

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 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.*

**ATTENTION :**

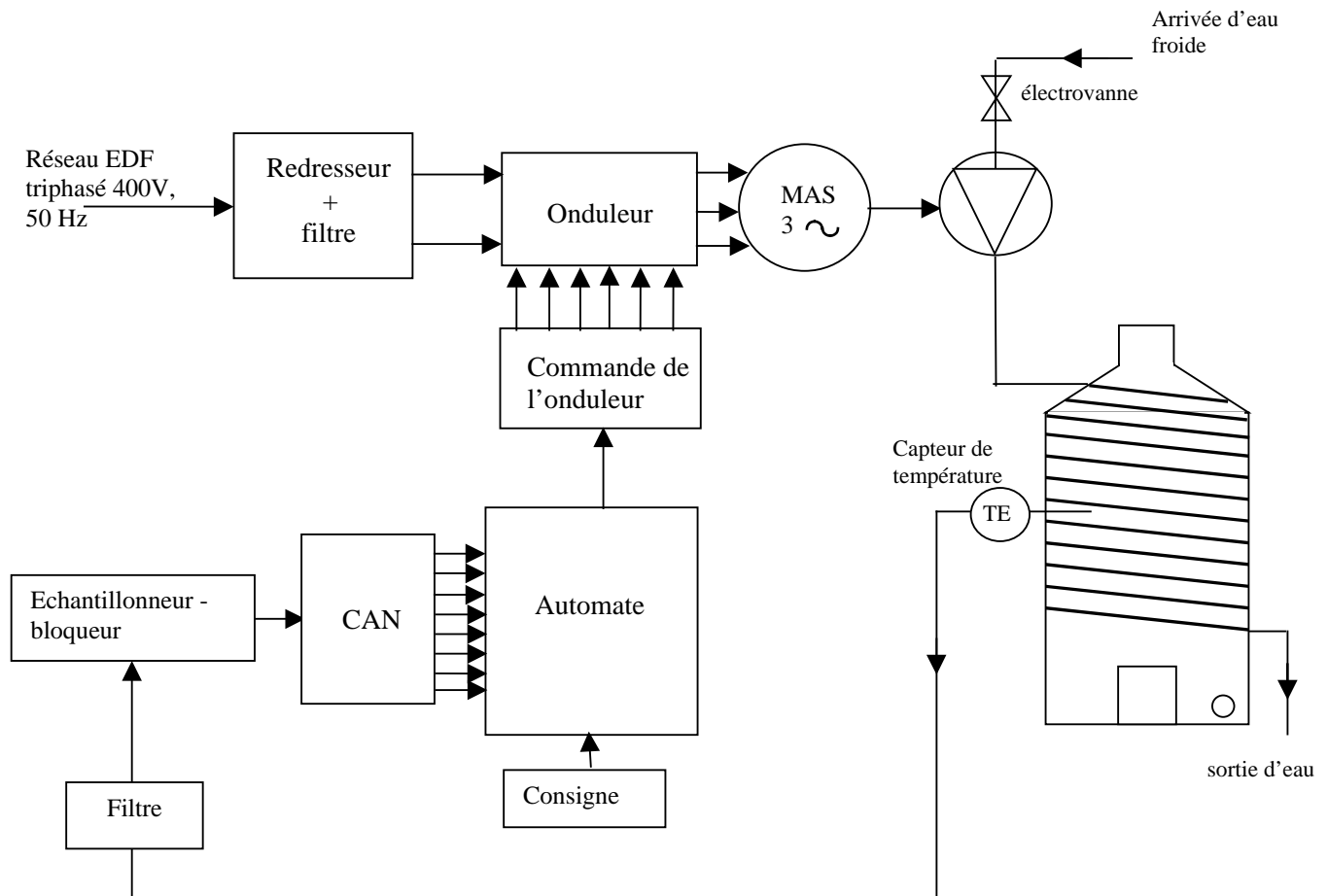
**LES DOCUMENTS RÉPONSES 1 (pages 7 et 8) et 2 (pages 9 et 10)**  
**sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre**  
**avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.**

=====

***Aucun document autorisé.***  
***Calculatrice réglementaire autorisée.***  
***Tout autre matériel est interdit.***

## Présentation du système

Lors de la fermentation du raisin, la température augmente. Si elle dépasse une certaine valeur, les enzymes sont détruits et la fermentation s'arrête. Pour augmenter la qualité de son vin et préserver les tanins, un viticulteur souhaite que la fermentation de son vin se fasse à basse température. Il a donc fait installer un dispositif lui permettant de contrôler la température à l'intérieur de la cuve à 18 °C.



