

# Convertisseurs - Laboratoire 1

Groupe 24

Thibault Fievez - Alexandre Fiset  
Maxime de Streel - Loïc Van der Wielen

17 mars 2021

## 1 Introduction

Ce laboratoire avait pour but de caractériser notre transformateur triphasé  $\Delta$ -Y et de caractériser son comportement vis-à-vis de différentes charges. Tout d'abord, pour pouvoir différencier  $R_1$  et  $R_2$  de  $R_e$  nous avons effectué une mesure DC au primaire. Ensuite, afin de pouvoir déterminer les éléments du circuit simplifié, nous avons réalisé un essai à vide et un essai en court-circuit. Une fois notre transformateur caractérisé nous avons observé son comportement sous charge.

## 2 Set up expérimental

### 2.1 Matériel

- Générateur 3\*230 V équilibré absorbant 3 kVA de puissance apparente et de coefficient 1 : 1.
- Autotransformateur triphasé Y-Y.
- Transformateur triphasé 230-400  $\Delta$ -y ( ref : IIB68 ).
- 3 TIs de rapport de réduction  $\{0.5, 1, 2, 5, 20\}$ .
- 3 Ampèremètre alternatif de précision  $[0, 3]$  A.
- Voltmètre alternatif de précision  $[0, 100]$  et  $[0, 250]$  V.
- Voltmètre alternatif de précision  $[0, 250]$  et  $[0, 500]$  V.
- Résistance triphasée variable exponentielle de  $[0, 600]$  k $\Omega$ .
- Wattmètre de précision  $[0, 3]$  et  $\{9, 50, 150, 250\}$  V.
- Ohmmètre analogique.

### 2.2 Utilisations des appareils

**TIs** Les TIs s'utilisent comme un ampèremètre et donc se placent en série sur une ligne. Le rapport de réduction est calculé en utilisant un courant de référence égal à 5 A. Donc si les TIs sont réglés sur un rapport de réduction de 5, alors l'intensité du courant observé sur l'ampèremètre est égale à l'intensité du courant dans la ligne.

**Wattmètre** Le wattmètre permet de calculer une puissance à l'aide de 2 courants de ligne et des 3 tensions de phases. Pour que la puissance apparente soit cohérente, il faut que les 3 tensions soient branchées sur le même calibre de précision.

### 2.3 Tension nominal et courant nominal

La tension nominale acceptée par le transformateur en circuit étoile est 230 V. Comme le transformateur absorbe une puissance apparente de 3 kVA à courant et tension nominal, nous obtenons :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = 7.53 \text{ A} \quad (1)$$

### 2.4 Prise de mesure de la résistance en DC

Cette prise de mesure s'effectue avec le circuit au secondaire ouvert. Comme nous sommes en courant continu, l'inductance devient un court-circuit et donc nous calculons la résistance en série du primaire.

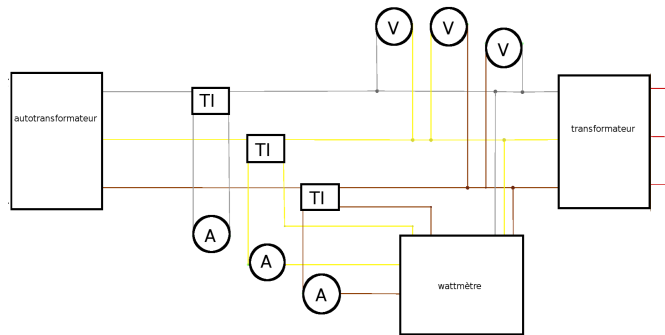


FIGURE 1 – Placement des appareils pour les essais en court circuit.

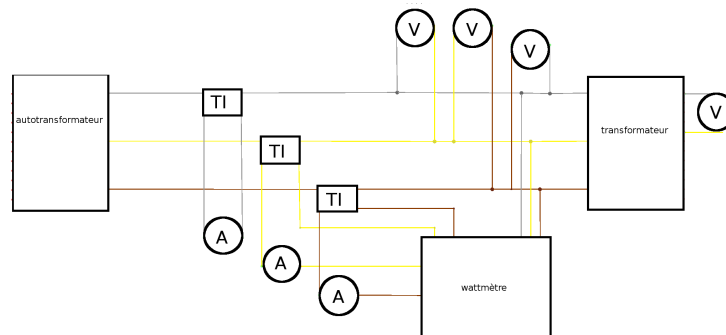


FIGURE 2 – Placement des appareils pour les essais à vide.

