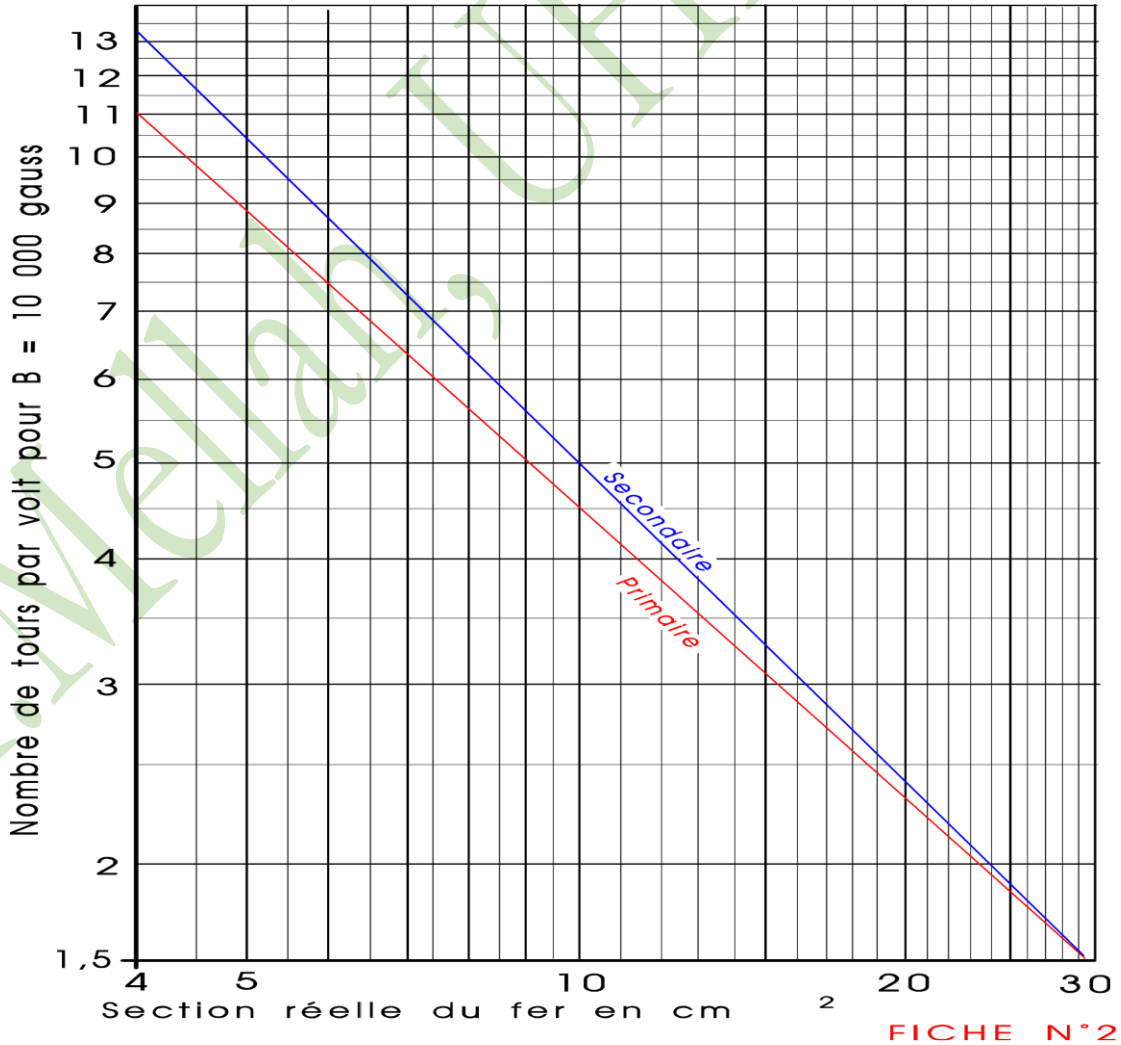
h.Mellah, UHBC, 2018

Déterminer la section réelle du noyau. en fonction de la puissance *P* : (Consulter la fiche N°1)	Section apparente *(Sa)* en cm^2 : $S_a = 1.32\sqrt{P}$ Section réelle *(Sr)* en cm^2 : $S_r = 1.2\sqrt{P}$	La section apparente (*Sa)* est égal au produit des deux dimensions de la section du noyau. La section réelle (*Sr)* est la donnée sur laquelle on base les calculs. Elle est inférieure de 10% à la section apparente. (à cause du revêtement sur les tôles et de la très fine pellicule d'air entre elles.)
Détermination du nombre de spires par volt - pour le primaire -pour le secondaire. et du nombre de spires de chaque enroulement. (Consulter la fiche N°2 ou N°2 bis)	Formule générale de calcul :(formule de Boucherot) $N = V\,\frac{10^8}{4,44\,F\,B\,S}$ *N* = nombre de spires de l'enroulement. V = tension aux bornes de l'enroulement. *F* = fréquence en hertz, *B* = Induction en gauss *S* = section du noyau en cm^2	Pour le secondaire, on tient compte des pertes ce qui conduit à un nombre de spires par volt légèrement supérieur au nombre de spires par volt du primaire.
Détermination du nombre de spires par volt si B est différent de 10000gauss : (Consulter la fiche N°3)	Nombre de spires par volt : Nombre de tours par volt au primaire $= K/S_r$ Nombre de tours par volt au secondaire $= KC/S_r$	Pour un transformateur à usage continu, on choisit B entre 7500 et 9000 gauss. Pour un usage intermittent, on peut aller jusqu'à 14000 gauss. Avec des tôles de qualité courante, le juste milieu se situe vers 10000 gauss ; les abaques de cette fiche ont été tracés avec cette valeur.
Détermination de la densité de courant admissible : (Consulter la fiche N°4)		Elle dépend de la puissance et du mode d'utilisation du transfo. (usage continu ou intermittent)
Détermination du diamètre des fils à employer dans les secondaires. (Consulter la fiche N°5)		Le diamètre des fils est fonction de la densité de courant admissible et de l'intensité demandée.
Détermination de l'intensité dans l'enroulement primaire puis des diamètres correspondant à chaque prise. (Consulter la fiche N°5)	$I = \frac{P}{E}$	*E* = 110 V pour les prises 110 V et 130 V *E* = 220 V pour les prises 220 V et 240 V
Détermination de la surface nécessaire pour la fenêtre des tôles : (Consulter l'annexe N°2)	Calculer la surface théorique occupée par chaque enroulement en multipliant la section du fil par le nombre de spires puis faire la somme des surfaces. Pour obtenir une estimation de l'encombrement, il sera nécessaire de multiplier cette valeur théorique par le coefficient correcteur (de 3 à 4)	-Multiplier par 3 si vous pensez que le bobinage sera parfaitement réalisé, avec des spires bien rangées. -Multiplier par 3,5 ou 4 pour un bobinage qui sera exécuté de façon plus ordinaire.

