

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2012

## PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures

coefficient : 7

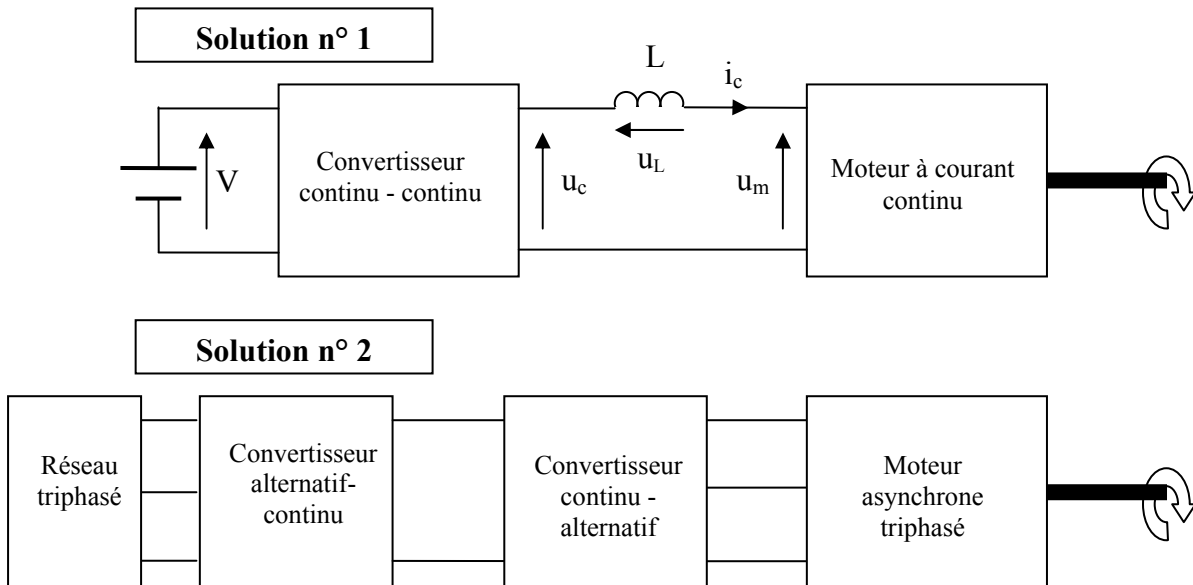
L'emploi de toutes les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

*Le sujet comporte 10 pages numérotées de 1 à 10 ; les documents-réponses **pages 8,9 et 10** sont à rendre avec la copie.*

<p><b>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.</b></p>
--

## Motorisation d'un monte-charge

Afin de motoriser un monte-charge, à vitesse variable, on étudie deux solutions :



On se propose d'étudier successivement ces deux solutions de motorisation.

### Partie A : étude de la solution n° 1.

#### 1. Introduction

- 1.1 Donner le nom du convertisseur continu - continu qui permet d'obtenir, à partir de la tension continue constante de valeur  $V$ , une tension  $u_c$  unidirectionnelle de valeur moyenne réglable entre 0 et  $V$ .
- 1.2 Quel est le rôle de la bobine  $L$  placée entre le convertisseur et le moteur à courant continu ?

#### 2. Étude du moteur.

C'est une machine à courant continu à excitation séparée, parfaitement compensée.

Les caractéristiques nominales de cette machine sont :

- tension nominale d'induit  $U = 180 \text{ V}$ ,
- intensité nominale du courant d'induit  $I = 10,0 \text{ A}$ ,
- intensité nominale du courant dans l'inducteur  $I_e = 1,50 \text{ A}$ ,
- fréquence de rotation nominale  $n = 1440 \text{ tr.min}^{-1}$ .

L'intensité du courant d'excitation est constante dans tout le problème.

La résistance  $R_e$  du circuit d'excitation vaut  $R_e = 40,0 \Omega$ .

Un essai à vide à vitesse nominale a permis de déterminer l'ensemble des pertes mécaniques et magnétiques :  $P_c = 180 \text{ W}$ .