## 2.5 Prise de mesure en court-circuit

Cette mesure ne pouvant pas être faite à courant et tension nominal, il faut utiliser l'autotransformateur afin de ne pas injecter un courant trop intense dans le circuit. Les appareils de mesure se placent comme indiqué sur la figure 1.

Réglage des appareils :

- rapport TIs : 5.
- précision wattmètre : 9 V.
- précision de voltmètre : 100 V.

## 2.6 Prise de mesure en essai a vide

Comme les essais à vide standard et non-standard peuvent monter à des tensions plus hautes que la tension normale, il faut changer la précision des appareils. Les appareils de mesure peuvent alors se placer comme indiqué sur la figure 2. Il faut faire attention à ne pas dépasser 240 – 250 V afin de ne pas endommager le transformateur.

Réglage des appareils :

- rapport TIs : [0.5, 1, 2, 5].
- précision wattmètre : 250 V.
- précision du voltmètre au primaire : 250 V.
- précision du voltmètre au secondaire : 500 V

## 2.7 Prise de mesure en charge

Cette mesure se fait à tension nominale. Comme le but de l'expérience est de voir le rendement du transformateur, il faut calculer courant et tension dans le primaire et le secondaire. Le circuit se monte alors comme sur la figure 3.

Réglage des appareils :

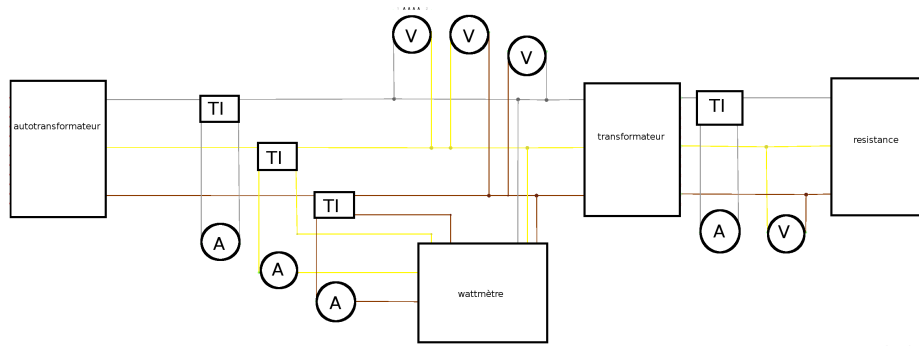


FIGURE 3 – Placement des appareils pour les mesures en charge.

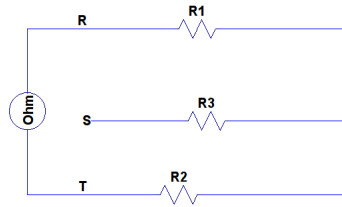


FIGURE 4 – Circuit de calcul de  $R_1$ .

- rapport TIs au primaire :  $[1, 2, 5]$ .
- rapport TIs au secondaire :  $[5, 20]$ .
- précision du wattmètre : 250 V.
- précision du voltmètre au primaire : 250 V .
- précision du voltmètre au secondaire : 500 V.

### 3 Mesure de la résistance DC

A courant continu, toutes résistances et inductances décrivant des effets dus aux champ, ou à la fluctuation de champ sont négligeable. Ce qui nous permet de déterminer la résistance  $R_1$  du circuit équivalent du transformateur. En se rappelant que nous sommes connecter en étoile, le circuit de mesure peut être représenté comme sur la figure 4. Nous pouvons voir que la résistance calculé sera alors deux fois plus grande que  $R_1$ . Nous pouvons imaginer un ordre de grandeur pour cette résistance, car en effet, elle représente la résistance du fil bobiné et des connections. Nous obtenons une valeur pour  $R_1$  :

$$R_1 = \frac{0.330}{2} = 0.165 \, \Omega. \quad (2)$$

### 4 Essai en court-circuit

L'essai en court-circuit sert à déterminer les valeurs des composantes en série du circuit équivalent monophasé. Pour ce faire, le circuit secondaire est placé en court-circuit tandis que le circuit primaire est alimenté de sorte à obtenir un courant inférieur au courant nominal mais supérieur à son quart.

