Concours Centrale-Supélec, France

Session 2010, filière MP

Option sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Parties I à III : chaîne de test du laboratoire et module de gestion des tubes
- Partie IV : déplacer la pince pneumatique
- Parties V et VI : commande séquentielle des trois actionneurs et synthèse

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/mp/2010/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

S2I

MP

2010

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC 3 heures Calculatrices autorisées

Analyse sanguine automatisée

I Problématique de l'analyse sanguine

L'évolution des connaissances associées à l'analyse sanguine a conduit à l'amélioration des diagnostics médicaux lors de l'apparition d'une pathologie inconnue, induisant une intensification du recours aux tests sanguins. Cette augmentation a incité certains laboratoires à créer des structures automatisées capables de réaliser l'ensemble des tests lors d'un seul processus d'analyse. Afin de répondre aux nouvelles attentes de ses clients et à l'augmentation de la demande, le laboratoire du Docteur Philippe Mine, situé à Thiant (département du Nord), a choisi de s'équiper dès 2004 du système ADVIA WorkCell® de l'entreprise BAYER-SIEMENS DIAGNOSTICS pour interconnecter ses différents automates de test.

II Présentation de la chaîne de test du laboratoire

II.A – Description de la chaîne de test implantée dans le laboratoire

La chaîne automatisée ADVIA WorkCell® installée dans le laboratoire permet le travail simultané de trois postes de test sanguin permettant d'assurer la grande majorité des analyses demandées par les médecins, le tout sans aucune intervention humaine. Des postes spécifiques, gérés manuellement, complètent cette structure. Dans la configuration implantée, le laboratoire assure actuellement entre 400 et 500 analyses sanguines de tout type chaque jour. Sa capacité maximale est de 2000 analyses par jour afin de faire face à toute demande urgente ou toute évolution des tests à effectuer.

II.B – Structure générale du système ADVIA WorkCell®

La figure 1 décrit la structure générale du système ADVIA WorkCell®. Les échantillons sanguins à tester, identifiés par des codes barres collés sur le tube, sont placés par les laborantins dans des zones identifiées du module automatisé de stockage et de gestion des tubes de sang.

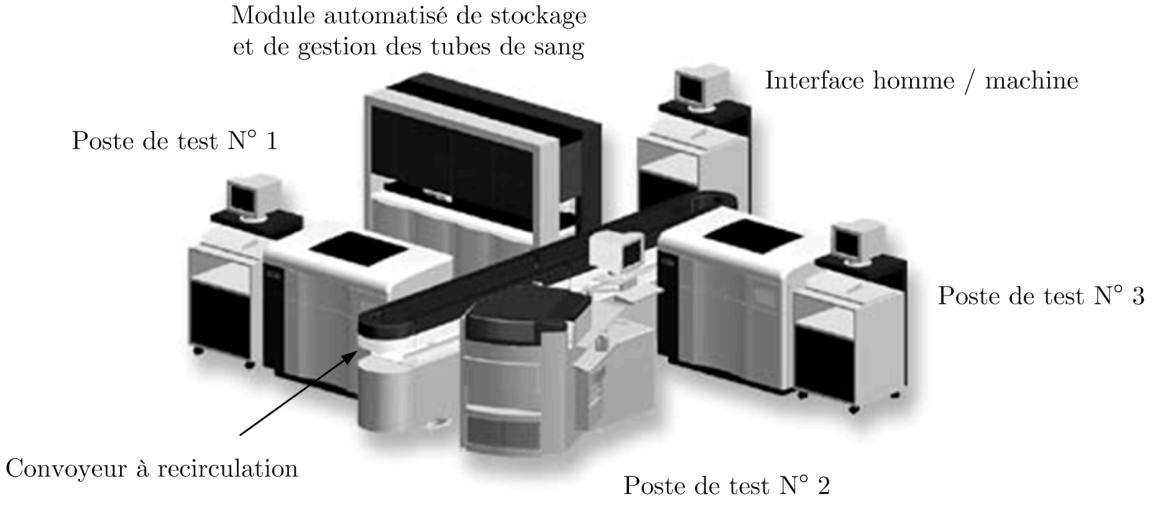
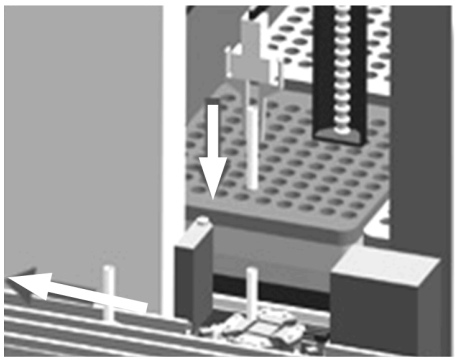


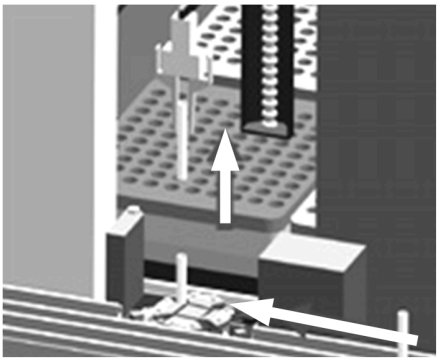
Figure 1 Organisation des postes autour du convoyeur [Document BAYER-SIEMENS DIAGNOSTICS]

Le début du test commence par l'extraction du tube de sang de ce module et son placement sur le convoyeur à recirculation (figure 2 à gauche). La fin du test correspond à la remise en place du tube dans son emplacement initial dans le module de stockage et de gestion des tubes de sang après que tous les tests aient été effectués (figure 2 à droite). Ces opérations sont réalisées par un bras motorisé muni d'une pince pneumatique.

Entre ces deux étapes, le tube de sang est passé par les postes de test placés autour du convoyeur en fonction des tests demandés par les médecins.



