

**Examen de fin du premier semestre de Systèmes Techniques Automatisés**  
**Partie A : Mécanique des Solides Indéformables**

Sections : M.P.2 &amp; P.C.2

Date : 04 Janvier 2024

- aucun document n'est autorisé ;
- le document énoncé comporte 2 pages ;
- les parties A et B sont indépendantes ;
- le document réponses comporte 6 pages ;

L'étude porte sur un système de préhension qui permet de saisir un objet et de le déplacer (Figure 1). Ce système est constitué :

- d'un bâti fixe (0) auquel est lié le repère  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  supposé galiléen ;
- d'une colonne (1), à laquelle est lié le repère  $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ , en liaison pivot parfaite d'axe  $(O, \vec{z}_0)$  avec le bâti (0). On note  $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$  ;
- d'un bras (2), auquel est lié le repère  $R_2(A, \vec{x}_1, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ , en liaison pivot parfaite d'axe  $(A, \vec{x}_1)$  avec la colonne (1) d'une part et en liaison pivot parfaite d'axe  $(B, \vec{x}_1)$  avec le bras (3) d'autre part. On note  $\theta = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$  ;
- d'un bras (3), de centre d'inertie  $G_3$ , auquel est lié le repère  $R_3(B, \vec{x}_1, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$  tel que  $\vec{y}_3 = \vec{y}_1$  et  $\vec{z}_3 = \vec{z}_0$  ;
- d'une barre (4), à laquelle est lié le repère  $R_4(D, \vec{x}_1, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$  tel que  $\vec{y}_4 = \vec{y}_2$  et  $\vec{z}_4 = \vec{z}_2$ , en liaison pivot parfaite d'axe  $(D, \vec{x}_1)$  avec la colonne (1) d'une part et en liaison pivot parfaite d'axe  $(C, \vec{x}_1)$  avec le bras (3) d'autre part ;
- d'un vérin qui assure la rotation de (2) par rapport à (1). Il est constitué d'une tige (5) et du corps (6) liés par une liaison pivot glissant d'axe  $(E, \vec{y}_6)$ . Cette tige (5) est aussi en liaison pivot parfaite d'axe  $(F, \vec{x}_1)$  avec le bras (2). Le corps (6), auquel est lié le repère  $R_6(E, \vec{x}_1, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$ , est en liaison pivot parfaite d'axe  $(E, \vec{x}_1)$  avec la colonne (1). On note  $\beta = (\vec{y}_1, \vec{y}_6) = (\vec{z}_0, \vec{z}_6)$ .

**Données et hypothèses :**

- les paramètres et les données géométrique du système étudié sont présentés par les relations suivantes :

$$\vec{OA} = a\vec{y}_1 + h\vec{z}_0 \quad ; \quad \vec{AE} = -e\vec{z}_0 \quad ; \quad AB = DC = L \quad ; \quad AD = BC = d \quad ; \quad \vec{AF} = \frac{L}{2}\vec{y}_2$$

$$\vec{BG}_3 = -b\vec{z}_0 \quad ; \quad \vec{EF} = \lambda\vec{y}_6$$

où  $a, b, d, e, h$  et  $L$  sont des caractéristiques dimensionnelles (constantes).  $\alpha, \beta, \theta$  et  $\lambda$  sont des paramètres de position du système, dépendants du temps (variables de configuration).

- on note  $m_2$  la masse de (2),  $G_2$  son centre d'inertie ( $G_2 \equiv F$ ) et sa matrice d'inertie au point A est :

$$[I_A(2)] = \begin{bmatrix} I_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_2 \end{bmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_2, \vec{z}_2)}$$

— on note  $m_3$  la masse de (3) et sa matrice d'inertie au point  $G_3$  est :

$$[I_{G_3}(3)] = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix}_{(\bar{x}_1, \bar{y}_3, \bar{z}_3)}$$

— la masse du bras (4) est négligeable ;

— l'action de la pesanteur sur le système est supposée négligeable sauf pour le bras (3). Le champ de pesanteur est  $\vec{g} = -g\vec{z}_0$  ;

— l'action de la tige du vérin (5) sur le bras (2) est modélisée par le torseur :

$$\{\tau_{(5 \rightarrow 2)}\}_F = \begin{Bmatrix} F\vec{y}_6 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

— l'action du bras (4) sur le bras (3) est modélisée par le torseur :

$$\{\tau_{(4 \rightarrow 3)}\}_C = \begin{Bmatrix} Y_{43}\vec{y}_4 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \quad \text{avec : } \vec{y}_4 = \vec{y}_2$$

