

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL et  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

**E3 Sciences Physiques**

**U-32 PHYSIQUE APPLIQUÉE**

Durée : 2 heures

Coefficient : 2,5

=====

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.*

**ATTENTION :**

**LE DOCUMENT RÉPONSE 1 (pages 10 et 11)**

**LE DOCUMENT RÉPONSE 2 (pages 12 et 13)**

**LE DOCUMENT RÉPONSE 3 (pages 14 et 15)**

**sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.**

=====

***Aucun document autorisé.***

***L'usage de la calculatrice est autorisé.***

***Tout autre matériel est interdit.***

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Le soleil peut assurer 50 % de la production annuelle d'eau chaude d'une famille, selon les conditions d'installation.

Un chauffe-eau est constitué de 3 éléments :

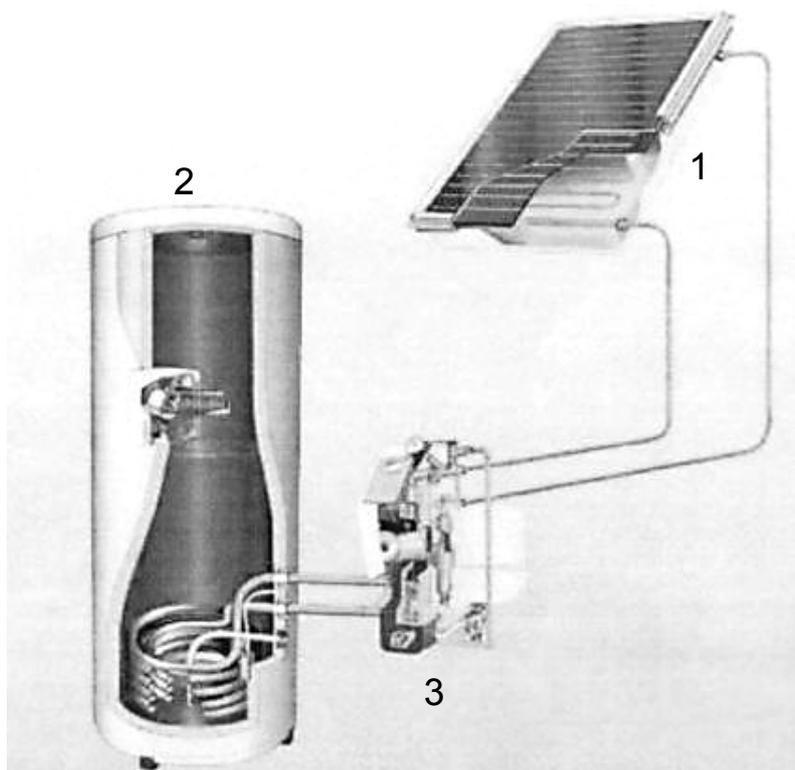
**Les capteurs** ① : ils absorbent l'énergie des rayons du soleil et la restituent sous forme de chaleur. Cette chaleur élève la température du fluide caloporteur (eau glycolée) qui circule des capteurs à un ballon de stockage d'eau en passant par une station solaire ③.

**Le ballon** ② : afin d'assurer toute l'année les besoins d'eau chaude sanitaire, le ballon est équipé d'un dispositif d'appoint électrique (résistance).

**La station solaire** ③ : c'est le centre nerveux de l'installation. Elle gère l'installation et commande le fonctionnement de la pompe destinée à transférer la chaleur absorbée par les capteurs vers le ballon.

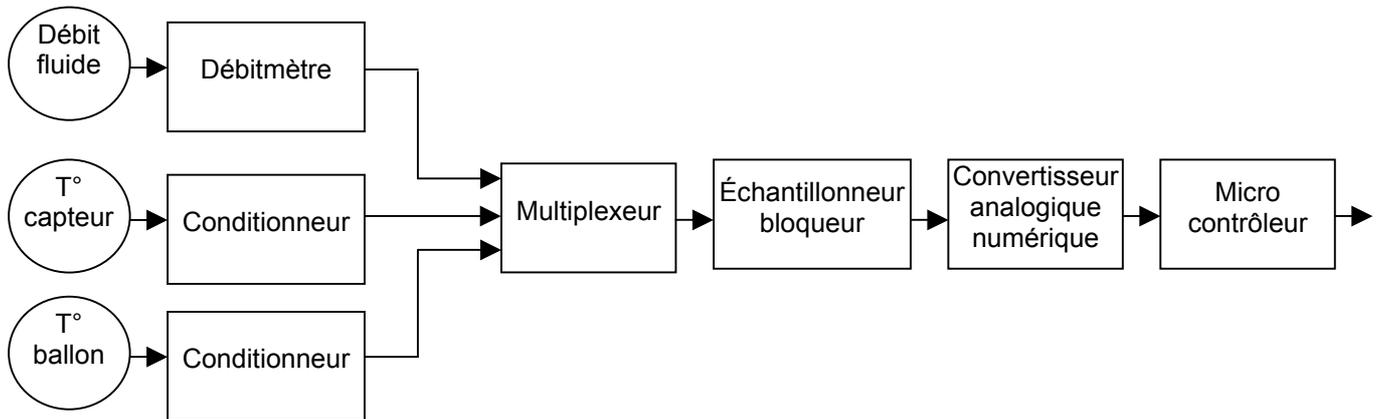
Elle comprend un régulateur électronique qui contrôlent les températures (des capteurs et du ballon), agit sur la commande de la pompe ou le chauffage d'appoint, gère les fonctions fondamentales de sécurité (surchauffe,...).

La station solaire déclenche le fonctionnement de la pompe à partir d'un écart de 4 °C entre les capteurs et le ballon.

