

SESSION 2012

**BREVET DE TECHNICIEN  
SUPÉRIEUR**

**MÉCANIQUE  
AUTOMATISMES INDUSTRIELS**

**ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES**

**Durée : 2 heures**

**Coefficient : 2**

La calculatrice conforme à la circulaire N°99-186 du 16-11-99 est autorisée.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

**IMPORTANT**

Ce sujet comporte 11 pages

Les documents réponses, pages 7 à 11 sont àagrafer à la copie normalisée.

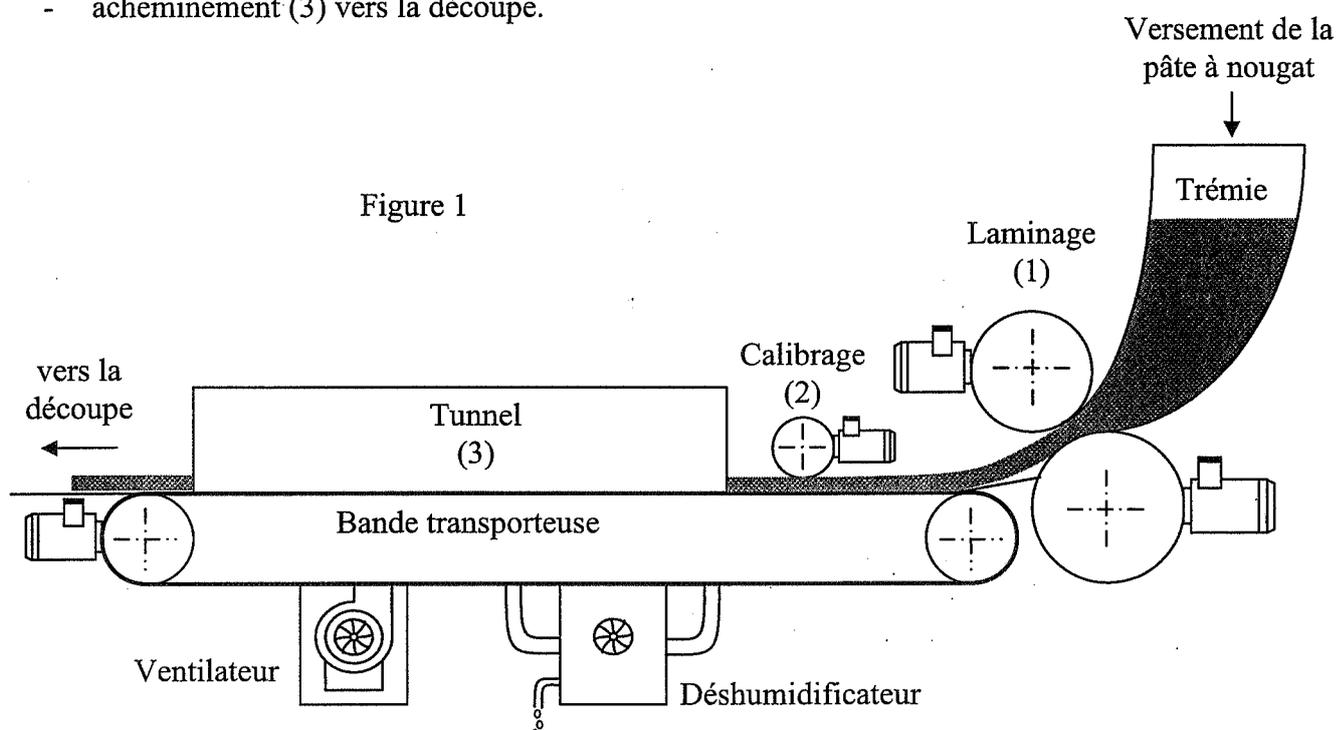
## Confection de nougat

Dans une usine de fabrication de nougat, une ligne automatisée permet la confection de nougats sous deux formes : barres ou dominos. Dès la confection terminée, la pâte à nougat est versée manuellement dans une trémie.

L'épaisseur de la pâte est, dans un premier temps, réduite par laminage lors du passage entre deux cylindres puis elle est calibrée. La pâte est ensuite acheminée par une bande transporteuse, dans un tunnel régulé à la fois en température et en humidité. Elle est enfin découpée suivant le gabarit désiré.

La ligne automatisée, représentée sur la figure 1 ci-dessous, réalise donc les étapes suivantes :

- laminage (1) : réglage grossier de l'épaisseur de la pâte,
- calibrage (2) : réglage fin de l'épaisseur,
- acheminement (3) vers la découpe.



Le sujet se propose d'étudier la motorisation de la bande transporteuse, le réglage de l'épaisseur lors du laminage ainsi que la régulation dans le tunnel. Les trois parties sont indépendantes.

### A. Bande transporteuse

La motorisation de la bande assurée, par un moto-réducteur, est représentée sur la figure 2.

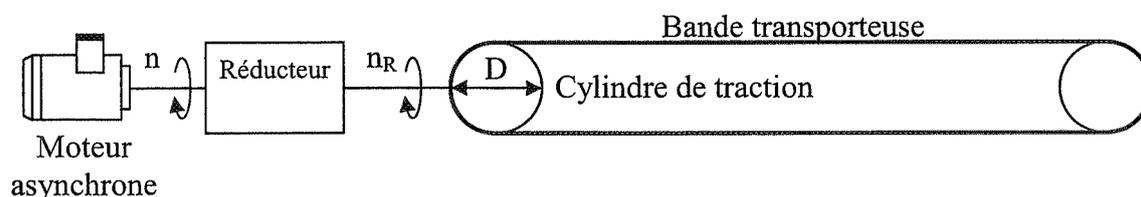


Figure 2

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 1/11

## I. Réducteur

1. Exprimer, en  $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ , la vitesse linéaire  $v$  de la bande transporteuse en fonction de la vitesse de rotation  $n_R$  en sortie du réducteur, en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ , et du diamètre  $D$  du cylindre de traction exprimé en  $\text{m}$ .