Transfert d'un tube du module de stockage et de gestion des tubes de sang vers le convoyeur à recirculation



Transfert d'un tube du convoyeur à recirculation vers le module de stockage et de gestion des tubes de sang

Figure 2 Phases de déplacement du tube entre le module de stockage et de gestion et le convoyeur à recirculation

II.C – Avantages du système ADVIA WorkCell®

L'architecture du système ADVIA WorkCell®, contrairement à certains systèmes concurrents, est très souple car :

- elle est modulaire (et peut même évoluer en une structure intégralement automatisée appelée LabCell) ;
- elle accepte des postes de tests de différents fournisseurs, ce qui assure l'indépendance du laboratoire vis-à-vis des acteurs économiques et industriels du marché de l'analyse sanguine ;
- et elle autorise la reconfiguration de la structure de la chaîne en moins d'une journée, programmation comprise, pour répondre à des sollicitations exceptionnelles.

III Le module automatisé de stockage et de gestion des tubes

III.A – Structure générale du module

Le module automatisé de stockage et de gestion des tubes (figure 3 à gauche) comporte huit plateaux pouvant accueillir jusqu'à cent tubes à tester (figure 3 à droite). Le personnel du laboratoire place les tubes à tester dans les trous du plateau au fur et à mesure de leur arrivée puis les récupère à la fin des tests. Le plateau peut être inséré dans le module qu'il soit plein ou incomplet. Il est possible d'intervenir à tout moment dans le module automatisé de stockage pour placer ou enlever un tube manuellement : cette opération n'interrompt pas le cycle mais le tube ainsi placé est alors traité en priorité.

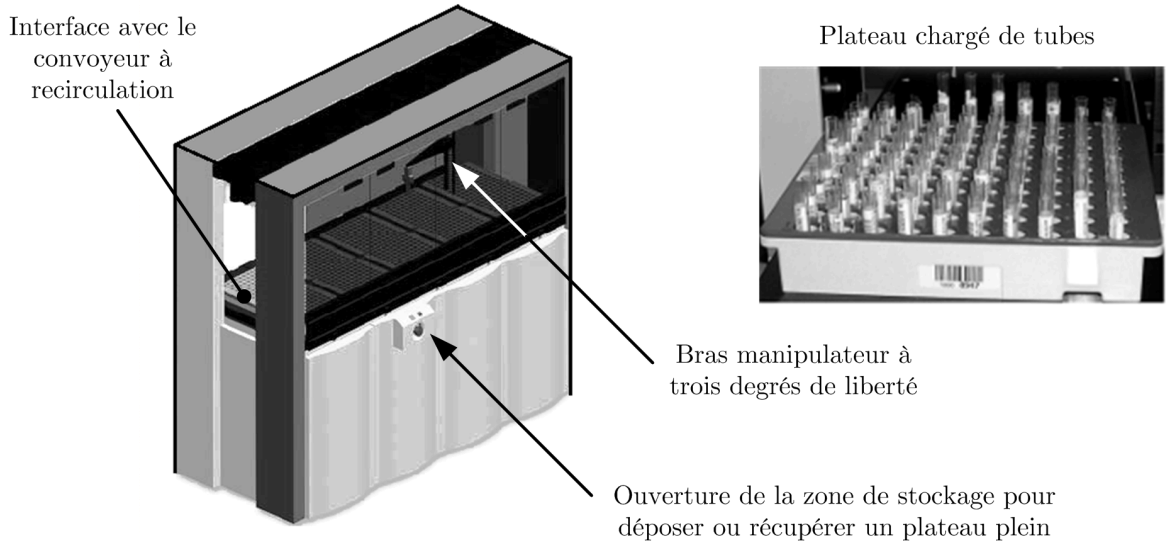


Figure 3 Ensemble automatisé de stockage et de gestion des tubes et un plateau rempli de tubes [Document BAYER-SIEMENS DIAGNOSTICS et photographie laboratoire]

III.B – Le bras à trois degrés de liberté

III.B.1) Présentation du système

Un bras automatisé à trois degrés de liberté « T-R-T » (translation–rotation–translation) muni en extrémité d'une pince à commande pneumatique est placé dans le module de stockage (voir figure 4). Il assure les déplacements des tubes de sang entre le plateau et le convoyeur à recirculation.

La fiabilité du fonctionnement de cet élément mécanique est fondamentale pour les besoins du laboratoire :

- s'il ne fonctionne plus, la totalité de la chaîne automatisée est bloquée ;
- toute projection de sang lors des transfert des tubes conduit à un arrêt de la chaîne, l'annulation de tous les tests en cours, un nettoyage complet et la destruction de l'ensemble des échantillons présents sur la chaîne.

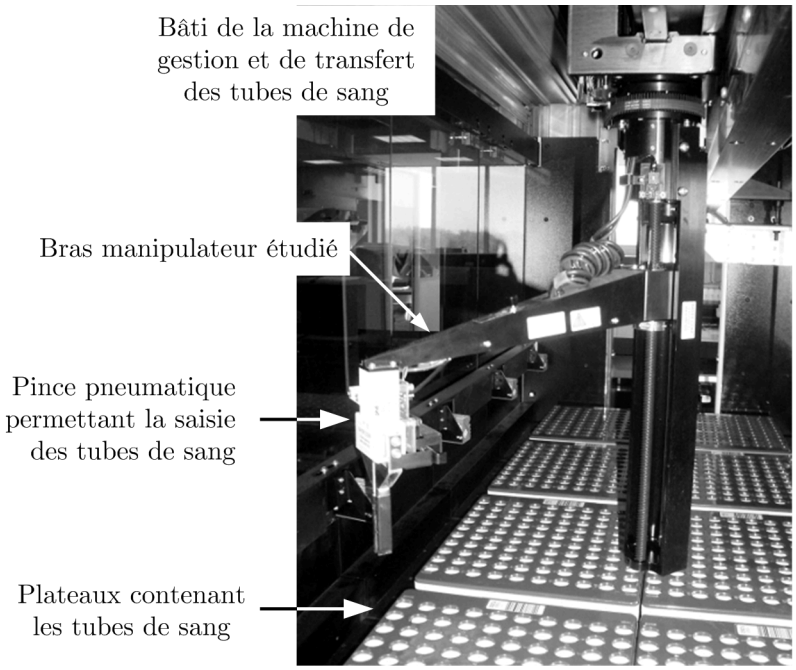


Figure 4 Zone de stockage des tubes et bras manipulateur à trois degrés de liberté

En conséquence :

- un bras de rechange doit toujours être disponible permettant un échange rapide (moins de 20 minutes) ;
- et la commande de ce système doit être performante et garantir la stérilité de la zone de stockage : **cette problématique constitue l'objet de l'étude proposée**.

