

* BANQUE FILIERE PT *

Epreuve de Sciences Industrielles I

durée 4h

Aucun document n'est autorisé.

Les calculatrices de poche sont autorisées, quel que soit leur modèle, à condition que leur surface de base en position repliée ne dépasse pas 21 cm de long et 15 cm de large, qu'elles soient autonomes et qu'elles ne comportent pas de dispositif d'impression ni de dispositif externe de stockage d'information (cassette, bande magnétique, etc.) (Circulaire 86-228 du 28 juillet 1986 - BOEN n° 34 du 2 octobre 1986).

L'échange de module de mémoire amovible est interdit en cours d'épreuve.

Chaque calculatrice devra porter, de manière indélébile le nom du candidat.

REMARQUE IMPORTANTE

Cette épreuve comprend trois parties sensiblement indépendantes. Il est toutefois conseillé de traiter la première partie avant les deux autres.

Tournez la page S.V.P.

Vous trouverez dans le dossier, outre les pages du texte de l'énoncé :

- 5 pages de figures :

Figure 1 : Description générale du robot

Figure 2 : Schéma cinématique

Figure 3 : Paramétrage géométrique

Figure 4 : Modèle mécanique de la motorisation

Figure 5.1 : Schéma fonctionnel de la motorisation

Figure 5.2 : Schéma fonctionnel de l'asservissement

- 2 documents réponses **à rendre avec la copie** :

Document III.A : Réponse indicielle du moteur seul

Document III.B : Diagramme de Bode

Convention de notations

Par souci de précision, on note, en l'absence d'indication complémentaire :

- $(P; \vec{u})$ l'axe passant par le point P, et de direction \vec{u} (vecteur unitaire), ce qui permet de noter $(Q; \vec{u})$ l'axe de même direction qui passe par un point différent Q,
- $(P; \vec{u}, \vec{v})$ le plan passant par P et contenant les vecteurs \vec{u} et \vec{v} ,
- $(P; \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ le trièdre d'origine P,
- L_{ij} la liaison entre le solide S_i et le solide S_j ,
- \mathcal{T}_{ij} le torseur des efforts transmissibles par la liaison L_{ij} , du solide S_i sur le solide S_j , ayant pour composantes :

$$\mathcal{T}_{ij} : \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(S_i/S_j) \\ \vec{M}(D, S_i/S_j) \end{array} \right\}_D$$

où $\vec{R}(S_i/S_j)$ désigne la résultante des efforts et $\vec{M}(D, S_i/S_j)$, le moment des efforts au point D.

- \mathcal{V}_{ij} le torseur cinématique du solide S_i dans son mouvement par rapport au solide S_j , ayant pour composantes :

$$\mathcal{V}_{ij} : \left\{ \begin{array}{l} \vec{\Omega}(S_i/S_j) \\ \vec{V}(D, S_i/S_j) \end{array} \right\}_D$$

où $\vec{\Omega}(S_i/S_j)$ désigne le taux de rotation de S_i dans son mouvement par rapport à S_j et $\vec{V}(D, S_i/S_j)$, la vitesse de D dans le mouvement de S_i par rapport à S_j .

Présentation générale du sujet : Robot de manutention

L'application concerne l'étude d'un robot de manutention de pièces mécaniques. Son utilisation dans un système de production peut prendre deux formes. Une première est relative à l'alimentation d'un centre d'usinage à partir d'un système de palettisation. La seconde concerne l'assemblage de systèmes mécaniques.

Ce robot présenté figure 1 est un robot anthropomorphe, c'est-à-dire, un robot articulaire dont la structure rappelle celle du bras humain.

Pour permettre une utilisation de ce robot dans le cadre d'un système flexible de production, son organe de préhension (pince) a été conçu de telle manière qu'un changement automatique de doigts de la pince soit réalisable à partir d'un magasin de doigts accessible par le robot.

Le cahier des charges fonctionnel de ce robot fait en particulier apparaître une masse maximale de 30 kg pour les pièces manipulées.

Cadre de l'étude

La démarche de conception, sous une forme simplifiée, d'un tel système présente les étapes suivantes :

- Choix d'une morphologie et dimensionnement géométrique
 - type de liaisons
 - orientation des liaisons
 - longueur des segments
 - amplitude des déplacements
- Calcul de structure
 - dimensionnement des segments duquel on déduit la position des centres de masse et les opérateurs d'inertie de chaque solide
- Etude cinématique

Cette phase permet de déduire des déplacements souhaités des pièces manipulées, sous certaines contraintes de vitesse et d'accélération, les déplacements correspondants au niveau de chacun des axes du robot.

Cette étape de l'étude fait l'objet de la première partie du sujet.

Tournez la page S.V.P.

- Dimensionnement de la motorisation du robot

La première étape du dimensionnement des moteurs porte sur l'étude dynamique des actions mécaniques exercées sur les moteurs.

Cette étude dynamique fait l'objet de la seconde partie du sujet.

- Etude du comportement du robot

A l'issue du choix des moteurs, des pré-actionneurs associés (variateurs de vitesse) et des réducteurs, on étudie l'asservissement de chacun des axes du robot.

L'étude de l'asservissement de position angulaire du fût du robot fait l'objet de la troisième partie du sujet.

Modèle mécanique proposé

Dans un souci évident de simplification, la modélisation suivante du robot est proposée. Le robot est supposé constitué de 5 segments (ou solides) articulés entre eux, le premier solide étant articulé sur un solide fixe. Le robot est de type 5R, où R désigne une articulation rotoïde, c'est-à-dire une liaison de type pivot. La figure 2 présente le schéma cinématique correspondant à la modélisation proposée. Les repères liés à chaque solide ainsi que le paramétrage associé sont définis figure 3.