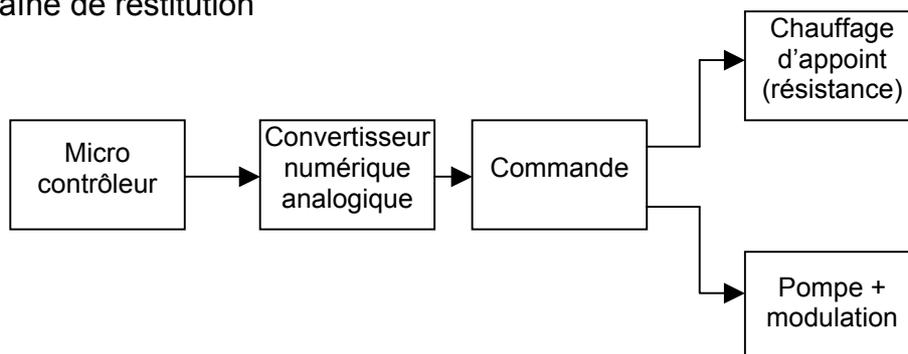


## Schéma fonctionnel simplifié de la station solaire

### Chaîne d'acquisition



### Chaîne de restitution



# CAE3PA

## PARTIE A : ÉTUDE DES SONDES DE TEMPÉRATURE ET LEUR CONDITIONNEUR

Pour relever les températures, le fabricant a opté pour deux sondes PT1000. Le conditionneur délivre la tension  $V_3$  de 0 à 10 V pour une variation de 0 °C à 100 °C. La calibration s'effectue en ajustant la tension de référence  $V_{Réf}$  et la résistance  $R_2$ .

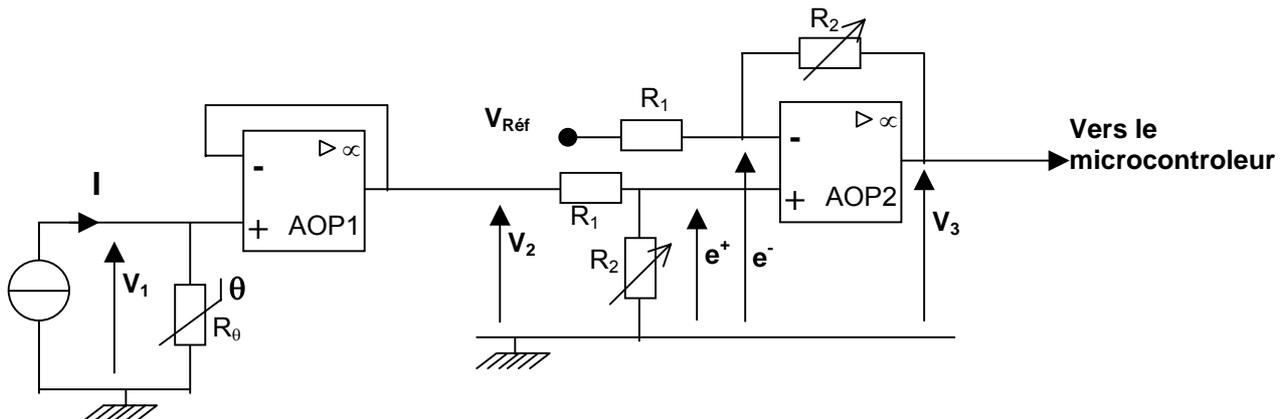
Schéma simplifié du conditionneur :

Les AOP sont considérés comme parfaits.

Le générateur de courant fournit un courant constant et égal à  $I = 1$  mA.

$R_1 = 1$  k $\Omega$ .

Les deux résistances  $R_2$  sont égales et varient de manière identique.



**A.1** - Donner le mode de fonctionnement des AOP. Justifier votre réponse.

**A.2** - La pompe ne se déclenche qu'à partir d'un écart de 4°C. Déterminer la variation de tension  $\Delta V_3$  que doit mesurer le microcontrôleur.

### 1<sup>er</sup> étage

**A.3** - Déterminer la relation entre  $V_1$ ,  $R_0$  et  $I$ .

**A.4** - Expliquer le rôle de l'AOP1.

**A.5** - En déduire la relation entre  $V_2$ ,  $R_0$  et  $I$ .

### 2<sup>nd</sup> étage

**A.6** - Déterminer la relation entre les tensions  $V_2$ ,  $e^+$  et les résistances  $R_1$  et  $R_2$ .

**A.7** - Déterminer la relation entre les tensions  $V_{Réf}$ ,  $V_3$ ,  $e^-$  et les résistances  $R_1$  et  $R_2$ .

**A.8** - Montrer que la tension  $V_3$  s'écrit :  $V_3 = \frac{R_2}{R_1} \cdot (R_0 \cdot I - V_{Réf})$ .

### Réglage du conditionneur

Pour une température de 0 °C, le conditionneur doit délivrer une tension  $V_3$  égale à 0 V.

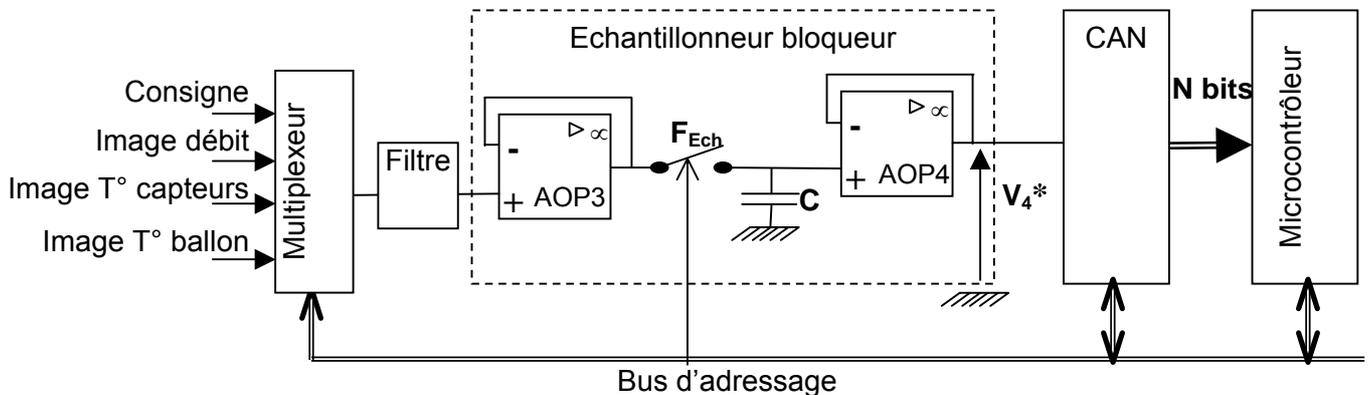
Pour une température de 100 °C, le conditionneur doit délivrer une tension  $V_3$  égale à 10 V.

**A.9** - D'après la caractéristique de la PT1000 (**annexe n° 1, page 8**), déterminer les valeurs  $R_0$  à 0°C et  $R_0$  à 100°C.

