

## MP 21 : Production et conversion d'énergie électrique

### Anciennement « *Conversion de puissance électrique* »

#### RAPPORTS DE JURY

**2013** : Comme l'an dernier, le jury regrette de ne pas voir plus souvent de réelles mesures de puissance et de rendement, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal. Dans ce montage, des mesures de puissance de l'ordre du mW ne sont pas réalistes.

**Nouvel intitulé** : La production d'énergie, par divers moyens, a été ajoutée à ce montage.

**2012** : Suite aux remarques des années précédentes, l'utilisation du régime nominal a été plus répandue cette session. Le transformateur n'est pas le seul dispositif pouvant être présenté dans ce montage.

**2010** : Comme l'an dernier, le jury regrette de ne pas voir de réelles mesures de puissance et de rendement, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal.

**2008** : Les candidats ignorent généralement l'origine de la loi sur les courants pour le transformateur idéal ainsi que la notion de courant magnétisant. En outre, la visualisation à l'oscilloscope du cycle d'hystérésis est trop souvent assortie d'erreurs de calibration des axes (H, B) conduisant ainsi à des estimations de pertes par mesure d'aires dénuées de sens.

**2007** : Il s'agit de conversion de puissance, non de conversion de signal.

**2006** : Ce montage n'est pas souvent choisi. Pourtant, les exemples ne manquent pas (il faut penser au transformateur par exemple).

**2004** : Ce montage, relativement peu choisi cette année, a donné lieu à des prestations assez pauvres, alors que des matériels d'électrotechnique adéquats sont disponibles. La conversion électrique-électrique semble se limiter, sauf exceptions, au transformateur.

#### BIBLIOGRAPHIE

Pour le panneau photovoltaïque : à chercher

Pour le transformateur :

**[Q]** L. Quaranta, Tome IV Electricité et applications (entrée transformateurs)

**537 DON**

**[STI]** Physique appliquée Term STI, Génie électrotechnique, Nathan Technique

**621.31(075) LEG**

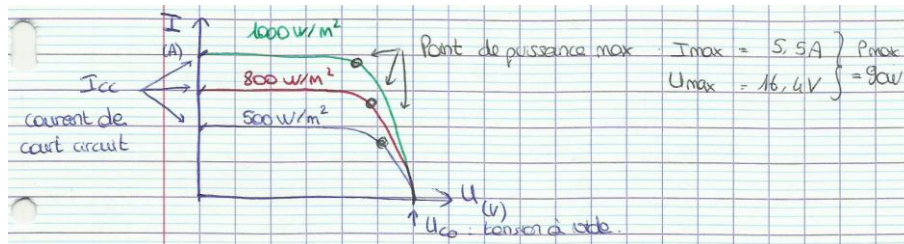
#### PLAN

- I) Production photovoltaïque autonome
  - 1) Présentation du panneau
  - 2) Utilisation dans une chaîne autonome
    - a) Charge en courant continu
    - b) Charge en courant alternatif
- II) Le transformateur monophasé
  - 1) Présentation du transformateur
  - 2) Etude en charge
  - 3) Détermination des pertes
    - a) Pertes fer
    - b) Pertes cuivre

## I) Production photovoltaïque autonome

### 1) Présentation du panneau

On utilise dans ce montage un panneau photovoltaïque (appelé module dans le cas d'une installation qui en compte plusieurs). Il est composé de cellules. Celles-ci sont fabriquées dans un matériau semi-conducteur, le silicium. Sous l'action de l'énergie du soleil un courant est créé. On peut tracer sa caractéristique :



Notre panneau :  $I_{MP} = 5,5A$  et  $U_{MP} = 16,4V$  pour une puissance de 90 W (au point de fonctionnement optimal).

$$I_{CC}^{constructeur} = 6,1 A \quad I_{CC}^{exp} = 6,2 A \quad U_{CO}^{constructeur} = 24,1V \quad U_{CO}^{exp} = 19,6 V$$

Pour tirer le meilleur parti du panneau il faut se placer au point Pmax. Le nôtre est un panneau polycristallin.