III.B.2) Analyse fonctionnelle externe partielle du système étudié

L'environnement du bras à trois degrés de liberté situé dans le module de stockage et de gestion des échantillons de sang est décrit par le diagramme des inter-acteurs proposé sous forme partielle figure 5.

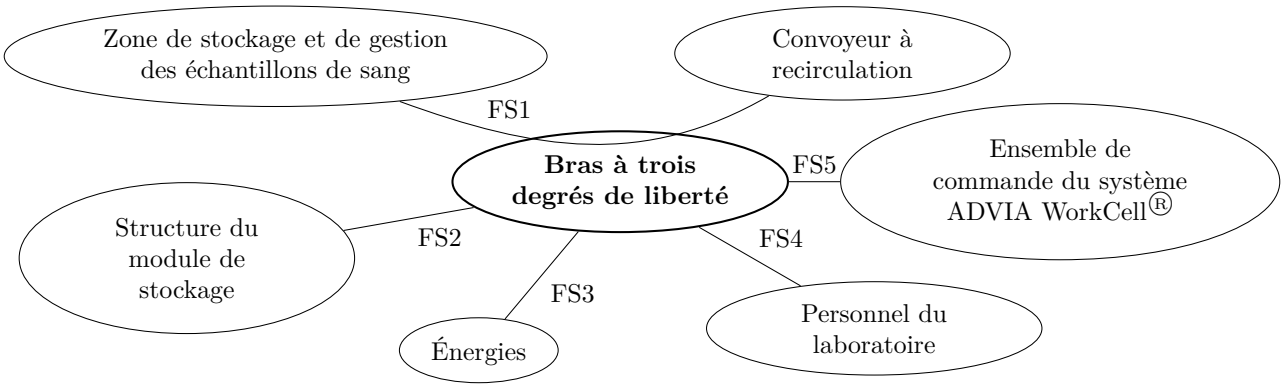


Figure 5 Diagramme partiel des inter-acteurs du bras à trois degrés de liberté

Les énoncés des fonctions de service identifiées sont les suivantes :

FSi	**Énoncé de la fonction de service**
FS1	Déplacer un tube de sang entre un plateau du poste de stockage et de gestion des échantillons de sang et le convoyeur sans projection de sang.
FS2	S'intégrer à la structure du module de stockage (échange rapide).
FS3	Être alimenté en énergies électrique et pneumatique.
FS4	Respecter le personnel de laboratoire (sécurité, bruit, etc.).
FS5	Être piloté par la partie commande de la chaîne ADVIA WorkCell®.

Les études proposées vont permettre d'étudier, d'analyser et de valider quelques-unes des performances associées à la fonction de service FS1.

III.B.3) Analyse fonctionnelle interne partielle de la fonction de service FS1 du système étudié

Le diagramme FAST de la figure 6 propose une expansion de la fonction de service FS1 « Déplacer un tube de sang entre un plateau du poste de stockage et de gestion des échantillons de sang et le convoyeur sans projection de sang ».

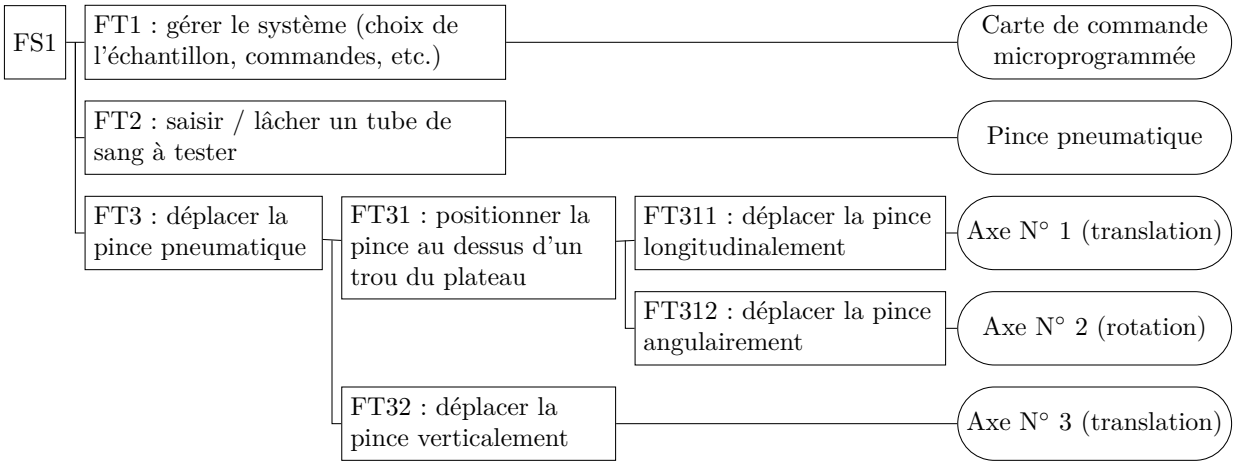


Figure 6 Diagramme FAST associé à l'expansion de la fonction de service FS1

IV Étude de la fonction FT3 « Déplacer la pince pneumatique »

Objectif

Analyser et justifier, vis-à-vis des critères de respect de l'hygiène de la zone de stockage, les performances de la commande d'axe du bras à trois degrés de liberté dédié au transfert des tubes de sang.