**Figure 1**

Le dispositif comprend un réservoir d'eau maintenue à une température de 7 °C. Cette eau est pompée et passe dans un serpentin en inox solidaire de la cuve et retourne dans le réservoir. Le débit d'eau est régulé en fonction de la température à l'intérieur de la cuve. La vitesse de rotation du moteur est commandée par un variateur de vitesse permettant d'agir sur le débit de la pompe.

***Le sujet comporte 4 parties indépendantes : une étude du moteur asynchrone, du convertisseur alternatif-continu, de l'onduleur et de la mesure de température.***

# CAE3PA

## PARTIE A : Calcul du rendement du moteur asynchrone

Sur la plaque signalétique du moteur, il est indiqué :

- 230 V/400 V ; 29 A/50 A ; 50 Hz
- Puissance utile nominale :  $P_{uN} = 15 \text{ kW}$
- Fréquence de rotation nominale  $n_N = 1\,420 \text{ tr.min}^{-1}$

**On a mesuré la résistance entre 2 phases du stator :  $R_a = 1,2 \, \Omega$ .**

Ce moteur est alimenté par un réseau électrique 230 V/400 V ; 50 Hz.

*Dans tout l'exercice, on négligera les pertes mécaniques et les pertes fer au rotor. On rappelle que les pertes par effet Joule au rotor sont données par  $P_{Jr} = g \times P_{tr}$  où  $P_{tr}$  est la puissance transmise au rotor.*

**A-1-** Comment doit-on coupler les enroulements du stator de cette machine ? Justifier votre réponse.

**A-2-** On a effectué un essai à vide de ce moteur alimenté par le réseau mentionné ci-dessus.

On a obtenu les résultats suivants :

$$\begin{aligned} I_v &= 18 \text{ A} \\ P_{av} &= 790 \text{ W} \\ n_v &= 1\,500 \text{ tr/min} \end{aligned}$$

*On négligera les pertes par effet Joule au rotor à vide :  $P_{Jrv}$ .*

**A-2-1-** À partir des résultats obtenus, calculer les pertes par effet Joule au stator à vide :  $P_{Jsv}$ .

**A-2-2-** En déduire les pertes fer au stator à vide  $P_{fsv}$ .

*Pour la suite, on considèrera que les pertes fer au stator sont constantes et égales à  $P_{fsv}$ .*

**A-3-** On effectue un essai **au point nominal** de la machine :

**A-3-1-** Calculer la fréquence de synchronisme  $n_s$  ainsi que le nombre de paires de pôles  $p$ .

**A-3-2-** Calculer le glissement  $g$ .

**A-3-3-** Calculer les pertes par effet Joule au stator  $P_{Js}$ .

**A-3-4-** Montrer que la puissance transmise au rotor a pour valeur  $P_{tr} = 15,8 \text{ kW}$ .

**A-3-5-** Calculer les pertes par effet Joule au rotor  $P_{Jr}$ .

**A-3-6-** Calculer le moment  $T_u$  du couple utile du moteur.

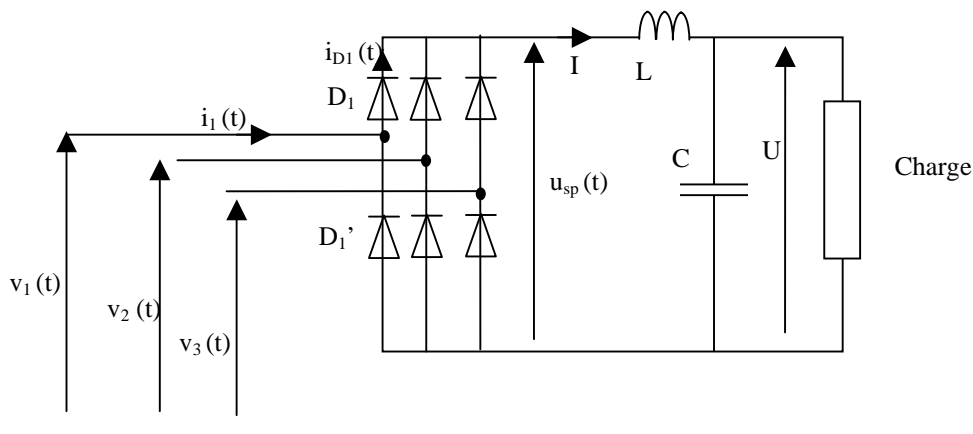
**A-3-7-** Calculer la puissance absorbée  $P_a$ .