**A.10** - En déduire les valeurs de réglage de  $R_2$  et  $V_{Réf}$ .

**PARTIE B : ÉTUDE DE LA CHAÎNE NUMÉRIQUE**

**B.1 - Étude de la chaîne d'acquisition**



**B.1.1 -** Expliquer le rôle du multiplexeur.

**B.1.2 -** Étude du filtre anti-repliement (*annexe n° 2, page 9*).

D'après la courbe du gain en fonction de la fréquence, déterminer :

- le type de filtre,
- l'ordre du filtre ; justifier votre réponse.
- sa fréquence de coupure à  $-3$  dB.

**B.1.3 -** Quelle est la fonction de l'échantillonneur bloqueur ?

**B.1.4 -** D'après le signal échantillonné bloqué  $V_4^*$  (*annexe n° 2, page 9*), déterminer la période d'échantillonnage  $T_{Ech}$ .

**B.1.5 -** Au bout de 27 secondes, la réponse de la sonde de température est supposée stable.

- Rappeler le théorème de Shannon.
- Le théorème de Shannon est-il respecté ? Justifier votre réponse.

**B.1.6 -** Le Convertisseur Analogique - Numérique doit convertir une plage de tension de 0 à 10 V. Le microcontrôleur doit être capable de traiter une variation de tension de l'ordre de 0,01 V.

Choisir dans le tableau, le CAN le mieux approprié. Expliquer également pourquoi les 2 autres CAN ne conviennent pas.

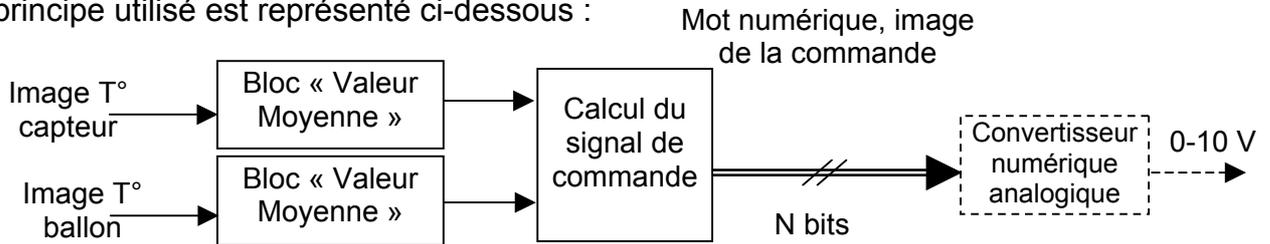
	ADC n°1	ADC n°2	ADC n°3
Pleine Échelle	0-10 V	0-5 V	0-10 V
Nombre de bits	8	10	12
Résolution	40 mV	5 mV	2,4 mV
Type	Flash	Flash	Flash

# CAE3PA

## B.2 - Étude du traitement numérique

Le microcontrôleur gère les mesures, les conditions de service. Il est surtout employé pour déterminer l'écart de température entre le ballon et le capteur et envoyer un signal de commande correspondant.

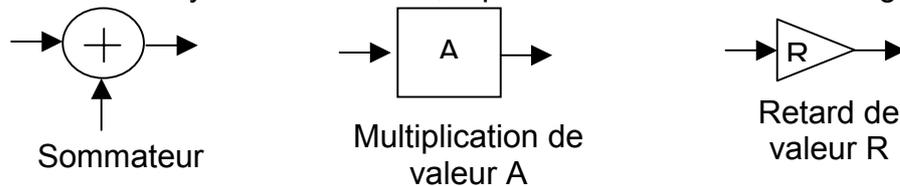
Le principe utilisé est représenté ci-dessous :



Dans le bloc "Valeur moyenne", le microcontrôleur réalise l'algorithme suivant :

$$S_n = \frac{1}{2} \cdot (x_n + x_{n-1}) \quad (s : \text{sortie} ; x : \text{entrée})$$

B.2.1 - En utilisant les symboles suivants, représenter la structure de l'algorithme.



B.2.2 - D'après l'algorithme, compléter le tableau sur le **document réponse 1 (page 11)**.

B.2.3 - Représenter les valeurs successives de la séquence de sortie  $\{s_n\}$  correspondant à la séquence d'entrée  $\{x_n\}$  du traitement numérique sur le **document réponse 1 (page 11)**.

## PARTIE C – ÉTUDE DE LA POMPE ET DE SA COMMANDE

La pompe permet la circulation du fluide caloporteur entre le capteur solaire et l'échangeur thermique situé dans le réservoir d'eau.

La pompe est équipée d'un moteur synchrone **monophasé** à aimants permanents. Son alimentation électrique est assurée par un onduleur.

### C.1 - Étude du moteur synchrone monophasé

La plaque signalétique du moteur synchrone parfaitement compensé, comporte les indications suivantes :

- Alimentation monophasée 230 V - 50 Hz.
- Puissance électrique absorbée : 400 W.
- Facteur de puissance :  $k = 1$ .
- 3 000 tr.min<sup>-1</sup>.

## CAE3PA

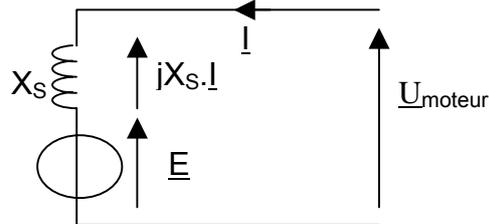
La réactance synchrone est égale à  $X_S = 60 \Omega$ . La résistance synchrone est supposée négligeable devant la réactance.

**C.1.1** - Quel composant permet de relever le facteur de puissance à 1.

**C.1.2** - Déterminer le nombre de pôles.

**C.1.3** - Calculer la valeur efficace nominale  $I_n$  de l'intensité du courant.

Le schéma ci-dessous, représente le modèle équivalent du moteur synchrone.



