

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

**SESSION 2006**

## PHYSIQUE APPLIQUÉE

**Série: Sciences et technologies industrielles**

**Spécialité: Génie Électrotechnique**

**Durée: 4 heures**

**Coefficient: 7**

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1 à 9 dont les documents réponse DR1 page8 et DR2 page 9 sont à rendre avec la copie.

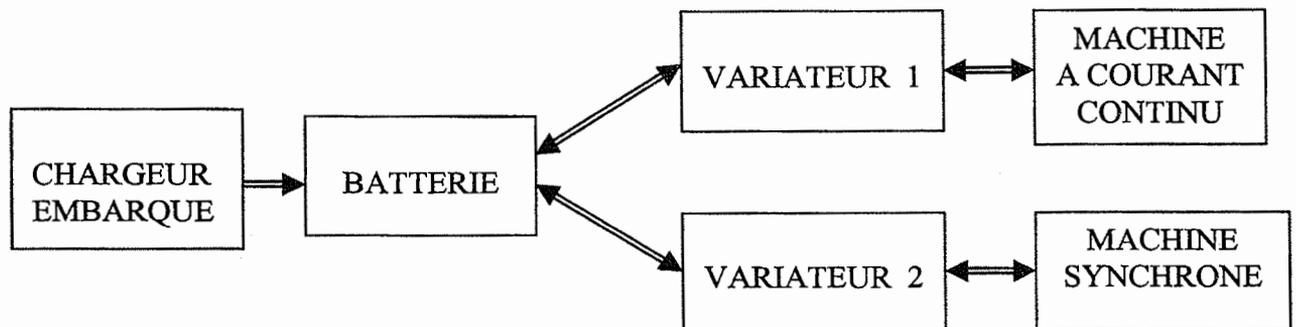
Le sujet est composé de 4 parties indépendantes.

**Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements, entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.**

# PRINCIPE DES VEHICULES ELECTRIQUES

Tous les véhicules électriques sont construits selon le même principe, avec pour seules différences les moteurs électriques et les convertisseurs qui leurs sont associés. Les 2 motorisations les plus répandues sont la machine à courant continu et la machine synchrone. Ces 2 machines sont réversibles et permettent donc des phases de récupération d'énergie.

Le sujet est basé sur l'étude des différents étages de conversions d'énergie d'une voiture électrique lorsqu'elle est équipée d'une machine à courant continu ou d'une machine synchrone.



## PARTIE A : ETUDE DU MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION INDEPENDANTE

Les caractéristiques nominales du moteur sont les suivantes :

- Puissance utile :  $P_{un} = 15,5 \text{ kW}$  ;
- Régime nominal :  $n_n = 5500 \text{ tr.min}^{-1}$  ;
- $U_n = 162 \text{ V}$  ;
- $I_n = 100 \text{ A}$  ;
- Résistance d'induit :  $R = 50,0 \text{ m}\Omega$  .

### **I- Etude du fonctionnement nominal**

1. Donner le schéma du modèle équivalent de l'induit du moteur en convention récepteur.
2. Déterminer la valeur de la f.é.m. nominale du moteur.
3. Calculer la constante  $k$  définie par la relation  $E = k\Omega$ . Préciser son unité.
4. Calculer la valeur du moment  $T_{em_n}$  du couple électromagnétique.
5. Calculer la valeur du moment  $T_{un}$  du couple utile.
6. Déduire de ces résultats la valeur du moment  $T_p$  du couple de pertes, et les pertes collectives  $p_c$  pour ce fonctionnement ?
7. Quel est le rendement du moteur pour ce fonctionnement si les pertes dans l'inducteur sont négligées?

Pour la suite du problème, la constante  $k$  de la machine sera égale à  $k = 0,273 \text{ V.s.rad}^{-1}$  et le couple de pertes sera négligé.