Le solide S_1 , appelé fût, est en liaison pivot d'axe $(O_1; \vec{z}_0)$ par rapport à la base S_0 . Cette liaison est non parfaite et les frottements sont modélisés par un couple de frottement $C_{f01} \vec{z}_0$. Un moteur lié à S_0 assure la rotation de S_1 par rapport à S_0 ; son action sur S_1 est modélisée par un couple $C_{01} \vec{z}_0$.

Le solide S_2 , appelé bras, est en liaison pivot d'axe $(O_2; \vec{x}_1)$ par rapport au fût S_1 . Cette liaison est non parfaite et les frottements sont modélisés par un couple de frottement $C_{f12} \vec{x}_1$. Un moteur lié à S_1 assure la rotation de S_2 par rapport à S_1 ; son action sur S_2 est modélisée par un couple $C_{12} \vec{x}_1$.

Le solide S_3 , appelé avant-bras, est en liaison pivot d'axe $(O_3; \vec{x}_1)$ par rapport au bras S_2 . Cette liaison est non parfaite et les frottements sont modélisés par un couple de frottement $C_{f23} \vec{x}_1$. Un moteur lié à S_2 assure la rotation de S_3 par rapport à S_2 ; son action sur S_3 est modélisée par un couple $C_{23} \vec{x}_1$.

Dans tout le problème, la rotation de la pince par rapport au poignet est supposée nulle. Ainsi, l'organe terminal, S₄, est constitué de l'ensemble rigide poignet-pince et de la pièce manipulée.

Le solide S₄, appelé organe terminal est en liaison pivot d'axe (O₄; \vec{x}_1) par rapport à l'avant-bras S₃. Cette liaison est non parfaite et les frottements sont modélisés par un couple de frottement $C_{f_{34}} \vec{x}_1$. Un moteur lié à S₃ assure la rotation de S₄ par rapport à S₃ ; son action sur S₄ est modélisée par un couple $C_{34} \vec{x}_1$.

La masse de chaque solide est notée m_i et la masse de la pièce manipulée est notée m'. Le repère R_i lié à chaque solide est supposé repère principal d'inertie pour le solide et on notera A_i, B_i, C_i, les moments d'inertie par rapport aux axes principaux.

En ce qui concerne le solide S₄, ses caractéristiques d'inertie sont définies en tenant compte de la pièce manipulée. On fait l'hypothèse que l'effet de la pièce manipulée est celui d'une masse concentrée positionnée en bout de pince. Ainsi :

- m₄ = m₄⁰ + m', où m₄⁰ est la masse du solide en absence de pièce,
- d₄ = d₄⁰ $\left(1 + \frac{m'}{m_4}\right)$ où d₄⁰ est la position du centre de masse en absence de pièce.

Les dimensions des segments, leur masse, ainsi que la valeur des variables articulaires correspondant aux positions extrêmes sont données dans le tableau ci-dessous.

Segment S _i	variable articulaire	longueurs L _i et d _i (m)	positions extrêmes	masse m _i (kg)
S ₁	θ ₁	—	(0°, 340°)	—
S ₂	θ ₂	L ₂ = 0,56 d ₂ = 0,28	(- 40°, 40°)	m ₂ = 65
S ₃	θ ₃	L ₃ = 0,84 d ₃ = 0,42	(- 40°, 20°)	m ₃ = 52
S ₄	θ ₄	L ₄ = 0,42 d ₄ ⁰ = 0,21	(- 120°, 100°)	m ₄ ⁰ = 23

Les mouvements du robot sont étudiés dans le repère $R_0 (\mathbf{O}_1; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié à la base et supposé galiléen. L'axe $(\mathbf{O}_1; \vec{z}_0)$ est vertical ascendant.

L'accélération de la pesanteur est définie par $-g \vec{z}_0$.

I - Première partie : Etude Cinématique

Dans cette partie on s'intéresse plus particulièrement à la caractérisation de la position de l'organe terminal en fonction des variables articulaires $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ ainsi qu'à la commande des axes pour accomplir une tâche donnée, c'est-à-dire pour réaliser le déplacement d'une pièce suivant une trajectoire donnée.

I.1 - Expression des taux de rotation

I.1.a - Exprimer les taux de rotation absolus de chacun des solides S_i , $\vec{\Omega}(S_i/R_0)$, en fonction des vitesses articulaires $(\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3, \dot{\theta}_4)$, où $\dot{\theta}_i = \frac{d\theta_i}{dt}$.

I.1.b - La rotation relative de S_i par rapport au solide S_{i-1} est notée $\psi_{i/i-1}$. Donner pour chaque solide l'expression du taux de rotation relatif $\vec{\Omega}(S_i/S_{i-1})$. En déduire l'expression des vitesses articulaires relatives $\dot{\psi}_{i/i-1}$ en fonction des $\dot{\theta}_i$.

I.2 - Vitesse de l'organe terminal

On souhaite que l'axe de l'organe terminal S_4 soit constamment vertical.

I.2.a - Quelle relation doivent vérifier les vitesses articulaires $\dot{\theta}_i$? En déduire la relation vérifiée par les $\dot{\psi}_{i/i-1}$.

Dans toute la suite du problème, on supposera la relation précédente vérifiée et par suite $\vec{O_4P} = -L_4 \vec{z}_0$.

I.2.b - Calculer $\vec{V}(O_4, S_4/R_0)$.

En déduire la vitesse des points de l'organe terminal par rapport à R_0 . Donner alors l'expression dans R_1 de la vitesse de P, $\vec{V}(P, S_4/R_0)$, en fonction des $\dot{\theta}_i$ puis des $\dot{\psi}_{i/i-1}$.