$$I \in [0.25I_N; I_N]$$

Ce montage donne trois courant  $I_{iR}$ ,  $I_{iS}$  et  $I_{iT}$  dont la moyenne est  $I_i$ , une tension  $U_{iL}$  et une puissance  $P_{iL}$  qui nous permettent d'obtenir l'impédance équivalente du circuit ainsi que la phase du circuit  $\varphi_i$ . Étant donné que le circuit est en court-circuit, le courant se concentrant toujours dans le chemin le moins résistif, les composantes en parallèle sont considérées comme négligeable, leur impédance étant largement supérieure à celle d'un court-circuit.

	$U_{iL}$	$I_{iR}$	$I_{iS}$	$I_{iT}$	$I_{iL}$	$P_{iL}$
Lecture		4.24	3.6	3.7		0.57
Constante		5/5	5/5	5/5		75/3
Valeur	5.9	4.25	3.6	3.7	3.85	14.25
	V	A	A	A	A	W

TABLE 1 – Résultat de l'essai en court-circuit

Il est possible de déterminer l'impédance équivalente en série par

$$Z_e \simeq \frac{U_{iL}}{I_i \sqrt{3}} = 0.884[\Omega]$$

tandis que la phase se trouve par

$$\begin{aligned} \cos \varphi_i &= \frac{P_{iL}}{I_i U_{iL} \sqrt{3}} = 0.381 \\ \varphi_i &= \arccos \frac{P_{iL}}{I_i U_{iL} \sqrt{3}} = 67.567^\circ \end{aligned}$$

Ces données permettent alors de déterminer  $R_e$  et  $X_e$  tels que

$$\begin{aligned} R_e &= Z_e \cos \varphi_i = 0.337[\Omega] \\ X_e &= Z_e \sin \varphi_i = 0.817[\Omega] \end{aligned}$$

Pour des questions de simplification, on part du principe que  $Z_1 = Z_2 k^2$ , ce qui signifie, avec  $k = 1$ , que  $Z_1 = Z_2 = \frac{Z_e}{2}$ . Ainsi,

$$\begin{aligned} R_1 = R_2 &= 0.169[\Omega] \\ X_1 = X_2 &= 0.409[\Omega] \end{aligned}$$

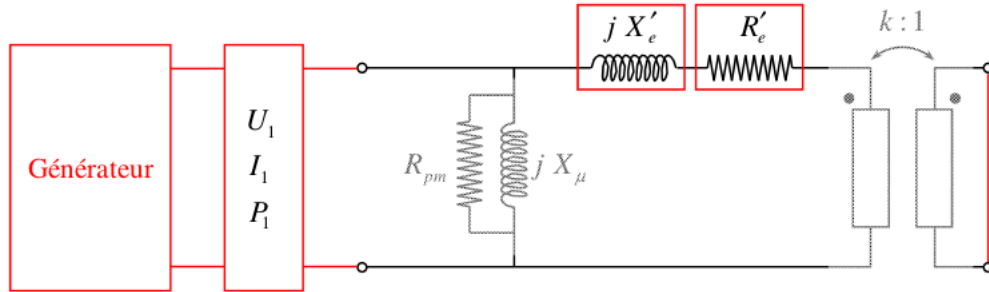


FIGURE 5 – Représentation d'un essai en court-circuit dans le cadre d'un circuit monophasé