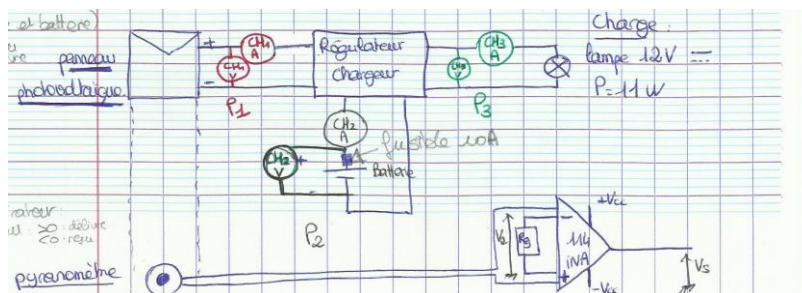
Amélioration : on peut peut-être tracer expérimentalement la caractéristique du panneau, à voir.

### 2) Utilisation dans une chaîne autonome

#### a) Charge en courant continu

But : Mesurer les puissances et déterminer les rendements

Montage :

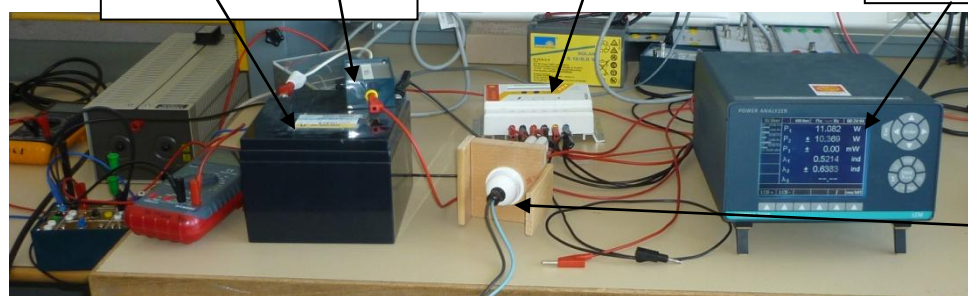


Principe de fonctionnement : Le panneau fournit un courant, il est envoyé dans le régulateur chargeur, qui alimente une batterie et la charge. Si le courant est suffisant pour alimenter la charge, le régulateur charge aussi la batterie. Dans le cas contraire la batterie délivre en complément pour faire fonctionner la charge. Ce basculement est assuré par le régulateur chargeur, qui vérifie aussi que la batterie (12V) possède une tension à peu près constante, et qu'elle ne se vide pas complètement ce qui risquerait de l'endommager.

Régulateur chargeur :