**A-3-8-** Calculer le facteur de puissance  $f_p$ .

**A-3-9-** Calculer le rendement  $\eta$  du moteur.

## PARTIE B : Dimensionnement du convertisseur alternatif-continu

Le système est alimenté par un réseau triphasé 230 V/400 V de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ , selon la **figure 2**.



**Figure 2**

# CAE3PA

Le pont redresseur est connecté aux bornes d'entrée de l'onduleur. Le courant de sortie du pont I sera considéré comme pratiquement constant et égal à  $I = 29,7 \text{ A}$ . La tension de sortie du pont a une valeur moyenne :

$$\langle u_{SP}(t) \rangle = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi}. \text{ Les diodes sont supposées parfaites. Avec : } V \text{ valeur efficace de la tension } v_1(t)$$

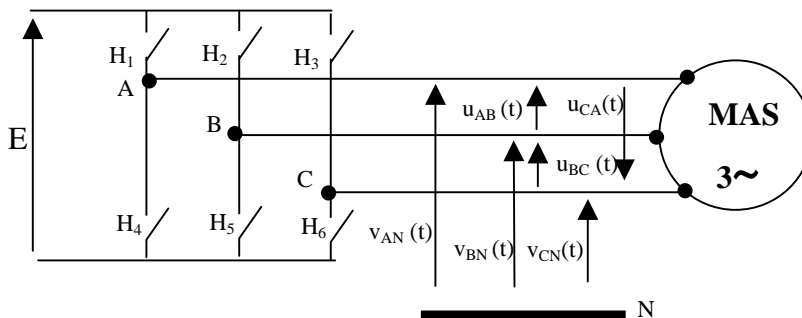
- B-1-** Donner la valeur efficace de la tension  $v_1(t)$ .
- B-2-** Compléter le *document réponse 1 (pages 7/10 et 8/10)* :
  - B-2-1** en indiquant les intervalles de conduction des diodes  $D_1$  et  $D'_1$  (**B** pour bloquée et **P** pour passante).
  - B-2-2** en traçant l'évolution en fonction du temps du courant  $i_{D1}(t)$ .
- B-3-** Calculer la valeur moyenne de  $i_{D1}(t)$ .
- B-4-** Le constructeur indique que le courant moyen traversant les diodes ne doit pas dépasser 15 A. Vérifier que cette spécification est bien respectée.
- B-5-** On suppose que la tension aux bornes de la charge est constante. Montrer que  $U = \langle u_{SP}(t) \rangle$ .
- B-6-** Calculer la valeur numérique de U.
- B-7-** On montre qu'un condensateur de  $750 \mu\text{F}$  permet de limiter l'ondulation de la tension de sortie U à une valeur acceptable. On dispose des condensateurs suivants :

C ( $\mu\text{F}$ )	470	1 000	2 200
Tension de service (V)	750	300	750

Indiquer votre choix.

## PARTIE C : Étude de l'onduleur triphasé

L'automate permet de commander les 6 interrupteurs de l'onduleur. L'onduleur est schématisé ci-dessous sur la *figure 4*. Les interrupteurs sont fermés (lorsqu'ils sont commandés) pendant une demi-période. Les 3 bras sont commandés avec un décalage de  $T/3$ . Les intervalles de fermeture des interrupteurs sont donnés sur le *document réponse 2 (pages 9/10 et 10/10)* : les zones hachurées correspondent aux phases de conduction des interrupteurs.