## 5 Essai à vide standard

L'essai à vide standard permet de déterminer efficacement les composantes parallèles du transformateur. Dans notre cas nous avons ajusté la tension de ligne au primaire à la tension nominale du transformateur triphasé, soit  $U_{1l} = 230$  [V] de ligne en étoile (ce qui revient à  $U_{1phase} = \frac{U_{1ligne}}{\sqrt{3}} = 132.79$  [V] en phase, cela s'avèrera utile puisque on travaille en tension de phase pour l'équivalent monophasé), et mesuré le courant de ligne primaire  $I_0$  (0.6 A, courant de phase) et la puissance absorbée triphasée  $P_0$  (200 W). En supposant que la résistance du bobinage primaire et sa réactance de fuite sont très faibles (les composantes séries) par rapport à l'impédance

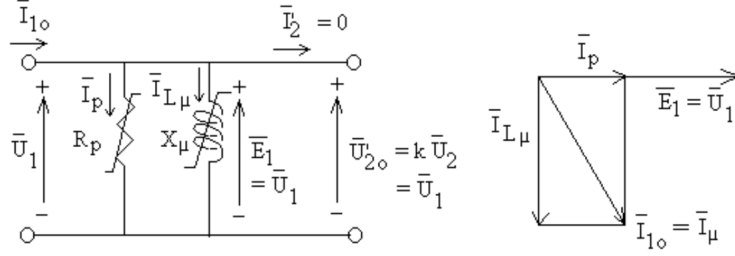


FIGURE 6 – Figure Simplifiée Essai à vide monophasé

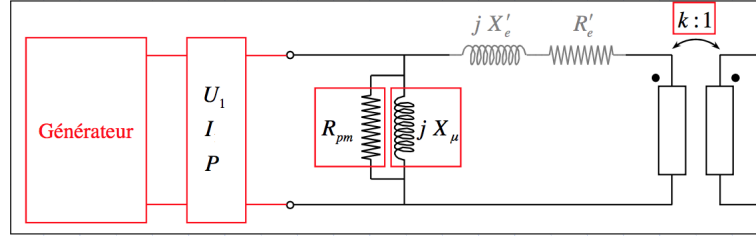


FIGURE 7 – Figure Simplifiée Essai à vide monophasé

de magnétisation  $Z_\mu = R_{pm}/jX_\mu$  (la composante parallèle), on peut donc les négliger. En outre  $R_{pm}$  et  $jX_\mu$  représentent respectivement les pertes de fer et la perméabilité non infinie du matériau ferromagnétique. On peut donc passer du schéma global à un schéma simplifié :

Ainsi on a donc de nouvelles équations :

$$Z_\mu = R_{pm} + jX_\mu = \frac{U_{1l}}{I_0\sqrt{3}} = \frac{230}{0.7\sqrt{3}} = 189.7\Omega \quad (3)$$

$$\cos\varphi_\mu = \frac{P_0}{U_{1l}I_0\sqrt{3}} = \frac{90}{0.7 \cdot 230\sqrt{3}} = 0.323 \quad (4)$$

et donc  $\varphi_\mu = 71.17^\circ$ . Ce qui nous permet de déterminer

$$R_{pm} = \frac{Z_\mu}{\cos(\varphi_\mu)} = 587.3\Omega \quad (5)$$

$$X_\mu = \frac{Z_\mu}{\sin(\varphi_\mu)} = 200.4\Omega \quad (6)$$

	$U_{iL}$	$I_{iR}$	$I_{iS}$	$I_{iT}$	$I_{iL}$	$P_{iL}$
Lecture	230	3	3	3.5		225
Constante	1/1	1/5	1/5	1/5		2.5
Valeur	230	0.6	0.6	0.7	0.7	90
	V	A	A	A	A	W

TABLE 2 – Résultat de l'essai à vide standard

## 6 Essai à vide non-standard

L'essai à vide non-standard permet de déterminer les caractéristiques magnétiques du transformateur triphasé. Pour cela il faut mettre le secondaire en circuit ouvert et faire varier la tension au primaire, nous avons fait varier la tension entre 50 [V] et 250 [V] de phase.

Lors de cet essai nous avons posé une hypothèse assez importante. Les éléments en série sont négligeables par rapport aux éléments en parallèle. En effet nous avons des tensions "élevées"  $U = U_N$  pour des courants de loin inférieurs aux courants nominaux,  $I \ll I_N$ . La Figure 8 ci dessous correspond à la caractéristique B-H du matériau.