## II- Etude du démarrage

1. Si on applique la tension nominale, quelle est l'intensité du courant appelé au démarrage ?
2. On souhaite limiter l'intensité dans l'induit à  $I_d = 220$  A.
  - 2.1. Sur quelle grandeur de la machine doit-on agir ?
  - 2.2. Quelle est alors la valeur du moment du couple de démarrage ?
  - 2.3. Calculer la valeur minimale à donner à U pour que le moteur démarre.
  - 2.4. Quelle est la valeur de U à la fin de la phase de démarrage, la fréquence de rotation atteignant  $1600 \text{tr.min}^{-1}$  ?
3. Calculer la quantité d'électricité  $Q_d$  consommée par le moteur durant la phase de démarrage si celle-ci dure 3 secondes.

## III- Etude d'une phase de freinage

Lors des phases de freinage, on utilise la réversibilité de la machine afin de restituer de l'énergie à la batterie. On conservera la convention récepteur pour cette partie du problème.

Pendant toute la durée du freinage, le couple électromagnétique est constant et son moment vaut  $T_{emf} = -4,5$  Nm.

1. Justifier le signe du moment du couple électromagnétique  $T_{emf}$ .
2. Que vaut l'intensité du courant d'induit  $I_f$  ? Cette valeur varie-t-elle durant le freinage ?
3. Quelle est alors la quantité d'électricité  $Q_f$  emmagasinée par la batterie durant cette phase si elle dure 3 secondes ?

## PARTIE B : ETUDE DU VARIATEUR DE VITESSE

### I- Généralités concernant le variateur

1. Citer 2 montages qui conviennent à la variation de vitesse des moteurs à courant continu.
2. Le moteur du véhicule électrique doit pouvoir fonctionner dans les quatre quadrants. La courbe  $T_u(n)$  du moteur est donnée sur le document réponse DR1 page 8, figure n°1. Préciser, sur le document réponse, le fonctionnement de la machine dans chacun des quadrants.
3. Quelle est l'intérêt du fonctionnement de la machine dans les quadrants 2 et 4 ?

Pour la suite du problème, il ne sera traité que le fonctionnement du moteur alimenté par un hacheur série. Le montage est donné en ANNEXE 1 page 6, figure n°1.

L'inductance L, en série avec l'induit, est supposée parfaite.

### II- Etude du hacheur série

L'interrupteur H est réalisé avec un transistor IGBT 400A/ 600 V. Il sera supposé idéal, ainsi que la diode.

1. Analyse des chronogrammes (voir document réponse DR1 page 8, figure n°2)
  - 1.1. Dédire du chronogramme de la tension  $u(t)$  :
    - 1.1.1. la fréquence de fonctionnement du hacheur ;
    - 1.1.2. la valeur du rapport cyclique  $\alpha$  ;
    - 1.1.3. la valeur de la tension continue V.
  - 1.2. Quelle grandeur indique un voltmètre RMS placé aux bornes de la charge lorsqu'il est :
    - 1.2.1. en position DC ?
    - 1.2.2. en position AC ?
    - 1.2.3. en position AC+DC ?

- 1.3. On suppose que le courant dans le moteur est parfaitement lissé :  $i = I = 220\text{A}$ .
  - 1.3.1. On dispose de 3 sondes de courants dont les caractéristiques sont données en ANNEXE 1 page 6, figure n°2. Quelle sonde de courant peut-on utiliser pour visualiser le courant  $i$  à l'oscilloscope ? Justifier votre réponse.
  - 1.3.2. Tracer sur le document réponse DR1 page 8, figure n°2, les chronogrammes des courants  $i_H(t)$  et  $i_D(t)$ .
2. Le moteur est dans une phase de démarrage. L'intensité  $I$  du courant  $i$  est maintenue à  $220\text{A}$ . La f.é.m.  $E$  du moteur et la fréquence de rotation du moteur sont liées par la relation  $E = 85,8 \cdot 10^{-3} \cdot n$  avec  $n$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .
  - 2.1. Déterminer l'expression de la valeur moyenne  $\langle u \rangle$  de  $u$  en fonction de  $E$ ,  $R$  et  $I$ . (On rappelle qu'en régime périodique, la valeur moyenne de la tension aux bornes d'une inductance pure est nulle).
  - 2.2. En déduire l'expression de  $n$  en fonction de  $\alpha$  (la résistance de l'induit vaut  $R = 50,0 \text{ m}\Omega$ ).
  - 2.3. Quelle est la valeur minimale à donner à  $\alpha$  pour que le moteur démarre ?
  - 2.4. Quelle est la valeur maximale de  $n$  que l'on peut atteindre en fin de phase de démarrage ?