Branchements intuitifs



Batterie + Fusible 10 A

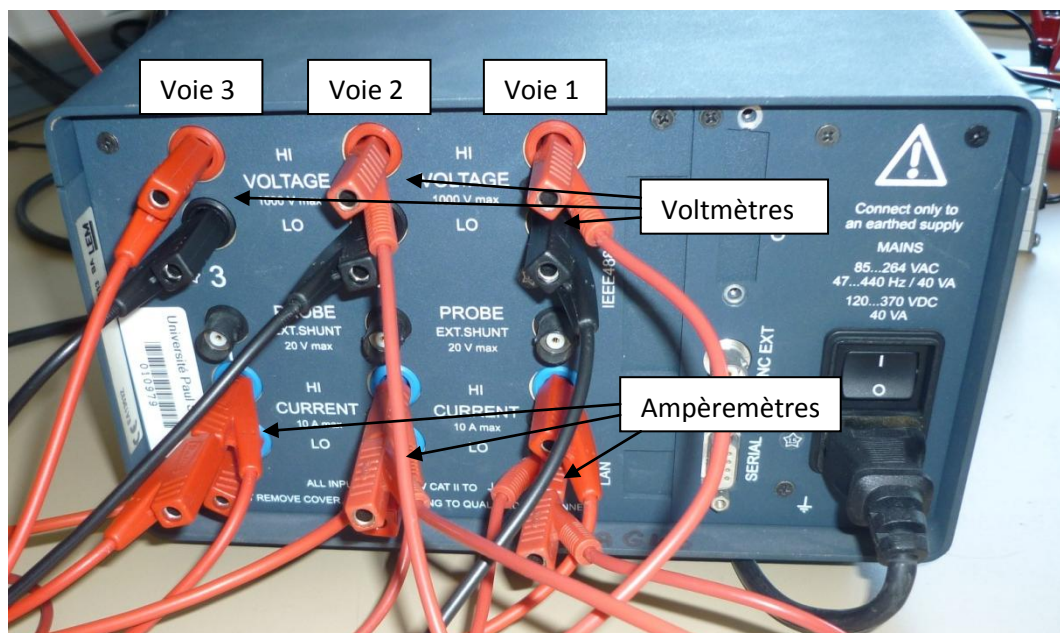
Régulateur chargeur

Analyseur NORMA 3000

Lampe

Montage complet

On mesure les puissances avec un analyseur NORMA 3000. On prend une convention récepteur pour la batterie et la charge ( $P > 0$  si reçue,  $P < 0$  si donnée) et générateur pour le panneau ( $P > 0$  donnée). L'analyseur comprend 3 voies, chacune mesurant la tension et le courant. On réalise les branchements comme pour un voltmètre et un ampèremètre sur chaque voie (branchement différent d'un wattmètre) :



Vue de l'arrière du NORMA 3000

Le pyranomètre (à placer dans le même plan que le panneau) mesure l'irradiance  $I_r$  ( $W/m^2$ ). Sa sensibilité est de  $70,6 \mu V/W/m^2$ , on monte un ampli d'instrumentation (INA 114) pour amplifier la tension délivrée qui est en mV (maquette qui sert aussi pour la balance électronique) pour avoir une meilleure précision. On règle la valeur de  $R_g$  pour choisir le facteur d'amplification.

Le gain  $G = 1 + (50k\Omega/R_g)$ . Ici j'ai pris  $R_g = 505 \Omega$  soit  $G = 100$ . Ainsi  $I_r = V_{amplifié}/(S \cdot G)$  soit  $I_r = 141,6 \cdot V_{amplifié}$ . Ensuite la surface du panneau est de  $0,93 m^2$ , d'où  $P_{soleil} = I_r \cdot 0,93 W$ .

Amélioration : Voir si on peut aussi utiliser un puissancemètre ou luxmètre, préciser quelle est la grandeur mesurée.

On mesure les puissances simultanément en faisant un stop sur l'analyseur. (incertitude autour de 3% sur la mesure de puissance → cf notice qu'on trouve sur internet)

$$P_1 = P_{panneau} = (25,3 \pm 0,8) W > 0 \text{ car le panneau fournit}$$

$$P_2 = P_{batterie} = (13,0 \pm 0,4) W > 0 \text{ la batterie se charge}$$

$$P_3 = P_{charge} = (11,2 \pm 0,3) W > 0 \text{ la charge reçoit assez de puissance pour s'allumer}$$

$$\text{Rendements : } \eta_{global} = \frac{P_{charge} + P_{batterie}}{P_{soleil}} = 2,6\%$$

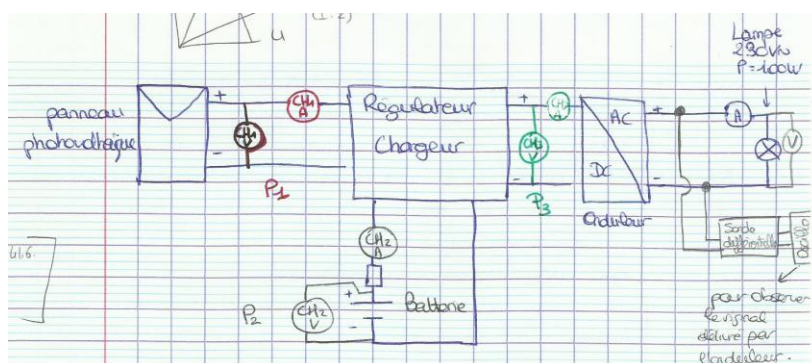
$$\eta_{régulateur} = \frac{P_{charge} + P_{batterie}}{P_{panneau}} = 95,3\% \text{ doit être constant}$$

$$\eta_{panneau} = \frac{P_{panneau}}{P_{soleil}} = 2,7\% \text{ faible rendement panneau responsable d'un global faible}$$