2. Le rapport de réduction  $r$  est donné par  $r = \frac{n}{n_R}$ . Montrer que la vitesse  $v$  de la bande vérifie :

$$v = \pi \frac{D \cdot n}{r} \quad \text{avec } n \text{ en } \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}.$$

3. On donne le diamètre du cylindre  $D = 355 \text{ mm}$  ainsi que la vitesse de rotation du moteur  $n = 510 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

On désire une vitesse linéaire de  $0,36 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Déterminer la valeur  $r_1$  du rapport de réduction  $r$ .

## II. Moteur asynchrone

La plaque signalétique du moteur asynchrone est reproduite ci-dessous :

<b>0,14 kW</b>	<b><math>\cos \varphi = 0,64</math></b>	<b><math>1350 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}</math></b>
<b><math>\Delta 230 \text{ V}</math></b>	<b><math>0,82 \text{ A} / 0,47 \text{ A}</math></b>	<b><math>50 \text{ Hz}</math></b>
<b><math>Y 400 \text{ V}</math></b>		

### 1. Exploitation de la plaque signalétique

1.1. Indiquer la vitesse de synchronisme  $n_s$  du moteur.

Déterminer la valeur  $p$  du nombre de paires de pôles.

1.2. Déterminer le couplage à réaliser sur un réseau  $230 \text{ V} / 400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$ .

Représenter le couplage et la connexion au réseau sur la figure 1 du document réponse 1 page 7.

1.3. Calculer le moment du couple utile en régime nominal  $T_{uN}$ .

### 2. Bilan des puissances en régime nominal

2.1. Compléter l'arbre des puissances représenté sur la figure 2 du document réponse 1 en précisant clairement la nature des différentes puissances et pertes du moteur asynchrone.

2.2. Déterminer la valeur efficace  $I$  de l'intensité du courant dans un fil de ligne.

2.3. Vérifier que la puissance absorbée en régime nominal est  $P_{aN} = 208 \text{ W}$ .

2.4. Calculer le rendement  $\eta_N$  du moteur en régime nominal.

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 2/11

### 3. Caractéristique mécanique du moteur

La réalisation des différentes formes de nougat nécessite un réglage de la vitesse linéaire de la bande transporteuse. Pour cela, le moteur est alimenté par un variateur de vitesse fonctionnant à  $U/f$  constant.

Le constructeur indique qu'en fonctionnement normal, la tension de la bande crée un couple résistant au niveau du moteur de moment  $T_r = 0,6 \text{ N.m}$ , indépendant de la vitesse de rotation.

Le tracé de la partie utile, supposée linéaire, de la caractéristique mécanique du moteur  $T_{u1}(n)$  pour une fréquence  $f = f_1 = 50 \text{ Hz}$  et pour une tension  $U = U_1 = 400 \text{ V}$  est donné sur la figure 3 du document réponse 2, page 8.

3.1. Tracer la caractéristique mécanique du couple résistant  $T_r(n)$  sur la figure 3 du document réponse 2. En déduire les coordonnées du point de fonctionnement.

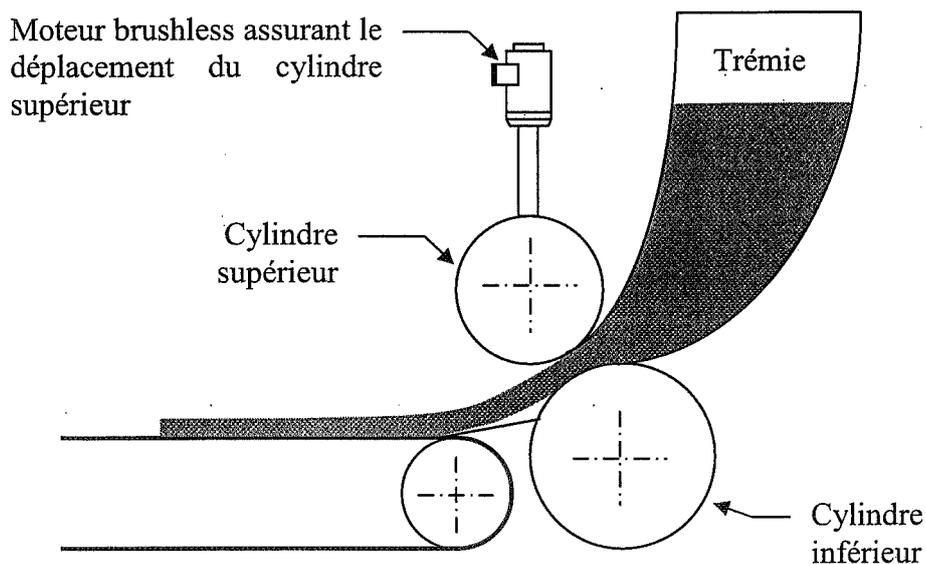
3.2. Pour le même couple résistant on désire diminuer la vitesse de la bande. La vitesse de rotation du moteur doit être  $n_2 = 510 \text{ tr.min}^{-1}$ . On cherche à déterminer la nouvelle fréquence  $f_2$  du variateur.