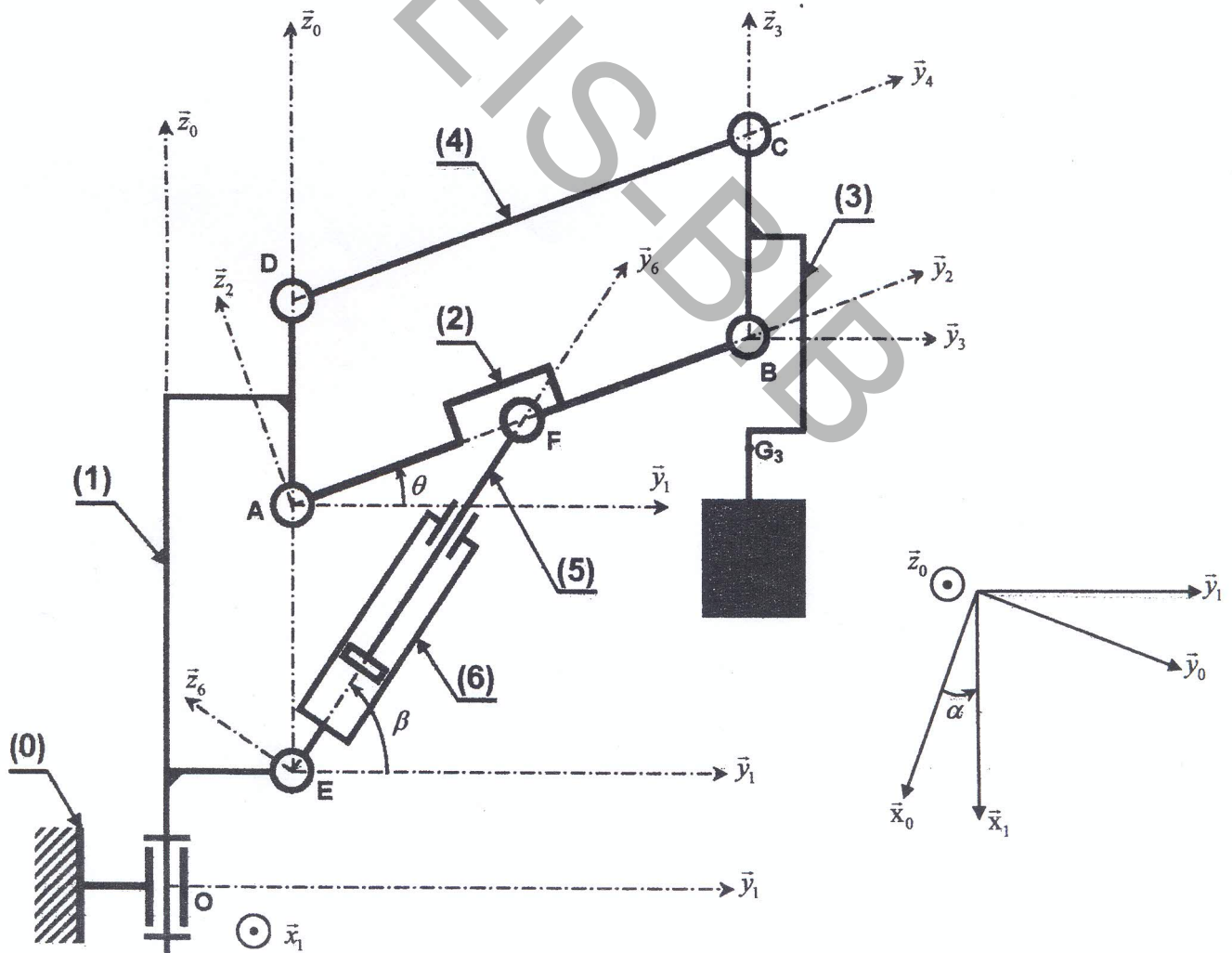


FIGURE 1 – Schéma cinématique minimal du préhenseur

## Document réponses (1/2)

Épreuve de : Systèmes Techniques Automatisés – *Partie A : Mécanique des Solides Indéformables*

CIN / N° d'inscription pour les étrangers :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Nom : .....

Prénom : .....

Salle : .....

Groupe : .....

### A.I. Étude cinématique

A.1) Déterminer le torseur cinématique de (2) dans son mouvement par rapport à (1) au point A, puis au point F.

$$\left\{ \mathcal{V}_{(2/1)} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\} ; \quad \left\{ \mathcal{V}_{(2/1)} \right\}_F = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}$$

A.2) Déterminer, dans la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$  et en fonction de  $\dot{\lambda}$ , le vecteur vitesse du point F de la tige (5) dans son mouvement par rapport au corps (6).

$$\vec{V}(F \in 5/6) = \dots\dots\dots$$

A.3) Déterminer, par cinématique et dans la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$ , le vecteur vitesse du point F du corps (6) dans son mouvement par rapport à la colonne (1).

$$\vec{V}(F \in 6/1) = \dots\dots\dots$$

A.4) En utilisant la fermeture cinématique de la chaîne 1 – 2 – 5 – 6 – 1 au point F, écrire par projection sur la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$  le système d'équations liant  $\lambda, \dot{\lambda}, \theta, \dot{\theta}, \beta, \dot{\beta}$  et L.