Afin d'estimer les pertes Joule au rotor, il est nécessaire de déterminer la valeur de la résistance de l'induit notée  $R$ . On utilise pour cela une méthode volt-ampèremétrique à courant nominal. Pour réaliser cette mesure, on dispose des appareils suivants :

- source de tension sinusoïdale
- source de tension continue variable
- voltmètre numérique, calibres 1V, 2V, 5V, 10V, 20V et 50 V. Positions : AC ou DC
- ampèremètre numérique, calibres 500 mA, 1A, 2A, 5A, 10A et 20A. Positions : AC ou DC



Le résultat de cette mesure a permis de déterminer la valeur de  $R$ . On obtient  $R = 1,2 \Omega$ .

- 2.1 Déterminer la valeur de la tension mesurée aux bornes du moteur.
- 2.2 Représenter sur la copie le schéma de montage permettant de réaliser cet essai. On précisera le calibre et la position utilisés pour chaque appareil de mesure.
- 2.3 Indiquer la procédure à suivre pour le démarrage de ce moteur.
- 2.4 Sachant que le courant d'excitation est constant, sur quelle grandeur peut-on agir pour régler la vitesse ?
- 2.5 Pour le fonctionnement nominal, calculer :
  - 2.5.1 la force électromotrice  $E$ ,
  - 2.5.2 la puissance électromagnétique  $P_{em}$ ,
  - 2.5.3 la puissance utile  $P_u$ ,
  - 2.5.4 les pertes joule d'excitation  $P_{exc}$ ,
  - 2.5.5 la puissance totale absorbée  $P_a$ ,
  - 2.5.6 le rendement du moteur  $\eta_{mcc}$ ,
  - 2.5.7 le moment du couple utile  $T_u$ .
- 2.6 Sachant que  $E = k \Omega$  (avec  $E$  en volt et  $\Omega$  en  $\text{rad.s}^{-1}$ ), calculer la valeur de la constante  $k$  en précisant son unité.
- 2.7 Le moteur entraîne une charge mécanique dont le moment du couple résistant  $T_R$  est constant et a pour valeur  $T_R = 8,0 \text{ N.m}$ . On suppose le moment du couple de pertes  $T_p$  constant :  $T_p = 1,2 \text{ N.m}$ .
  - 2.7.1 Donner la relation entre  $T_u$  et  $T_R$  en régime permanent.
  - 2.7.2 En déduire la valeur du moment du couple électromagnétique  $T_e$ .
  - 2.7.3 Montrer que l'intensité du courant dans l'induit  $I = 8,3 \text{ A}$ .

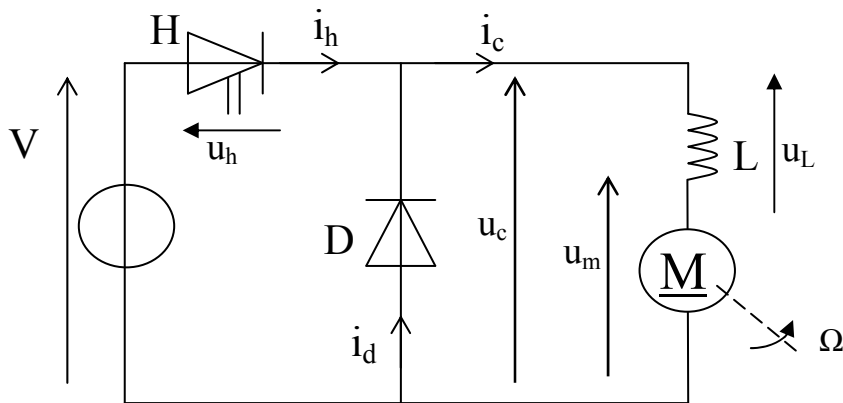
2.7.4 Montrer que l'on peut écrire  $\Omega = 0,90 \times U - 9,0$  où  $\Omega$  est la vitesse angulaire (en  $\text{rad.s}^{-1}$ ) et  $U$  la tension d'induit (en Volt).

2.7.5 Calculer la valeur  $U_d$  de la tension d'induit minimale pour que le moteur démarre.

### 3. Étude du convertisseur continu-continu.

Le schéma du convertisseur est le suivant.

L'interrupteur  $H$  est un transistor fonctionnant en commutation, on le considère comme parfait pour cette étude. La diode  $D$  est supposée parfaite.



Le montage est alimenté par une tension continue  $V = 240 \text{ V}$

On appelle  $\alpha$  le rapport cyclique.

Sur une période  $T$ , l'interrupteur  $H$  est fermé de  $0$  à  $\alpha T$ , il est ouvert de  $\alpha T$  à  $T$ .