3.2.1. Tracer la nouvelle caractéristique mécanique du moteur  $T_{u2}(n)$ .

3.2.2. Déterminer la nouvelle vitesse de synchronisme  $n_{s2}$ . En déduire la fréquence  $f_2$ .

### B. Laminage

Le réglage de la position relative des deux cylindres assurant le laminage de la pâte à nougat est réalisé par l'intermédiaire d'un moteur brushless (moteur synchrone à aimants permanents).



BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 3/11

Le schéma de principe de l'alimentation à fréquence variable du moteur synchrone est donné sur la figure 3 ci-dessous :

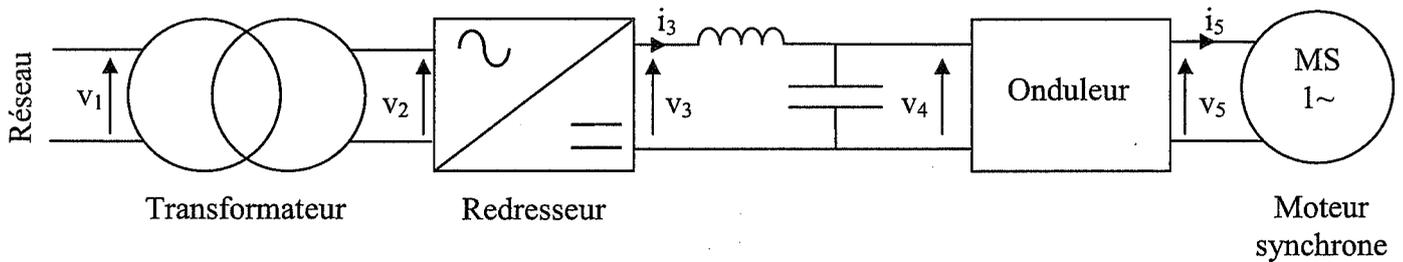


Figure 3

### I. Alimentation du moteur synchrone

1. Indiquer sur le schéma de la figure 4 du document réponse 2, page 8, le branchement de l'oscilloscope permettant d'observer simultanément la tension  $v_3$  et l'image du courant  $i_3$ .
2. On a relevé à l'oscilloscope les tensions  $v_2$  au secondaire du transformateur,  $v_3$  en sortie du pont redresseur et  $v_4$  à l'entrée de l'onduleur. Préciser sur la figure 5 du document réponse 3, page 9, les relevés correspondant aux tensions  $v_2$ ,  $v_3$  et  $v_4$ .
3. Rappeler le type de conversion réalisée par l'onduleur.

### II. Onduleur

La structure de l'onduleur étudié est représentée sur la figure 4 ci-dessous. Les diodes et les transistors sont supposés parfaits.

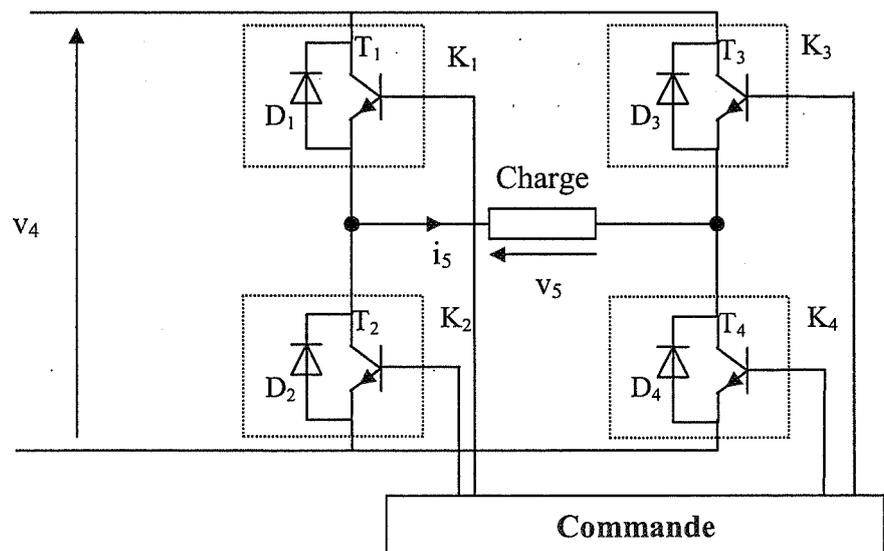


Figure 4

Deux types de commande sont possibles : commande symétrique et commande décalée.

Pour la suite du problème on supposera la tension  $v_4$  constante :  $v_4 = E = 36 \text{ V}$ .

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 4/11

### 1. Commande symétrique

Pour la commande symétrique de l'onduleur, le chronogramme de la tension  $v_5$  est représenté sur la figure 7 du document réponse 4, page 10.

- 1.1. Représenter les interrupteurs  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  et  $K_4$ , ouverts ou fermés, pour les deux phases de fonctionnement sur la figure 6 du document réponse 3, page 9.
- 1.2. Justifier à l'aide de la loi des mailles, le tracé de la courbe de la tension  $v_5$ .

### 2. Commande décalée

On modifie la nature de la commande de l'onduleur en décalant d'un retard  $T/6$  (égal à un sixième de période) la commande des interrupteurs  $K_3$  et  $K_4$ . Cette commande de l'onduleur est représentée sur la figure 8 du document réponse 4.