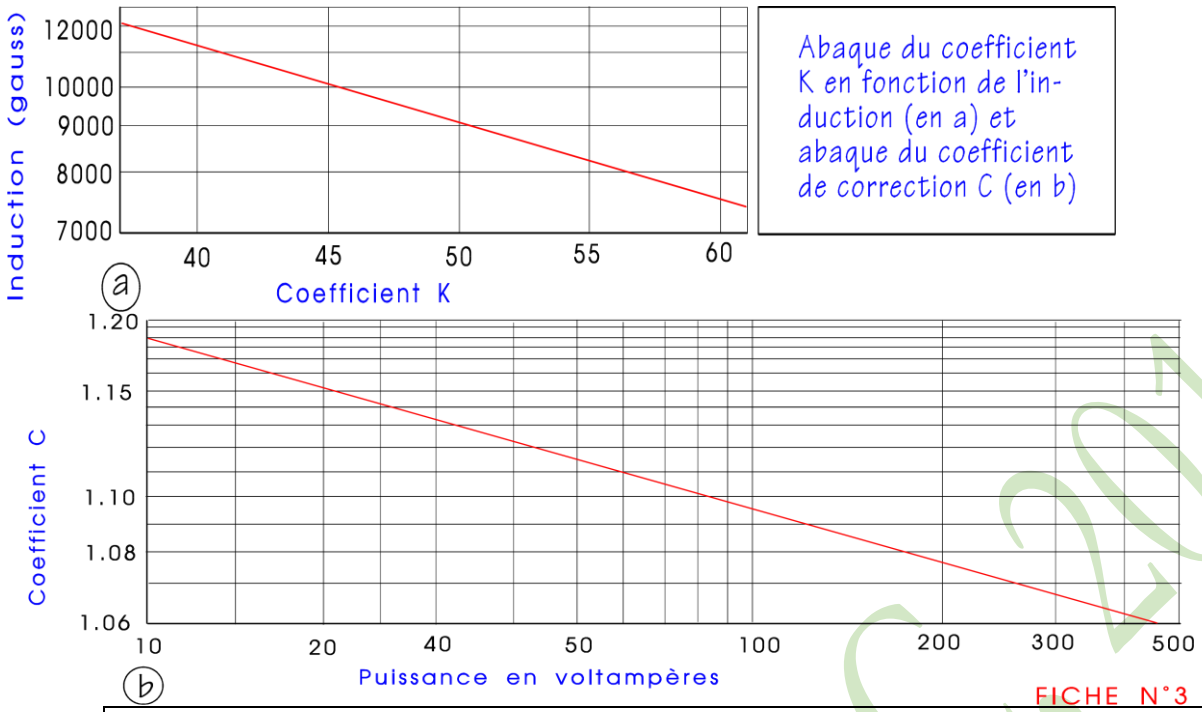
http://www.mellah.e-monsite.com

h.Mellah, UHBC, 2018



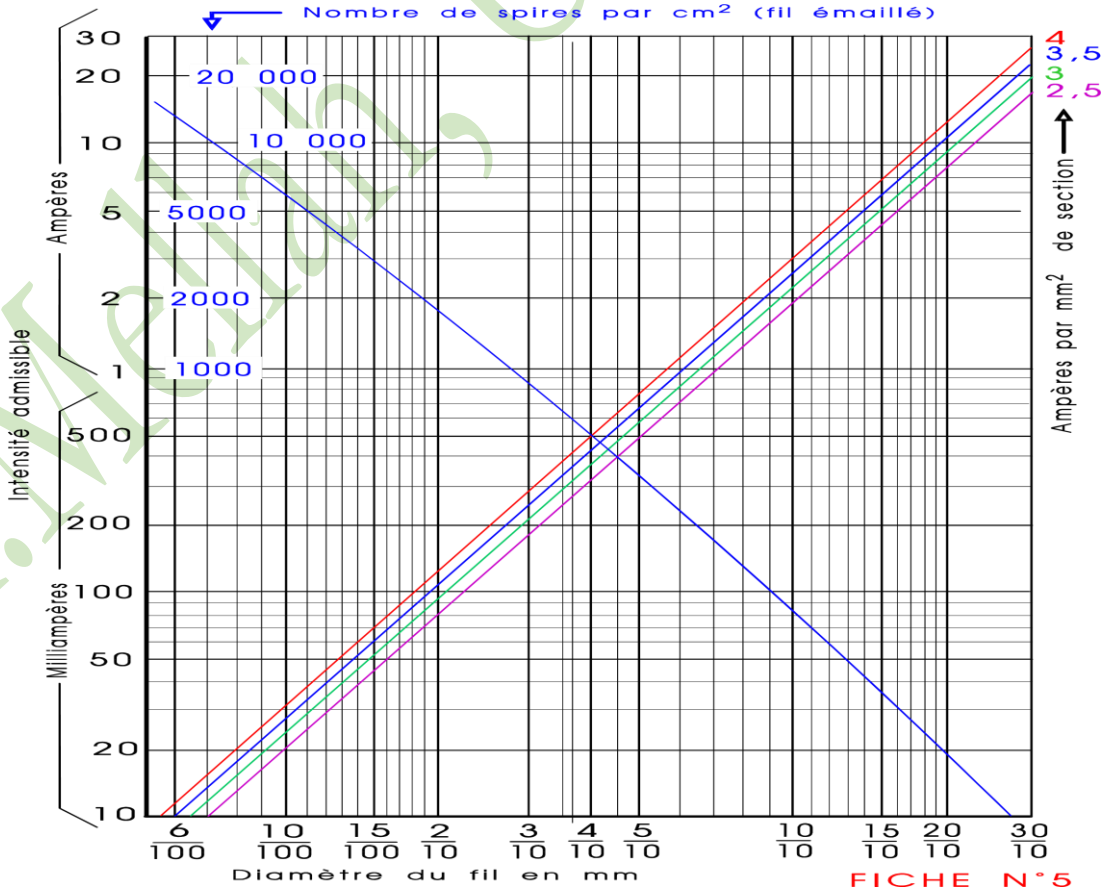


h.Mellah, UHBC, 2018



Abaque du coefficient K en fonction de l'induction (en a) et abaque du coefficient de correction C (en b)

