

LELEC1310 - Laboratoire 1

Gheysen Guillaume
Santacatterina Simon
Simon Benjamin
Sluyters Arthur

Mars 2018

1 Introduction

Dans le cadre du cours de convertisseurs électromécaniques (LELEC1310), nous avons pu effectuer des mesures en laboratoire afin de caractériser un transformateur triphasé.

Ce rapport a pour but de présenter les mesures effectuées ainsi que notre démarche de caractérisation. Après une explication du set-up expérimental, les paramètres du circuit équivalent seront déterminés par diverses expériences qui incluent une mesure DC, des essais en court-circuit et essais à vide. Des simulations en charges seront ensuite effectuées. Chaque étape sera accompagnée d'une explication de son utilité et des calculs réalisés dans la démarche de caractérisation.

2 Set-up expérimental

Pour ces tests, un montage en triangle/triangle a été effectué. Les tests ont été effectués à l'aide de voltmètres, ampèremètres, d'un wattmètre, d'un ohmètre et de transformateurs. Une description des différentes mesures est réalisée pour chaque test. Voici le type de schéma utilisé pour faire nos différentes mesures.

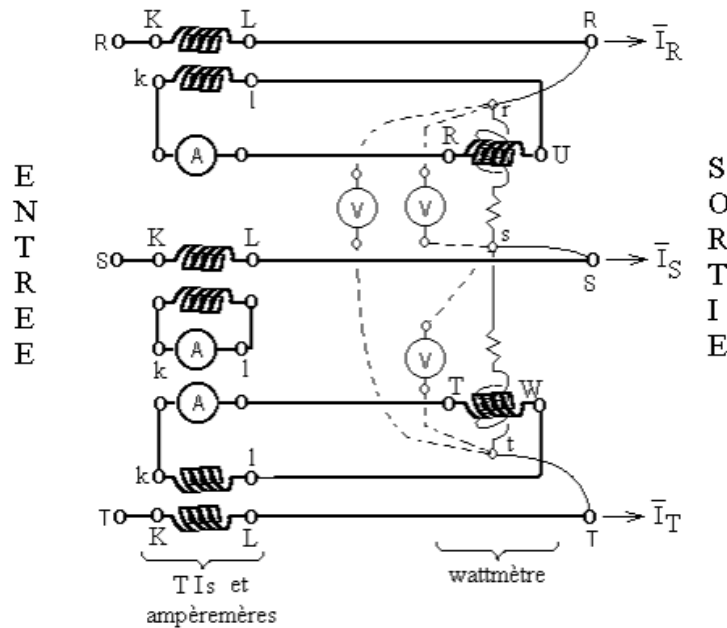


Figure 1

FIGURE 1 – Circuit triphasé utilisé pour faire les différentes mesures

2.1 Caractéristiques nominales et monophasées

Les mesures acquises lors du laboratoire sont toutes des mesures de ligne. La procédure consistera donc à les transformer en grandeurs du point de vue du circuit équivalent monophasé. Pour cela nous transformons les grandeurs de ligne en grandeurs phase. Ou mathématiquement :

$$I_{\text{ligne}} = I_{\text{phase}} \quad (1)$$

$$U_{\text{ligne}} = \sqrt{3}U_{\text{phase}} \quad (2)$$

Les grandeurs nominales sont désignées par des indices N. Les différentes grandeurs physiques sont :

- $P_N = \sqrt{3}U_N I_N = 3[\text{kW}]$, la puissance apparente donnée sur la plaquette signalétique du transformateur au primaire
- $U_N = 230 [\text{V}]$, la tension nominale également donnée sur la plaquette signalétique
- $I_N = 7.53 [\text{A}]$, obtenu par calcul direct des deux valeurs précédentes, qui est le courant nominal monophasé.

2.2 Mesure des résistances en courant continu

Afin de mesurer les différentes résistances du primaire en courant continu on supposera que la résistance des cordons de liaison est nulle. Les résistances entre phases étant supposées égales et la configuration en triangle, il suffit alors de mesurer la résistance entre deux phases via un ohmmètre lorsque le circuit n'est pas alimenté.