**NE RIEN ÉCRIRE ICI**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**A.5)** Quelle est la nature du mouvement du bras (3) par rapport à la colonne (1) ? Justifier.

Nature du mouvement de (3)/(1) : .....

Justification : .....

**A.6)** Déterminer, en fonction de  $\dot{\theta}$ , le torseur cinématique du bras (3) dans son mouvement par rapport à la colonne (1) au point B, puis au point  $G_3$ .

.....

.....

.....

$\{V_{(3/1)}\}_B = \left\{ \begin{array}{c} ..... \\ ..... \end{array} \right\}$

;

$\{V_{(3/1)}\}_{G_3} = \left\{ \begin{array}{c} ..... \\ ..... \end{array} \right\}$

**A.7)** Déterminer le vecteur accélération du point  $G_3$  du bras (3) dans son mouvement par rapport à (1).

.....

.....

$\vec{\Gamma}(G_3 \in 3/1) = .....$



**NE RIEN ÉCRIRE ICI**

**A.8)** Déterminer le vecteur accélération du point  $G_2$  du bras (2) dans son mouvement par rapport à (1).

.....  
 .....

$\vec{\Gamma}(G_2 \in 2/1) = \dots\dots\dots$

## A.II. Étude dynamique

Dans cette partie, on s'intéresse à la caractérisation du vérin (5,6). Pour cela, l'étude est menée pour une position donnée de la colonne (1) ( $\alpha = \text{constante}$  et le repère  $R_1$  est supposé galiléen). Cela permet de modéliser le système proposé à l'étude par un mécanisme plan en considérant le plan de mouvement  $(O, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ .

Il convient donc de retenir la notation représentant le torseur des actions mécaniques transmissibles par la liaison entre un solide (i) et un solide (j) au point Q "centre géométrique de la liaison", exprimé dans la base  $\mathcal{B}_2(\vec{x}_1, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  :

$$\{\tau_{(i \rightarrow j)}\}_Q = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & L_{ij} \\ Y_{ij} & 0 \\ Z_{ij} & 0 \end{array} \right\}_Q^{\mathcal{B}_2}$$

**A.9)** Déterminer, au point A et dans la base  $\mathcal{B}_2$ , le torseur dynamique du bras (2) dans son mouvement par rapport à la colonne (1).

.....  
 .....  
 .....  
 .....

$$\{\mathcal{D}_{(2/1)}\}_A = \left\{ \begin{array}{cc} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_A^{\mathcal{B}_2}$$

**NE RIEN ÉCRIRE ICI**

- A.10)** Écrire dans la base  $\mathcal{B}_2$  et en fonction de  $(\beta - \theta)$ , le torseur représentant l'action mécanique de la tige (5) sur le bras (2) au point F.

$$\{\tau_{(5 \rightarrow 2)}\}_F = \left\{ \begin{array}{cc} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{array} \right\} \begin{array}{l} \mathcal{B}_2 \\ \\ F \end{array}$$

- A.11)** Déterminer, au point A et dans la base  $\mathcal{B}_2$ , le torseur des actions mécaniques extérieures exercées sur le bras (2).

$$\{\tau_{(2 \rightarrow 2)}\}_A = \left\{ \begin{array}{cc} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{array} \right\} \begin{array}{l} \mathcal{B}_2 \\ \\ A \end{array}$$

## Document réponses (2/2)

Épreuve de : Systèmes Techniques Automatisés – *Partie A : Mécanique des Solides Indéformables*

CIN / N° d'inscription pour les étrangers :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Nom : .....

Prénom : .....

Salle : .....

Groupe : .....

A.12) Écrire le système d'équations qui découle de l'application du Principe Fondamental de la Dynamique au bras (2) dans son mouvement par rapport à la colonne (1).

|   |       |
|---|-------|
| { | ..... |
|   | ..... |
|   | ..... |

A.13) Déterminer, au point B et dans la base  $\mathcal{B}_2$ , le torseur dynamique du bras (3) dans son mouvement par rapport à la colonne (1).

|                               |   |       |       |   |                 |
|-------------------------------|---|-------|-------|---|-----------------|
| $\{\mathcal{D}_{(3/1)}\}_B =$ | { | ..... | ..... | } | $\mathcal{B}_2$ |
|                               |   | ..... | ..... |   |                 |
|                               |   | ..... | ..... |   |                 |
|                               |   |       |       |   | B               |

A.14) Déterminer, au point B et dans la base  $\mathcal{B}_2$ , le torseur des actions mécaniques extérieures exercées sur le bras (3).