### PARTIE C : ETUDE DU MODULE DE CHARGE DE LA BATTERIE



La charge de la batterie s'effectue à partir d'une prise monophasée  $230 \text{ V}/16 \text{ A}$ ,  $50\text{Hz}$ .

Le chargeur embarqué sur le véhicule a une puissance utile  $P_u = 3,0 \text{ kW}$ .

La structure du chargeur est donnée en ANNEXE 1 page 6 figure n°3.

1. Le redresseur est un pont de Graëtz : représentez-le sur le document réponse DR2 page 9, figure n°3.
2. On visualise à l'oscilloscope les tensions  $u_e$  et  $u_1$ . On dispose de 2 sondes différentielles atténuatrices de rapport  $1/10$ . Indiquer sur le document réponse DR2 page 9, figure n°3, le schéma du câblage de l'oscilloscope.
3. Représenter sur le document réponse document réponse DR2 page 9, figure n°4, les tensions  $u_e$  et  $u_1$ .
4. En sortie du filtre, la tension  $u_2$  est égale à la valeur moyenne de  $u_1$  :  $u_2 = \langle u_1 \rangle$ . Calculer  $u_2$ .
5. En sortie de convertisseur continu/continu, la tension  $U_b$  est parfaitement constante et vaut  $162\text{V}$ . Que vaut alors l'intensité du courant de charge moyen  $i_b$  de la batterie ?

## **PARTIE D : MOTORISATION PAR MACHINE SYNCHRONE**

La motorisation du véhicule électrique est assurée par une machine synchrone triphasée, tétrapolaire (4 pôles), de puissance utile maximale  $P_{u\max} = 25\text{kW}$  et dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile.

### **I- Généralités**

1. Quel est le nom donné à la machine lorsqu'elle fonctionne en génératrice ?
2. Lorsque la machine fonctionne en moteur, le stator est-il récepteur ou générateur ?

Le schéma de la motorisation est donné en ANNEXE 2 page7, figure n°4.

3. Quel nom peut-on donner au convertisseur continu/alternatif qui alimente le moteur ?
4. Quel est le rôle de l'enroulement alimenté par la tension  $u_e$  ?

### **II- Etude d'un point de fonctionnement hors phase de démarrage**

De  $2000 \text{ tr.min}^{-1}$  à  $10000 \text{ tr.min}^{-1}$ , le moteur fonctionne à puissance constante  $P_u = P_{u\max}$  et à facteur de puissance égal à 1.

1. Calculer la valeur de la tension  $U$  entre phases du stator si l'on admet que le rendement de la machine vaut 1 et que le courant en ligne  $I$  est égal à 116 A.
2. Le modèle équivalent d'une phase du stator est donné en ANNEXE 2 page7, figure n°5. La résistance de l'enroulement statorique  $r$  est négligée et la réactance synchrone vaut  $X_s = L_s \cdot \omega$  avec  $L_s = 0,15 \text{ mH}$ .
  - 2.1. Calculer la fréquence  $f$  des tensions d'alimentation si  $n = 5000 \text{ tr.min}^{-1}$ .
  - 2.2. Ecrire la relation vectorielle liant les grandeurs  $\vec{E}$ ,  $\vec{V}$ ,  $\vec{I}$ .
  - 2.3. Après avoir calculé  $V$ ,  $X_s$ ,  $X_s I$ , déterminer la valeur efficace  $E$  par construction vectorielle. Echelle  $1 \text{ cm} \Leftrightarrow 10 \text{ V}$ .
  - 2.4. Les grandeurs  $P_u$ ,  $V$  et  $I$  étant constantes, comment peut-on faire varier la fréquence de rotation du moteur ?