2.3 Essai en court-circuit

Pour effectuer l'essai en court-circuit, il suffit de connecter les phases du secondaires entre elles. Au primaire, il ne faut pas dépasser le courant nominal et satisfaire la relation $0.25I_N \leq I \leq I_N$. Ensuite, afin d'avoir la meilleure précision possible, il était conseillé d'avoir un courant nominal qui était en fond d'échelle de l'ampèremètre. Comme l'ampèremètre était configuré pour travailler de 0 à 5 [A], le choix du N (le *multiplier*) a été pris à 5.

$$I_{\text{out}} = \frac{5}{N} * I_{\text{in}} \quad (3)$$

Les mesures sont prises au niveau de chaque paire de phase afin de prendre en compte les dissymétries du problème. Via ce branchement les éléments en série du circuit équivalent pourront être trouvés. Par contre, étant donné qu'en théorie aucun courant ne passe dans les éléments en parallèle, ces derniers peuvent être négligés.

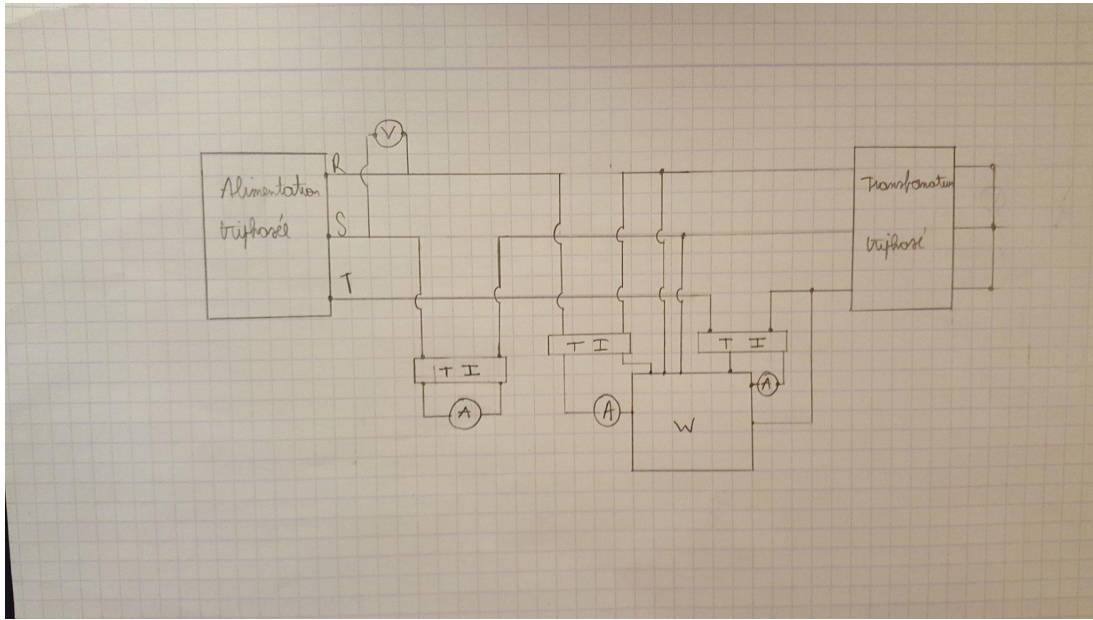


FIGURE 2 – Schéma typique d'une mesure en circuit-circuit

2.4 Essai à vide

Dans ce cas, l'essai est fait par le primaire. Les tensions étant équilibrées, la mesure sur une seule phase suffit. On distingue deux cas :

- l'essai à vide standard pour lequel le primaire est à 230 V, la tension nominale. Celui-ci va servir à obtenir les éléments en parallèle du circuit équivalent. Ici on fait l'hypothèse, car on est en circuit ouvert, qu'aucun courant ne passe dans les éléments en série et ils sont donc négligés.
- l'essai à vide non standard avec la tension au primaire varie de 75V à 260V (dans notre expérience). Les valeurs de la constante N de multiplication est adaptée au fur et à mesure de l'expérience afin de conserver un courant nominal en fond d'échelle et d'obtenir ainsi une meilleure précision.