**NE RIEN ÉCRIRE ICI**

$$\left\{ \tau_{(\bar{3} \rightarrow 3)} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_{\substack{B_2 \\ B}}$$

**A.15)** Écrire le système d'équations qui découle de l'application du Principe Fondamental de la Dynamique au bras (3) dans son mouvement par rapport à la colonne (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right.$$

**A.16)** En utilisant les résultats des questions A.12) et A.15), établir l'expression de la force F appliquée par la tige du vérin (5) sur le bras (2).

$$F = \dots\dots\dots$$

Examen de fin du premier semestre de Systèmes Techniques Automatisés

### Partie Automatique

Dans ce sujet, on s'intéresse à l'asservissement en vitesse du mouvement de translation d'une base motorisée (Figure n°1) d'une plateforme mobile d'imagerie robotisée. Cette base est constituée :

- d'une structure support, ou châssis, composée du bras vertical et du cadre Y ;
- de deux sous-ensembles roue motrice et motorisation associée (un motoréducteur d'orientation et un motoréducteur de propulsion pour chaque roue) ;
- de deux doubles roues « folles » non motorisées.

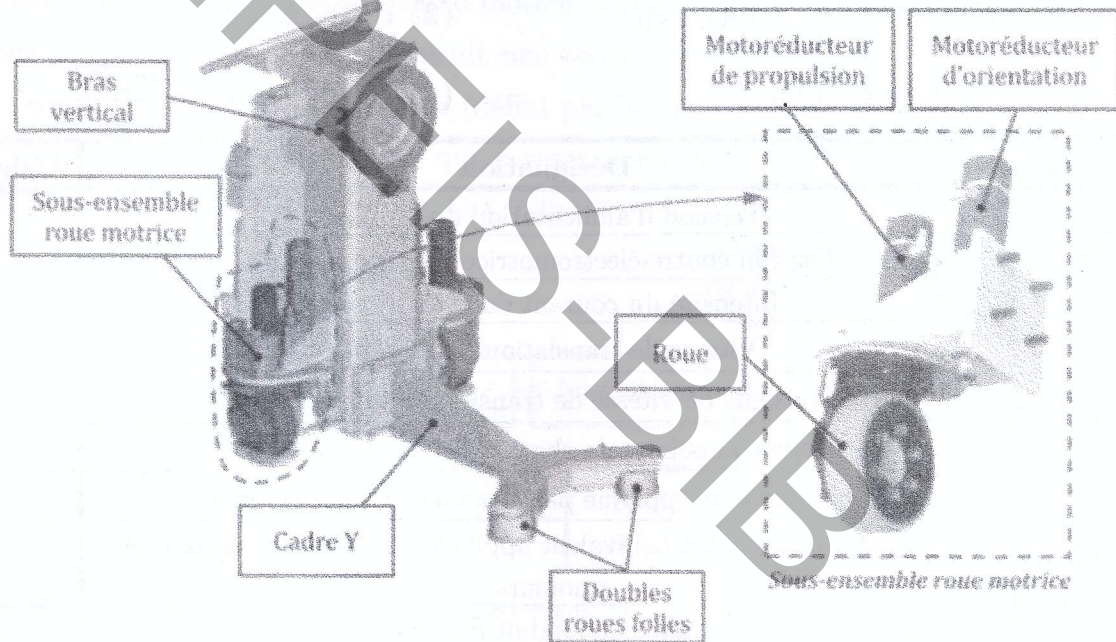


Figure n°1. Éléments de la base motorisée (BM)

**Objectif :** Vérifier les exigences, d'asservissement en vitesse du mouvement de translation de la base motorisée, suivantes :

| Performances | Valeurs souhaitées                               |
|--------------|--------------------------------------------------|
| Dépassement  | Sans dépassement                                 |
| Précision    | Erreur statique nulle pour une entrée en échelon |
| Rapidité     | Temps de réponse à $\pm 5\%$ inférieur à 2.5 s   |



## Étude préliminaire : moteurs de propulsion

Hypothèses et modélisations :

- la base motorisée (BM) se déplace en ligne droite (consigne de vitesse  $v_c(t)$ , les roues étant dans la même direction que l'axe de symétrie de la BM) ;
- les roues motrices roulent sans glisser sur le sol ;
- la charge extérieure est supposée équi-répartie sur chacun des deux moteurs. Ainsi, pour une vitesse  $v(t)$  de la plateforme, les deux moteurs de propulsion tournent à la même vitesse angulaire  $\omega_m(t)$ , sont alimentés par une même tension de commande  $u(t)$  et fournissent un même couple moteur  $c_m(t)$  ;
- les perturbations sont réparties sur chacun des axes des deux moteurs et sont modélisées par un même couple de perturbation équivalent appliqué sur chacun des axes moteurs  $c_r(t)$  ;
- les caractéristiques inertielles de la plateforme sont représentées au niveau de chaque axe moteur par un moment d'inertie équivalent  $J_{eq}$  ;
- le comportement individuel d'un des deux moteurs peut être approché par celui d'un moteur à courant continu avec les équations électromécaniques suivantes :