**Figure 4**

- C-1-** Montrer que l'expression de la valeur efficace de  $u_{AB}(t)$ , représentée sur le *document réponse 2 (pages 9/10 et 10/10)* est  $U_{AB} = 0,816E$  (il est conseillé de faire un calcul d'aire).  
On montre qu'à chaque instant, on a  $v_{AN}(t) = \frac{u_{AB}(t) - u_{CA}(t)}{3}$ .
- C-2-** Sur le *document réponse 2 (pages 9/10 et 10/10)*, tracer la courbe représentative de  $v_{AN}(t)$ .
- C-3-** La décomposition en série de Fourier de  $v_{AN}(t)$  s'écrit :

$$v_{AN}(t) = \frac{2E}{\pi} \left[ \sin(\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \frac{1}{11} \sin(11\omega t) + \dots \right] \text{ avec } E = 540 \text{ V.}$$

# CAE3PA

**C-3-1-** On s'intéresse au spectre en **valeurs efficaces** de  $v_{AN}(t)$ .

**C-3-1-1-** Reproduire et remplir le tableau ci-dessous :

Rang de l'harmonique	1			
Fréquence (Hz)	50			
Valeur efficace (V)				

**C-3-1-2-** Tracer le spectre en **valeurs efficaces** de  $v_{AN}(t)$ . *Document réponse 2 (pages 9/10 et 10/10).*

**C-3-2-** Quelle est la fréquence de la composante harmonique la plus gênante ?

**C-4-** Pour améliorer le fonctionnement du convertisseur, la commande est du type à modulation de largeur d'impulsion. Sur la **figure 5 (page 6/10)**, on a représenté 2 exemples notés  $u_{AB1}(t)$  et  $u_{AB2}(t)$ .

La valeur efficace du fondamental de  $u_{AB1}(t)$  est :  $U_{AB1f} = 332 \text{ V}$ .

La valeur efficace du fondamental de  $u_{AB2}(t)$  est :  $U_{AB2f} = 166 \text{ V}$ .

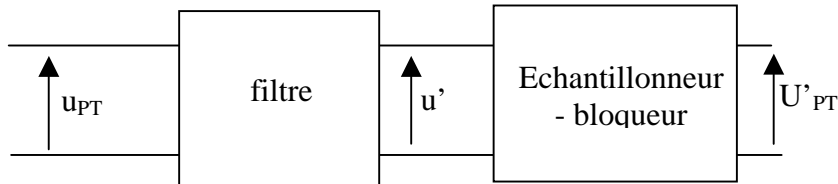
**C-4-1-** Déterminer les valeurs des fréquences  $f_1$  et  $f_2$  des tensions  $u_{AB1}(t)$  et  $u_{AB2}(t)$ .

**C-4-2-** Comparer les rapports  $U_{AB1}/f_1$  et  $U_{AB2}/f_2$ .

**C-4-3-** Conclure sur le fonctionnement du moteur asynchrone.

## PARTIE D : Mesure de la température

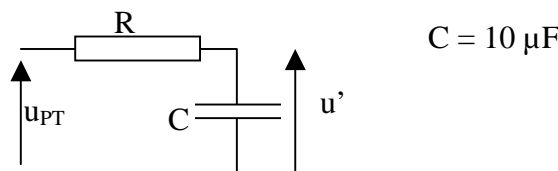
La vitesse de rotation de la machine asynchrone est asservie à la température à l'intérieur de la cuve. Pour cela, on utilise un capteur de température placé dans la cuve. Ce capteur fournit une tension  $u_{PT}$  continue à laquelle se superposent des parasites de fréquences supérieures à 15,9 kHz.



**Figure 6**

En sortie de l'échantillonneur – bloqueur, on obtient une tension continue directement proportionnelle à la température :  $U'_{PT} = k \times \theta$  avec  $k = 0,25 \text{ V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ . Ce capteur permet de mesurer des températures jusqu'à 100 °C.

**D-1-** Le filtre est constitué des éléments suivants (**figure 7**).



**Figure 7**

**D-1-1-** Quel est le rôle de ce filtre ?

**D-1-2-** À l'aide de la courbe de gain (**figure 8 page 5/10**) déterminer la pente de l'asymptote oblique en décibels par décade.