- 2.1. Tracer l'allure de la nouvelle tension  $v_5$  aux bornes de la charge sur la figure 8 du document réponse 4, page 10.
- 2.2. Indiquer la valeur moyenne  $\langle v_5 \rangle$  de  $v_5$  pour la commande décalée. La tension  $v_5$  est-elle alternative ?
- 2.3. Comment faire varier la valeur efficace de la tension  $v_5$  sans modifier la tension  $E = 36$  V. Préciser la nature de l'appareil, ainsi que la position du commutateur AC-DC permettant la mesure de cette valeur efficace.

### 3. Choix de la commande

On donne, sur la figure 5 ci-dessous, la décomposition spectrale de la tension aux bornes de la charge constituée par le moteur synchrone, pour les deux types de commande.

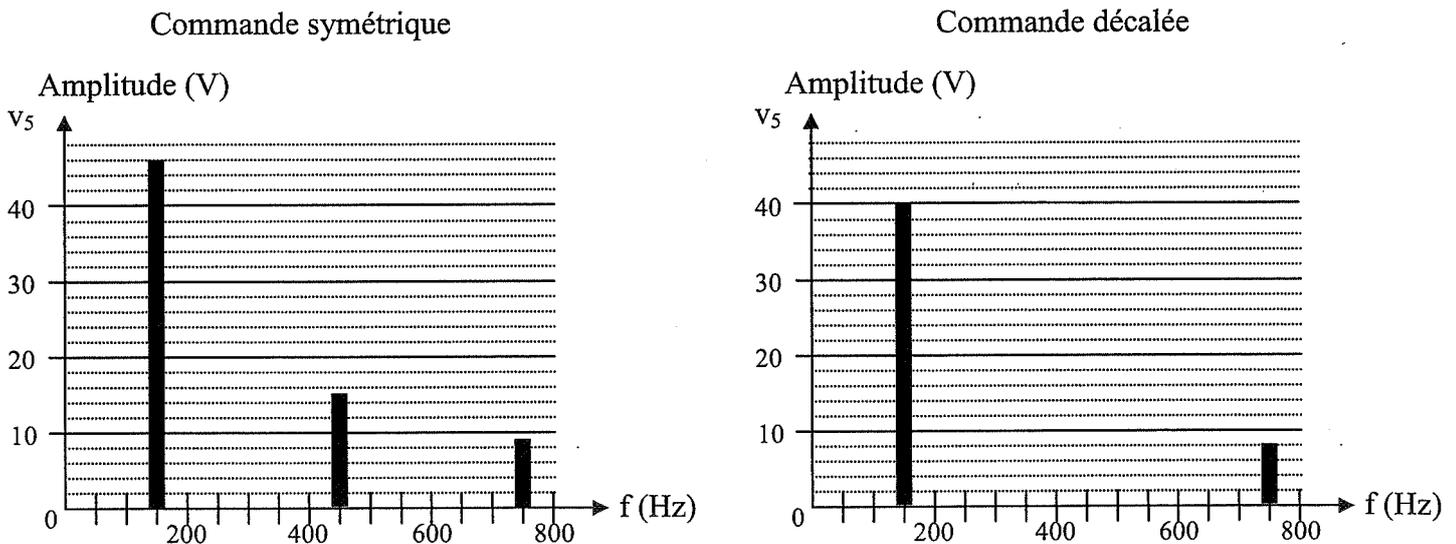


Figure 5

- 3.1. Déterminer la composition spectrale en complétant le tableau réponse de la figure 9 du document réponse 5, page 11.
- 3.2. La commande décalée avec un retard de  $T/6$  permet de supprimer l'harmonique de rang 3. Quel est l'intérêt pour le moteur ?
- 3.3. Citer un autre exemple de commande industrielle présentant le même intérêt.

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 5/11

## C. Tunnel

Le conditionnement, en température et en humidité relative, de la pâte à nougat se fait lors du passage dans le tunnel régulé.

### Capteur d'humidité

Le capteur d'humidité est un capteur capacitif. Son principe de fonctionnement repose sur les propriétés hygroscopiques de son polymère, utilisé comme diélectrique du condensateur. Les propriétés diélectriques du polymère évoluent rapidement et de manière réversible avec l'humidité relative environnante, ce qui se traduit par des variations de la capacité du condensateur.

La caractéristique de transfert du capteur est donnée sur la figure 6 ci-dessous.

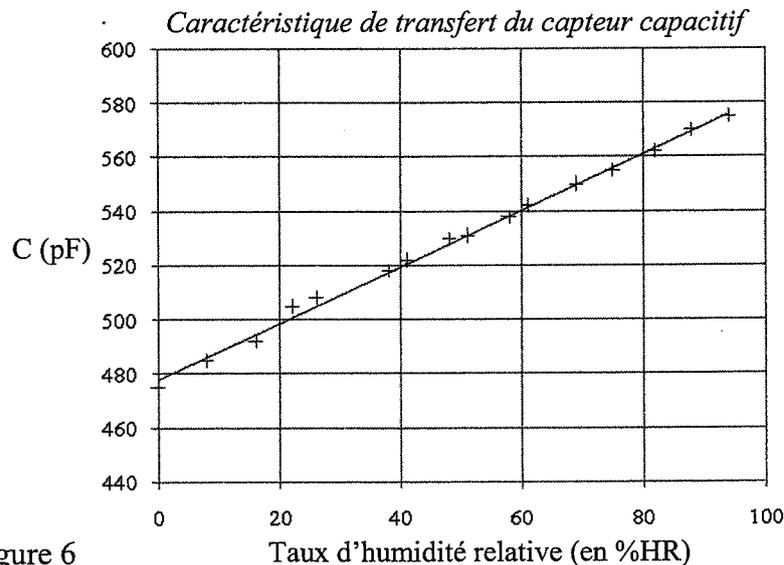


Figure 6

1. Indiquer la grandeur d'entrée et la grandeur de sortie du capteur.
2. Montrer que la sensibilité  $s$  du capteur est égale à  $1,05 \text{ pF} \cdot \% \text{HR}^{-1}$ .
3. La courbe de réponse du capteur à un échelon d'humidité relative est donnée sur la figure 10 du document, réponse 5. Le temps de réponse à 95 % est le temps nécessaire à la valeur de la capacité pour varier de 95% de l'écart entre sa valeur initiale et sa valeur finale, à partir de la valeur initiale.  
Déterminer graphiquement  $t_{95\%}$  le temps de réponse à 95 % du capteur.