I.3 - Commande pour un déplacement vertical de l'organe terminal

On souhaite étudier la commande des axes lors d'un déplacement vertical de l'organe terminal.

Ce déplacement a lieu à la vitesse $\vec{V}(P, S_4/R_0) = -V \vec{z}_0$ avec $V = 0,1$ m/s.

I.3.a - Ecrire le système d'équations dont les variables sont $\dot{\psi}_{1/0}$, $\dot{\psi}_{2/1}$, $\dot{\psi}_{3/2}$ et $\dot{\psi}_{4/3}$.

I.3.b - En déduire l'expression de $d\psi_{2/1}$ en fonction de V et dt.

La commande de chacun des axes est calculée avec une périodicité δt très petite (de l'ordre de quelques ms). θ_2 et θ_3 peuvent être alors considérés constants pour le calcul des commandes en une position donnée.

I.3.c - Donner la valeur de $\delta\psi_{2/1}$ pour les trois positions de P suivantes, définies dans R_1 , pour $\delta t = 10$ ms.

position 1	position 2	position 3
$Y_P = 1,1 \text{ m}$ $Z_P = 0,6 \text{ m}$	$Y_P = 1,1 \text{ m}$ $Z_P = 0,599 \text{ m}$	$Y_P = 1,1 \text{ m}$ $Z_P = 0,5 \text{ m}$
$\theta_2 = -28,85^\circ$ $\theta_3 = 8,85^\circ$	$\theta_2 = -28,8^\circ$ $\theta_3 = 8,8^\circ$	$\theta_2 = -27,7^\circ$ $\theta_3 = 1,65^\circ$

Conclure.

II - Deuxième partie : Etude Dynamique

Cette partie constitue une étude préliminaire nécessaire au dimensionnement des moteurs réalisant les mouvements de chaque solide. Les valeurs des variables articulaires, leurs dérivées première et deuxième sont connues. L'étude proposée illustre la démarche permettant d'aboutir aux équations conduisant au choix de moteur. En particulier, à partir de l'exemple du fût, on met en évidence l'importance de la masse de la pièce manipulée ainsi que la position des différents solides dans ce choix.

On rappelle que l'organe terminal est supposé vertical, c'est à dire : $\overrightarrow{O_4P} = -L_4 \vec{z}_0$.

II.0 - Question préliminaire

Enoncer le théorème de la résultante et le théorème du moment dynamique.

II.1 - Démarche pour le calcul des couples moteur

II.1.a - Isoler le solide S_4 et faire un bilan des actions mécaniques extérieures.

II.1.b - Appliquer au solide S_4 le théorème du moment dynamique en O_4 en projection sur l'axe \vec{x}_1 (on ne développera pas les calculs de cinétique).

II.1.c - Montrer que l'équation précédente permet de calculer le couple C_{34} en fonction du couple C_{f34} et de quantités connues.

II.1.d - Montrer que la démarche précédente appliquée respectivement aux systèmes $\Sigma' = (S_4, S_3)$; $\Sigma'' = (S_4, S_3, S_2)$; $\Sigma = (S_4, S_3, S_2, S_1)$ permet de calculer respectivement C_{23} ; C_{12} ; C_{01} en fonction des couples de frottement et de quantités connues.

II.2 - Application à la motorisation du fût

II.2.a - Calculer la projection du moment cinétique en O_1 de chacun des solides S_i sur l'axe $\vec{z}_0 : \vec{\sigma}(O_1, S_i/R_0) \cdot \vec{z}_0$

(On pourra montrer au préalable que $\vec{\sigma}(O_1, S_i/R_0) \cdot \vec{z}_0 = \vec{\sigma}(O_2, S_i/R_0) \cdot \vec{z}_0$).

II.2.b - On se place dans la situation où tous les $\dot{\theta}_i$ sont nuls sauf $\dot{\theta}_1$. Montrer que dans ce cas l'équation permettant de calculer C_{01} s'écrit sous la forme :

$$J_{c\acute{e}q} \frac{d\dot{\theta}_1}{dt} = C_{01} + C_{f01}$$

$$\text{avec } J_{c\acute{e}q} = C_1 + B_2 \sin^2 \theta_2 + C_2 \cos^2 \theta_2 + B_3 \sin^2 \theta_3 + C_3 \cos^2 \theta_3 + B_4 + m_3 (L_2 \sin \theta_2 - d_3 \cos \theta_3)^2 + m_4 (L_2 \sin \theta_2 - L_3 \cos \theta_3)^2$$

II.2.c - Tracer l'allure de $J_{c\acute{e}q}$ dans les deux cas de charge limites : $m' = 0$ et $m' = 30 \text{ kg}$, avec $C_1 = 6,5 \text{ kg.m}^2$; $C_3 = 3 \text{ kg.m}^2$; $B_2 = 7,65 \text{ kg.m}^2$.

(On négligera dans l'expression de $J_{c\acute{e}q}$: C_2 , B_3 et B_4)

On fera varier θ_2 sur son intervalle de variation et on prendra pour θ_3 les valeurs particulières : $\theta_3 = 0^\circ$ et $\theta_3 = -40^\circ$.

Donner les valeurs extrêmes de $J_{c\acute{e}q}$.

III - Troisième partie : Asservissement en position du fût

Hypothèse de travail : Dans ce qui suit, on se place dans l'hypothèse de systèmes linéaires continus et invariants.