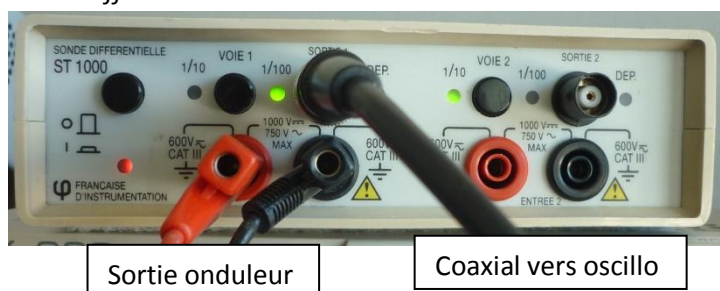
## b) Charge en courant alternatif

But : idem

Montage : on remplace la charge fonctionnant en courant continu par un onduleur (conversion courant continu → alternatif). On peut visualiser le signal de sortie de l'onduleur sur un oscillo à condition de passer par une sonde différentielle qui isole les masses (pb de masse flotante)



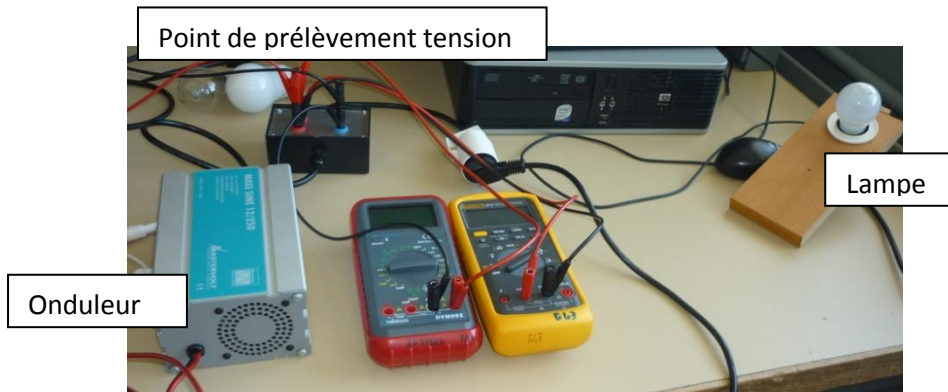
Sonde différentielle :



Sortie onduleur

Coaxial vers oscillo





On fait les mêmes mesures de puissance, en obtenant celle de la charge par un voltmètre et un ampèremètre (pas de 4<sup>ème</sup> voie sur l'analyseur).

$$P_{\text{soleil}} = I_r * \text{Surface} = 919 \text{ W}$$

$$P_1 = P_{\text{panneau}} = 41,0 \text{ W} > 0$$

$$P_2 = P_{\text{batterie}} = -64,0 \text{ W} < 0 \text{ la batterie alimente la charge car le panneau ne suffit pas}$$

$$P_3 = P_{\text{onduleur}} = 98,6 \text{ W}$$

$$P_{\text{charge}} = U * I = 19,6 + 0,386 = 75,6 \text{ W (erreur de manip, devrait être proche de 100)}$$

$$\text{Rendements : } \eta_{\text{global}} = \frac{P_{\text{charge}}}{P_{\text{soleil}} + |P_{\text{batterie}}|} = 7,7\%$$

$$\eta_{\text{régulateur}} = \frac{P_{\text{onduleur}}}{P_{\text{panneau}} + |P_{\text{batterie}}|} = 94\% \text{ doit être constant}$$

$$\eta_{\text{panneau}} = \frac{P_{\text{panneau}}}{P_{\text{soleil}}} = 4,46\% \text{ faible rendement panneau responsable d'un global faible}$$

$$\eta_{\text{onduleur}} = \frac{P_{\text{charge}}}{P_{\text{onduleur}}} = 76,7\%$$

D'après les données laboratoire, on peut obtenir des rendements de 13 à 15 % avec ces panneaux.