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 6/11

Document réponse 1  
à rendre avec la copie

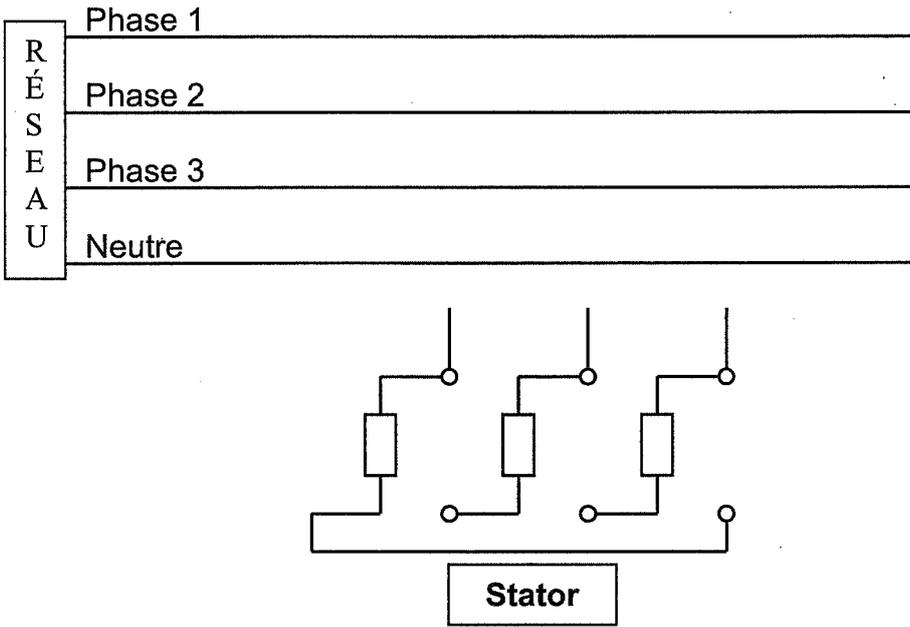


Figure 1 - Couplage du moteur

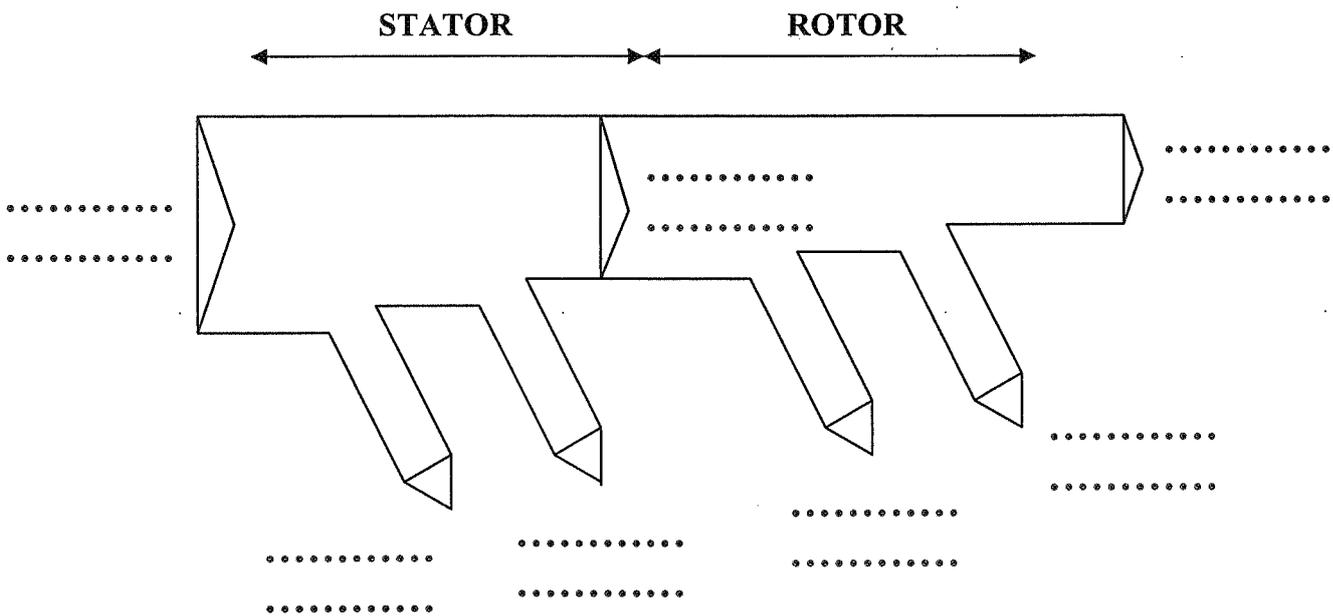


Figure 2 - Bilan des puissances

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 7/11

Document réponse 2  