**C.1.4** - Déterminer la relation vectorielle entre les différentes tensions.

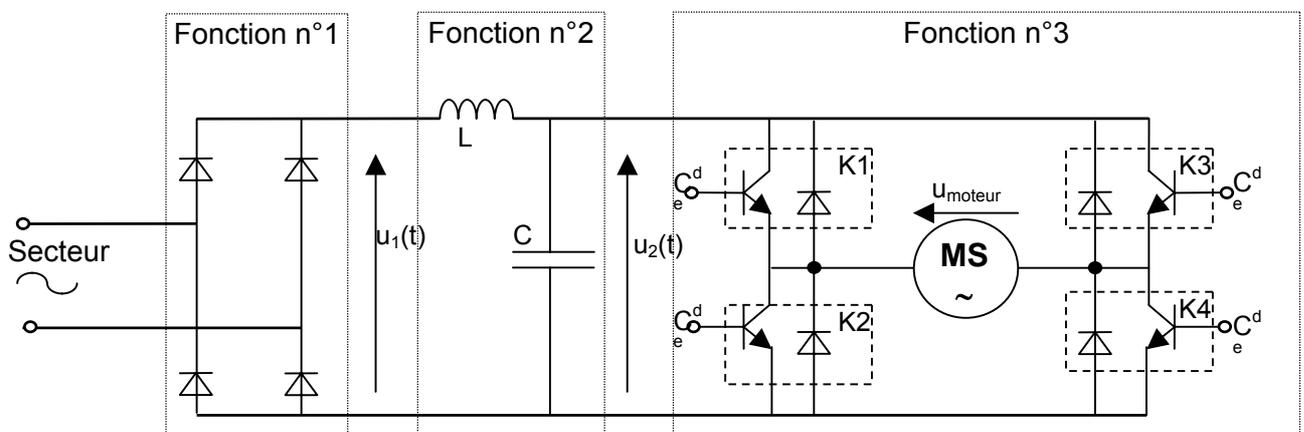
**C.1.5** - La valeur efficace  $I$  de l'intensité du courant est égale à 1,8 A. Tracer le diagramme synchrone (échelle 1 cm pour 20 V). En déduire graphiquement la valeur efficace de la fem  $E$ .

**C.1.6** - Sur le **document réponse 2 (page 13)**, placer les appareils de mesures afin de relever la puissance absorbée et l'intensité efficace. Vous préciserez la position du commutateur (AC ou DC) de l'ampèremètre.

## C.2 - Étude de l'onduleur

La pompe est pilotée par un onduleur électronique dont le schéma simplifié est présenté ci-dessous. Les semi-conducteurs (transistors, diodes) fonctionnent en commutation. Pour l'étude, on supposera les semi-conducteurs parfaits.

- Schéma simplifié



## CAE3PA

- C.2.1** - Quel est le rôle de la fonction n°1 ?
- C.2.2** - Tracer la tension  $u_1(t)$  sur le **document réponse 3 (page 15)**.
- C.2.3** - Quel est le rôle de l'inductance L ? Du condensateur C ?
- C.2.4** - Sur le **document réponse 3 (page 15)**, tracer l'allure de la tension  $u_{\text{moteur}}(t)$  en fonction du diagramme de conduction des interrupteurs  $K_n$  et de la tension  $U_2$ .
- C.2.5** - Déterminer l'expression de la valeur efficace  $U_{\text{moteur}}$  en fonction de  $U_2$ .

### C.3 – Étude de l'ensemble

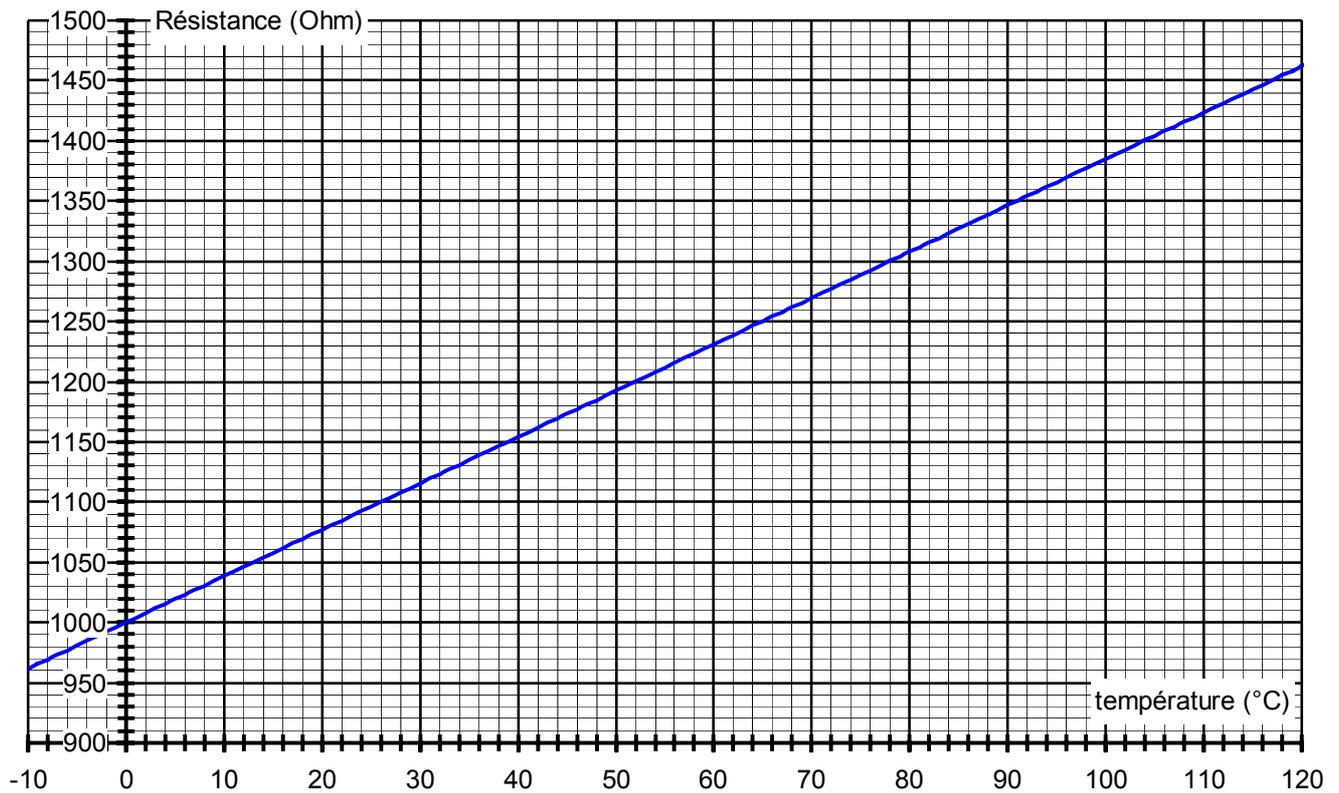
On améliore la commande en adoptant une commande de type MLI à (V/f) constant.

D'après la plaque signalétique, le moteur synchrone tourne à la fréquence de rotation de 3 000 tr/min sous 230 V et à la fréquence  $f = 50$  Hz.