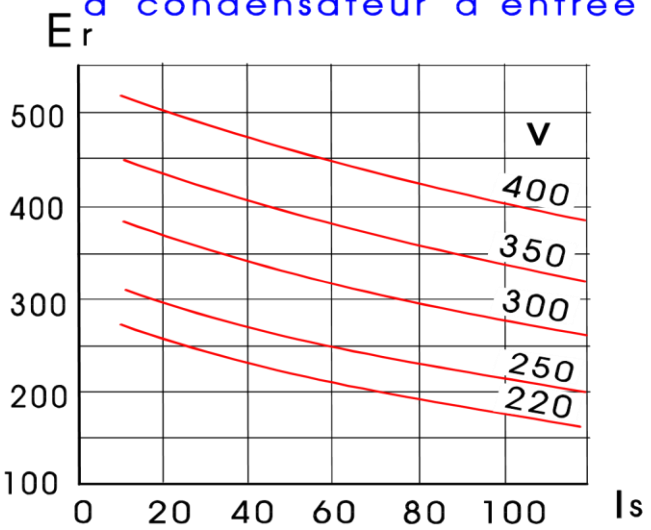
Densité de courant admissible		
Puissance	Densité de courant en ampères par mm^2	
	Utilisation continue	Utilisation intermittente
Jusqu'à 50 VA	4	4
de 50 VA à 100 VA	3,5	4
de 100 VA à 200 VA	3	3,5
de 200 VA à 500 VA	2,5	3,5