## ANNEXE 1

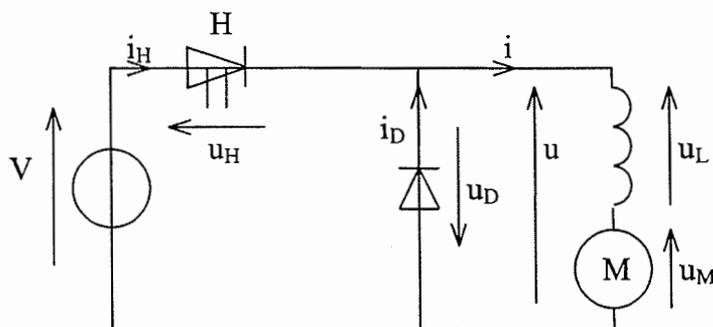


Figure n°1

### PR 30

#### PINCE AMPEREMETRIQUE AC/DC POUR OSCILLOSCOPE

Plage de mesure : de 5mA à 30A  
 Bande passante : DC à 100 kHz  
 Signal de sortie : 100 mV / 1A sur fiche BNC  
 Diamètre d'ouverture : 20 mm

### PR 430

#### PINCE AMPEREMETRIQUE AC/DC POUR OSCILLOSCOPE

Plage de mesure : de 5mA à 400A  
 Bande passante : DC à 20 kHz  
 Signal de sortie : 1mV / 1A - 10mV / 1A sur fiche BNC  
 Diamètre d'ouverture : 20 mm

### RR 3030

#### SONDE COURANT FLEXIBLE

Sonde de courant flexible AC  
 Mesure de courant : 30A, 300A, 3000A  
 Convertisseur efficace RMS  
 Ouverture  $D=178\text{mm}$  (standard),  $D=276\text{mm}$  et  $D=372\text{mm}$  (options)  
 Niveau de protection : 600V CAT III  
 Sortie sur fiche BNC avec câble 2m