IV.A – Problématique

Le maintien de la qualité des résultats lors de tests à cadence élevée interdit toute pollution de la zone de stockage lors du déplacement de l'échantillon saisi par la pince : on décompose la problématique en deux sous-fonctions

- éviter toute projection de sang lors des transferts des tubes avec le bras ;
- et éviter le renversement d'un tube lors de son placement dans le plateau.

Cette partie se décompose donc en deux sous-parties respectivement dédiées à :

- la caractérisation des effets dynamiques appliqués à l'échantillon pouvant conduire à des projections de sang ;
- et la synthèse d'une loi de commande assurant le bon positionnement du tube dans les plateaux du module d'interface et de gestion des tubes.

IV.B – Description et modélisation du bras motorisé

Le bras implanté sur le système ADVIA WorkCell®, dont une photographie est fournie figure 7, est motorisé selon trois « axes » asservis (appelés « Axe N° 1 », « Axe N° 2 » et « Axe N° 3 » dans la suite) assurant les mouvements de type translation / rotation / translation.

Le bras est constitué de trois solides indéformables : Coulisseau **1**, Support **2** et Ensemble bras + pince + tube **3**. Les mouvements autorisés entre ces solides sont associés aux trois axes du bras manipulateur et sont paramétrés de la façon suivante :

Mouvements	**Axe N° 1**	**Axe N° 2**	**Axe N° 3**
Pièces considérées	**0** et **1**	**1** et **2**	**2** et **3**
Mouvements	Translation de direction $\overrightarrow{x_0}$	Rotation d'axe $(G_2, \vec{z}_0)$	Translation de direction $\vec{z}_0$
Paramètres	x	θ	z
Amplitudes	-1 m $\leq x \leq 1$ m	$-\pi/2$ rad $\leq \theta \leq \pi/2$ rad	$0 \leq z \leq 0{,}3$ m

Les amplitudes sont définies depuis la position de référence du bras, dans laquelle il se place après la prise d'origine.

Q 1. Justifier la structure cinématique adoptée pour le bras afin d'atteindre tous les tubes de la zone. Proposer une autre structure permettant de répondre au même besoin.

Q 2. À partir du tableau donné précédemment décrivant les mouvements, proposer une modélisation des liaisons entre les différentes pièces, en indiquant précisément leurs caractéristiques (axe, direction, normale, centre, etc.) : les réponses seront indiquées sous la forme du tableau figure 8, à recopier et à compléter sur la copie.

Q 3. Tracer le schéma cinématique en respectant les orientations de la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ proposées figure 7.

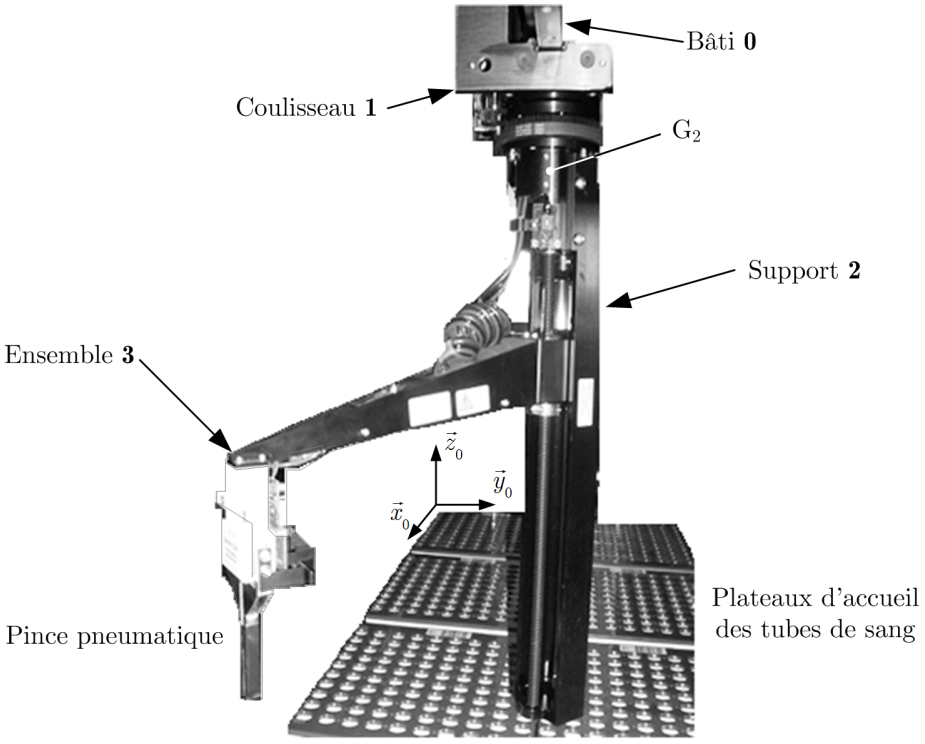


Figure 7 Constitution du bras motorisé de manipulation des tubes

Liaison	**Bâti 0 / Coulisseau 1**	**Coulisseau 1 / Support 2**	**Support 2 / Ensemble 3**
Modèle de liaison proposé			
Caractéristiques cinématiques			

Figure 8 Tableau à compléter

Les trois solides ont les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques cinétiques	**Coulisseau 1**	**Support 2**	**Ensemble bras + pince + tube 3**
Masses	m_1	m_2	m_3
Centres de gravité G_i	$\overrightarrow{OG_1} = x\,\vec{x}_0$	$\overrightarrow{OG_2} = x\,\vec{x}_0 + d_1\,\vec{z}_0$	$\overrightarrow{OG_3} = x\,\vec{x}_0 + (d_1 + z)\vec{z}_0 + (d_2 + d)\vec{x}_1$
Moments d'inertie	sans objet	J_2 selon l'axe $(G_2, \vec{z}_0)$	J_3 selon l'axe $(G_3, \vec{z}_0)$

L'orientation de la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ par rapport à la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est définie par $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$.