$$(1) \quad u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e(t)$$

$$(2) \quad c_m(t) = k_c i(t)$$

$$(3) \quad e(t) = k_e \omega_m(t)$$

$$(4) \quad c_m(t) - c_r(t) = J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt}$$

| Symbole       | Désignation                                                               | Valeurs, unités                        |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| $u(t)$        | Tension d'alimentation du moteur                                          | [V]                                    |
| $e(t)$        | Tension contre-électromotrice dans un moteur                              | [V]                                    |
| $i(t)$        | Intensité du courant dans un moteur                                       | [A]                                    |
| $v(t)$        | Vitesse de translation du système                                         | [m/s]                                  |
| $v_c(t)$      | Consigne de vitesse de translation du système                             | [m/s]                                  |
| $\omega_m(t)$ | Vitesse angulaire de chacun des deux moteurs                              | [rad/s]                                |
| $c_m(t)$      | Couple moteur appliqué par chacun des deux moteurs                        | [N.m]                                  |
| $c_r(t)$      | Couple de perturbation équivalent appliqué à chacun des deux axes moteurs | [N.m]                                  |
| $R$           | Résistance de l'induit d'un moteur                                        | 0,07 $\Omega$                          |
| $L$           | Inductance de l'induit d'un moteur                                        | 0,15mH                                 |
| $k_e$         | Constante de vitesse d'un moteur                                          | 0,113V/(rad/s)                         |
| $k_c$         | Constante de couple d'un moteur                                           | 0,113(N.m)/A                           |
| $J_{eq}$      | Inertie équivalente de la moitié du système ramenée sur l'axe d'un moteur | $5,3 \times 10^{-3}$ kg.m <sup>2</sup> |

On note  $U(p)$ ,  $E(p)$ ,  $I(p)$ ,  $V(p)$ ,  $V_c(p)$ ,  $\Omega_m(p)$ ,  $C_m(p)$  et  $C_r(p)$  les transformées de Laplace respectives de  $u(t)$ ,  $e(t)$ ,  $i(t)$ ,  $v(t)$ ,  $v_c(t)$ ,  $\omega_m(t)$ ,  $c_m(t)$  et  $c_r(t)$ .

1. En considérant des conditions initiales nulles, déterminer les transformées de Laplace des équations (1) à (4) du moteur. Compléter le schéma-bloc (Figure n°3) du document réponse (à rendre) par les transmittances manquantes.



2. Déterminer l'expression littérale de la fonction de transfert du moteur en poursuite  $H_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$  (sans perturbation).  
Ecrire  $H_1(p)$  sous sa forme canonique en fonction de  $R$ ,  $L$ ,  $k_e$ ,  $k_c$  et  $J_{eq}$ .
3. Déterminer l'expression de la fonction de transfert en régulation  $H_2(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_r(p)}$  (consigne nulle) en fonction de  $R$ ,  $L$ ,  $k_e$ ,  $k_c$  et  $J_{eq}$ .
4. Déterminer l'expression de la sortie  $\Omega_m(p)$  en fonction des entrées  $U(p)$  et  $C_r(p)$ .

Le système est étudié en l'absence de perturbation,  $c_r(t) = 0$

5. Réaliser l'application numérique de la fonction de transfert du moteur et mettre le résultat sous la forme  $H_1(p) = \frac{K_m}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)}$ . En prenant  $\tau_1 > \tau_2$ , donner les valeurs de  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  et  $K_m$ .

### Étude de l'asservissement en vitesse de la base motorisée

Pour une consigne de vitesse  $v_c(t)$  [m/s], les microcontrôleurs de pilotage génèrent une tension de consigne de rotation à appliquer à chaque moteur  $u_c(t)$  [V]. Un traitement numérique de la vitesse relevée sur l'axe de chaque moteur fournit une tension mesurée  $u_m(t)$  [V], image de la vitesse de rotation du moteur  $\omega_m(t)$ . Un correcteur (défini par la suite) adapte le signal écart entre la tension de consigne et la tension mesurée, ce qui permet après correction et amplification, de définir la tension d'alimentation  $u(t)$  à appliquer aux moteurs.