Figure n°2

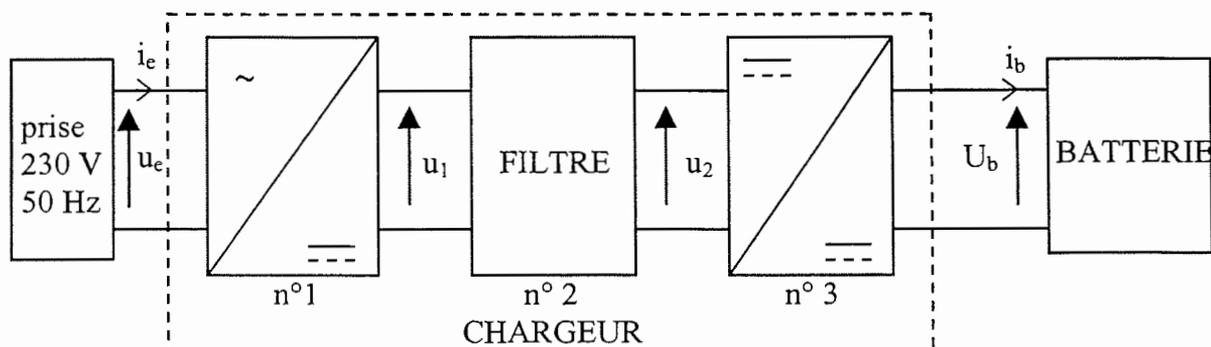


Figure n°3

Machine synchrone

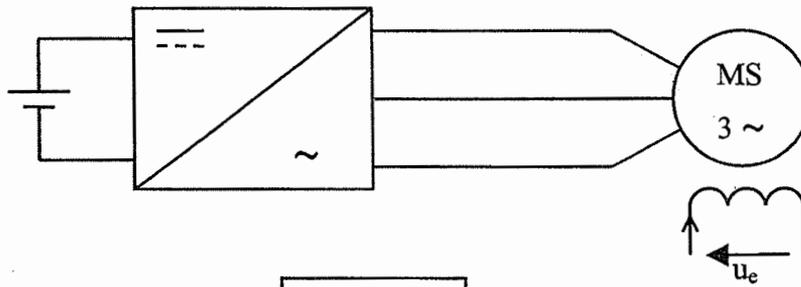


Figure n°4

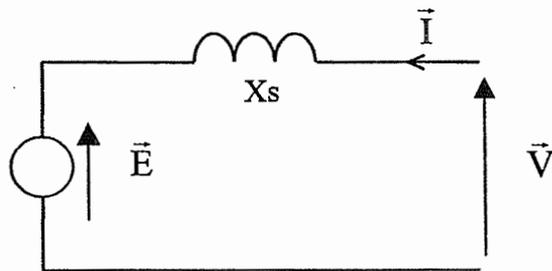


Figure n°5