Valeurs numériques : $d_1 = 0{,}2$ m, $d_2 + d = 0{,}35$ m.

Pour chacun des trois axes motorisés, une action mécanique et un frottement visqueux équivalents de l'actionneur $[M_i]$ associé à l'axe N° i sont définis au niveau de la liaison correspondante :

Grandeurs équivalentes rapportées à l'axe	**Axe N° 1**	**Axe N° 2**	**Axe N° 3**
Action mécanique de l'actionneur $[M_i]$ sur l'axe	F_{M1} (en N)	C_{M2} (en N · m)	F_{M3} (en N)
Frottement visqueux	b_1 (en N · s · m^{-1})	f_2 (en N · m · s · rad^{-1})	b_3 (en N · s · m^{-1})

Le « graphe des liaisons et des efforts » (encore appelé « graphe d'analyse ») du modèle mécanique du bras est proposé figure 9.

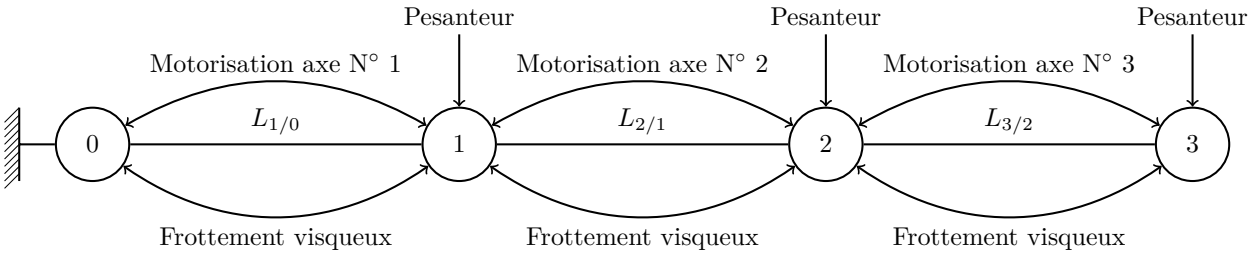


Figure 9 Graphe des liaisons et des efforts de la modélisation mécanique du bras à trois degrés de liberté

Q 4. Proposer une stratégie d'isolements et de calculs à mettre en œuvre pour déterminer les expressions des actions mécaniques F_{M1}, C_{M2} et F_{M3} (générées par les actionneurs $[M_i]$ associés aux trois axes) : on indiquera, dans le tableau ci-dessous (à recopier sur la copie) l'ensemble isolé, le théorème à utiliser (avec éventuellement le point de calcul) et la direction de projection en justifiant clairement le choix de la méthode adoptée.

Effort	**Ensemble isolé**	**Théorème utilisé**	**Justification du choix d'isolement et de théorème**
F_{M1}			
C_{M2}			
F_{M3}			

À partir de la stratégie d'isolements établie, on obtient les deux équations différentielles suivantes pour les expressions des efforts F_{M1} et F_{M3} :

- Équation (E_1) $\quad F_{M1} = (m_1 + m_2 + m_3)\ddot{x} + b_1\dot{x} - m_3(d_2 + d)(\ddot{\theta}\sin\theta + \dot{\theta}^2\cos\theta)$
- Équation (E_3) $\quad F_{M3} = m_3\ddot{z} + b_3\dot{z} - m_3 g$

Q 5. Montrer que l'équation différentielle reliant le couple C_{M2}, l'angle θ, le déplacement x et leurs dérivées successives est de la forme $C_{M2} = \mathcal{A}\ddot{\theta} + \mathcal{B}\dot{\theta} + \mathcal{C}\ddot{x}$ où les termes $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$ et $\mathcal{C}$ seront exprimés en fonction des termes m_3, J_2, J_3, d_2, d, f_2 et θ. Les différentes étapes du calcul seront précisément indiquées.

Nota : cette équation sera notée (E_2) dans la suite du sujet.

Les évolutions dynamiques associées au bras motorisé lorsque les trois actionneurs sont commandés simultanément sont donc décrites par les trois équations différentielles obtenues précédemment.

Q 6. À partir des équations précédentes, justifier que les mouvements de deux des axes sont couplés.

Le couplage des mouvements peut créer des accélérations transitoires importantes pouvant induire un risque de débordement du sang du tube saisi par la pince en extrémité du bras à trois degrés de liberté.

Les simulations proposées dans la suite du sujet sont réalisées en se basant sur les vitesses maximales observées lors des déplacements sur les trois axes afin de respecter le temps de cycle.

IV.C – Commande simultanée des trois actionneurs

Objectif

Dans une première approche, les trois mouvements du bras motorisé sont supposés être commandés simultanément afin de limiter le temps de cycle. Cette première étude doit permettre de montrer les limites de ce choix de commande vis-à-vis de la préservation de la stérilité de la zone de stockage.

IV.C.1) Construction d'un modèle de simulation sous forme de schéma fonctionnel utilisant des schémas blocs

En vue de caractériser les effets dynamiques subis par l'échantillon de sang, il est nécessaire de résoudre le système de trois équations différentielles (E_1), (E_2) et (E_3) obtenues à la partie précédente.

La figure 10 présente la structure du modèle associé au bras motorisé.