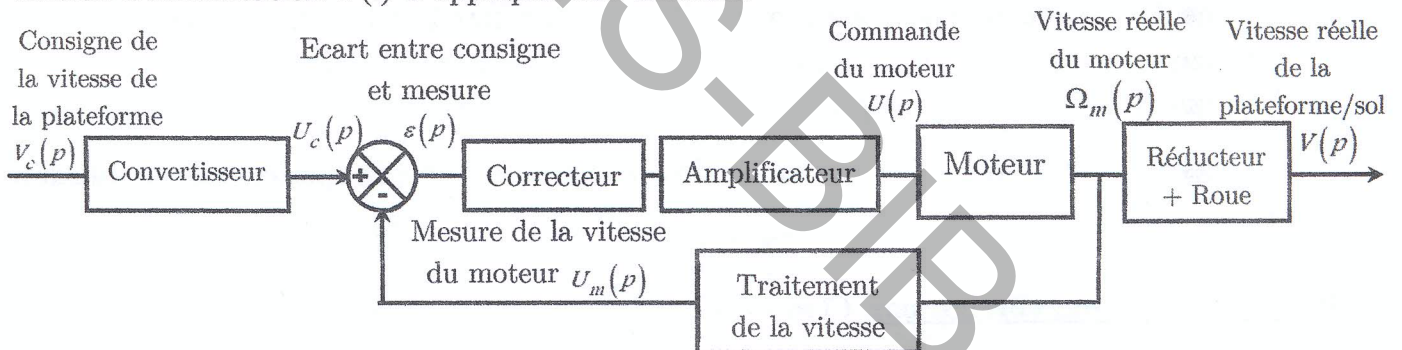


Figure n°2. Schéma de principe de l'asservissement en vitesse du mouvement de translation de la BM

| Blocs                              | Fonctions de transfert                       |
|------------------------------------|----------------------------------------------|
| Convertisseur                      | $K_{conv}$ (à déterminer)                    |
| Correcteur                         | $C(p)$ (réglé par la suite)                  |
| Amplificateur                      | $K_A = 7,9$ (sans unité)                     |
| Traitement numérique de la vitesse | $K_{vit} = 1,4 \times 10^{-3} V / (rad / s)$ |
| Réducteur+roue                     | $K_R$ (à déterminer)                         |

Indépendamment des résultats trouvés précédemment, la fonction de transfert du moteur sera prise égale à :

$$H_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U(p)} = \frac{K_m}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)} \text{ avec } K_m = 8,85, \tau_1 = 0,027s \text{ et } \tau_2 = 0,0023s$$

Le moteur est suivi d'un réducteur à deux étages : le premier avec un rapport de réduction  $k_1 = 1/4$  et le second avec un rapport de réduction  $k_2 = 1/28,9$ . Le rayon des roues motrices est de  $r = 0.115m$ . Si on suppose qu'il y a roulement sans glissement de la roue sur le sol, on peut écrire  $v(t) = r \cdot \omega_{roue}(t) = r \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \omega_m(t)$ .

6. Déterminer la valeur numérique du gain  $K_R$  (ensemble réducteur et roue).
7. Compléter le schéma-bloc sur le document réponse (Figure n°4), en y faisant figurer les fonctions de transfert sous forme littérale dans le domaine de Laplace avec des conditions initiales nulles, ainsi que les signes du sommateur.
8. Déterminer l'expression de l'erreur  $\varepsilon(p)$  en fonction de  $K_{conv}$ ,  $K_{vit}$ ,  $K_R$ ,  $V(p)$  et  $V_c(p)$ . En sachant que l'écart  $\varepsilon(t)$  doit être nul lorsque la vitesse réelle de la BM  $v(t)$  est égale à la vitesse de consigne  $v_c(t)$ , déduire  $K_{conv}$  (convertisseur) en fonction de  $K_{vit}$  et  $K_R$ .

**Étude du système non corrigé :**  $C(p) = 1$  et en supposant que  $K_{conv} = \frac{K_{vit}}{K_R}$

9. Déterminer, en fonction de  $K_m$ ,  $K_A$ ,  $K_{vit}$ ,  $\tau_1$  et  $\tau_2$ , l'expression de la fonction de transfert de la boucle de vitesse, notée  $G(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$ , sous la forme canonique d'un système du second ordre. Donner les expressions littérales et numériques du gain statique  $K$ , de la pulsation propre non amortie  $\omega_n$  et du coefficient d'amortissement  $\xi$ .
10. Tracer l'allure de la réponse indicielle de constante  $v_0$  en justifiant le régime.
11. À l'aide de l'abaque du document réponse Figure n°5, déterminer le temps de réponse à  $\pm 5\%$  de la boucle de vitesse (faire apparaître les tracés sur le document réponse).
12. Déterminer l'erreur en régime permanent  $\varepsilon(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t)$  de la boucle de vitesse pour une entrée en échelon d'amplitude  $v_0$ . La commande du système sans correction permet-elle de satisfaire les exigences fixées ?