**DOCUMENT REPONSE DR1**

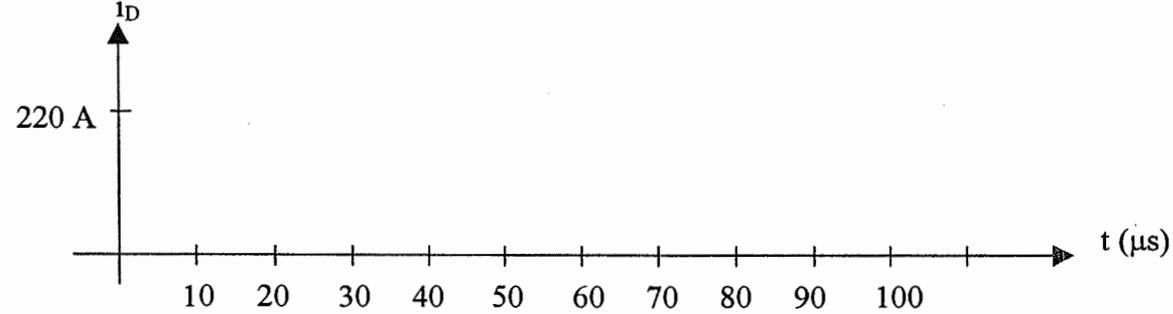
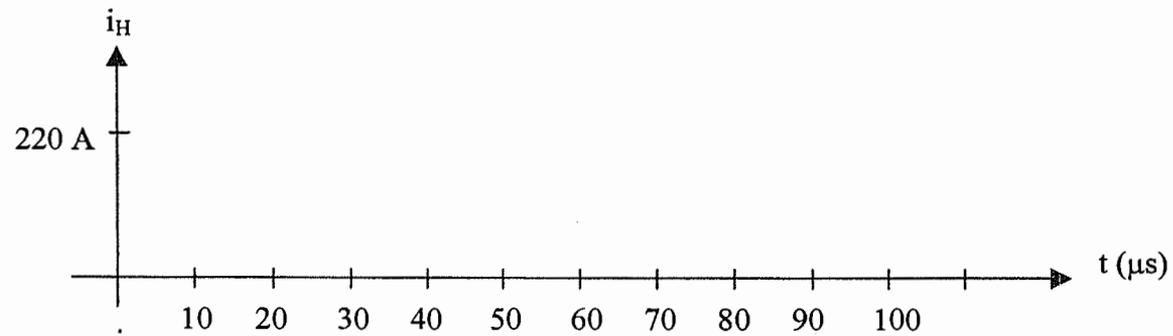
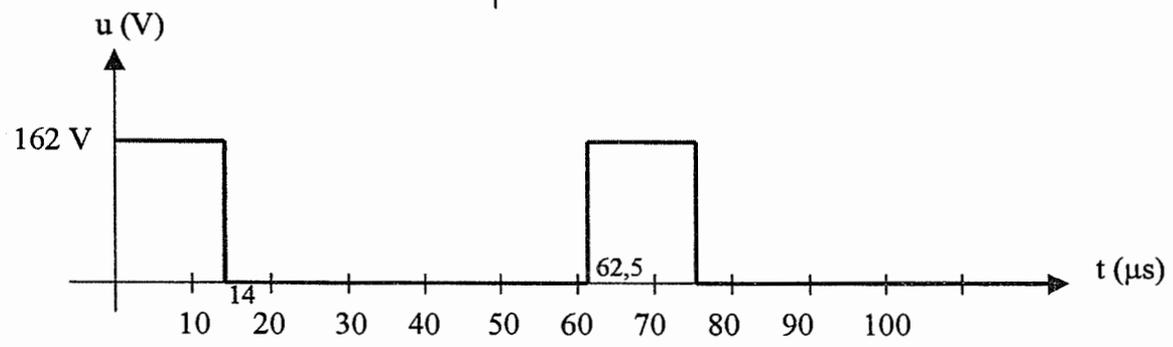
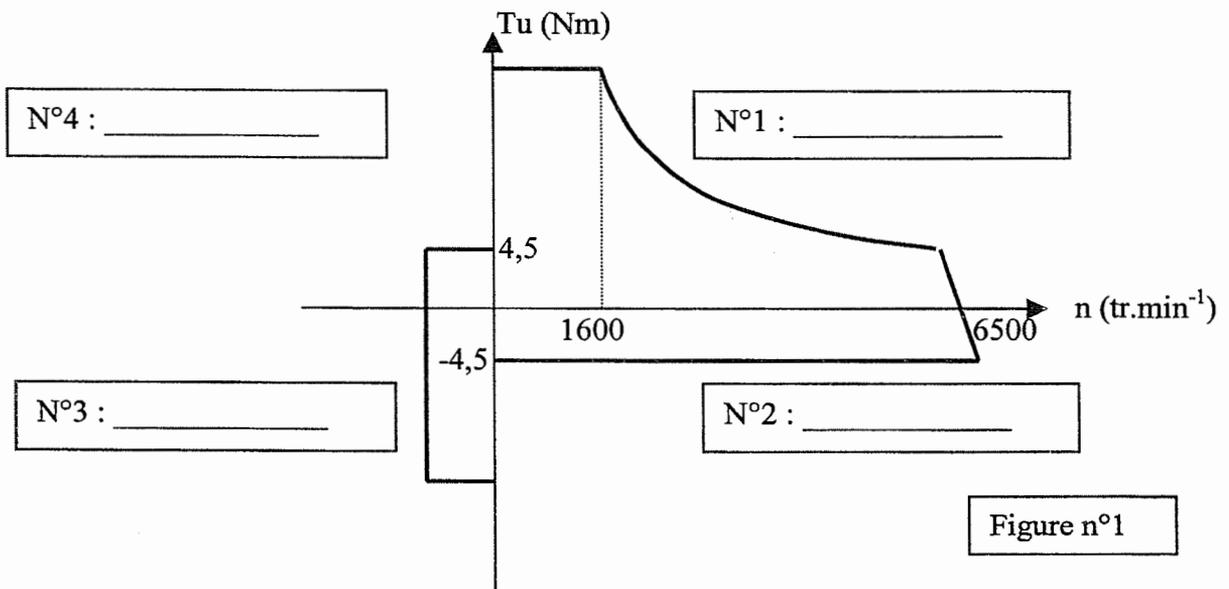