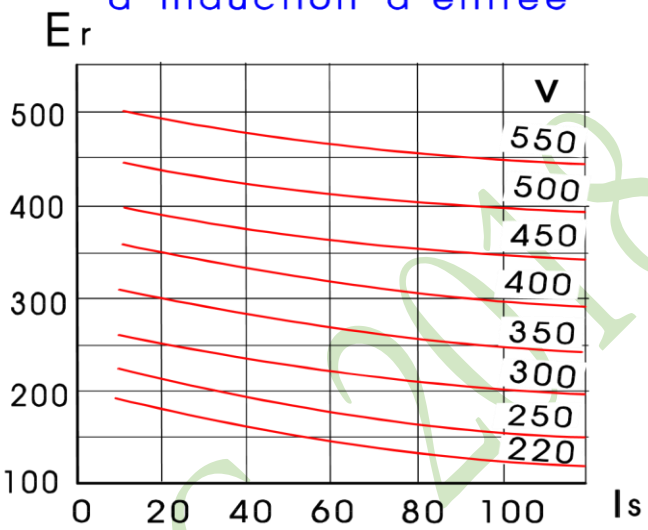
h.Mellah, UHBC 2018

Courbes de redressement des deux alternances pour les principales valves

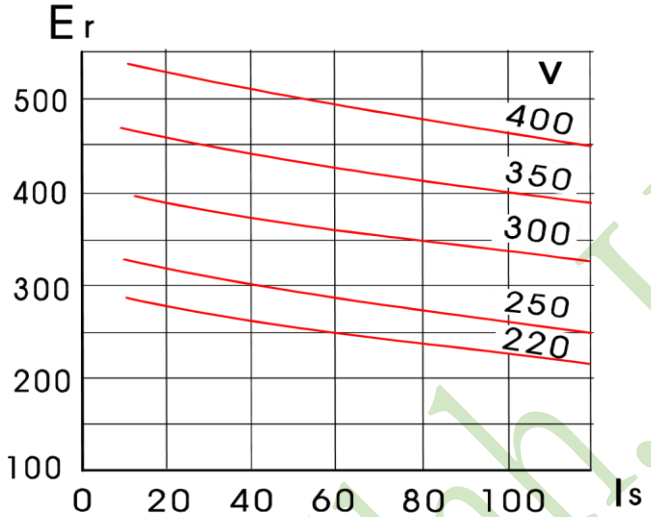
Avec cellule de filtrage à condensateur d'entrée