**Étude du système corrigé par**  $C(p) = K_i \left( 1 + \frac{1}{T_i p} \right)$

13. Déterminer, en fonction de  $K_i$ ,  $K_m$ ,  $K_A$ ,  $K_{vit}$  et  $T_i$ , l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte sous la forme suivante :  $H_{BO}(p) = \frac{U_m(p)}{\varepsilon(p)} = \frac{K_{BO}(1 + T_i p)}{p(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$ .
14. Déduire la classe  $\alpha$  et l'expression littérale de  $K_{BO}$ .
15. On choisit  $T_i$  de façon à compenser (simplifier) le "mode le plus lent". Donner la valeur de  $T_i$  ainsi que la nouvelle expression de  $H_{BO}(p)$ .
16. Déterminer l'erreur en régime permanent  $\varepsilon(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t)$  de la boucle de vitesse pour une entrée en échelon d'amplitude  $v_0$ . Ce correcteur permet-il de répondre à l'exigence de précision ?
17. La Figure n°6 du document réponse présente la réponse à une consigne en échelon d'amplitude  $0,3m/s$  obtenue pour  $K_i = 0.2$ . Déduire graphiquement le temps de réponse à  $\pm 5\%$ . Conclure vis-à-vis le respect des exigences.



Nom .....  
 Prénom .....  
 Groupe .....



### Document réponse d'Automatique

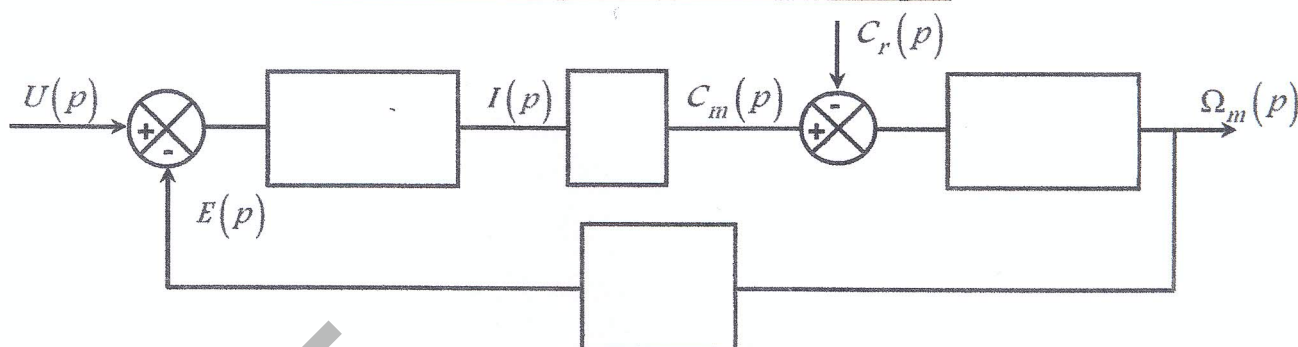


Figure n°3. Schéma-bloc d'un moteur de propulsion

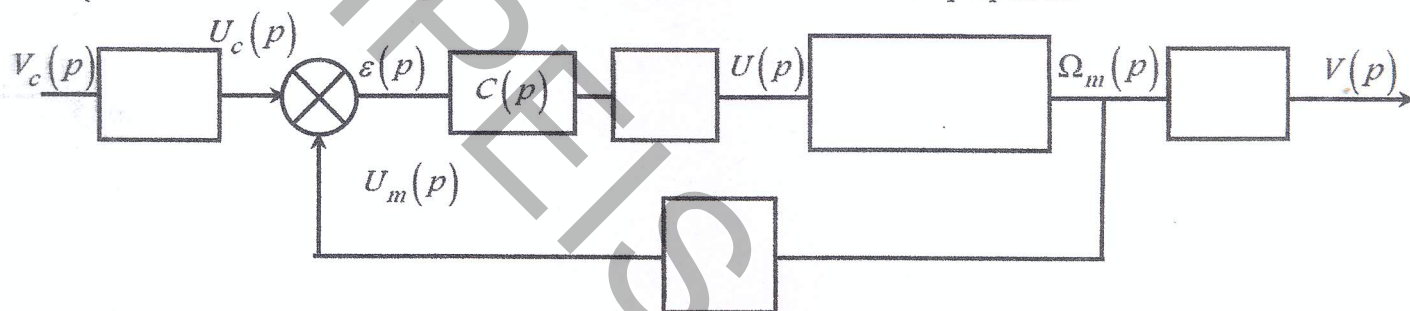


Figure n°4. Schéma-bloc de l'asservissement en vitesse du mouvement de translation de la BM