à rendre avec la copie

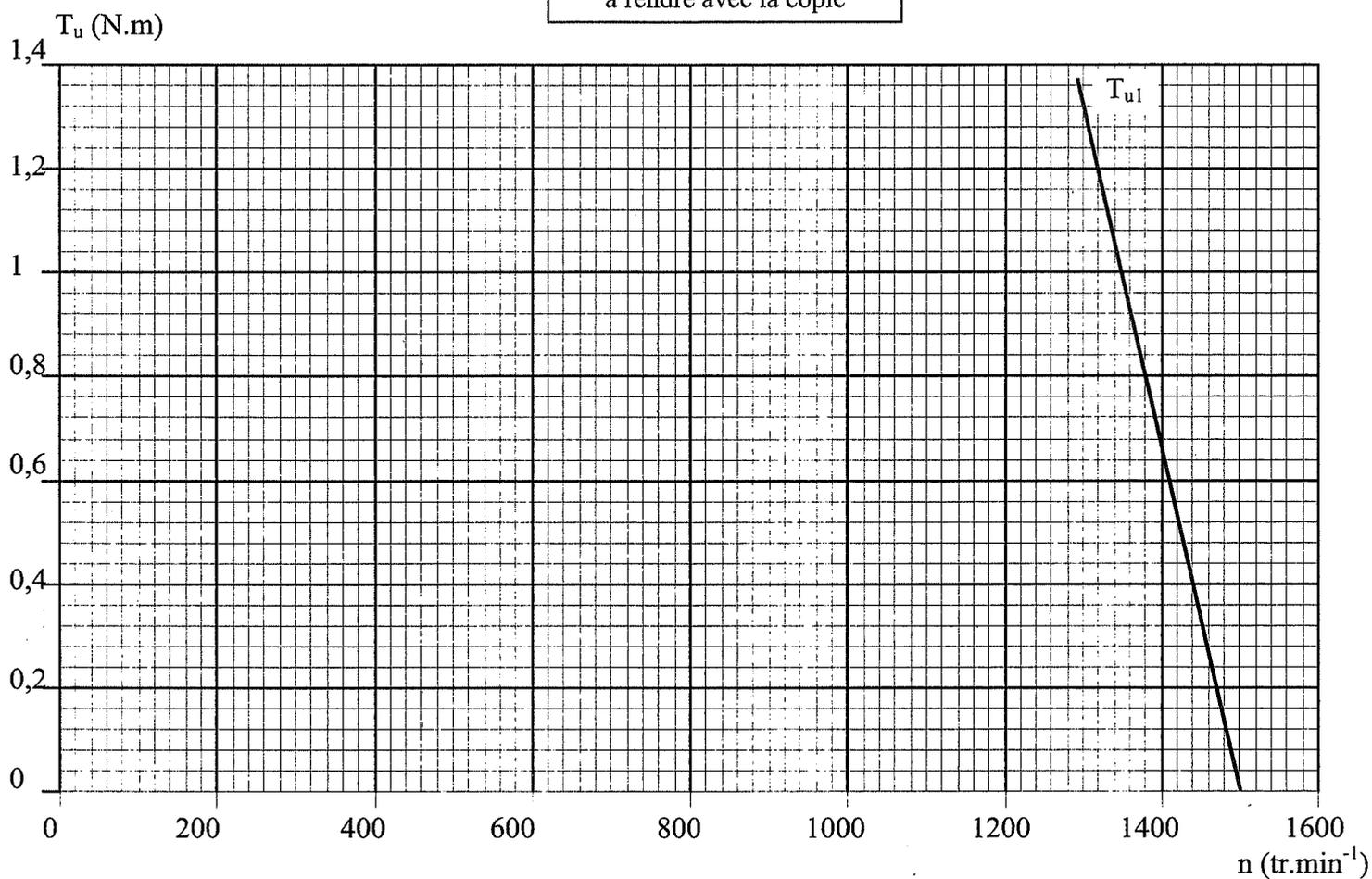


Figure 3 - Caractéristique mécanique du moteur asynchrone

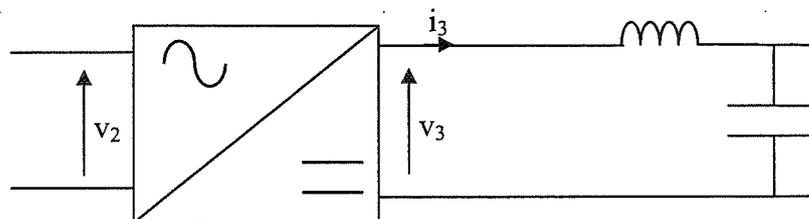


Figure 4 - Branchement de l'oscilloscope

BTS Mécanique Automatismes Industriels	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MSE3SC12		Page 8/11