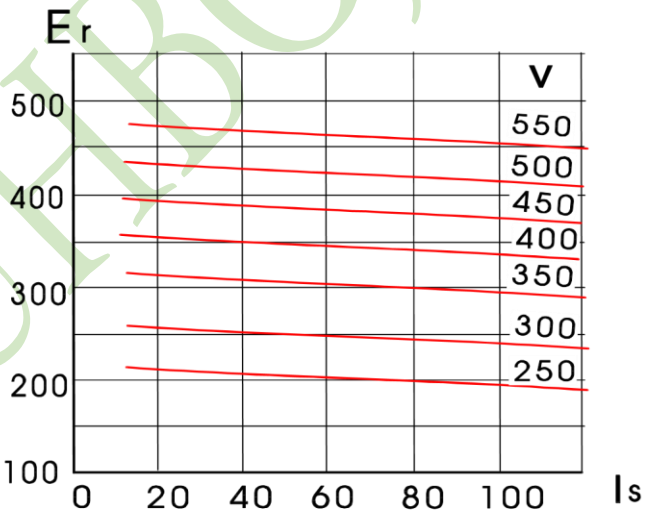


Avec cellule de filtrage à induction d'entrée

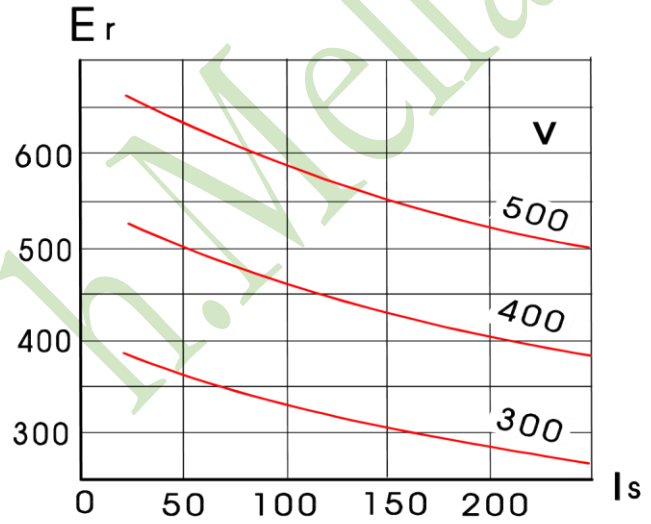


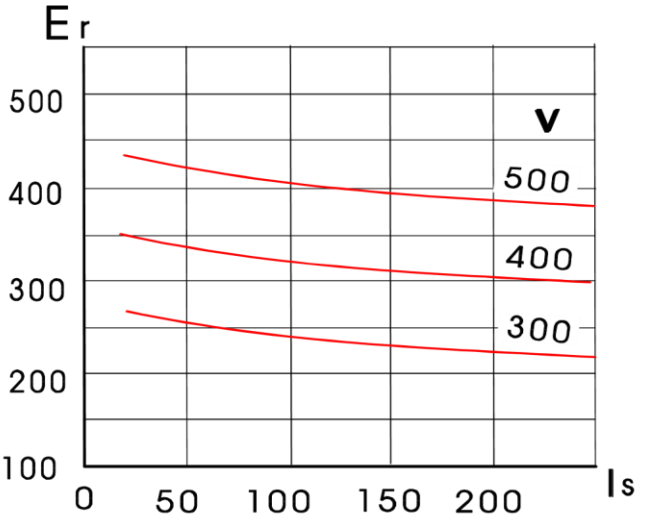
Valves: 80_5Y3_5Y3GB_EZ80_6X4





Valve: 5Z4





Valves: 5Z3_5U4G_5X4_Gz32

ANNEXE N°1

h.Mellah, UHBC, 2018

Caractéristiques des fils de cuivre émaillés

Diam. fil mm	Section mm^2	Ω par m	Mètres pour 1 Ω	Courant maxi. en ampères				
				2 A par mm^2	2,5 A par mm^2	3 A par mm^2	3,5 A par mm^2	4 A par mm^2
0,050	0,002	9,116	0,110	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008
0,060	0,003	6,331	0,158	0,006	0,007	0,008	0,010	0,011
0,070	0,004	4,651	0,215	0,008	0,010	0,012	0,013	0,015
0,080	0,005	3,561	0,281	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020
0,090	0,006	2,814	0,355	0,013	0,016	0,019	0,022	0,025
0,100	0,008	2,279	0,439	0,016	0,020	0,024	0,027	0,031
0,110	0,010	1,884	0,531	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038
0,120	0,011	1,583	0,632	0,023	0,028	0,034	0,040	0,045
0,150	0,018	1,013	0,987	0,035	0,044	0,053	0,062	0,071
0,180	0,025	0,703	1,422	0,051	0,064	0,076	0,089	0,102
0,200	0,031	0,570	1,755	0,063	0,079	0,094	0,110	0,126
0,220	0,038	0,471	2,124	0,076	0,095	0,114	0,133	0,152
0,250	0,049	0,365	2,742	0,098	0,123	0,147	0,172	0,196
0,280	0,062	0,291	3,440	0,123	0,154	0,185	0,216	0,246
0,300	0,071	0,253	3,949	0,141	0,177	0,212	0,247	0,283
0,320	0,080	0,223	4,493	0,161	0,201	0,241	0,281	0,322