Principales notations utilisées

K	: Différents gains
$J_m, J_R, J_{c\acute{e}q}$: Inerties du moteur, du réducteur et de la charge
J_{me}	: Inertie globale équivalente sur l'arbre moteur
C_m	: Couple électromagnétique délivré par le moteur
C_r	: Couple résistant (couple de frottements secs)
C_{re}	: Couple résistant ramené sur l'arbre moteur
R, K_e, K_t	: Constantes électriques du moteur (résistance de l'induit, constante de force contre-électromotrice et constante de couple)
N	: Rapport de réduction
ω_m, θ_m	: Vitesse et position angulaire du moteur
ω_c, θ_c	: Vitesse et position angulaire de la charge

Modèle de la motorisation

Le moteur retenu à l'issue de l'étude dynamique du robot est un servo-moteur PARVEX de type AXEM-MC 19P à induit plat qui présente l'avantage de posséder une très faible inertie. Il s'agit d'un moteur à courant continu à excitation indépendante commandé par l'induit.

Le comportement électromécanique de ce type de moteur, dans l'hypothèse où l'inductance est négligeable, est donné par les équations suivantes :

$$U(t) = R.i(t) + e(t) \quad (1)$$

$$C_m(t) = K_t.i(t) \quad (2)$$

$$e(t) = K_e.\omega_m(t) \quad (3)$$

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt}(t) = C_m(t) \quad (4)$$

III.1 - Modèle du moteur seul

On se propose, tout d'abord, d'étudier le modèle du moteur à vide, c'est-à-dire, du moteur seul : dans un premier temps par le modèle théorique et dans un second temps par une étude expérimentale.

III.1.a - Avoir appliqué la transformation de Laplace à chacune des équations ci-dessus [(1) à (4)] sous l'hypothèse de conditions initiales toutes nulles, calculer la transformée $\Omega_m(p)$ de la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ en fonction de la transformée $U(p)$ de la tension de commande $U(t)$.

III.1.b - Mettre le résultat sous la forme : $\Omega_m(p) = M(p).U(p)$ avec $M(p) = \frac{K_m}{1 + T_m.p}$ en précisant K_m et T_m .

La documentation technique du constructeur fournit les renseignements suivants : $K_e = 25,5 \text{ V}/1000 \text{ tr}/\text{min}$; $K_t = 0,244 \text{ Nm}/\text{A}$; $R = 0,46 \Omega$.

Afin de valider le modèle construit en III.1.b et de déterminer l'inertie du rotor du moteur, on effectue une étude expérimentale sous forme de l'observation de la réponse indicielle du moteur seul soumis à un échelon de tension $U(t) = U_0.u(t)$ ($u(t)$ fonction de Heavyside : échelon unité) avec $U_0 = 50 \text{ V}$. Le document réponse III.A donne le résultat de cet essai.

III.1.c - Cette courbe correspond-elle bien au modèle proposé (1^{er} ordre) ? Marquer sur ce même document, les éléments caractéristiques de cette réponse (constante de temps, comportement à l'origine, valeurs remarquables, ...).

III.1.d - Donner la valeur expérimentale de K_m et de T_m . En déduire la valeur de J_m .

III.1.e - Commenter la valeur expérimentale de K_m par rapport à la valeur théorique.

Indépendamment des valeurs théorique et expérimentale trouvées aux questions précédentes, on prendra pour la suite du problème $K_m = 4 \text{ rad/s/V}$.

III.2 - Modèle de la motorisation complète

Le réducteur retenu pour cette motorisation est un réducteur Harmonic-Drive HDU 50-200. Ses caractéristiques sont : $N = 200$; $J_R = 4,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$ (sur l'arbre moteur).

L'étude dynamique menée dans la seconde partie, complétée par les caractéristiques du réducteur et du moteur, permet d'aboutir au modèle donné figure 4.

Par application des théorèmes généraux on aboutit à une équation de la forme :

$$C_m(t) = J_{me} \frac{d\omega_m}{dt}(t) + C_{re}(t) \quad (5)$$

De par la configuration du robot, l'inertie globale ramenée à l'arbre moteur J_{me} dépend de la configuration géométrique du robot et de la masse de la pièce manipulée. Les résultats d'une étude cinétique donne $J_{me} \in [5,7 ; 8,4] 10^{-3} \text{ kg.m}^2$ et valeur "moyenne" $\langle J_{me} \rangle = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$, définie pour la configuration moyenne $\theta_2 = 0^\circ$, $\theta_3 = 0^\circ$ et $m' = 15 \text{ kg}$.

III.2.a - A partir des équations électriques du moteur [(1), (2) et (3)] et de l'équation mécanique (5), exprimer la transformée $\Omega_m(p)$ en fonction de $U(p)$ et de $C_{re}(p)$ que l'on mettra sous la forme :

$$\Omega_m(p) = F_1(p) \cdot U(p) - F_2(p) \cdot C_{re}(p)$$

III.2.b - Montrer que le modèle du système (moteur + réducteur + charge) peut se mettre sous la forme du schéma fonctionnel donné figure 5.1, avec $G_1(p) = K_m$ et $G_3(p)$ de la forme :

$$G_3(p) = \frac{1}{1 + T_{me} \cdot p}$$

III.2.c - En déduire la relation entre T_m la constante de temps du moteur à vide et T_{me} la constante de temps du moteur en charge. Faire l'application numérique pour la valeur moyenne de J_{me} .

Asservissement de position

Pour assurer l'asservissement de position angulaire du fût du robot, on associe au moteur un variateur modélisé par un amplificateur pur de gain K_a et on met en place un capteur de position angulaire en bout du moteur de gain K_{RP} unitaire.

Le schéma fonctionnel de l'asservissement est proposé figure 5.2.

III.3 - Etude en boucle ouverte

III.3.a - Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $F(p) = \frac{\Theta_{mes}(p)}{\varepsilon(p)}$. Faire l'application numérique avec $K_a = 15$.