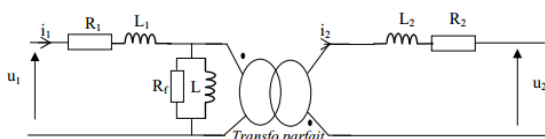
## II) Le transformateur monophasé

Conseil pour cette partie transformateur : faire le point sur les différentes puissances (apparente, active et réactive) et connaître leurs expressions, leurs liens.

### 1) Présentation d'un transformateur

Il permet de modifier l'amplitude d'une tension alternative : conversion alternatif/alternatif. Le circuit primaire de  $n_1$  spires est alimenté par la ddp  $U_1$  et le secondaire de  $n_2$  spires délivre la tension  $U_2$ . Les 2 enroulements sont couplés par un circuit magnétique fermé. Rapport de transformation  $m = n_2/n_1$ .

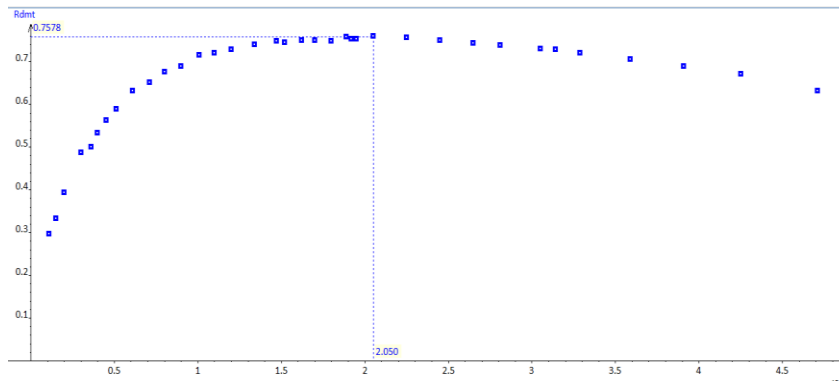
Amélioration : dessiner et utiliser le modèle équivalent du transformateur



## 2) Etude en charge (Pour plus de détails sur cette partie, cf compte-rendu 2012/2013)

J'ai utilisé cette étude pour déterminer la valeur du courant secondaire **[Q] p 588**.

On mesure pour différentes valeurs de  $U_1$  les puissances au primaire et au secondaire, on trace le rendement  $P_2/P_1$  en fonction de  $i_2$  et on détermine  $i_2$  pour le rendement max :



Pour être plus précis il est aussi possible de tracer la dérivée du rendement et de mesurer  $i_2$  au point où elle passe par zéro.

Cependant cette méthode ne semble pas être la meilleure, pour être plus précis on peut utiliser les indications de la plaque signalétique. On nous donne  $P_{nom}$  apparente, et  $U_{1nominal} \rightarrow I_{nominal} = P/U_{1nominal}$

## 3) Détermination des pertes [STI] p 44 + [Q] p 586 et 588

2 types de pertes principaux : pertes fer et pertes cuivre (effet Joule). La conservation globale de la charge nous impose  $P_1 = P_2 + P_{Cu} + P_{fer}$ .

$P_1$  = puissance reçue au primaire.

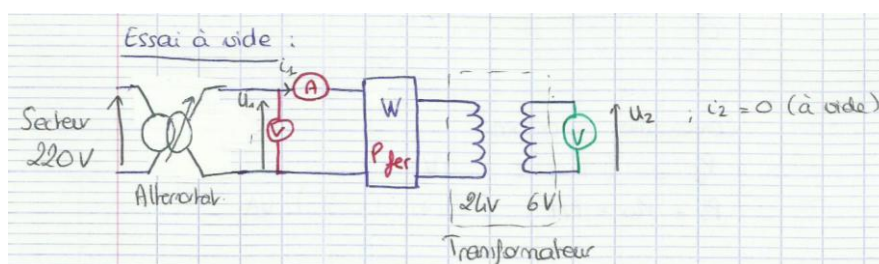
$P_2$  = puissance utile délivrée au secondaire.

