

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR  
CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS  
SESSION 2009**

---

**EPREUVE E4  
MOTORISATION DES SYSTEMES**

**DOSSIER TRAVAIL**

---

**POSTE D'ENFOURNEMENT**

Ce dossier comporte 7 pages.

Temps conseillés

Lecture : 15 min

Partie 1 : 70 min

Partie 2 : 15 min

Partie 3 : 80 min

**CPE4MS**

CRDP Aquitaine

## 1 – DIMENSIONNEMENT DE LA MOTORISATION.

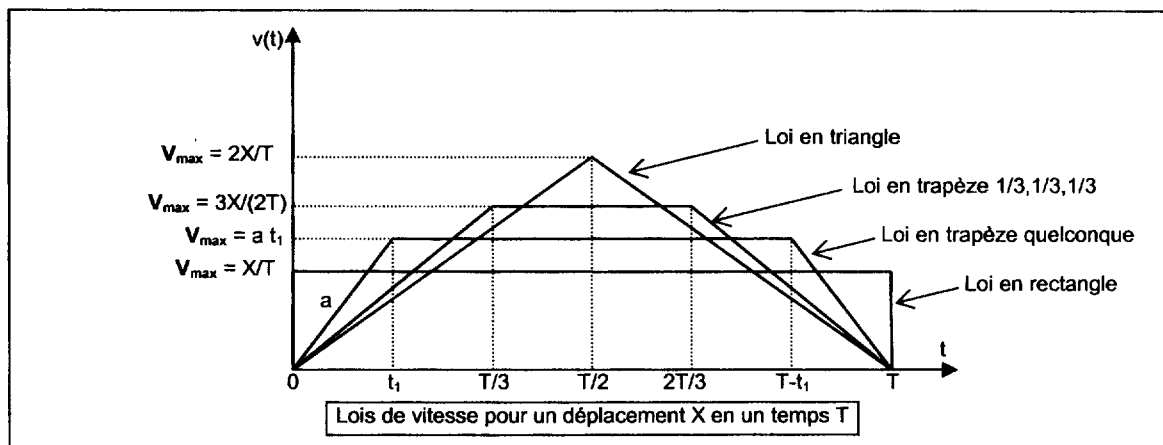
Les objectifs de cette partie sont de :

- choisir une loi de commande qui permette de minimiser la puissance à fournir pour obtenir le déplacement souhaité.
- déterminer la puissance pour motoriser les deux chariots au moyen de deux actionneurs identiques.

### 1.1 – CHOIX DE LA LOI DE COMMANDE.

Pour effectuer un déplacement  $X$  en un temps donné  $T$ , il existe une infinité de lois en trapèze utilisables, comprises entre deux extrêmes : la loi en triangle et la loi en rectangle.

La figure représente les deux cas extrêmes, un cas quelconque de loi en trapèze et le cas particulier de la loi en trapèze  $1/3, 1/3, 1/3$  qui présente un intérêt particulier.



#### Remarques :

- Les aires délimitées par les différents profils sont égales car elles représentent le même déplacement  $X$  (intégrale de la vitesse entre 0 et  $T$ ).
- La pente  $a$  d'une loi de vitesse correspond à l'accélération.
- Loi en rectangle : la vitesse  $V_{max}$  est minimisée mais l'accélération  $a$  est théoriquement infinie au démarrage (pente verticale).
- Loi en triangle : la vitesse  $V_{max}$  atteint la plus grande valeur mais l'accélération  $a$  est minimisée.
- Loi en trapèze : cas intermédiaire entre les deux cas extrêmes.

#### Données :

Pour la loi en triangle sur l'intervalle  $[0 ; T/2]$ , les expressions littérales de la vitesse maximale notée  $V_{max}$  et de l'accélération notée  $a$  sont :

$$V_{max} = 2X / T \quad a = 4X / T^2$$

#### Question 1 :

Feuille de copie

Déduire, pour la loi en triangle, la puissance maximale notée  $P_{max}$  nécessaire pour déplacer une charge de masse  $m$  (résultat en fonction de  $m$ ,  $X$  et  $T$ ).

#### Question 2 :

DR1

On peut démontrer que pour la loi en trapèze  $1/3, 1/3, 1/3$  sur l'intervalle  $[0 ; T/3]$ , on obtient :

$$V_{max} = 3X / (2T) \quad a = 9X / (2T^2) \quad P_{max} = 27X^2 m / (4T^3)$$

Effectuer toutes les applications numériques proposées sur le document réponse.