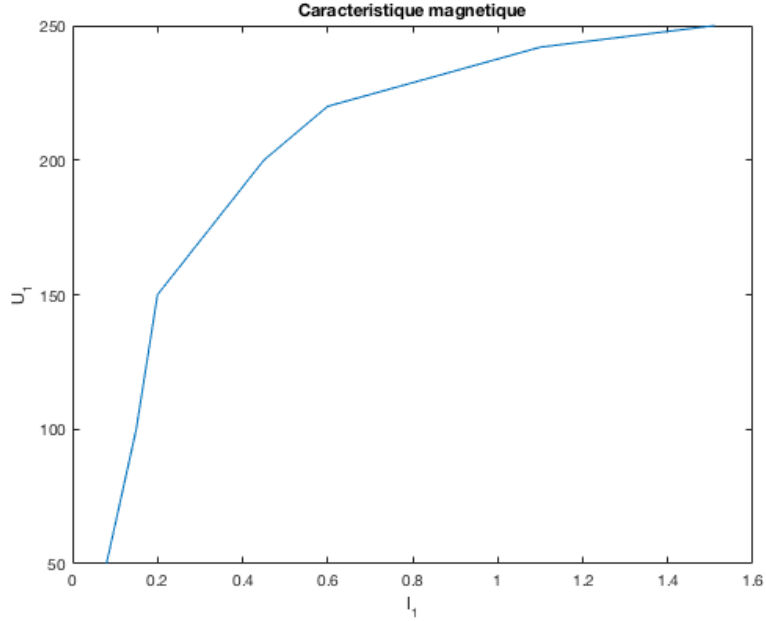


FIGURE 8 – Caractéristique magnétique du matériau

Les mesures que nous avons effectuées lors du laboratoire se trouvent dans la Table 6.

Résultat de l'essai à vide non standard	
Tension [V]	Courant [A]
50	0.08
100	0.15
150	0.2
200	0.45
230	0.6
242	1.1
250	1.5

TABLE 3 – Essai à vide non standard

Le montage à vide non standard (qui est le même que pour le montage à vide standard) se trouve à la Figure 2.

## 7 Essai en charge

L'essai en charge permet de définir les caractéristiques externes. Elle s'effectue à tension nominal au primaire, soit 230 [V] de phase (400[V] de ligne) et sans dépasser le courant nominal dans le secondaire. Cet essai s'effectue en mettant une charge triphasée purement résistive montée en triangle à la sortie du transformateur. Les charges sont de 1 [kΩ] en parallèle.

En se basant sur la figure 3 ,on a

$$\begin{cases} I_1 = I_\mu + I \\ I = \sqrt{3}I_2 \\ I_\mu = \frac{U_1}{R_\mu + jX_\mu} = 0.37e^{j-18.84} \end{cases}$$

On obtient  $I_1 = \sqrt{3}I_2 + \frac{U_1}{R_\mu + jX_\mu}$

Et pour les puissances :  $P_2 = P_1 - P_{fer} - P_{joule} = P_1 - \frac{U_1}{R_\mu} - Re' I_2^2$

Ainsi  $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{fer} - P_{joule}}{P_1}$

De plus on  $dU_2$ , la chute de tension au borne de la résistance  $Z_e$ , qui est égale à  $dU_2 = I_2 Z_e'$ .

$I_2$	$U_{2L}$	$\Delta U_{2L}$	$\Delta U_{2L}$ th.	$P_1$	$P_2$	$\eta$	$\eta$ th.	$I_1$	$I_1$ th.
A	V	V	V	W	W	%	%	A	A
0.75	390	5	0.6637	570	251.3868	73.50	73.82	1.7	1.6697
1.48	386	9	1.3096	1200	627.8240	85.80	87.78	2.9	2.9341
2.2	380	15	1.9468	1600	865.2804	89.07	91.10	4.1	4.1812
2.9	376	19	2.5662	2000	1101.853	90.96	93.17	5.4	5.3936
3.6	372	23	3.1856	2400	1337.485	92.15	94.61	6.6	6.6060

TABLE 4 – Résultats des essais en charge

On remarque que les courants  $I_1$  et  $I_2$  évoluent de manière linéaire, ce qui est cohérent étant donné que les pertes fer sont constantes à tension constante.