$P_{Cu}$  : échauffement, pertes par effet Joule dans les enroulements.

$P_{fer}$  : échauffement du circuit magnétique. Elles dépendent de  $f$  et du champ  $B$  dans le circuit magnétique. Elles seront donc constantes pour un transfo donné pour tous les fonctionnements sous tension nominale  $U_1$  et  $f$  nominale.

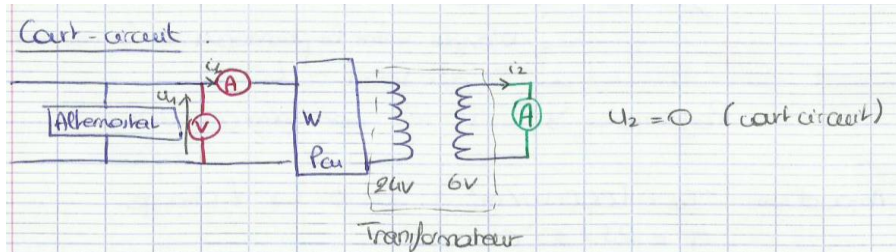
Attention dans la manipulation du rhéostat : il ne faut pas dépasser au primaire la valeur de la tension nominale sous peine d'endommager les enroulements. Penser à remettre le curseur à 0V avant d'éteindre l'interrupteur.

### a) Pertes fer



On se place à la tension nominale  $U_1$ . La puissance indiquée au wattmètre du primaire correspond aux pertes cuivre + les pertes fer. Mais comme on est à vide,  $i_1$  est faible, et  $i_2$  nul, donc les pertes par effet Joule ( $r i^2$ ) sont négligeables devant les pertes fer. On mesure donc la puissance des pertes fer.

### b) Pertes cuivre



On fait un court-circuit au secondaire (penser à éteindre le rhéostat avant de modifier le circuit !!). On se place à  $i_{2\text{nominal}}$  (le plus près possible) Le wattmètre du primaire indique à nouveau  $P_{\text{Cu}} + P_{\text{fer}}$ , mais comme  $U_1 \ll U_{1\text{nominal}}$  (de l'ordre de 4%) les pertes fer sont négligeables. On obtient donc  $P_{\text{Cu}}$ .

### c) Bilan

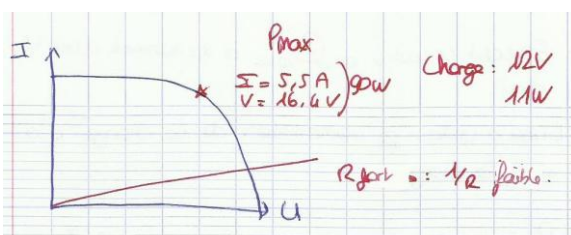
On peut vérifier qu'on a bien  $P_{1\text{nom}} = P_{2\text{nom}} + P_{\text{Cu}} + P_{\text{fer}}$  aux incertitudes près. On calcule également le % de pertes, à comparer avec les transfo EDF pour lesquels elles sont de l'ordre de 1 à 2 %.

Améliorations : on peut caractériser tous les éléments du circuit équivalent, ( $r_1, L_1...$ ) à voir. J'ai utilisé un petit transfo pédagogique 24V // 6V (rien d'autre sous la main) mais il vaut mieux utiliser un transfo de plus grande puissance (en annexe données caractéristiques du transfo laissé au labo par Joël Dedieu). **ATTENTION : DU FAIT DES FORTES TENSIONS (230V / 120V) IL FAUT RELIER LE TRANSFORMATEUR A LA TERRE (FIL ET FICHE JAUNE/VERT).**

### QUESTIONS ET REMARQUES :

- Pour le rendement du panneau on obtient 2,2 % et 4,4 % : quelle est la technologie utilisée dans ce panneau ? Quel est le rendement habituel ? Comment expliquer ces valeurs faibles ?