#### Question 3 :

Feuille de copie

A l'aide des résultats numériques précédents, justifier l'intérêt de la loi en trapèze  $1/3, 1/3, 1/3$  par rapport à la loi en triangle.

En déduire un choix d'une loi de commande.

#### Question 4 :

Feuille de copie

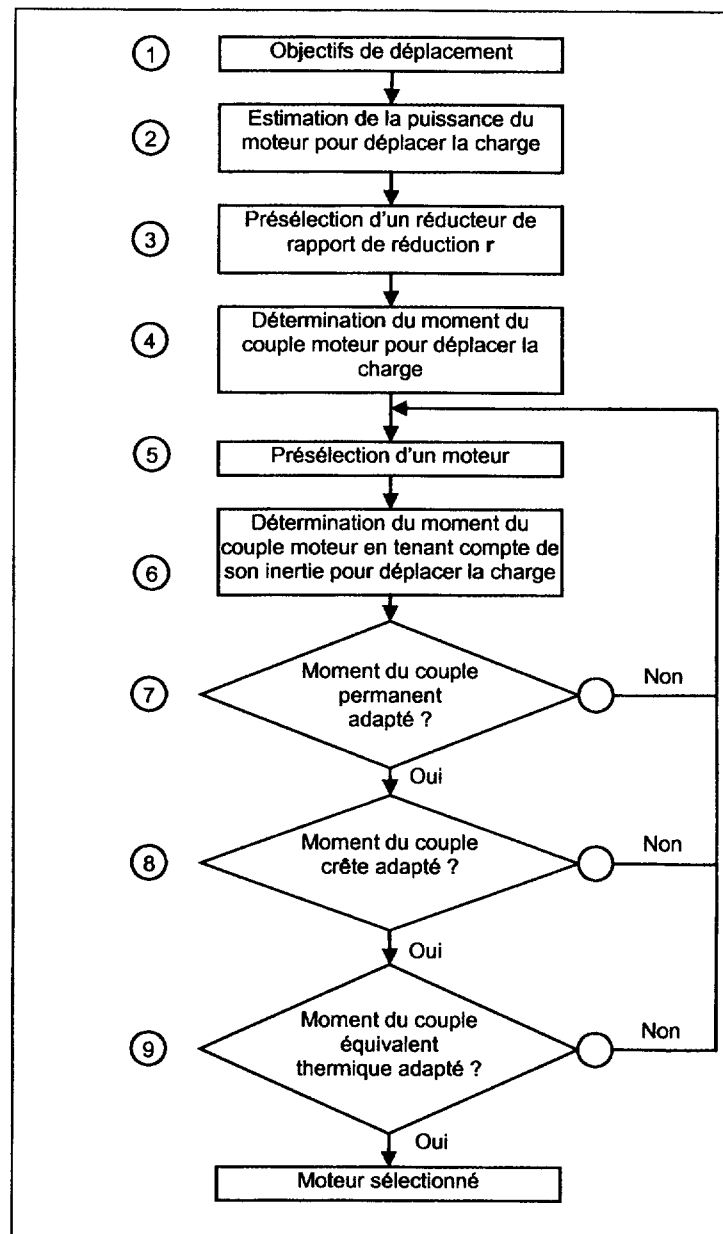
On désire installer le même type de moteur sur les deux types de chariots.

Quel est le chariot qu'il faudra étudier en priorité ? Justifier.

## 1.2 – METHODE DE CHOIX ET DE DIMENSIONNEMENT.

Cette méthode peut se représenter au moyen de l'organigramme ci-dessous qui, sans être exhaustif, met en évidence les rebouclages inévitables dus aux interactions entre les composants. Chaque étape de la méthode, repérée par un numéro, est ensuite explicitée.

**Remarque :** On étudiera seulement les étapes de 2 à 7.



### 1.2.1 - Objectifs de déplacement (étape 1)

#### Données :

- Loi de vitesse : Loi en trapèze 1/3, 1/3, 1/3.
- Déplacement :  $X = 510 \text{ mm}$ .
- Temps de déplacement :  $T = 3,00 \text{ s}$ .
- Vitesse maximum :  $V_{\max} = 0,255 \text{ m.s}^{-1}$ .
- Accélération :  $a = 0,255 \text{ m.s}^{-2}$ .

**C.R.D.P.**

75, cours Alsace et Lorraine  
33075 BORDEAUX CEDEX  
Tél. : 05 56 01 56 70

**1.2.2. - Estimation de la puissance du moteur pour déplacer la charge (étape 2).**

Ce calcul permet de prédéfinir la gamme dans laquelle le moteur sera choisi.