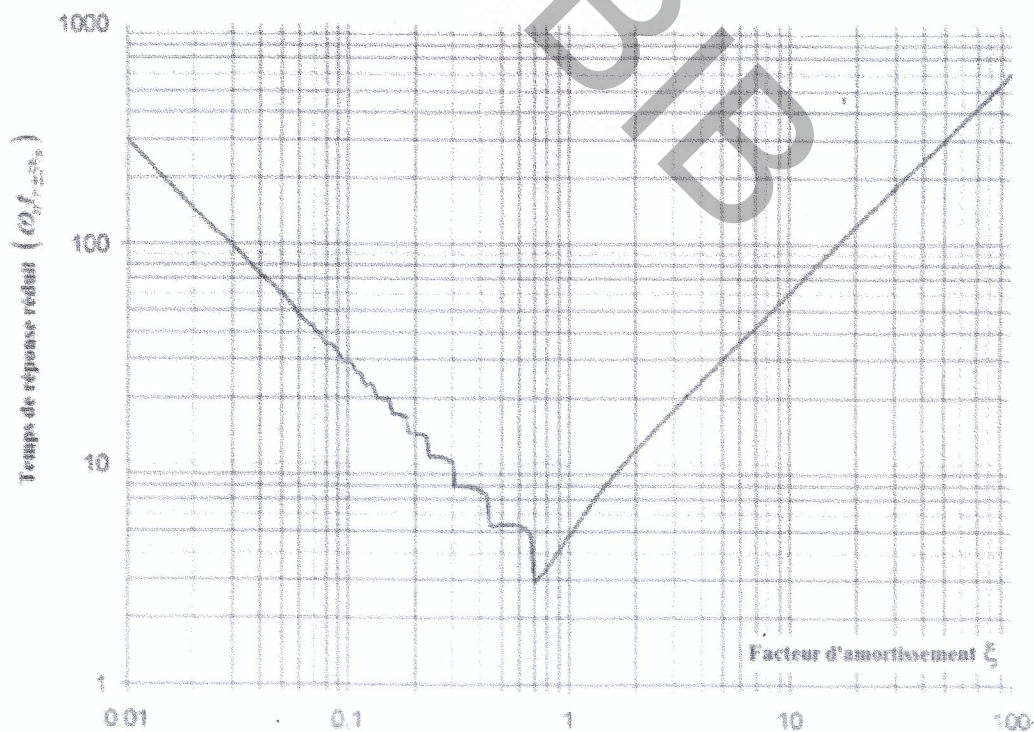


Figure n°5. Abaque du temps de réponse réduit  $(\omega_n t_{r \pm 5\%})$  d'un système du second ordre



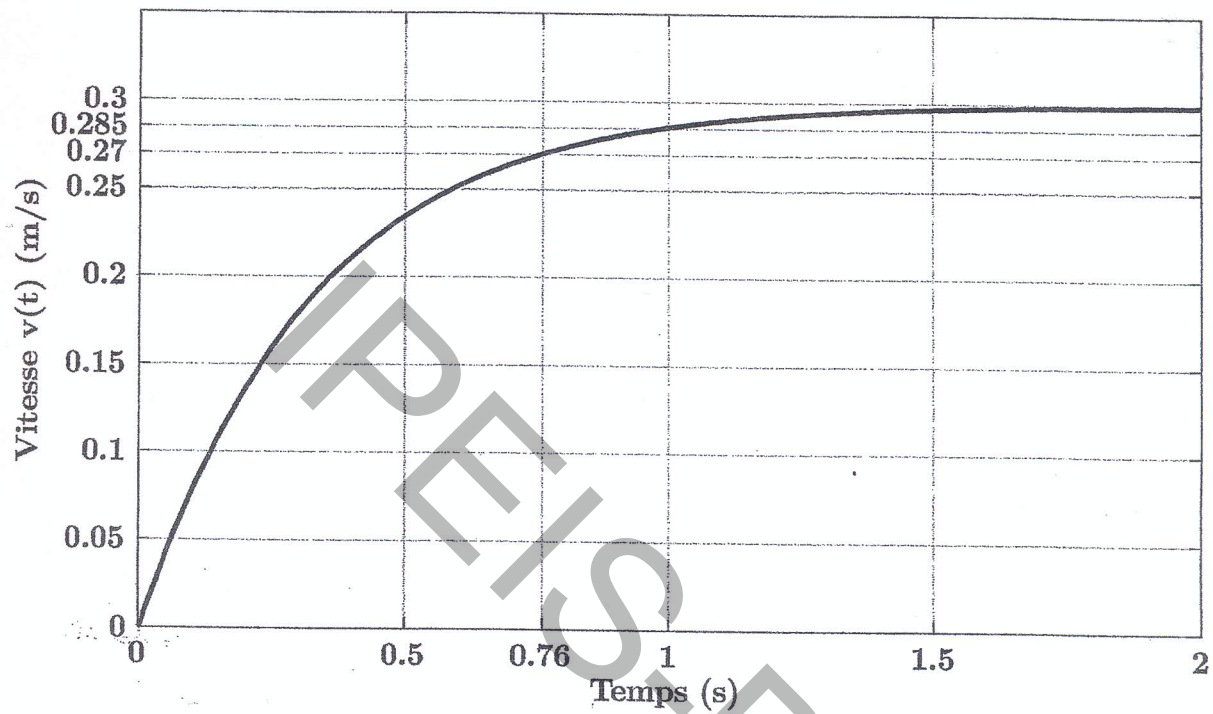


Figure n°6. Réponse indicielle à une consigne d'amplitude 0,3m/s pour  $K_t = 0.2$