3.1 Quelle est la valeur de la tension  $u_c$  de  $0$  à  $\alpha T$  puis de  $\alpha T$  à  $T$  ?

On a tracé sur le document réponse 1 page 8 la courbe représentant l'intensité  $i_c$  du courant en sortie du convertisseur. On admettra que ce courant a des variations linéaires entre deux valeurs extrêmes notées  $I_{\max}$  et  $I_{\min}$ .

3.2 Déterminer la valeur de la période  $T$  du courant  $i_c(t)$ , puis calculer sa fréquence  $f$ .

3.3 Déterminer la valeur du rapport cyclique  $\alpha$ .

3.4 Calculer la valeur moyenne de la tension  $u_c$  notée  $\langle u_c \rangle$ .

3.5 Étude des courants.

3.5.1 Quelles sont les valeurs maximales  $I_{\max}$  et minimale  $I_{\min}$  du courant  $i_c(t)$  ?

3.5.2 Calculer la valeur moyenne  $\langle i_c \rangle$  de l'intensité du courant  $i_c(t)$ .

3.5.3 Préciser le nom et la position (AC, DC ou AC + DC) de l'appareil qui permettra de mesurer cette valeur moyenne ?

3.5.4 Quelle sera l'influence d'une augmentation de la fréquence de hachage sur l'ondulation du courant  $i_c(t)$  ?

3.5.5 Tracer, sur le document réponse 1 page 8, les courbes représentatives des courants  $i_h(t)$  dans l'interrupteur  $H$  et  $i_d(t)$  dans la diode  $D$ .

#### 4. Étude de l'ensemble MCC-Convertisseur

La valeur moyenne de la tension de sortie  $\langle u_c \rangle$  du convertisseur est  $\langle u_c \rangle = 240 \times \alpha$  avec  $\alpha$  rapport cyclique.

Le moteur entraîne une charge mécanique dont le couple résistant  $T_R = 8 \text{ Nm}$ .

4.1 Donner la relation entre  $u_c$ ,  $u_L$  et  $u_m$ .

4.2 Montrer que la valeur moyenne  $\langle u_c \rangle$  de la tension  $u_c(t)$  est égale à la valeur moyenne  $\langle u_m \rangle$  de la tension  $u_m(t)$ .

4.3 Sachant que  $\Omega = 0,90 \times \langle u_m \rangle - 9,0$ , en déduire une relation entre  $\Omega$  et  $\alpha$ .

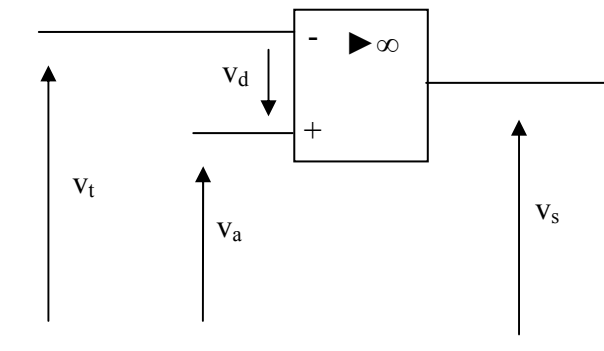
4.4 Quelle est la valeur minimale du rapport cyclique  $\alpha$  pour que le moteur démarre ?

4.5 Pour  $\alpha = 0,75$ , calculer la valeur de la fréquence de rotation du moteur  $n$  en  $\text{tr.min}^{-1}$ .

#### 5. Étude de la commande du transistor du convertisseur.

Le montage suivant va permettre de régler le rapport cyclique  $\alpha$ .

L'amplificateur opérationnel (AOP) est parfait, ses tensions de saturation sont  $V_h = 12 \text{ V}$  et  $V_b = 0 \text{ V}$ .



La tension  $v_t$  a été tracée sur le document réponse 2 page 9.