III.3.b - Tracer sur le document réponse III.B le diagramme asymptotique de Bode ainsi que l'allure des courbes réelles correspondant à la réponse fréquentielle en boucle ouverte.

III.3.c - Après avoir calculé la pulsation au gain unité ω_u telle que $|F(j\omega_u)| = 1$, donner la marge de gain et la marge de phase. Conclure quant à la stabilité de l'asservissement de position.

Pour la suite du problème, on étudiera le système en tant que système suiveur, c'est-à-dire, sous la seule influence de la consigne $\theta_{dés}(t)$. On considérera donc le couple résistant $C_{re}(t)$ nul.

III.4 - Etude en boucle fermée

III.4.a - Calculer la transformée $\Theta_m(p)$ en fonction de $\Theta_{dés}(p)$. Montrer que $H(p) = \frac{\Theta_m(p)}{\Theta_{dés}(p)}$ peut se mettre sous la forme :

$$H(p) = \frac{K_s}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$$

où on précisera les expressions de K_s , ξ et ω_n .

III.4.b - Calculer les valeurs limites de K_s , ξ et ω_n , en fonction des variations de J_{me} . Justifier que K_s soit indépendant de J_{me} . Conclure quant à l'influence des variations de J_{me} , et plus précisément de l'inertie équivalente de la charge $J_{c\acute{e}q}$.

III.4.c - Tracer l'allure de la réponse indicielle pour une consigne $\theta_{dés}(t) = \theta_0 \cdot u(t)$ avec $\theta_0 = 100$ pour la valeur moyenne de J_{me} . Conclure quant à la qualité du comportement de l'asservissement.

III.5 - Précision statique

Calculer l'erreur permanente (erreur statique) consécutive à une consigne en échelon $\theta_{dés}(t) = \theta_0 \cdot u(t)$ avec $\theta_0 = 100$.

Justifier que le résultat est indépendant de la valeur de l'inertie globale J_{me} .

Figures (1 à 5.2)

Documents réponses
(III.A & III.B)