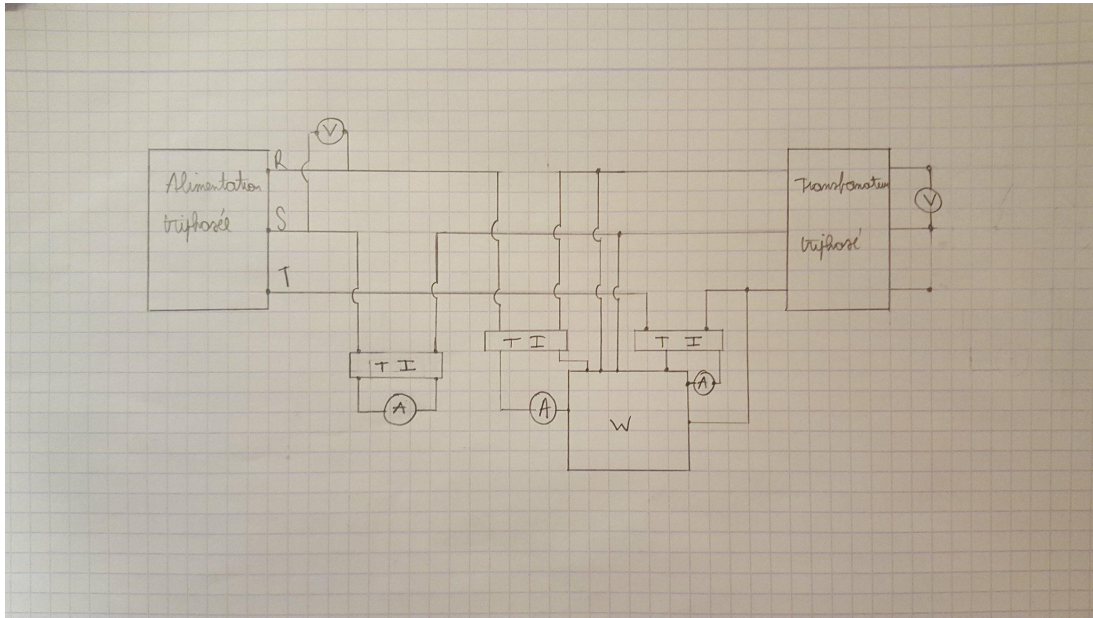


FIGURE 3 – Schéma typique d'une mesure en essai à vide

2.5 Essai en charge

Dans le cas d'une mesure en charge on vient connecter à la sortie, en parallèle, une charge triphasée avec configuration en triangle. Les résistances mises en parallèle ont des valeurs de $1k\Omega$. Lors de cet essai, le primaire est alimenté à tension nominale et le secondaire à un courant qui ne dépasse pas la valeur nominale. Le courant et la tension au secondaire ainsi que la puissance au primaire sont mesurés.