5.1 Quel est le régime de fonctionnement de l'AOP ? Justifier votre réponse.

5.2 En justifiant votre réponse, donner la valeur de la tension  $v_s$  si  $v_a < v_t$  ? Si  $v_a > v_t$  ?

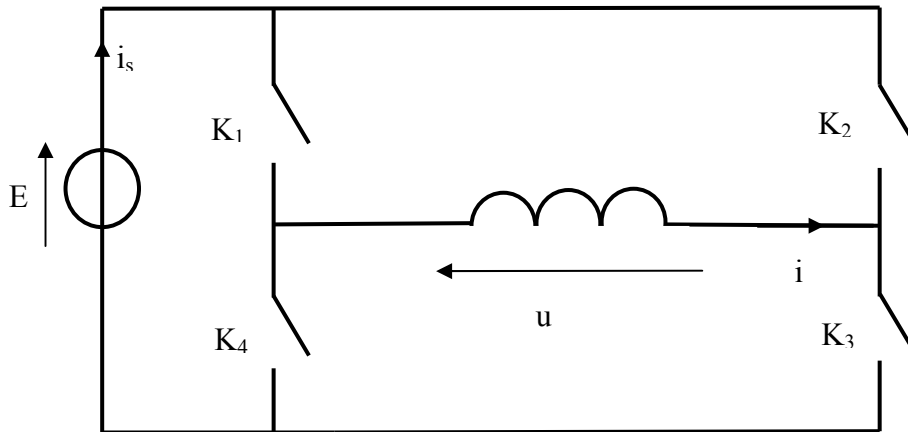
5.3 Tracer la courbe représentative de la tension  $v_s$  sur le document réponse 2 page 9 si la tension  $v_a$  est une tension continue de valeur 6 V.

## **Partie B : étude de la solution n° 2.**

### **1. Étude du convertisseur continu-alternatif**

*Remarque préliminaire : aucune connaissance spécifique à l'onduleur à quatre interrupteurs n'est utile pour traiter les questions suivantes.*

Pour une phase, le dispositif permettant la conversion est équivalent au schéma suivant :



- 1.1 Pourquoi est-il interdit que  $K_1$  et  $K_4$  soient fermés simultanément ?
- 1.2 Quels interrupteurs doit-on fermer pour obtenir  $u = E$  ? Quelle relation lie  $i$  et  $i_s$  ?
- 1.3 Quels interrupteurs doit-on fermer pour obtenir  $u = -E$  ? Quelle relation lie  $i$  et  $i_s$  ?
- 1.4 On a tracé, sur le document réponse 3 page 10, l'allure du courant  $i(t)$  dans la charge ainsi que la tension à ses bornes.  $T$  représente la période.
  - 1.4.1 Compléter sur le document réponse 3 page 10 le tableau de conduction des interrupteurs ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ).
  - 1.4.2 Tracer, sur le document réponse 3 page 10, la courbe représentant le courant  $i_s(t)$  dans la source.

### **2. Étude du moteur asynchrone triphasé**

Ce moteur possède 4 pôles et ses enroulements sont couplés en étoile.

La résistance  $R_m$  mesurée entre deux phases du stator couplé vaut  $R_m = 4,5 \Omega$ .

Un essai à vide sous tension nominale a permis de déterminer les pertes fer statoriques  $P_{fs}$  et les pertes mécaniques  $P_{méc}$  :

$$P_{fs} = 55 \text{ W et } P_{méc} = 75 \text{ W}$$

Lors d'un essai en fonctionnement nominal, le moteur étant alimenté par un réseau triphasé 230 V/400 V, 50Hz, on a mesuré :

- l'intensité efficace du courant en ligne  $I = 3,10 \text{ A}$ ,
- la fréquence de rotation  $n = 1440 \text{ tr.min}^{-1}$ .

Son facteur de puissance nominal est  $\cos \varphi = 0,82$ .

On demande de déterminer :

- 2.1. la fréquence de synchronisme exprimée en  $\text{tr.min}^{-1}$ ,
- 2.2. le glissement nominal  $g$ ,
- 2.3. la puissance active  $P_a$  absorbée,
- 2.4. les pertes joules au stator  $P_{js}$ ,
- 2.5. la puissance transmise au rotor  $P_{tr}$ ,
- 2.6. les pertes joules rotoriques  $P_{jr}$ ,
- 2.7. la puissance utile  $P_u$  et le couple utile  $T_u$ ,
- 2.8. le rendement  $\eta_{\text{mas}}$  du moteur.

### **3. Variation de vitesse à U/f constant**

On a tracé, sur le document réponse 2 page 9, pour une fréquence de 50Hz et une tension d'alimentation de valeur efficace  $U = 400\text{V}$ , la courbe  $T_u = f(n)$  où  $T_u$  représente le moment du couple utile du moteur (en  $\text{N.m}$ ) et  $n$  la fréquence de rotation (en  $\text{tr.min}^{-1}$ ).