**D-1-3-** En déduire l'ordre du filtre.

**D-1-4-** Déterminer la fréquence de coupure  $f_0$  pour que les parasites subissent une atténuation d'au moins 40 dB.

**D-1-5-** Donner la relation entre la fréquence de coupure et les éléments R et C du filtre.

**D-1-6-** En déduire la valeur de R.

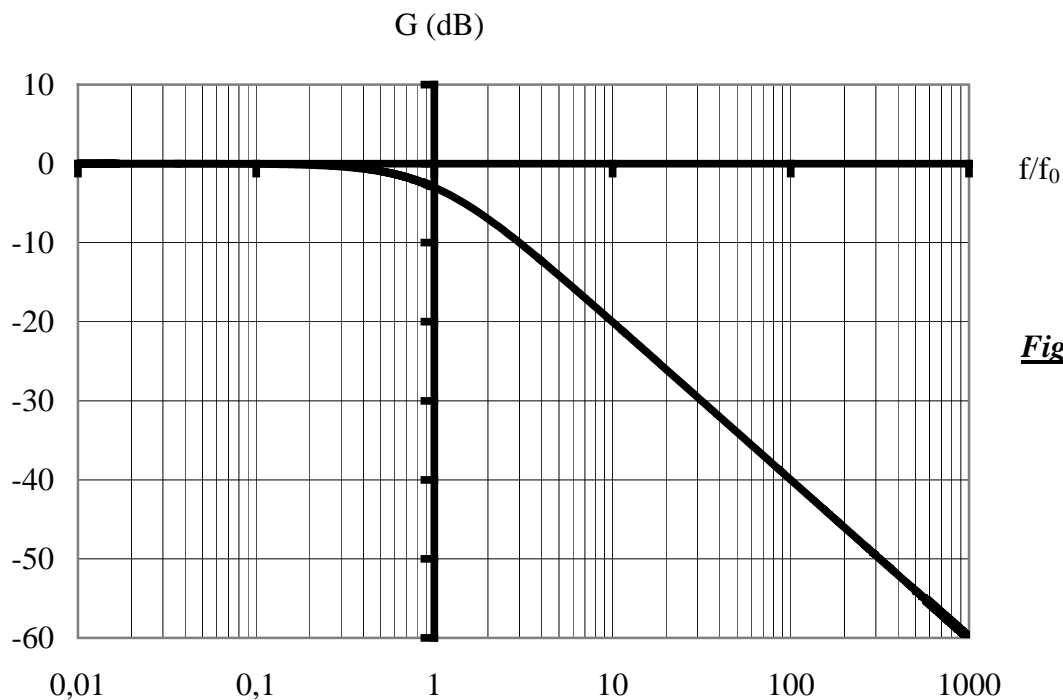


Figure 8

**D-2-**

**D-2-1-** Donner le rôle de l'échantillonneur

**D-2-2-** Donner le rôle du bloqueur.

**D-3-** La conversion s'effectue selon la *figure 9*.

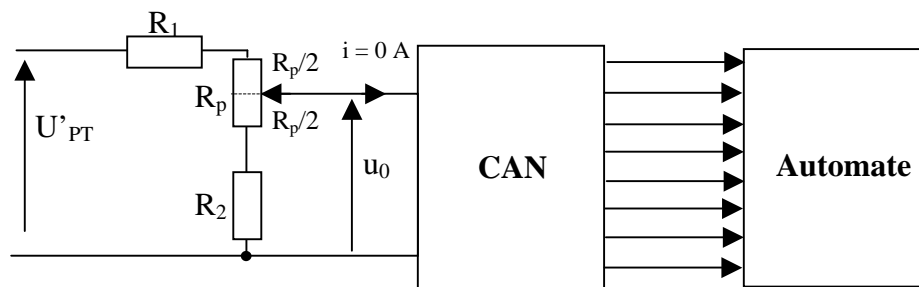


Figure 9

Le potentiomètre R<sub>p</sub> est réglé en position centrale.

On donne R<sub>2</sub> = 10 kΩ et R<sub>p</sub> = 10 kΩ.