0,350	0,096	0,186	5,375	0,192	0,241	0,289	0,337	0,385
0,380	0,113	0,158	6,336	0,227	0,284	0,340	0,397	0,454
0,400	0,126	0,142	7,020	0,251	0,314	0,377	0,440	0,503
0,450	0,159	0,113	8,885	0,318	0,398	0,477	0,557	0,636
0,500	0,196	0,091	10,969	0,393	0,491	0,589	0,687	0,785
0,550	0,238	0,075	13,273	0,475	0,594	0,713	0,832	0,950
0,600	0,283	0,063	15,796	0,565	0,707	0,848	0,990	1,131
0,650	0,332	0,054	18,538	0,664	0,830	0,995	1,161	1,327
0,700	0,385	0,047	21,500	0,770	0,962	1,155	1,347	1,539
0,750	0,442	0,041	24,681	0,884	1,104	1,325	1,546	1,767
0,800	0,503	0,036	28,081	1,005	1,257	1,508	1,759	2,011
0,850	0,567	0,032	31,701	1,135	1,419	1,702	1,986	2,270
0,900	0,636	0,028	35,540	1,272	1,590	1,909	2,227	2,545
0,950	0,709	0,025	39,599	1,418	1,772	2,126	2,481	2,835
1,000	0,785	0,023	43,877	1,571	1,963	2,356	2,749	3,142
1,120	1,000	0,018	55,866	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000
1,200	1,131	0,016	63,183	2,262	2,827	3,393	3,958	4,524
1,400	1,539	0,012	85,999	3,079	3,848	4,618	5,388	6,158
1,500	1,767	0,010	98,723	3,534	4,418	5,301	6,185	7,069
1,800	2,545	0,007	142,161	5,089	6,362	7,634	8,906	10,179
2,000	3,142	0,006	175,508	6,283	7,854	9,425	10,996	12,566
2,500	4,909	0,004	274,231	9,817	12,272	14,726	17,181	19,635
3,000	7,069	0,003	394,893	14,137	17,671	21,206	24,740	28,274
4,000	12,566	0,001	702,032	25,133	31,416	37,699	43,982	50,265

ANNEXE N°2

Fin

http://www.mellah.e-monsite.com