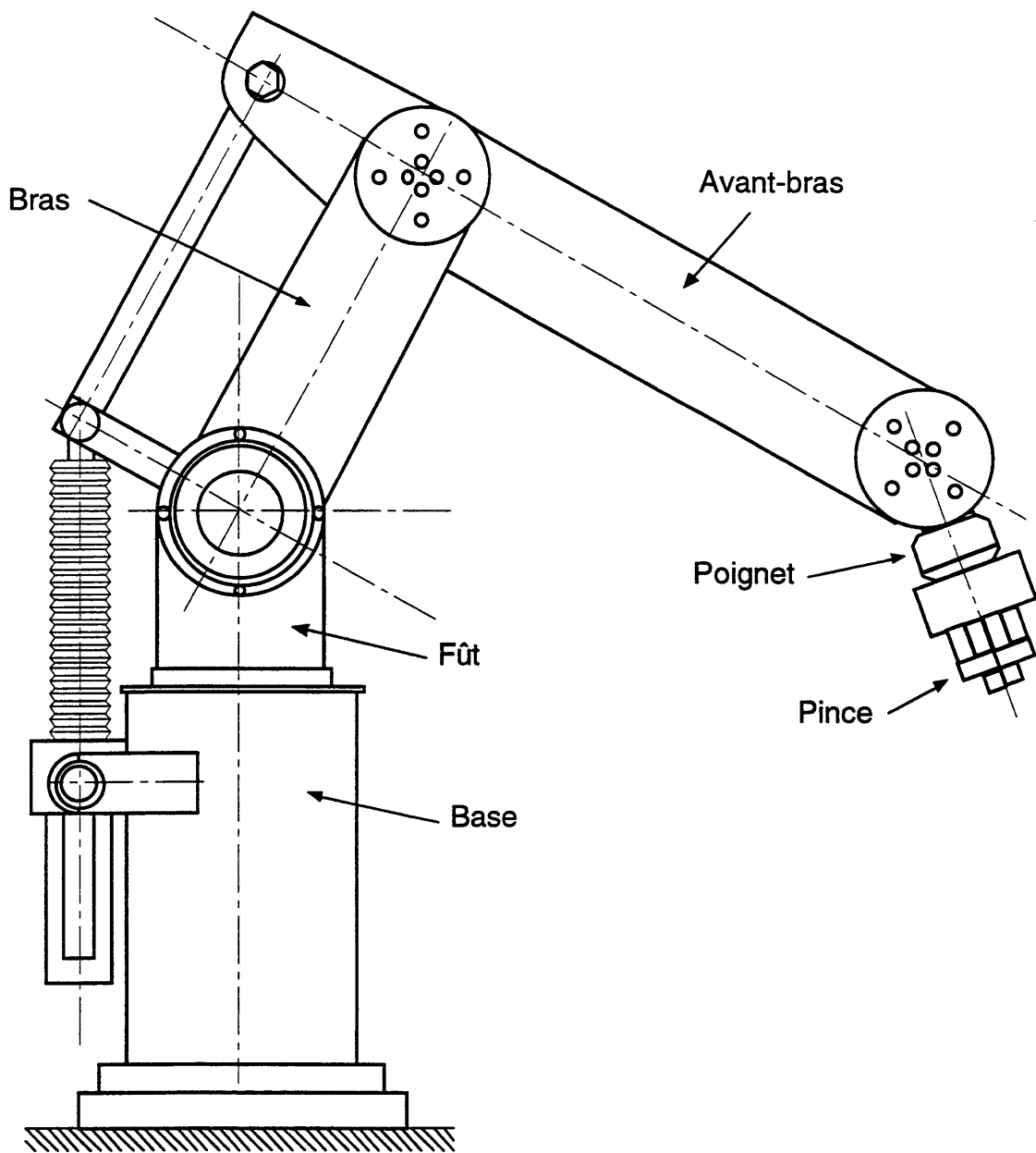


Figure 1 : Description générale du robot

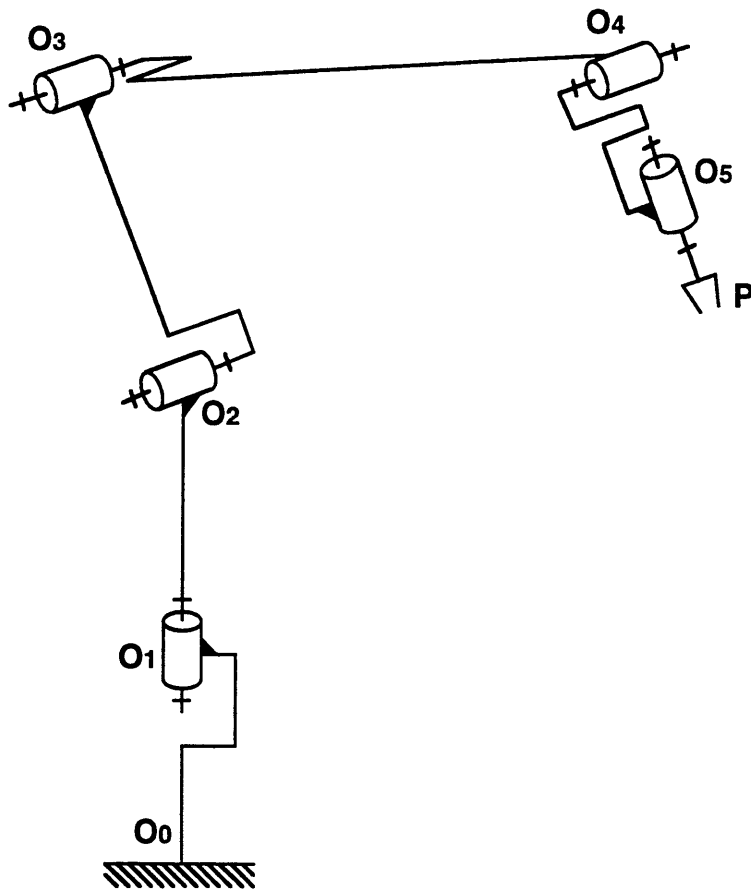


Figure 2 : Schéma cinématique

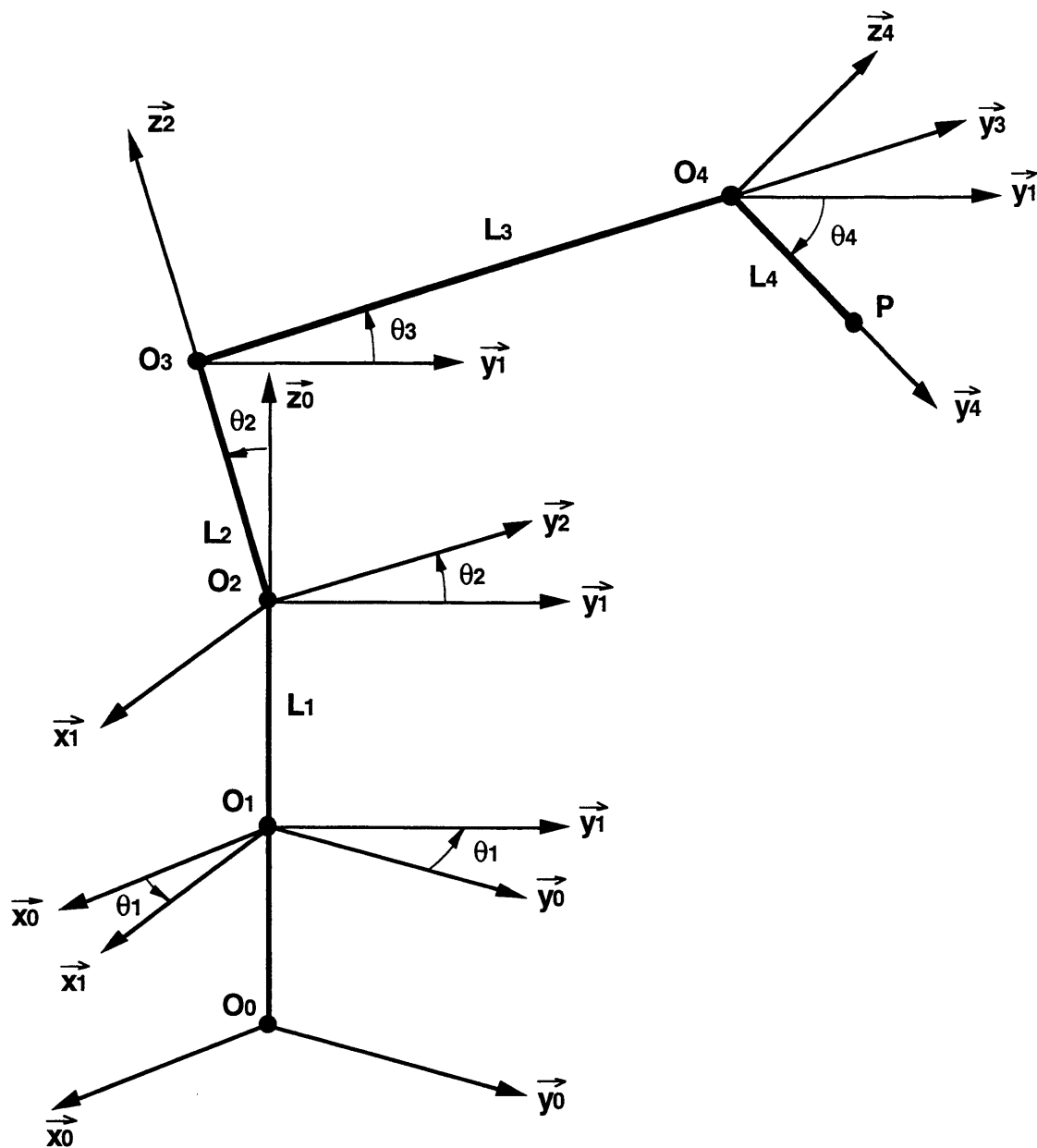


Figure 3 : Paramétrage géométrique

- Solide S_1 repère lié $R_1 (\mathbf{O}_1 ; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$
avec $(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = \theta_1$
- Solide S_2 repère lié $R_2 (\mathbf{O}_2 ; \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$
avec $(\vec{y}_1, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2) = \theta_2$; $\vec{O}_1\vec{O}_2 = L_1 \vec{z}_0$ et $\vec{O}_2\vec{G}_2 = d_2 \vec{z}_2$
- Solide S_3 repère lié $R_3 (\mathbf{O}_3 ; \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$
avec $(\vec{y}_2, \vec{y}_3) = (\vec{z}_2, \vec{z}_3) = \theta_3$; $\vec{O}_2\vec{O}_3 = L_2 \vec{z}_2$ et $\vec{O}_3\vec{G}_3 = d_3 \vec{y}_3$
- Solide S_4 repère lié $R_4 (\mathbf{O}_4 ; \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$
avec $(\vec{y}_3, \vec{y}_4) = (\vec{z}_3, \vec{z}_4) = \theta_4$; $\vec{O}_3\vec{O}_4 = L_3 \vec{y}_3$; $\vec{O}_4\vec{P} = L_4 \vec{y}_4$ et $\vec{O}_4\vec{G}_4 = d_4 \vec{y}_4$