On a également tracé la courbe  $T_R = f(n)$ , où  $T_R$  représente le moment du couple résistant de la charge mécanique.

On rappelle qu'à  $U/f$  constant, la partie utile des courbes  $T_u = f(n)$  pour différentes valeurs de la fréquence  $f$  sont des droites parallèles.

On fixe la fréquence de la tension d'alimentation à 44Hz.

- 3.1 Déterminer la valeur efficace de la tension d'alimentation.
- 3.2 Calculer la valeur  $n_s'$  de la fréquence de synchronisme exprimée en  $\text{tr.min}^{-1}$ .
- 3.3 Tracer la courbe  $T_u = f(n)$  pour cette fréquence.
- 3.4 En déduire la valeur de la fréquence de rotation  $n'$  exprimée en  $\text{tr.min}^{-1}$ .

### **Partie C : comparaison des deux solutions.**

Le moteur étant solidaire du monte-charge, la puissance massique, notée  $P_{\text{massique}}$ , exprimée en  $\text{W.kg}^{-1}$ , est définie par le rapport de la puissance utile  $P_u$  du moteur par sa masse.

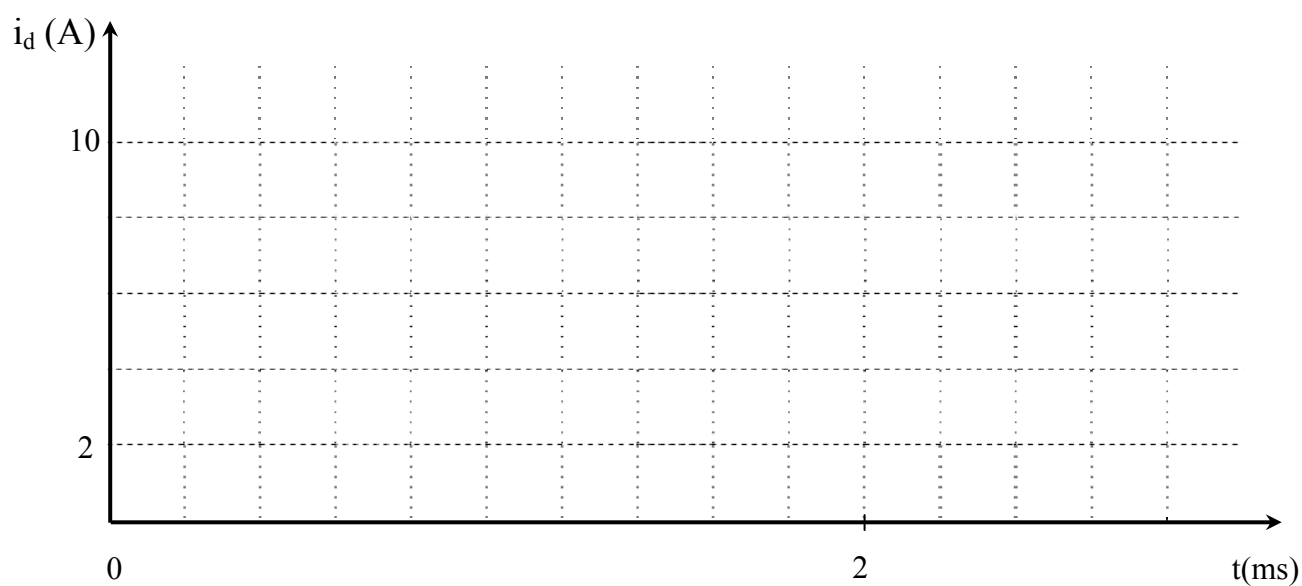
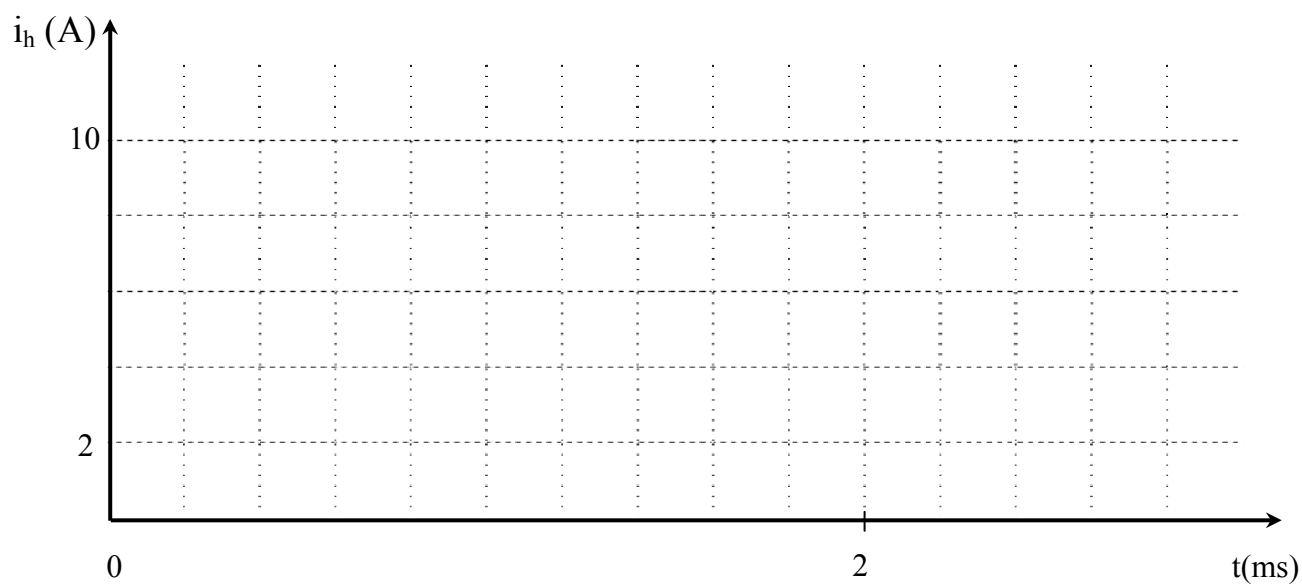
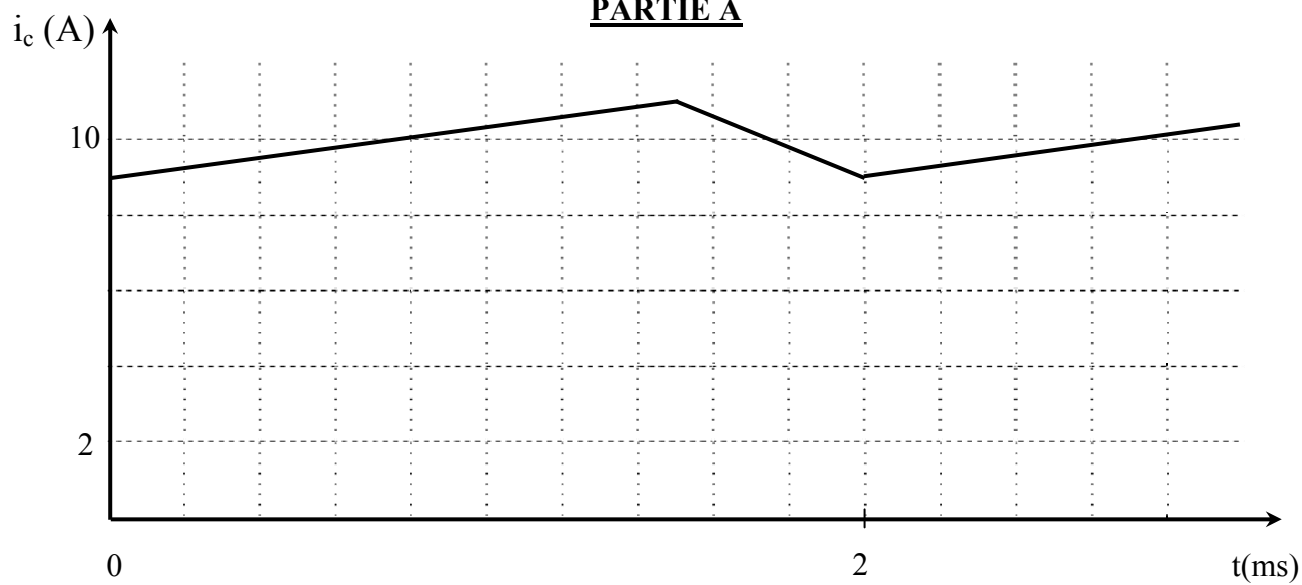
C'est l'un des paramètres non négligeable dans le choix de la solution de motorisation.