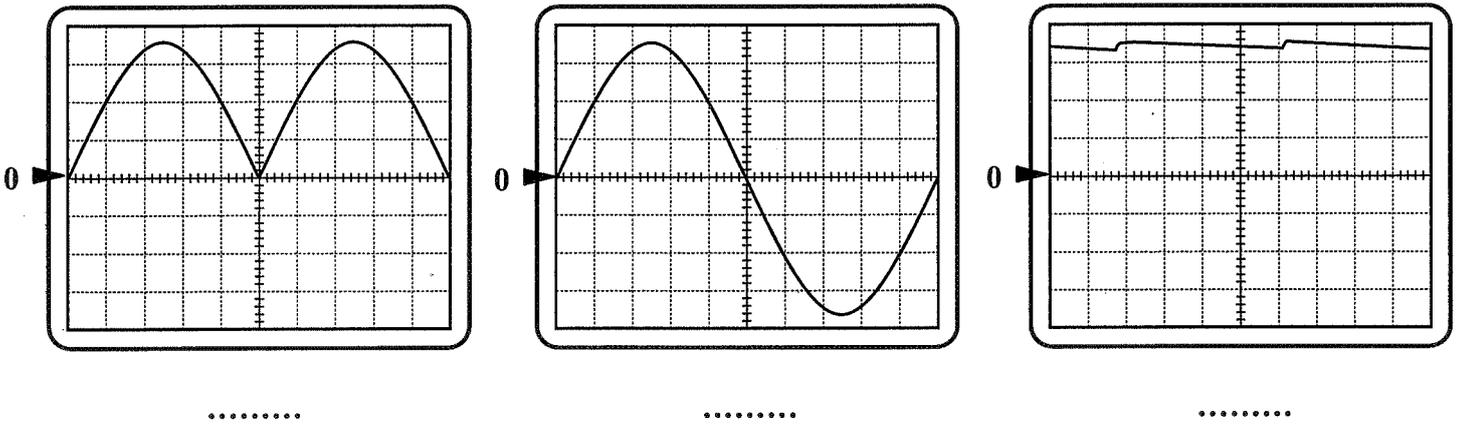


Figure 5 - Relevé des tensions  $v_2$ ,  $v_3$  et  $v_4$

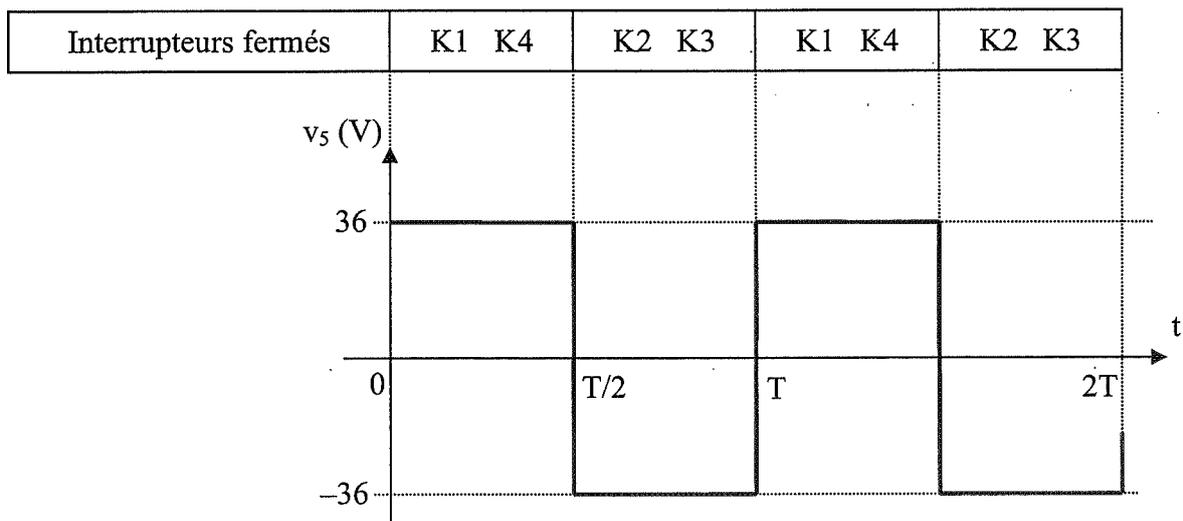


Figure 6  
Commande symétrique - Chronogramme de  $v_5$

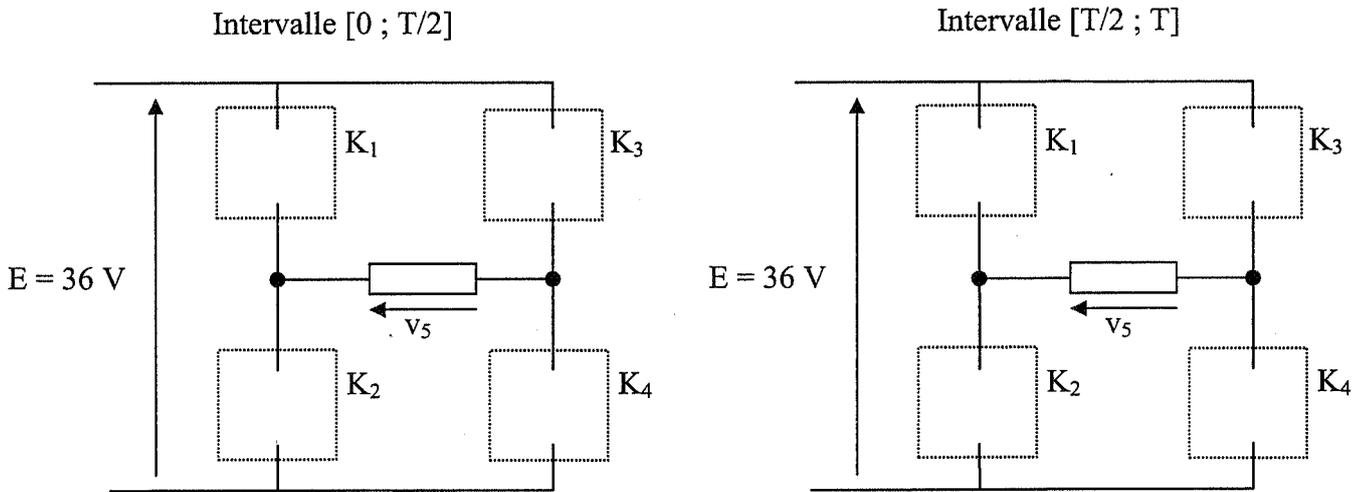


Figure 7 - Schémas équivalents

Interrupteurs fermés	K1	K2	K1	K2
	K3	K4	K3	K4

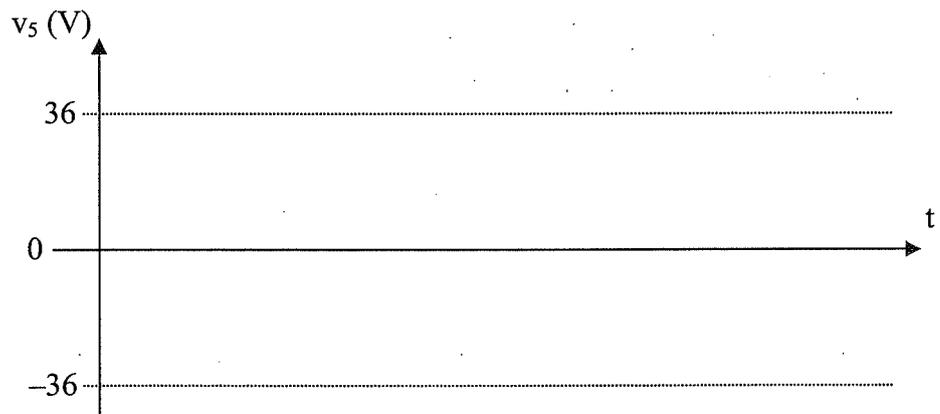


Figure 8  