- C.3.1** - Pour obtenir 100 % du débit de la pompe, le moteur synchrone doit tourner à la fréquence de rotation de 2 700 tr/min.  
Calculer la tension efficace  $U_{\text{moteur}}$  que doit fournir l'onduleur.
- C.3.2** - Calculer la fréquence de commande que doit soumettre le microcontrôleur à l'onduleur.

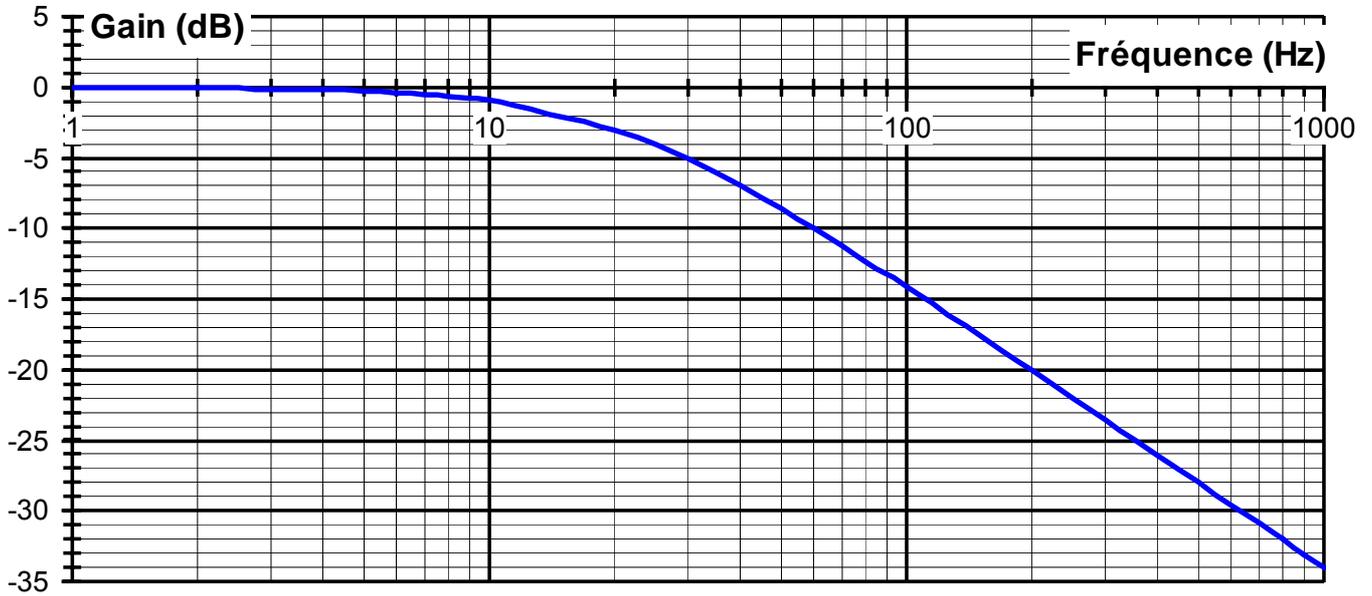