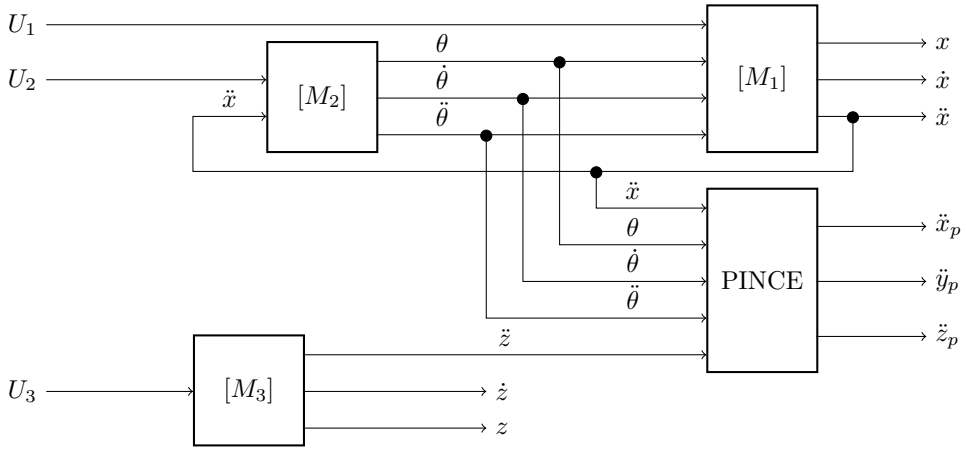


Figure 10 Structure du modèle du bras motorisé

La motorisation des axes est réalisée par la mise en série d'un moteur à courant continu et d'un transmetteur permettant d'adapter la puissance.

On rappelle les équations du fonctionnement linéarisé du moteur à courant continu :

- équation « électrique » (loi des mailles sur le modèle électrique équivalent) : $u_i(t) = L_i \frac{di_i(t)}{dt} + R_i\, i_i(t) + e_i(t)$ où $u_i(t)$ est la tension d'alimentation, $i_i(t)$ l'intensité d'induit, L_i l'inductance d'induit, R_i la résistance d'induit et $e_i(t)$ la force électromotrice du moteur associé à l'axe N° i ;
- conversion courant / couple : $C_{\text{moti}}(t) = K_{ti}\, i_i(t)$ où K_{ti} est la constante de couple du moteur de l'axe N° i ;
- conversion force électromotrice / vitesse angulaire : $e_i(t) = K_{ei}\, \dot{\theta}_{mi}(t)$ où K_{ei} est la constante de vitesse de l'actionneur de l'axe N° i et $\dot{\theta}_{mi}(t)$ est la vitesse angulaire de l'axe du moteur associé à l'axe N° i.

Ces équations sont valables pour les trois actionneurs ($i = 1$, 2 ou 3 dans les équations précédentes).

Par ailleurs, on note ρ_1 (en m), λ_2 (sans unité) et ρ_3 (en m) les gains de conversion des trois transmetteurs situés entre l'arbre de sortie du moteur électrique et l'effecteur de l'axe N° i :

Axe	**N° 1**	**N° 2**	**N° 3**
Type de transmetteur	réducteur à engrenages et pignon / crémaillère	réducteur à engrenages et poulie / courroie	réducteur à engrenages et vis / écrou
Équation cinématique	$\dot{x}(t) = \rho_1\, \dot{\theta}_{m1}(t)$	$\dot{\theta}(t) = \lambda_2\, \dot{\theta}_{m2}(t)$	$\dot{z}(t) = \rho_3\, \dot{\theta}_{m3}(t)$
Équation d'effort	$\rho_1\, F_{M1}(t) = \eta_1\, C_{\text{mot1}}(t)$	$\lambda_2\, C_{M2}(t) = \eta_2\, C_{\text{mot2}}(t)$	$\rho_3\, F_{M3}(t) = \eta_3\, C_{\text{mot3}}(t)$

où η_1, η_2 et η_3 sont les facteurs de dissipation (sans unité).

Les logiciels de simulation permettent de travailler directement avec des équations non linéaires : on peut ainsi, par exemple, utiliser directement dans des schémas blocs les formes $\cos\Theta(p)$ ou $\Theta(p) \times \Theta(p)$, pourtant non linéaires. On simplifie ainsi grandement les possibilités d'analyse et de compréhension de tels systèmes.

On se propose dans la suite de tracer la structure de commande de l'actionneur N° 1 sous une forme globale en utilisant cette possibilité. L'étude serait similaire pour les deux autres axes.

Les notations et les paramètres complémentaires sont directement indiqués dans le document réponse.

Les conditions initiales sont supposées nulles.

Q 7. Après transformation partielle dans le domaine de Laplace de l'équation (E_1) et de celles associées à l'actionneur $[M_1]$, compléter les différents blocs associés aux trois actionneurs du bras motorisé sur le document réponse. Compléter la structure des deux sommateurs incomplets.

Q 8. La structure de commande de l'actionneur associé à cet axe peut-elle être considérée comme une structure asservie ? Justifier précisément la réponse.

IV.C.2) Analyse des résultats de simulation et conclusions

La simulation du schéma précédent dans le cas d'une commande simultanée des trois actionneurs induit le résultat de la figure 11 pour la norme de l'accélération en bout de pince lors d'un transfert entre le module de stockage et de gestion des tubes et le convoyeur à recirculation.

Q 9. Sachant que l'accélération maximale admissible en bout de pince pour éviter tout risque de débordement est limitée à $10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (obtenue par test en conservant une marge de sécurité), que peut-on en conclure ?

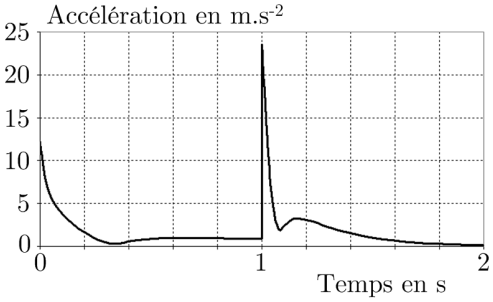


Figure 11 Norme de l'accélération en bout de pince pour une commande simultanée en chaîne directe

V Commande séquentielle des trois actionneurs

Objectif

L'étude précédente a permis de mettre en évidence le risque de débordement du sang présent dans le tube fixé en bout de pince lors de la commande simultanée des trois actionneurs. La présente étude doit permettre de vérifier que la commande séquentielle des trois actionneurs évite ce problème et donc permet de préserver la zone de stockage de toute contamination.