Le moteur à courant continu délivre une puissance utile égale à  $P_u = 1,50 \text{ kW}$  et a une masse  $m_{\text{mcc}} = 35 \text{ kg}$ .

Le moteur asynchrone délivre également une puissance utile égale à  $P_u = 1,50 \text{ kW}$  et a une masse  $m_{\text{mas}} = 14 \text{ kg}$ .

1. Calculer la puissance massique de chacun des deux moteurs.
2. Comparer les rendements  $\eta_{\text{mcc}}$  et  $\eta_{\text{mas}}$  des deux moteurs.
3. D'après ces deux critères, quelle est la solution la plus avantageuse?

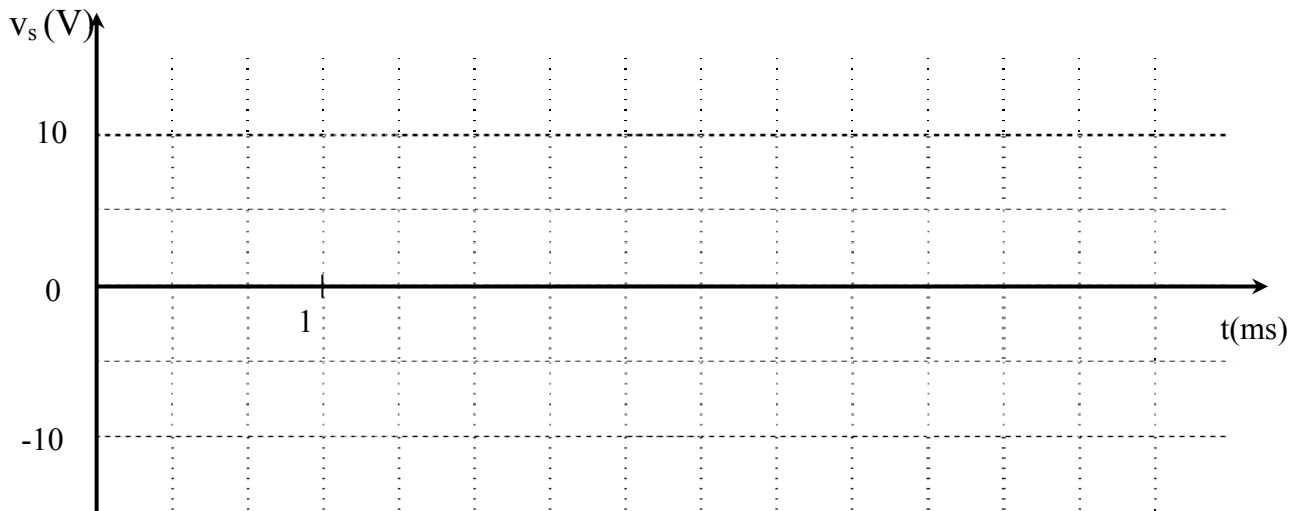
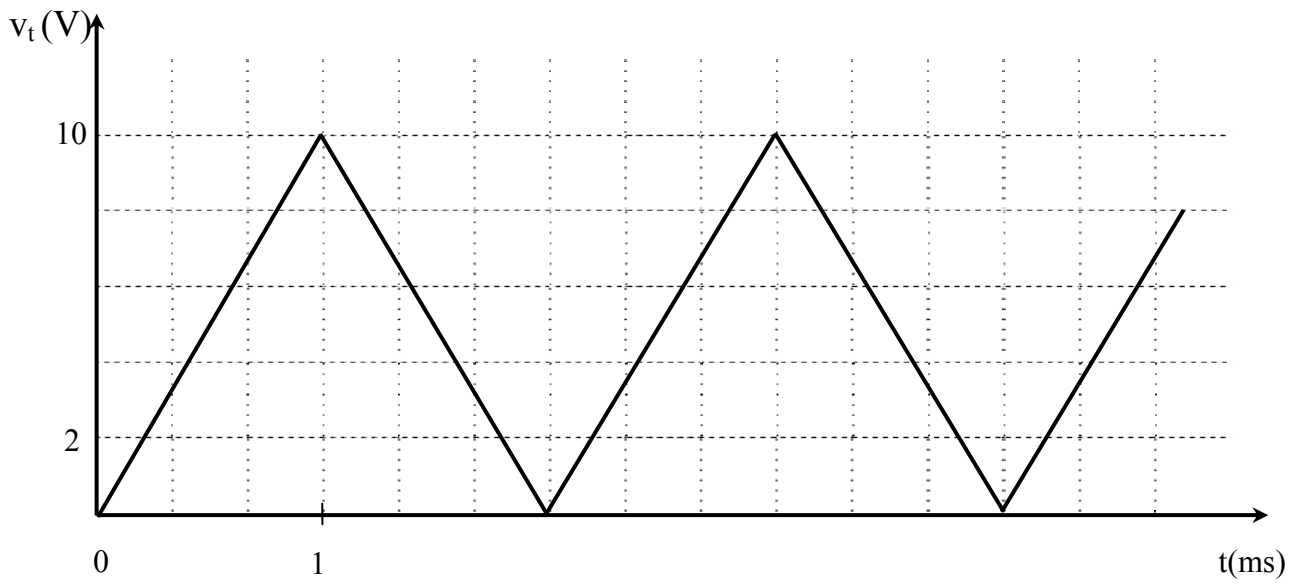
**PARTIE A**