ANNEXE N° 1

Caractéristique d'une sonde PT1000

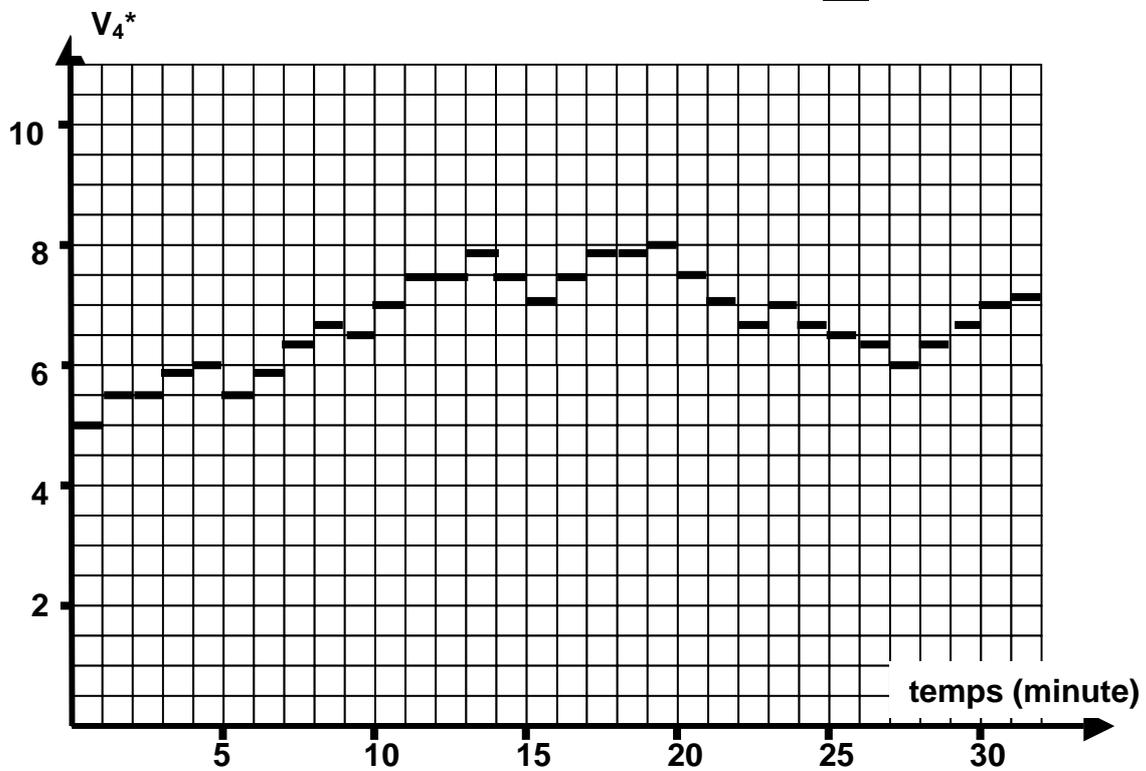


ANNEXE N° 2

Étude du filtre anti-repliement

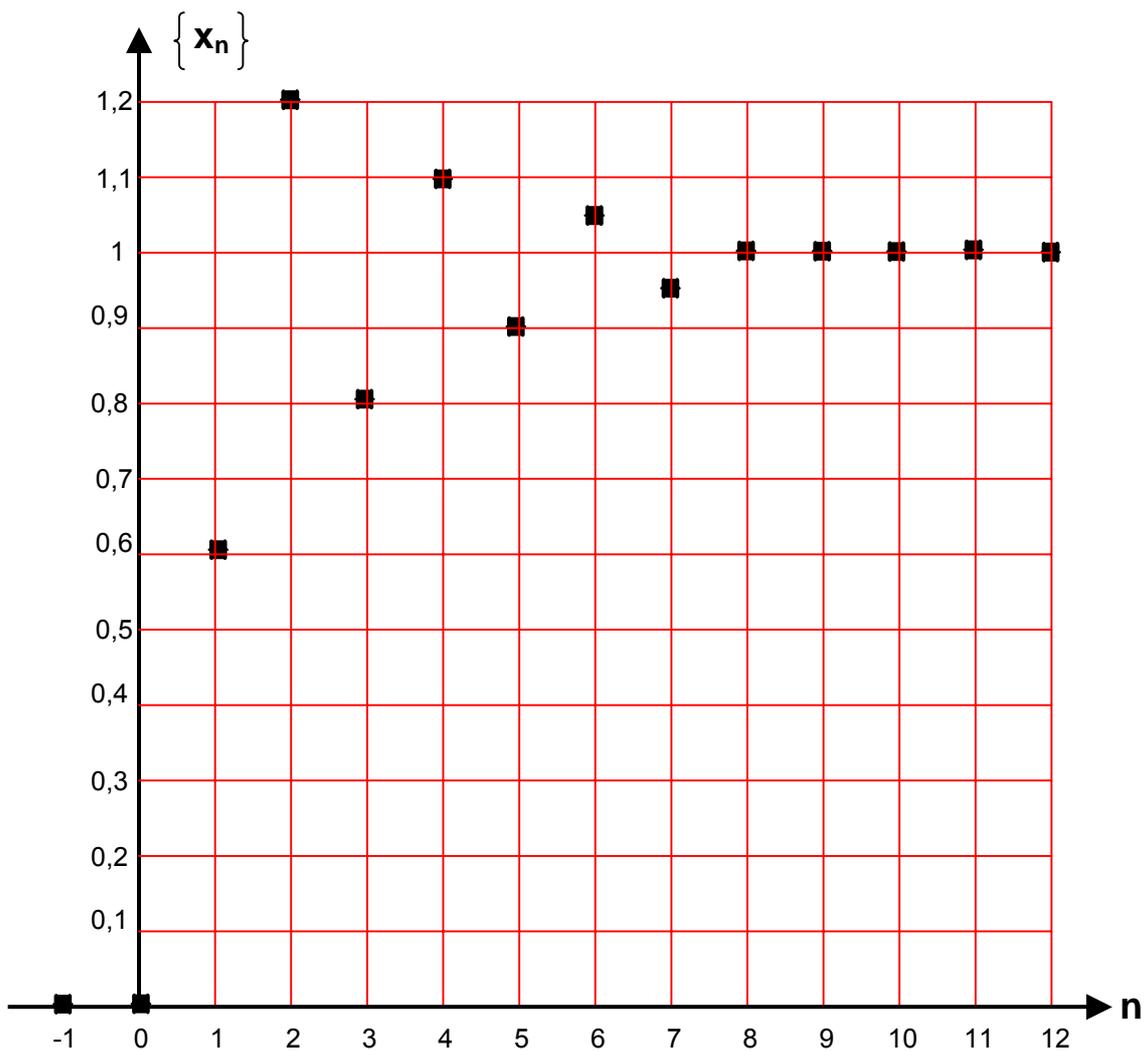


Signal échantillonné bloqué  $V_4^*$



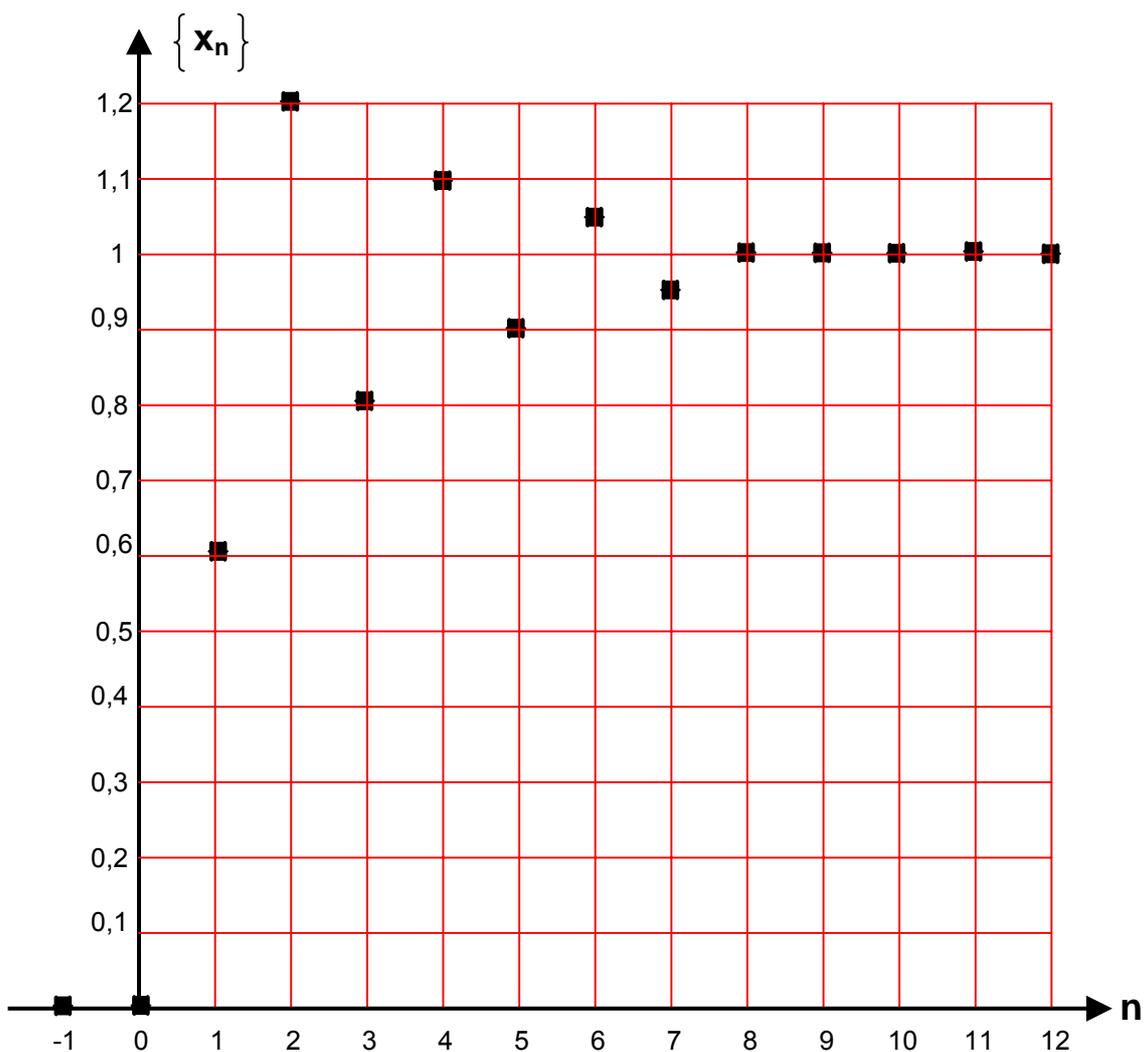
DOCUMENT RÉPONSE 1Tableau de la séquence de sortie