V.A – Évolution du modèle

Afin de se prémunir de ces risques de pollution lors du transfert d'un tube, les trois actionneurs sont commandés séparément et successivement. Le système d'équations différentielles s'écrit alors :

- Équation (E'_1) $\quad F_{M1} = (m_1 + m_2 + m_3)\ddot{x} + b_1\dot{x}$
- Équation (E'_2) $\quad C_{M2} = [J_2 + J_3 + m_3(d_2 + d)^2]\ddot{\theta} + f_2\dot{\theta}$
- Équation (E'_3) $\quad F_{M3} = m_3\ddot{z} + b_3\dot{z} - m_3 g$

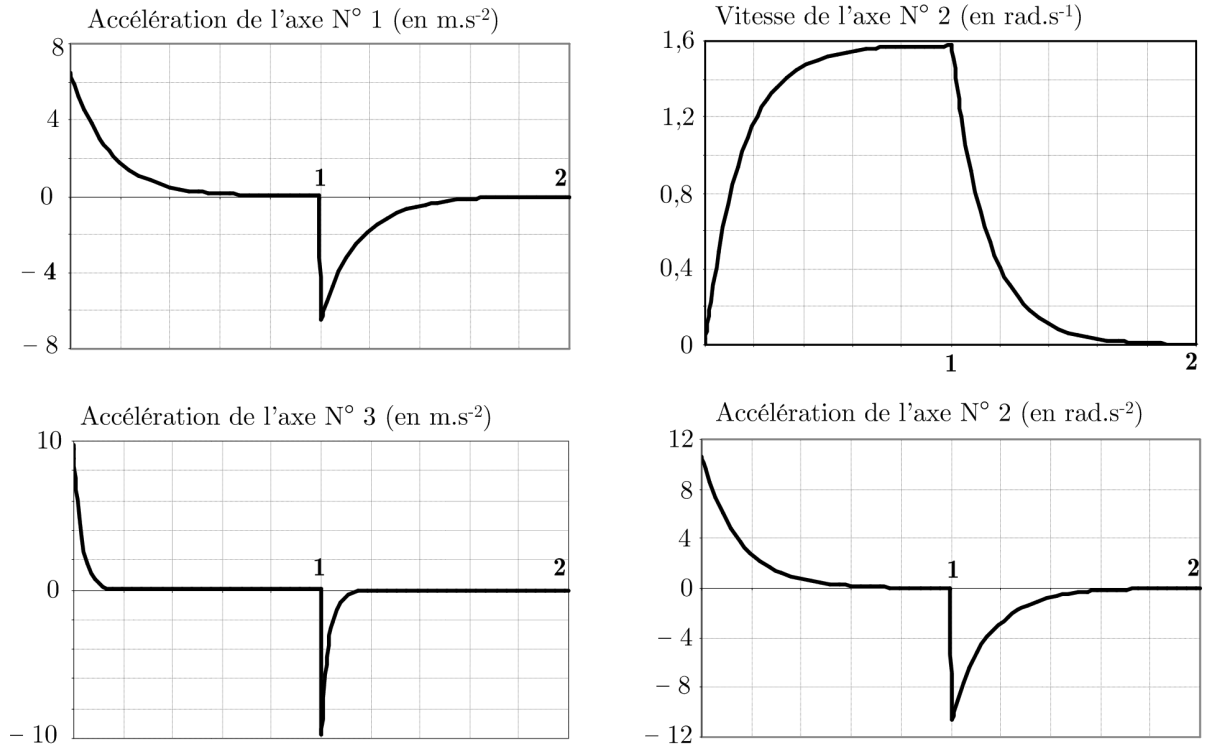
Q 10. Dans ce cas d'étude, tracer le schéma bloc de la commande d'entrée $U_1(p)$ et de sortie $X(p)$ et déterminer la fonction de transfert $X(p)/U_1(p)$, à écrire sous forme canonique.

V.A.1) Analyse des résultats de simulation et conclusions

Les courbes de la figure 12, obtenues à partir du modèle précédent, décrivent, d'une part, l'accélération en bout de pince générée par la commande successive des axes N° 1 et 3, et, d'autre part, la vitesse et l'accélération angulaires de l'axe N°2. L'accélération limite est toujours fixée à 10 $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ (valeur sécurisée).

Q 11. Montrer, que la commande découplée des axes N°1 et 3 ne génère pas de débordements.

Q 12. Déterminer l'expression littérale de l'accélération au point P, centre de gravité du tube défini par $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OG_3} + \overrightarrow{G_3P} = x\vec{x}_0 + (d_1 + z)\vec{z}_0 + d_p\vec{x}_1$ avec $d_p = 0{,}5$ m, pour une commande découplée de l'axe N°2. Montrer, en utilisant les courbes associées à l'axe N° 2, qu'il n'y a pas de risque de débordement.



En abscisse de toutes les courbes : le temps en s

Figure 12 Accélération en bout de pince pour une commande successive des trois actionneurs en chaîne directe

V.B – Choix d'une architecture de commande permettant de respecter les spécifications du cahier des charges

Objectif

Le critère d'accélération limite associé au risque de débordement lors des transferts des tubes a permis de choisir une commande découplée des trois actionneurs. Il est maintenant nécessaire de s'intéresser aux performances du bras vis-à-vis des spécifications du cahier des charges en terme de stabilité, précision et rapidité.

V.B.1) Cahier des charges

Le cahier des charges partiel est donné figure 13.

V.B.2) Cycle de fonctionnement

Le cycle de fonctionnement du bras motorisé est défini par un enchaînement séquentiel d'actions de déplacement sur les trois axes. Chacune de ces actions doit donc respecter les performances définies dans le cahier des charges. Par souci de simplification, seule l'étude des performances de l'axe N° 2 est menée ici. La démarche mise en oeuvre dans la suite serait bien entendu équivalente pour la détermination des paramètres des correcteurs dédiés à la commande des actionneurs associés aux axes N° 1 et N° 3.