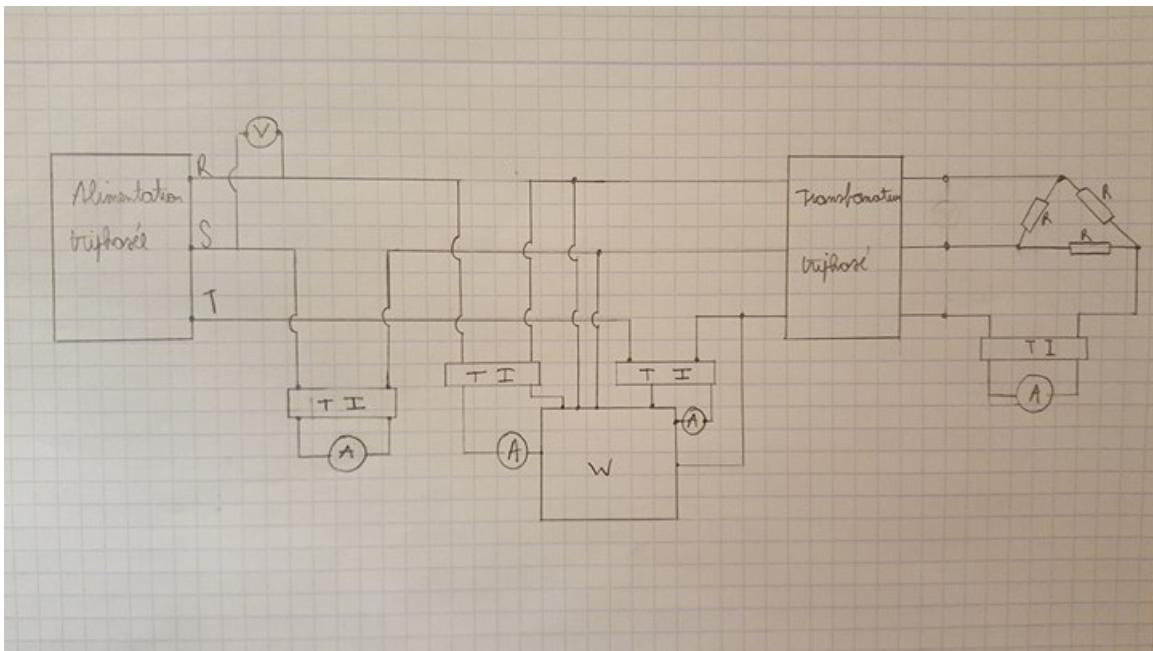


FIGURE 4 – Schéma typique d'une mesure en charge

3 Mesure de la résistance DC

3.1 Résultats

Après mesure, nous obtenons :

- $R_1 = 600 \text{ [m}\Omega\text{]}$
- $R_2 = 480 \text{ [m}\Omega\text{]}$

Ensuite, il faut obtenir les valeurs des résistances équivalentes monophasées (donc celle du montage en étoile). Pour cela, comme vu au cours, il suffit de diviser ces valeurs par 2. Les résultats sont :

- $R_{1'} = 300 \text{ [m}\Omega\text{]}$
- $R_{2'} = 240 \text{ [m}\Omega\text{]}$

4 Essais en court-circuit

Les essais en court-circuit permettent de déterminer expérimentalement les valeurs de éléments parasites série. Pour le reste des calculs, nous supposons que les éléments parasites parallèle sont négligeables, car la tension à leurs bornes (la tension de phase), et donc le courant qui les traverse, est faible.

4.1 Résultats

Voici les différentes mesures prises au primaire :

$U_{ligne}[\text{V}]$	$I_R[\text{A}]$	$I_S[\text{A}]$	$I_T[\text{A}]$	$I_{avg}[\text{A}]$	$P_{ligne}[\text{W}]$	k
5.63	4.35	4.45	3.7	4.167	18.875	1

4.2 Calculs

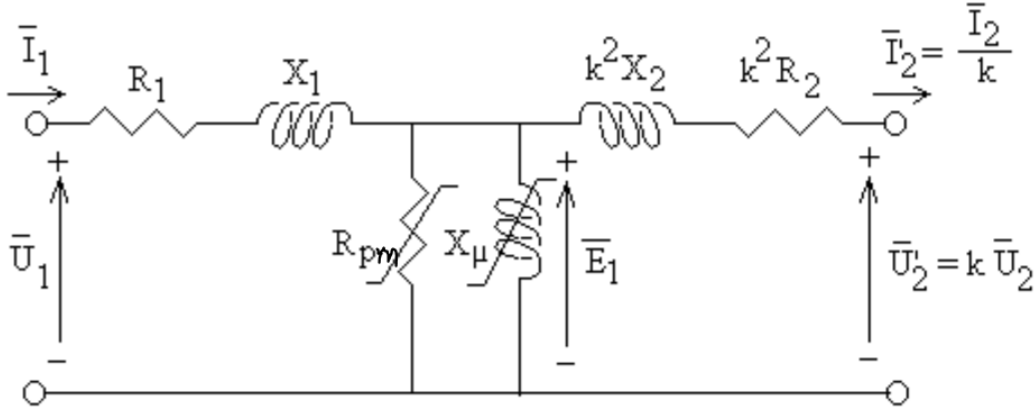


FIGURE 5 – Circuit équivalent en T

$$Z'_e \approx \frac{U_{1L}}{\sqrt{3}I_1} = 780 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$Z_e = \frac{Z'_e}{k^2} = 780 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$\cos(\phi_e) \approx \cos(\phi_{1cc}) = \frac{P_{1L}}{\sqrt{3}I_1U_{1L}} = 0.464$$

$$R_e = \frac{1}{k^2}R'_e = \frac{1}{k^2}Z'_e\cos(\phi_e) = 362 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$X_e = \frac{1}{k^2}X'_e = \frac{1}{k^2}Z'_e\sin(\phi_e) = 691 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

5 Essai à vide standard

L'essai à vide standard (essai à vide effectué à tension nominale) permet de déterminer les valeurs des éléments parasites parallèles. Dans la suite de cette section, nous supposons que les éléments en série sont négligeables.