Figure n°2

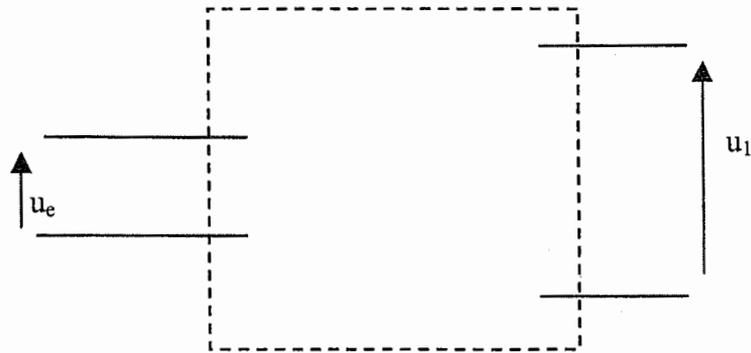


Figure n°3

Pont de Graëtz

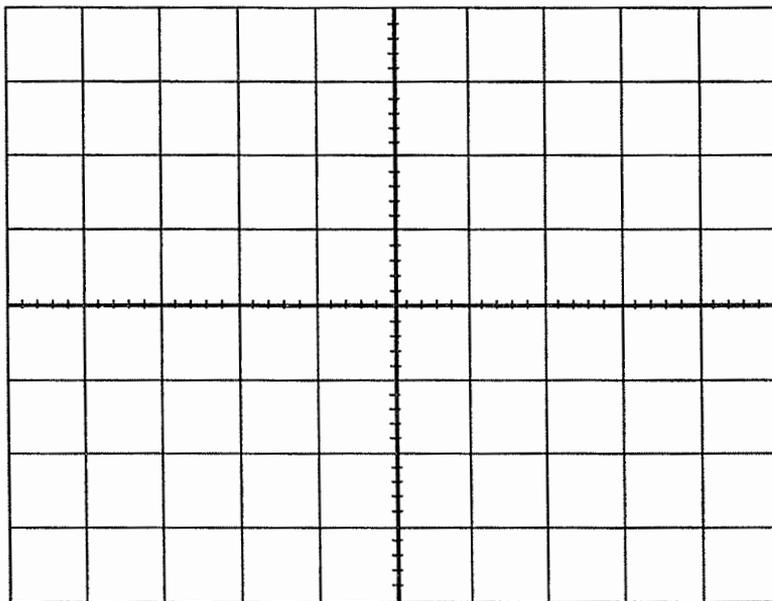
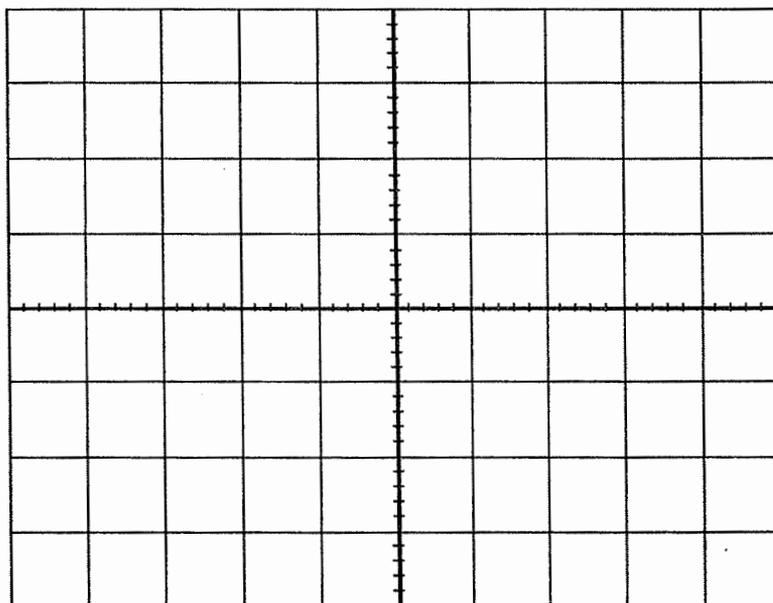


Figure n°4

$u_e$  : 10 V / carreau

Temps : 2ms / carreau



$u_1$  : 10 V / carreau

Temps : 2ms / carreau