**Données :**

- Masse de la charge (deux bacs de cuisson et partie mobile du chariot) :  $m = 157 \text{ kg}$ .
- Rendement global estimé de la chaîne cinématique :  $\eta_g = 0,70$ .
- Chariot d'entrée : monté sur une glissière *Compact Rail Rollon* à 4 patins taille 28, l'effort total s'exerçant sur les 4 patins sera noté  $F=14,3\text{N}$ .

**Question 5:**

Feuille de copie

Calculer la puissance maximale **permanente**  $P_p$  nécessaire que doit fournir le moteur (en fonction de  $V_{\max}$ ,  $F$  et  $\eta_g$ ) pour faire avancer la charge (le chariot est animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme). Montrer que  $P_p = 5,21 \text{ W}$ .

**Question 6:**

Feuille de copie

Calculer la puissance maximale **d'accélération**  $P_a$  nécessaire que doit fournir le moteur (en fonction de  $V_{\max}$ ,  $a$ ,  $m$  et  $\eta_g$ ) pour faire accélérer la charge (le chariot est animé d'un mouvement de translation rectiligne uniformément accéléré). Montrer que  $P_a = 14,6 \text{ W}$ .

**Question 7:**

Feuille de copie

Pour estimer la puissance maximale **totale** que doit fournir le moteur pour déplacer la charge, on se place à l'instant  $t = T/3$ . Justifier ce choix.

**Question 8:**

Feuille de copie

En déduire numériquement la puissance maximale **totale**  $P_t$  que doit fournir le moteur pour déplacer la charge. Cette puissance maximale **totale** ne tient pas compte de l'inertie de toute la chaîne cinématique (réducteur et système poulies courroie) et de l'inertie du moteur.

**1.2.3. - Présélection d'un réducteur de rapport de réduction :  $r$  (étape 3).**

Les choix relatifs à cette étape ont été effectués par le Bureau d'Etude qui a retenu :

- Moteur triphasé asynchrone à rotor à cage 4 pôles :  $n_n = 1380 \text{ tr.min}^{-1}$ .
- Vitesse maximale de la charge:  $V_{\max} = 0,255 \text{ m.s}^{-1}$ .
- Diamètre de la poulie *Binder* Al-25, montée sur l'arbre de sortie du réducteur:  $d_p = 52 \text{ mm}$ .

Le résultat de cette étude conduit à un rapport de réduction  $r=15$ , un facteur de service  $K= 5,16$ , correspondant à la référence M 2100-09.

**Cette partie ne fait donc pas l'objet de question.**

**1.2.4. - Détermination du moment du couple moteur pour déplacer la charge (étape 4).**

A l'aide d'un logiciel de simulation de comportement des systèmes mécaniques, on réalise une étude qui tient compte de l'inertie de toute la chaîne cinématique (réducteur et système poulies courroie) mais qui ne tient pas compte de l'inertie du moteur (encore non connue à ce stade).

**Question 9:**

DT6  
DR1

On donne la courbe du moment du couple moteur  $C_m$  nécessaire pour déplacer la charge en fonction du temps.

Relever les trois valeurs principales valeurs de  $C_m$  et les reporter sur le document réponse.

**Question 10:**

DT6  
DR1

Le moment du couple moteur  $C_m$  est la somme d'un moment de couple **permanent**  $C_{mp}$  et d'un moment de couple **d'accélération**  $C_{ma}$ . On a la relation :  $C_m = C_{mp} + C_{ma}$ .

Afin de vérifier la cohérence de la courbe obtenue, déduire à l'aide de la relation ci-dessus, les différentes valeurs de  $C_{mp}$  et de  $C_{ma}$  et les reporter sur le document réponse.

**Question 11:**

DT6

Feuille de copie

Relever, sur la courbe, le moment du couple moteur maximal pour déplacer la charge  $C_{max}$ .

**1.2.5. - Présélection d'un moteur (étape 5).**

On effectue la présélection du moteur : Moteur type **LS 63 M** d'une puissance nominale de **120 W** à **50 Hz**. Le moment du couple moteur doit être supérieur au moment du couple maximal  $C_{max}$  déterminé précédemment car il faut encore tenir compte de la propre inertie du moteur.

**Question 12 :**

DT5

Feuille de copie

Justifier la présélection du moteur en utilisant le document constructeur.

**1.2.6. - Détermination du moment du couple moteur en tenant compte de son inertie pour déplacer la charge (étape 6).**

On réalise une nouvelle étude par simulation qui tient compte de l'inertie de toute la chaîne cinématique (réducteur et système poulies courroie) et de l'inertie du moteur.