5.1 Résultats

$U_{ligne}[V]$	$I_R[A]$	$I_S[A]$	$I_T[A]$	$I_{avg}[A]$	$P_{ligne}[W]$
230	0.86	1.12	0.94	0.97	96

5.2 Calculs

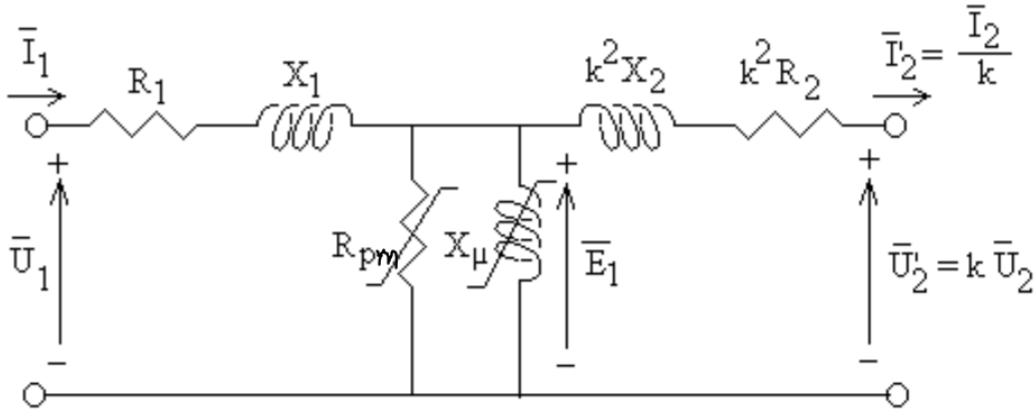


FIGURE 6 – Circuit équivalent en T

Nous cherchons la valeur de X_μ et R_{pm} . Nous savons que :

$$Z_\mu = X_\mu // R_{pm}$$

$$Z_o = R_1 + jX_1 + X_\mu // R_{pm}$$

En négligeant R_1 et X_1 , nous pouvons écrire (attention, ici, $U_{1L} = U_{1o}$ car l'essai à vide standard s'effectue à tension nominale) :

$$Z_\mu \approx Z_o = \frac{U_{1L}}{\sqrt{3}I_{1o}} = 136.897[\Omega]$$

et

$$\cos(\phi_\mu) \approx \cos(\phi_o) = \frac{P_o}{\sqrt{3}U_{1L}I_{1L}} = 0.248$$

X_μ et R_{pm} valent donc :

$$X_\mu = \frac{Z_\mu}{\sin(\phi_\mu)} = 141.328[\Omega]$$

$$R_{pm} = \frac{Z_\mu}{\cos(\phi_\mu)} = 551.042[\Omega]$$

6 Essais à vide non standard

L'essai à vide non-standard nous permet de mettre en évidence le phénomène de saturation, responsable des variations de la valeur de l'impédance de magnétisation.

6.1 Résultats

$U_{ligne}[V]$	$I_R[A]$	$I_S[A]$	$I_T[A]$	$I_{avg}[A]$	$P_{ligne}[W]$
75	0,1	0,13	0,095	0,108	12
150	0,194	0,255	0,19	0,213	35
240	1,16	1,48	1,24	1,293	112
245	1,36	1,74	1,48	1,527	120
250	1,56	1,94	1,66	1,72	136
260	2,25	2,8	2,45	2,5	150

6.2 Calculs

Caractéristique magnétique :