Il s'agit d'un panneau polycristallin. On a d'ordinaire un rendement de 13 à 15 % pour une température de 25°C. Le faible rendement, vu le bon ensoleillement du jour, provient surtout de la charge qu'on a choisie : si sa caractéristique ne coupe pas celle du panneau sur le point de rendement max, il devient faible :

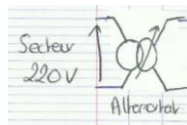


- *Un analyseur a été utilisé pour mesurer les puissances, et non des voltmètres et des ampèremètres, pourquoi ?*

La variation des puissances est très forte dès que le moindre nuage passe, ce type de panneau est très sensible à la moindre variation de l'éclairement, on utilise donc l'analyseur qui nous permet de mesurer en temps réel les puissances et en simultanée. On peut ainsi faire un « stop » et relever toutes les valeurs, alors qu'avec des multimètres le temps de relever toutes les valeurs elles peuvent bcp changer.

- *On mesure P1 au niveau de la salle et non du panneau (une rallonge de 25m relie le montage au panneau placé à l'extérieur), comment comptabiliser les éventuelles pertes sur la ligne ?*

$P1 = P_{\text{panneau}} + R_i^2 \rightarrow R = \rho L/S$  Attention :  $L = 2$  fois la longueur du câble car 2 fils sortent du panneau, + et -.



Symbole de l'alternostat : utiliser



# **ANNEXE : CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR A UTESR**



Plaque Signalétique :

$S_n = 400 \text{ VA}$   
 $230 \text{ V} / 127 \text{ V}$   
 $I_{1n} = 1,75 \text{ A}$   
 $I_{2n} = 3,15 \text{ A}$

Mesures en continu :

$$\text{Primaire : } R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{3,9}{1,75} = 2,2 \Omega$$

$$\text{Secondaire : } R_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{2,5}{3,15} = 790 \text{ m}\Omega$$

Essai à vide :

$$V_{10} = V_{1n} = 230 \text{ V}$$

$$V_{20} = 132 \text{ V}$$

$$I_{10} = 0,297 \text{ A}$$

$$P_{10} = 16,4 \text{ W}$$

$$Q_{10} = 66 \text{ VAR}$$

$$FP_{10} = 0,25$$

Essai en court-circuit :

$$I_{2cc} = I_{2n} = 3,17 \text{ A}$$

$$V_{1cc} = 9,25 \text{ V}$$

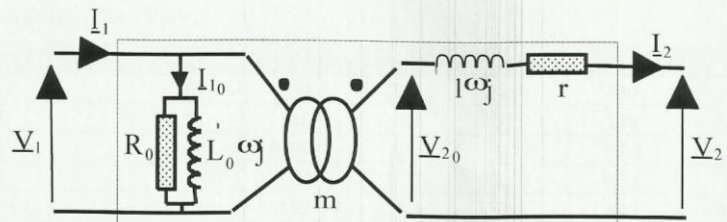
$$I_{1cc} = 1,85 \text{ A}$$

$$P_{1cc} = 16,6 \text{ W}$$

$$Q_{1cc} = 3,8 \text{ VAR}$$

$$FP_{1cc} = 0,98$$

Détermination des éléments du modèle :



$$m = \frac{V_{20}}{V_{1n}} = 0,57$$

$$R_0 = \frac{V_{10}^2}{P_{10}} = 3225 \Omega$$

$$L_0 = \frac{V_{10}^2}{Q_{10} \cdot \omega} = 2,55 \text{ H}$$

$$P_{1cc} = r \cdot I_{2cc}^2 + \frac{V_{1cc}^2}{R_0}$$

$$\frac{V_{1cc}^2}{R_0} = 0,26 \text{ W} \ll P_{1cc} = 16,6 \text{ W}$$

$$\Rightarrow r = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = 1,65 \Omega \approx R_1 + m^2 \cdot R_2 = 1,5 \Omega$$