**Question 13:**

DT6

Feuille de copie

On donne la courbe du moment du couple moteur  $C'_m$  nécessaire pour déplacer la charge en fonction du temps.

Relever sur la courbe le moment du couple moteur maximal  $C'_{max}$  pour déplacer la charge.

**1.2.7. - Vérification du moment du couple permanent (étape 7).****Question 14 :**

DT5

Feuille de copie

En utilisant le document constructeur, le moteur présélectionné convient-il toujours ? Justifier.

**2 – CHOIX D'UN DETECTEUR PHOTO-ELECTRIQUE.**

En fin de course de chaque déplacement, la détection de la position du chariot est assurée par un détecteur photoélectrique.

**Question 15 :**

Feuille de copie

Citer un autre type de détecteur que l'on aurait pu envisager d'utiliser.  
Justifier le choix du détecteur photoélectrique.

**Question 16 :**

Feuille de copie

Le détecteur photoélectrique est de type reflex. Pourquoi est-il mieux adapté qu'un détecteur de type barrage ?

**Question 17 :**

DR2

Le principe du détecteur photoélectrique (système « reflex ») ainsi qu'une partie du circuit électrique sont présentés sur le document réponse.

En présence de lumière, le dipôle CE (sortie de PHT) est équivalent à un interrupteur fermé (KF).

En l'absence de lumière, le dipôle CE est équivalent à un interrupteur ouvert (KO).

Compléter le tableau 1 du document réponse.

### **Question 18 :**

Feuille de copie  
DR2

L'étude conduit aux contraintes suivantes concernant le choix du détecteur photoélectrique : système reflex, alimentation continue, sortie statique, encombrement minimum.

Entourer la référence du détecteur adapté dans le tableau 2 du document réponse.

## **3 – COMMANDE DE LA MOTORISATION.**

### **3.1 – CARACTERISTIQUE MECANIQUE DU MOTEUR ASYNCHRONE.**

Dans cette partie, l'alimentation du moteur est assurée par un réseau triphasé équilibré qui délivre des tensions sinusoïdales de fréquence  $f_0$  et dont la valeur efficace d'une tension simple est  $V_0$ .

#### **3.1.1 - Influence de la fréquence du réseau d'alimentation.**

En l'absence de charge mécanique et en première approximation, la fréquence de rotation  $n_0$  de l'arbre du moteur asynchrone est égale à la fréquence de synchronisme  $n_{s0}$ .

### **Question 19 :**

Feuille de copie

Ecrire la relation entre la fréquence  $f_0$  du réseau d'alimentation, le nombre  $p$  de paires de pôles du stator et la fréquence de synchronisme  $n_{s0}$ , exprimée ici en  $\text{tr.s}^{-1}$ .

### **Question 20 :**

Feuille de copie

Comment varie la fréquence de rotation d'un moteur asynchrone donné, lorsque la fréquence d'alimentation de son stator varie ?

### **Question 21 :**

Feuille de copie

Calculer la fréquence  $f_0$  du réseau d'alimentation d'un moteur asynchrone **4 pôles** afin d'obtenir une fréquence de synchronisme  $n_{s0}$  égale à **1500 tr.min<sup>-1</sup>**.

#### **3.1.2 - Etat et stabilité du système électromécanique.**

En présence d'une charge mécanique, l'intersection des caractéristiques mécaniques du moteur asynchrone et de la charge définit l'état du système électromécanique étudié.

Le point d'intersection des deux caractéristiques est appelé point de fonctionnement.

Afin d'assurer une **marge de stabilité** au fonctionnement du système, on limite volontairement le moment du couple moteur disponible à la valeur  $C_{MU} = K_0 C_M$ .

### **Question 22 :**

DR3

Les caractéristiques mécaniques du moteur asynchrone  $C = F(n)$  et de la charge  $C_c = F_c(n)$  sont respectivement représentées sur le document réponse DR3. Au point de fonctionnement  $F_0$ , le rendement  $\eta$  du moteur asynchrone vaut **0,56**. Compléter le tableau du document réponse DR3.

#### **3.1.3 - Loi de commande du moteur asynchrone.**

Le moment du couple maximum  $C_M$  développé par le moteur asynchrone vaut :  $C_M = K_2 (V_0 / f_0)^2$ .

Les grandeurs  $V_0$  et  $f_0$  sont supposées réglables, elles sont alors notées  $V$  et  $f$ .