n	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_n$	0	0	0,6	1,2	0,8	1,1	0,9	1,05	0,95	1	1	1	1	1
$x_{n-1}$	0													
$s_n$														

Tracé de la séquence de sortie  $\{s_n\}$ 

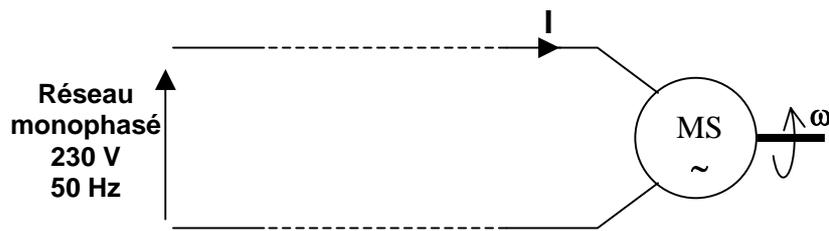
DOCUMENT RÉPONSE 1Tableau de la séquence de sortie

n	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_n$	0	0	0,6	1,2	0,8	1,1	0,9	1,05	0,95	1	1	1	1	1
$x_{n-1}$	0													
$s_n$														

Tracé de la séquence de sortie  $\{s_n\}$ 

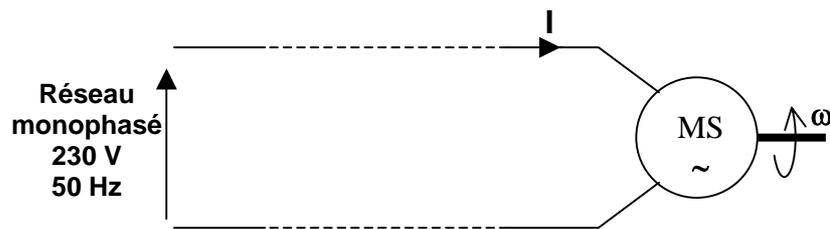
DOCUMENT RÉPONSE 2

Mesures de la puissance absorbée et de l'intensité efficace



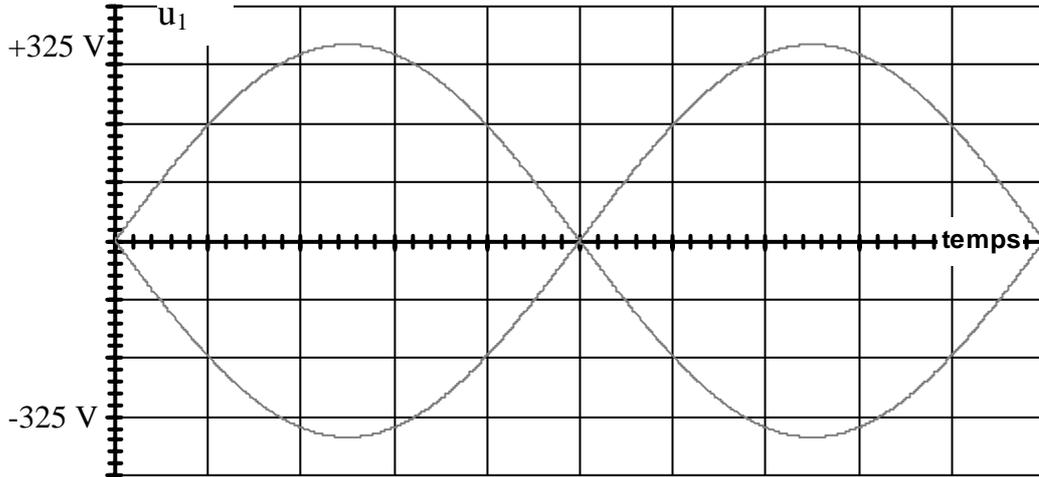
DOCUMENT RÉPONSE 2

Mesures de la puissance absorbée et de l'intensité efficace

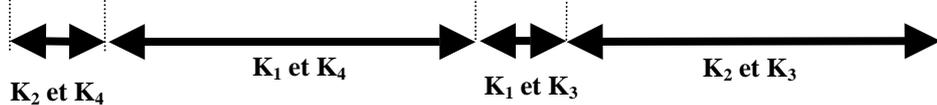
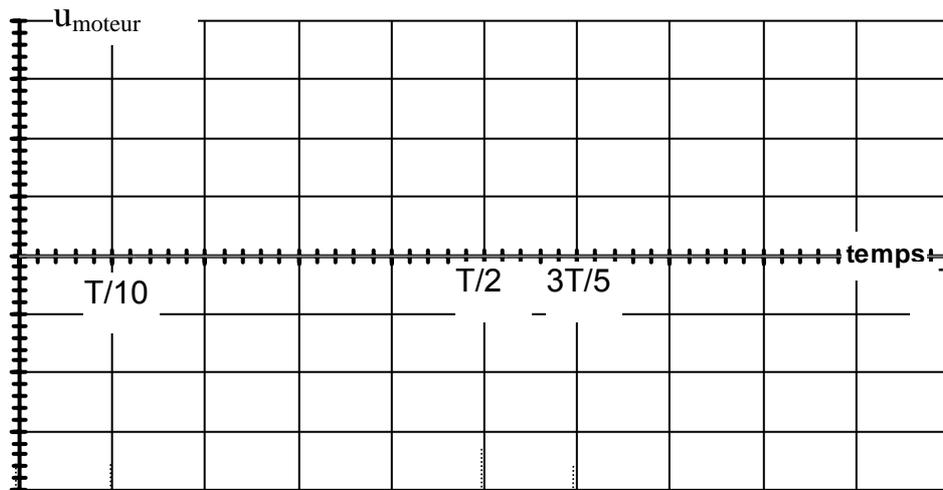
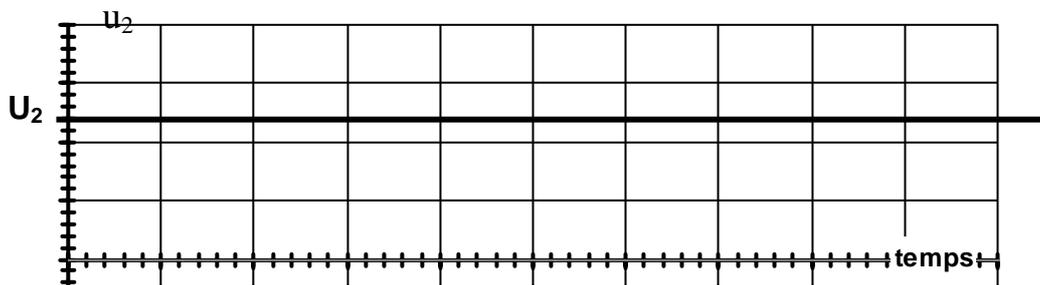