Commande décalée - Chronogramme de  $v_5$

	Fondamental		Harmonique de rang 3		Harmonique de rang 5	
	Fréquence (Hz)	Amplitude (V)	Fréquence (Hz)	Amplitude (V)	Fréquence (Hz)	Amplitude (V)
Commande symétrique						
Commande décalée						

Figure 9  
Composition spectrale de la tension aux bornes du moteur

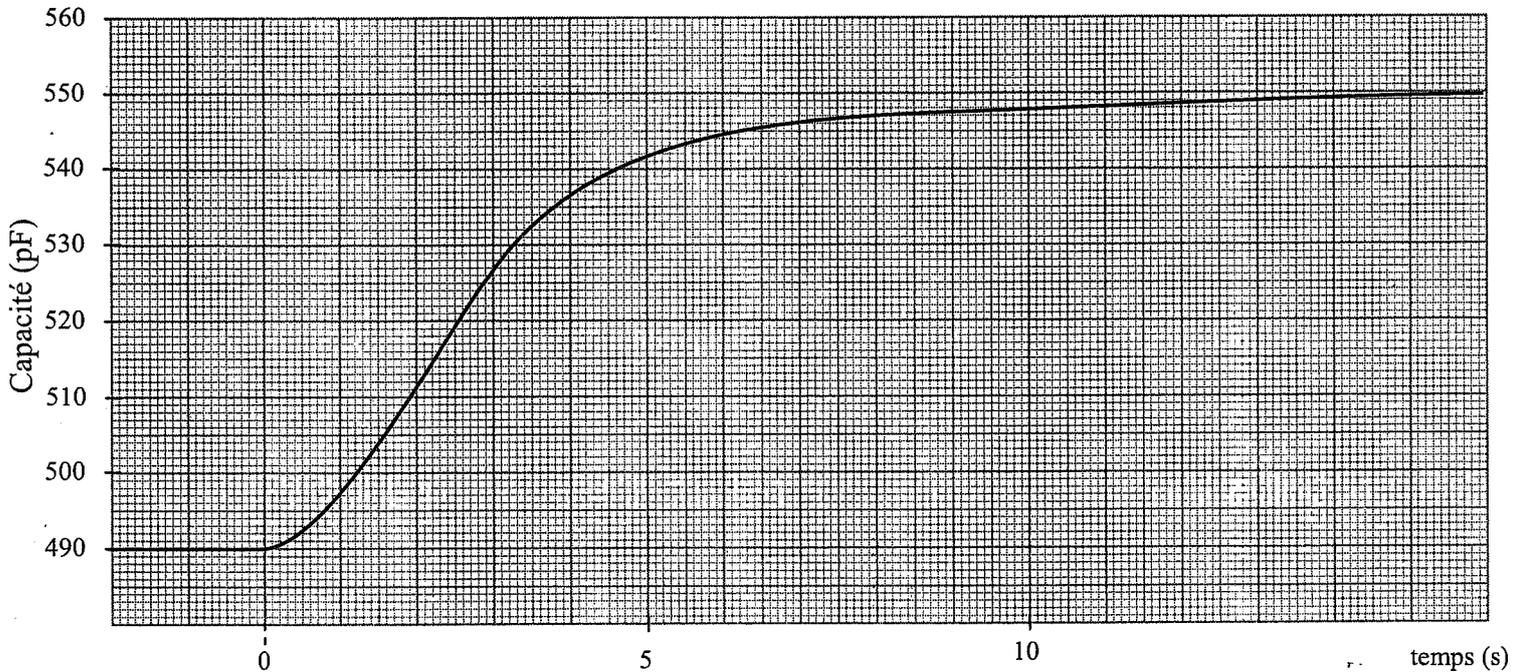


Figure 10  
Courbe de réponse à un échelon d'humidité relative