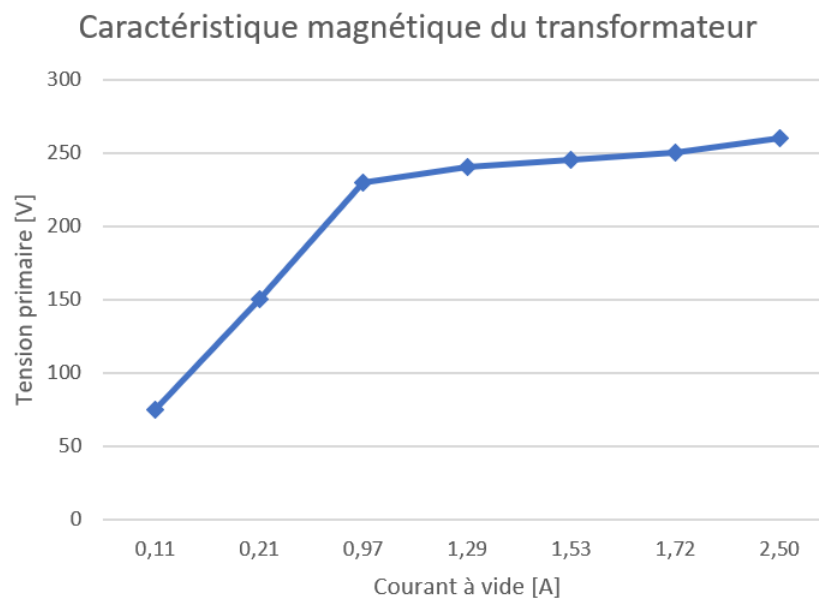


FIGURE 7 – Caractéristique magnétique

On observe bien un phénomène de saturation magnétique lorsque l'on dépasse la tension nominale.

6.3 Calculs et hypothèses

7 Essais en charge

7.1 Résultats

Les essais en charge sont effectués à tension d'alimentation nominale (230V), ce qui permet de ne pas être en saturation.

Nombre de résistances	$I_2 [A]$	$U_{2l} [V]$	$P_2[W]$	$P_1[W]$	$I_1 [A]$	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
2	2,2	226	861	950	2,56	0.906
3	3,25	226	1272	1400	3,583	0.909
4	4,35	225	1695	1700	4,633	0.997

7.2 Calculs et hypothèses

On néglige X_e et R_e au primaire car ils sont faibles par rapport à R_{pm} et X_μ

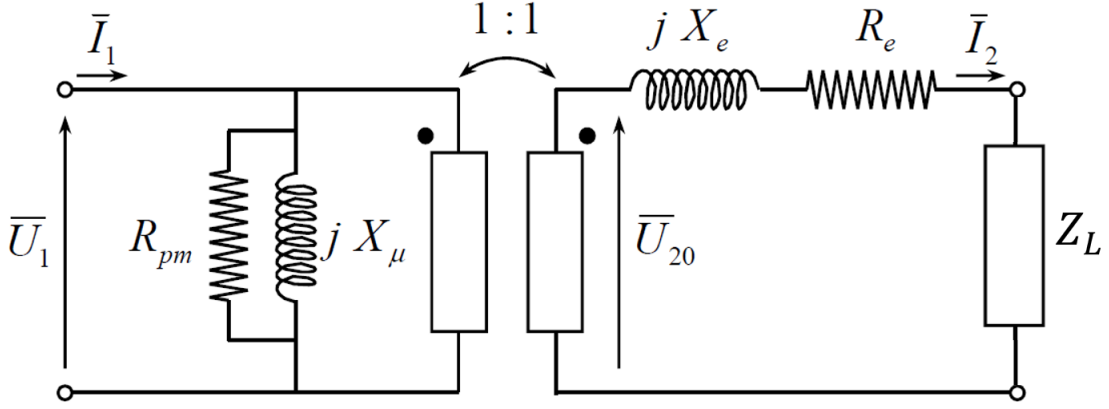


FIGURE 8 – Circuit équivalent avec charge

Avec :

- $R_e = 362 \text{ [m}\Omega\text{]}$
- $X_e = 691 \text{ [m}\Omega\text{]}$
- $X_\mu = 141.328 \text{ [}\Omega\text{]}$
- $R_{pm} = 551.042 \text{ [}\Omega\text{]}$

7.3 Rendement

Le rendement théorique est calculé par :

$$\eta_{Th} = \frac{P_1}{P_1 + P_{fer} + P_{joule}}$$

$$P_{fer} = \frac{U_1^2}{R_P}$$

$$P_{joule} = R_e \cdot I_2^2$$

Nous obtenons le graphe suivant :