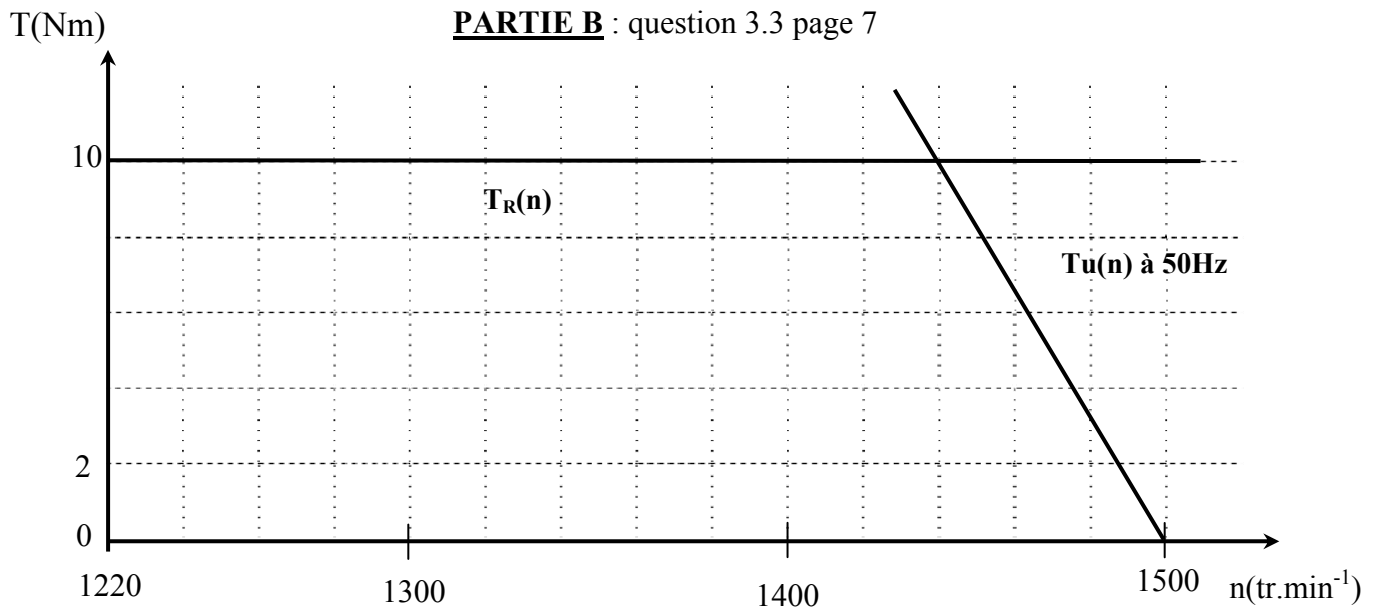


**Document réponse n°2 (à rendre avec la copie)**

**PARTIE A** : question 5.3 page 5



**PARTIE B** : question 3.3 page 7



**PARTIE B** : questions 1.4.1 et 1.4.2 page 6