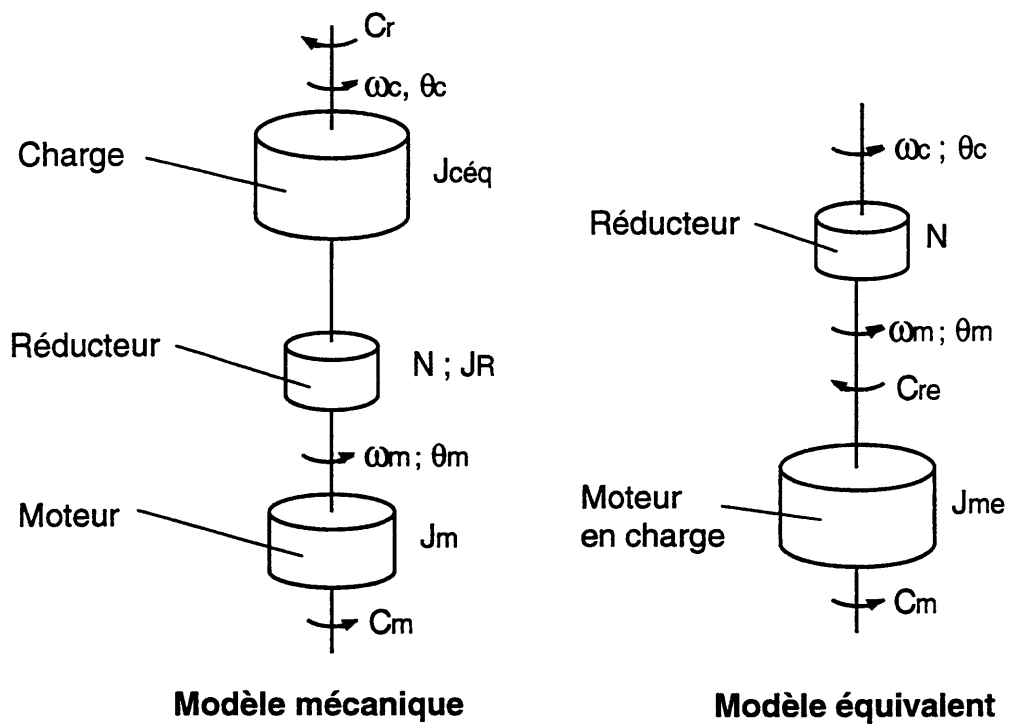


Figure 4 : Modèle mécanique de la motorisation

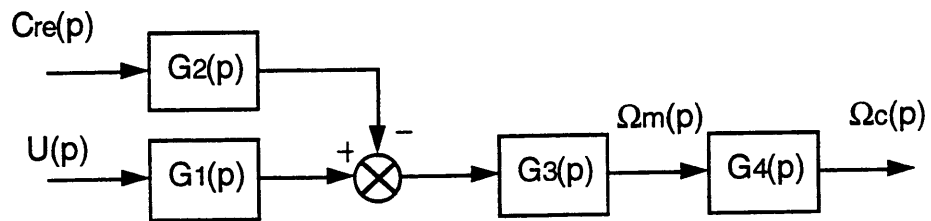


Figure 5.1 : Schéma fonctionnel de la motorisation

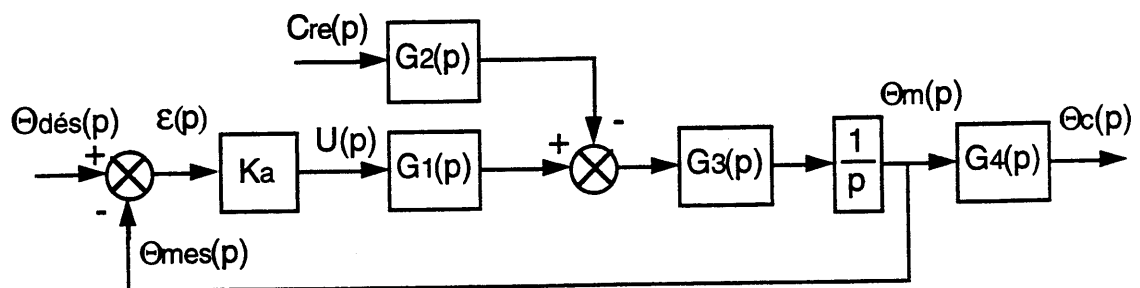


Figure 5.2 : Schéma fonctionnel de l'asservissement

Prenoms :

de l'épreuve :

Académie d'inscription :

Concours
ou
Examen

Repre ou nature de l'épreuve :

Sujet choisi (en cas de choix) :

Section
ou Spécialité :

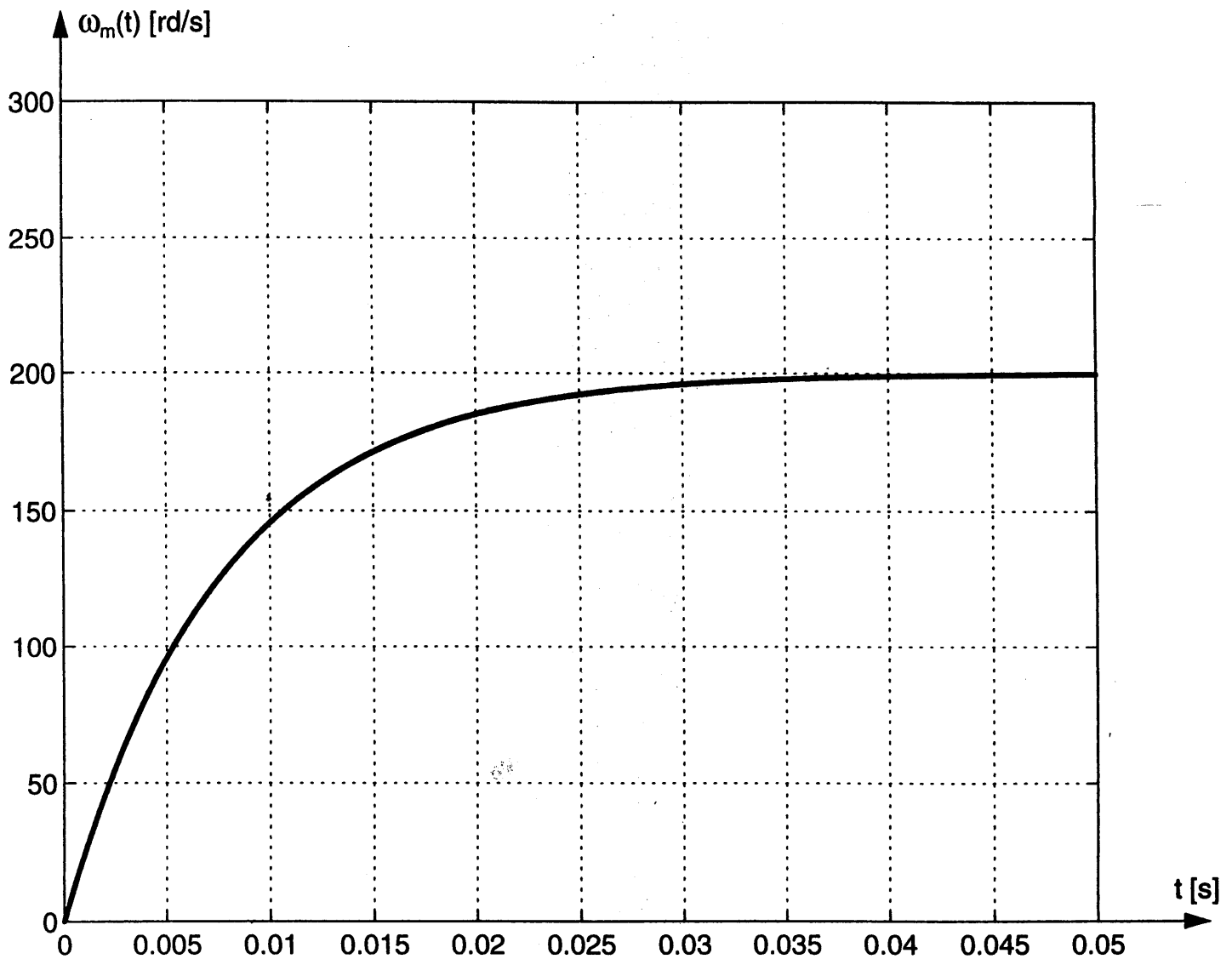
Si votre composition
comporte plusieurs feuilles
numérotez-les : /

mpilir
par le candidat

79SE1

J. 5904-D

Document réponse III.A



Il est interdit aux candidats de signer leur copie ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer la provenance de la copie (ainsi que sur tout document joint à la copie, dessin, graphique, etc.).

Prénoms :

de l'épreuve :

Académie d'inscription :

Concours
ou
Examen

Repère ou nature de l'épreuve :

Sujet choisi (en cas de choix) :

Section
ou Spécialité :
ou Option (éventuellement)

Si votre composition
comporte plusieurs feuilles
numérotez-les : /

scrire
par le candidat

79SE1

Document réponse III.B

J. 5904-E