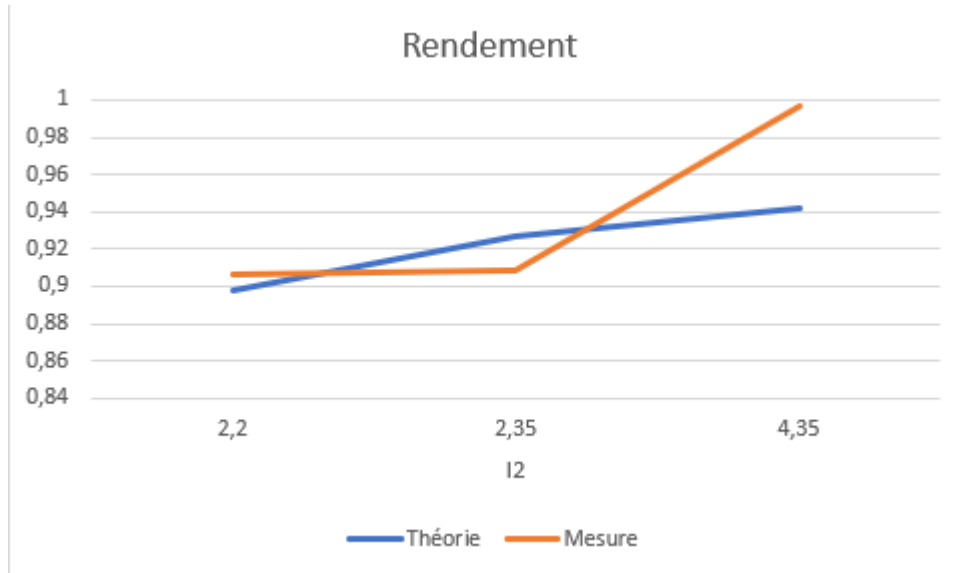


FIGURE 9 – Graphique du rendement théorique contre le rendement mesuré

7.4 Caractéristique externe

Voici le graphe obtenu :

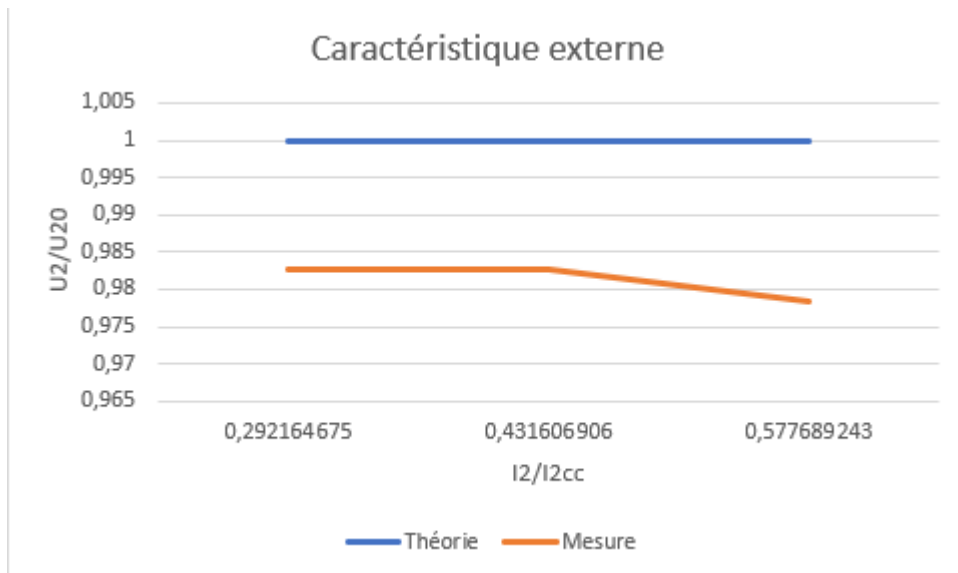


FIGURE 10 – Graphique des caractéristiques externes

8 Conclusion

Au cours de ce rapport, nous avons pu remarquer que les approximations que nous avons faites nous ont permis de décrire de manière assez précise le fonctionnement du transformateur, tout en simplifiant grandement nos calculs. Nous avons également observé que le rendement du transformateur est assez bon, à environ 90% et que sa tension nominale indiquée dans ses caractéristiques est bien choisie, car elle est à la limite de la tension de saturation.