**DOCUMENT RÉPONSE 3**

**Tracé de la tension  $u_1(t)$**



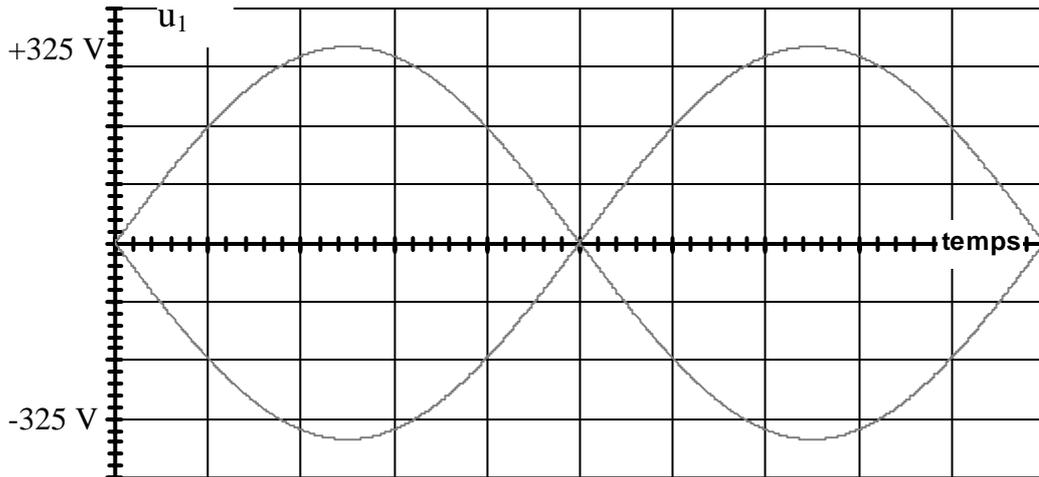
**Tracé de la tension  $u_{\text{moteur}}(t)$**



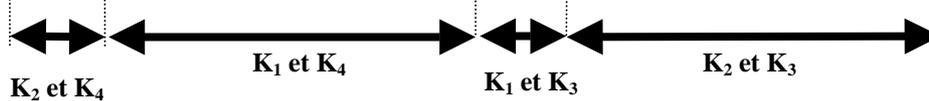
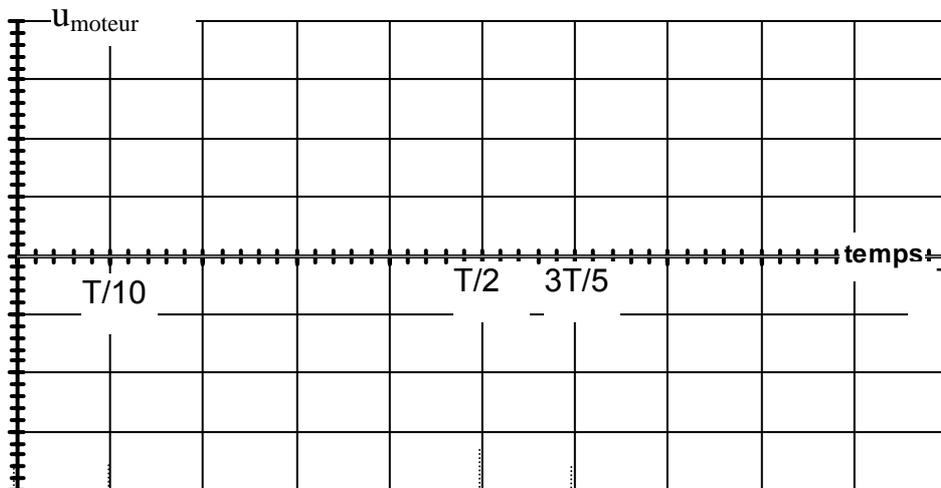
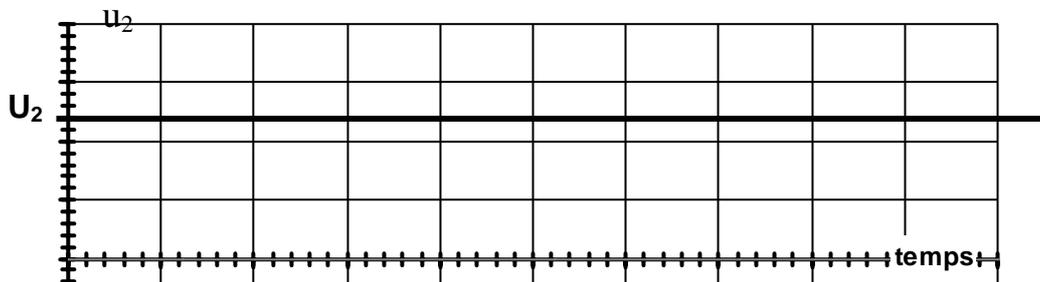
**Interrupteurs  
commandés à la  
fermeture**

**DOCUMENT RÉPONSE 3**

**Tracé de la tension  $u_1(t)$**



**Tracé de la tension  $u_{\text{moteur}}(t)$**



Interrupteurs  
commandés à la  
fermeture