**D-3-1-** La tension u<sub>0</sub> appliquée à la carte de contrôle du variateur est égale à 10 V lorsque la température à mesurer est maximale. On utilise un convertisseur analogique-numérique codé sur 8 bits. Le CAN doit pouvoir convertir des tensions comprises entre 0 V et 12 V.

**D-3-1-1-** Déterminer la résolution r de ce convertisseur.

**D-3-1-2-** En déduire la plus petite variation de température mesurable Δθ, sachant que

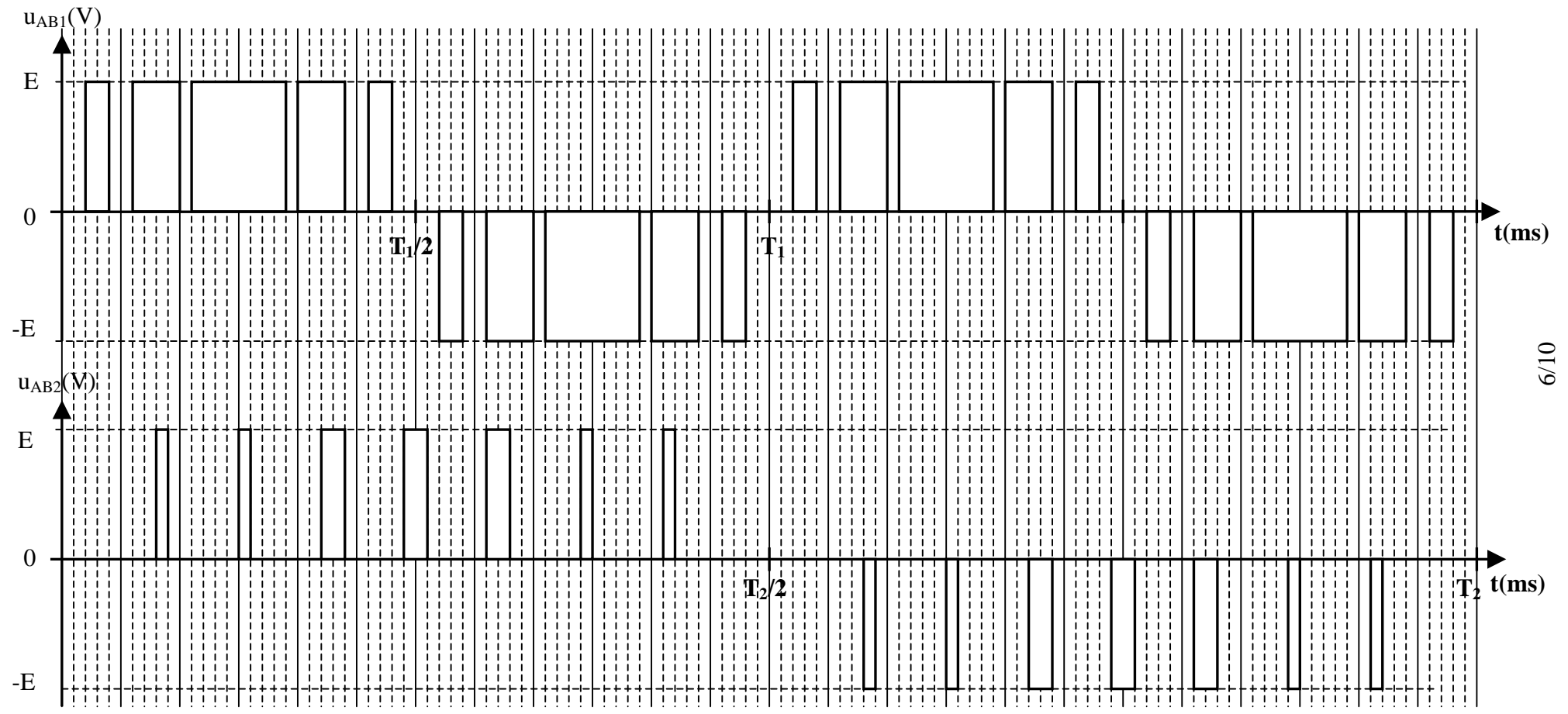