### **Question 23 :**

Feuille de copie

Montrer que si on impose, pour une plage de fréquence donnée, la relation  $V = K_M f$  avec  $K_M = C^{1/2}$ , le moment du couple maximum  $C_{MU}$  reste constant, quelle que soit la valeur de la fréquence  $f$ .

### **Question 24 :**

Feuille de copie

Sachant que  $V = V_0 = 230 \text{ V}$  et  $f = f_0 = 50 \text{ Hz}$ , calculer la valeur de la constante  $K_M$ , préciser l'unité.

### 3.2 – MOTEUR ASYNCHRONE ALIMENTÉ PAR LE VARIATEUR ÉLECTRONIQUE.

Le bureau d'étude envisage d'utiliser un variateur électronique pour commander le moteur asynchrone choisi. Afin de respecter les normes relatives à la compatibilité électromagnétique, le cahier des charges de l'installation impose que le taux de distorsion harmonique THD soit inférieur à 0,5.

#### 3.2.1 - Moteur asynchrone en charge.

Compte tenu de l'étude menée dans la première partie du problème, le moment du couple résistant maximum  $C_c$ , imposé au moteur asynchrone par la charge mécanique, vaut **0,26 N.m** pour une fréquence de rotation de l'arbre  $n = 1405 \text{ tr.min}^{-1}$ .

#### Question 25 :

Feuille de copie

Dans ces conditions, calculer la puissance électrique PE absorbée par le moteur asynchrone, sachant que son rendement  $\eta$  vaut **0,56**.

#### Question 26 :

Feuille de copie

En admettant que le stator triphasé soit alimenté en régime sinusoïdal 230V/400V, calculer l'intensité efficace I du courant de ligne absorbée par le moteur asynchrone, sachant que dans ce cas son facteur de puissance  $\cos\phi$  vaut **0,70**.

#### 3.2.2 - Choix du variateur électronique.

#### Question 27 :

DT7

Feuille de copie

Les variateurs électroniques sont alimentés en triphasé ou en monophasé. Le document technique 7 présente l'analyse temporelle et l'analyse fréquentielle de l'intensité du courant de ligne absorbé par un variateur.

Afin de quantifier la pollution harmonique du réseau d'alimentation, on définit le taux de distorsion harmonique THD du signal intensité.

En négligeant les termes de rang supérieur à l'harmonique 11, on a :

$$\text{THD}^2 = \sum_{R=3}^{R=11} \left( \frac{I_R}{I_1} \right)^2$$

Les données numériques extraites du document technique sont consignées ci-dessous :

- Cas d'un variateur alimenté en **triphasé** :

R (rang)	3	5	7	9	11
$(I_R / I_1)$	0	0,40	0,15	0	0,08

- Cas d'un variateur alimenté en **monophasé** :

R (rang)	3	5	7	9	11
$(I_R / I_1)$	0,74	0,37	0,11	0,07	0,05

Dans ces deux cas, calculer les taux de distorsion harmonique, notés THD<sub>TRI</sub> et THD<sub>MONO</sub>.

Comparer les valeurs obtenues.

Que conclure en terme de pollution harmonique ?

#### Question 28 :

Feuille de copie

Rappel : le cahier des charges de l'installation impose que le taux de distorsion harmonique THD soit inférieur à **0,50**.

Quel réseau doit-on adopter pour alimenter le variateur : réseau triphasé ou réseau monophasé ?

**Question 29 :**

DT8

Feuille de copie

Le document technique 8 présente les caractéristiques des variateurs « Digidrive » de Leroy-Somer. Justifier le choix du variateur **SKB 34 000 37**, sachant que la puissance nominale du moteur choisi est **120 W**.

**3.2.3 - Structure physique du variateur électronique.****Question 30 :**

DR3

*Le document réponse DR3, présente la structure physique du variateur électronique VAR.*

*Le circuit de puissance de ce convertisseur statique est réalisé par la mise en cascade de trois éléments fonctionnels notés  $EF_1$ ,  $EF_2$  et  $EF_3$ .*

*L'entrée est alimentée par le réseau triphasé  $[L_u, L_v, L_w]$ . La sortie  $[L_1, L_2, L_3]$  commande le moteur.*

Sur le document réponse, compléter la structure du redresseur triphasé  $EF_1$ .

**Question 31 :**

Feuille de copie

Quelles sont les fonctions réalisées par les systèmes  $EF_2$  et  $EF_3$  ?

**3.3 - REALISATION DE LA MOTORISATION.****Question 32 :**

DR4

DT8

Compléter, sur le document réponse DR4, le couplage du moteur asynchrone ainsi que les deux tableaux.