Sur la Figure 9 nous pouvons observer les caractéristiques externes tant théoriques qu'expérimentales.

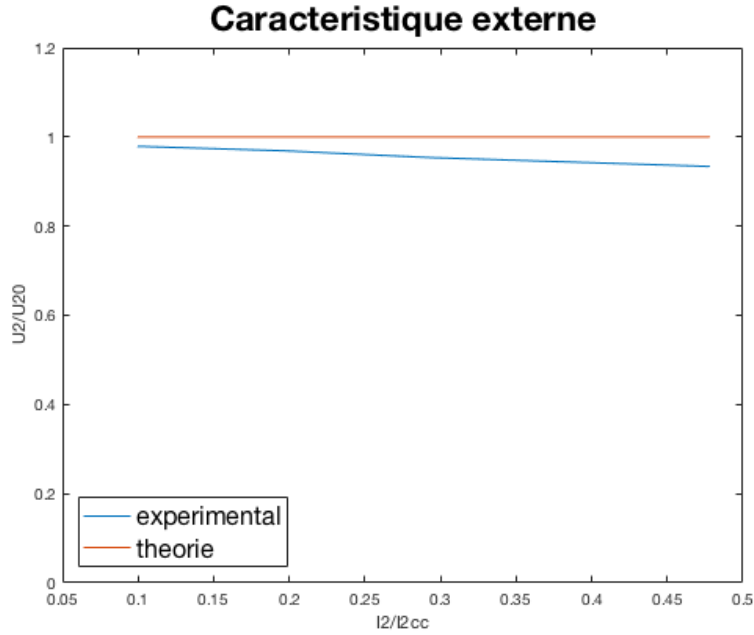


FIGURE 9 – Caractéristique externe

Et sur la Figure 10 un rendement en fonction du courant tant théorique qu'expérimental.

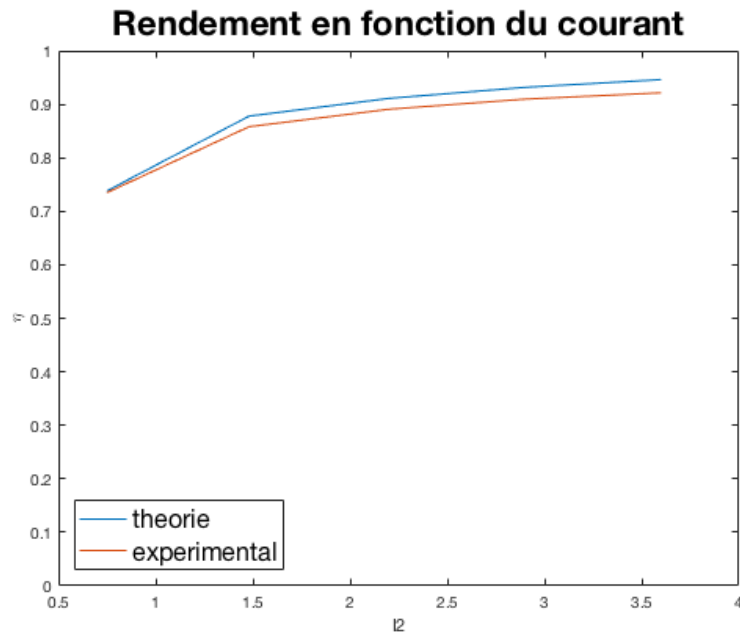


FIGURE 10 – Rendement en fonction du courant

## 8 Conclusion

Durant ce laboratoire nous avons appliqué les différents types d'essais vu aux cours qui permettent, sous certaines hypothèses, de déterminer les éléments du circuit équivalent. Nous avons pu observer que malgré les approximations faites pour nos calculs théoriques nous nous trouvons toujours assez proche de la réalité. Ceci montre bien que même avec ces approximations nous gardons une bonne précision sur le fonctionnement du transformateur.