$$Q_{1cc} = l\omega \cdot I_{2cc}^2 + \frac{V_{1cc}^2}{L_0\omega}$$

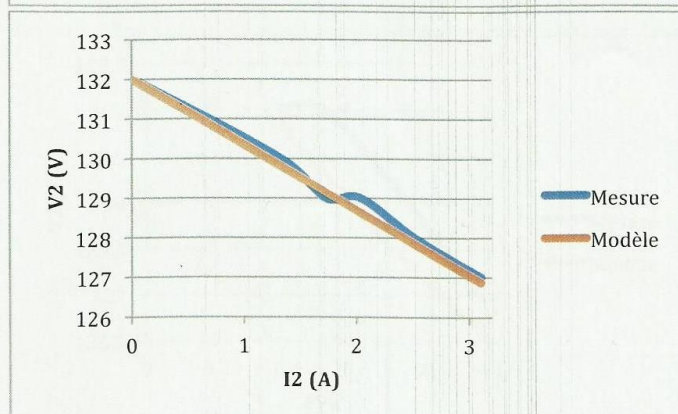
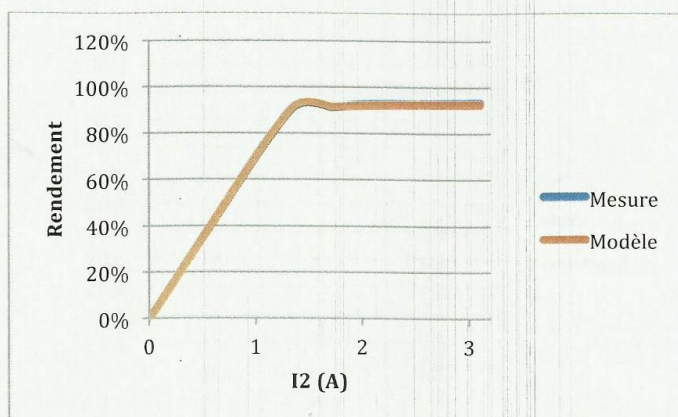
$$\frac{V_{1cc}^2}{L_0\omega} = 0,106 \text{ VAR} \ll Q_{1cc} = 3,8 \text{ VAR}$$

$$\Rightarrow l = \frac{Q_{1cc}}{I_{2cc}^2 \cdot \omega} = 1,2 \text{ mH}$$

Essais en charge :

→ charge résistive :  $V_1 = V_{1n}$

Mesures						
V1 (V)	230	230	230	230	230	230
V2 (V)	132	130	129	129	128	127
I1 (A)	0,297	0,885	1,1	1,27	1,53	1,87
I2 (A)	0	1,32	1,72	2,03	2,51	3,1
P1 (W)	16,4	192	244	283	346	424
P2 (W)	0	172	222	261	320	394
Q1 (VAR)	66	67,8	70,6	71,6	67,8	68,6
ΔV2 (V)	0	2	3	3	4	5
η	0%	90%	91%	92%	92%	93%
Modèle						
V2 (V)	132	129,8	129,2	128,6	127,9	126,9
ΔV2 (V)	0	2,2	2,8	3,4	4,1	5,1
η	0%	90%	91%	92%	92%	92%



→ charge RL parallèle :  $V_1=V_{1n}$  et  $I_2=I_{2n}$

Mesures					
FP2	0,38	0,5	0,74	0,94	1
V1 (V)	230	230	230	229	230
V2 (V)	129	129	128	127	127
I1 (A)	2,06	2,05	2,02	1,97	1,87
I2 (A)	3,15	3,14	3,14	3,16	3,1
P1 (W)	188	238	330	407	424
P2 (W)	153	203	296	375	394
Q1 (VAR)	436	408	327	195	68,6
Q2 (VAR)	377	349	269	139	0
$\Delta V2$ (V)	3	3	4	5	5
$\eta$	81%	85%	90%	92%	93%
Modèle					
V2 (V)	128,9	128,3	127,3	126,7	126,9
$\Delta V2$ (V)	3,1	3,7	4,7	5,3	5,1
$\eta$	93%	93%	92%	92%	92%