$$U'_{PT} = \frac{25}{10} u_0.$$

**D-3-2-** La température dans la cuve est fixée à 18 °C.

**D-3-2-1-** Déterminer la valeur de la tension u<sub>0</sub> correspondant à cette température.

**D-3-2-2-** Quel sera alors le mot binaire N correspondant à cette température ?

**Figure 5**



6/10

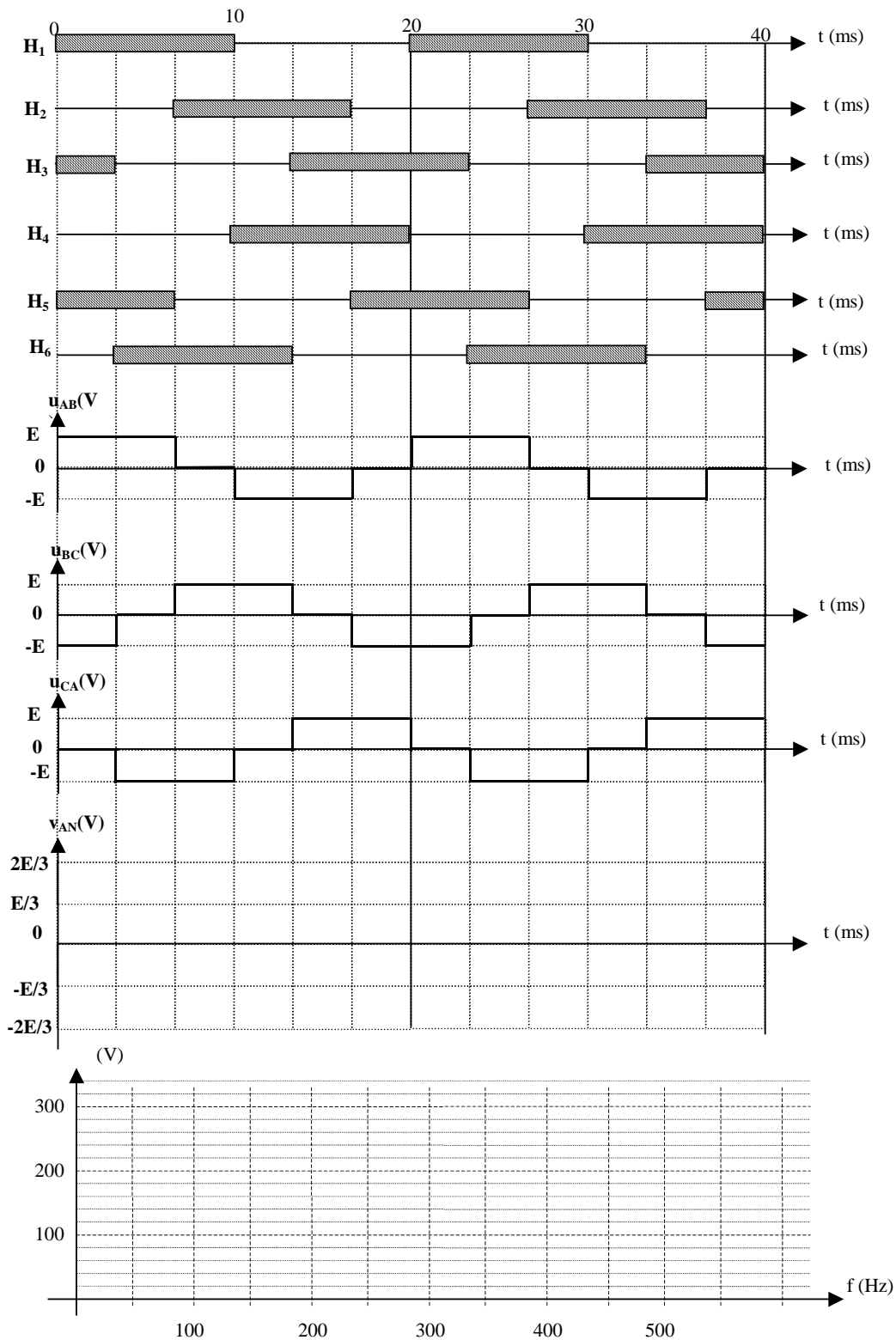
CAE3PA

↔  
2 ms





DOCUMENT RÉPONSE 2



EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT RÉPONSE 2