La figure 14 décrit le comportement en vitesse et position de l'actionneur $[M_2]$ lors de trois transferts successifs entre le module de stockage et le convoyeur à recirculation, pour un même créneau de tension défini par :

$$u_2(t) = 0 \text{ V pour } t < 0 \text{ s et pour } t > 1{,}5 \text{ s et } u_2(t) = 6{,}5 \text{ V pour } 0 \text{ s} \leq t \leq 1{,}5 \text{ s}$$

Fonction	Critères	Niveaux
FT1	Axe N° 1 (translation du coulisseau **1** par rapport au bâti **0**)	
	Débattement linéaire assuré par l'actionneur $[M_1]$	1 m
	Vitesse maximale de déplacement	$2\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
	Stabilité de l'axe	$M\varphi > 45°$
	Amortissement de l'axe	Aucun dépassement autorisé
	Précision de positionnement de l'axe	Écart inférieur à 1 mm en régime stationnaire et en réponse à un échelon
	Rapidité de l'axe	Pulsation au gain unité : $\omega_u \geq 4\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
	Axe N° 2 (rotation du support **2** par rapport au coulisseau **1**)	
	Débattement angulaire assuré par l'actionneur $[M_2]$	90°
	Vitesse maximale de rotation	$40°\cdot\mathrm{s}^{-1}$
	Stabilité de l'axe	$M\varphi > 45°$
	Amortissement de l'axe	Dépassements transitoires $< 10\%$
	Précision de positionnement de l'axe	Écart inférieur à 1° en régime stationnaire et en réponse à un échelon
	Rapidité de l'axe	Pulsation au gain unité : $\omega_u \geq 4\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
	Axe N° 3 (translation de l'ensemble bras + pince + tube **3** par rapport au support **2**)	
	Débattement linéaire assuré par l'actionneur $[M_3]$	0,3 m
	Vitesse maximale de déplacement	$1\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
	Stabilité de l'axe	$M\varphi > 45°$
	Amortissement de l'axe	Aucun dépassement autorisé
	Précision de positionnement de l'axe	Écart inférieur à 2 mm en régime stationnaire et en réponse à un échelon
	Rapidité de l'axe	Pulsation au gain unité : $\omega_u \geq 4\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$

Figure 13 Cahier des charges partiel

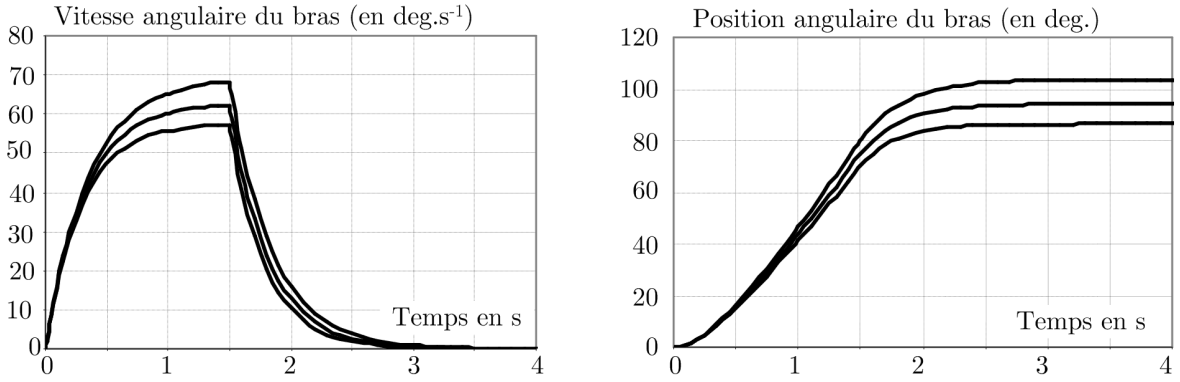


Figure 14 Comportement de l'actionneur $[M_2]$ en position pour trois transferts successifs

Pour répondre aux trois questions suivantes, on utilisera le graphe de la figure 14.

Q 13. Proposer un modèle pour la fonction de transfert $\Omega(p)/U_2(p)$ où $\Omega(p) = L[\dot{\theta}(t)]$ et identifier les paramètres associés dans le cas de l'évolution la plus lente. En déduire l'expression de la fonction de transfert $\Theta(p)/U_2(p)$.

Q 14. L'actionneur $[M_2]$ assure-t-il un positionnement angulaire de la pince conforme au cahier des charges ? Quel(s) phénomène(s) peut(vent) expliquer ces différences en terme de positions finales atteintes ?

Q 15. Sachant que la constante de temps τ du modèle établi question 13 est liée à la pulsation au gain unité par la relation $\tau\omega_u = 1$, le cahier des charges est il respecté vis-à-vis de la rapidité ?

Q 16. Proposer, au regard de la structure actuelle de commande, une solution permettant d'améliorer les performances de la commande de l'actionneur $[M_2]$ associé à l'axe N° 2.

Afin de préserver la stérilité de la zone de stockage, il est impératif d'éviter le renversement d'un tube lors de son placement dans un trou du plateau.

Q 17. Quelle est la performance à prendre en compte afin de garantir le bon positionnement du tube dans un trou du plateau ? En déduire la forme du volume défini par la superposition des écarts de position autorisés par le cahier des charges sur chacun des trois axes. Proposer une forme pour la partie supérieure du trou du plateau garantissant le bon positionnement du tube de sang en dépit des écarts de position.

V.C – Synthèse des paramètres des correcteurs afin d'interdire tout renversement d'un tube

Objectif

Cette étude a pour objectif de synthétiser les paramètres des correcteurs à implanter afin d'éviter le renversement d'un tube lors de sa mise en place dans le plateau. Dans cette partie, seule la synthèse du correcteur dédié à la commande de l'actionneur $[M_2]$ associé à l'axe N° 2 est abordée.

V.C.1) Synthèse d'un correcteur à action proportionnelle

Le correcteur à action proportionnelle est défini par la fonction de transfert suivante : $C(p) = K$.

On prendra comme Fonction de Transfert de la commande d'axe, la fonction $G(p) = \dfrac{K_2}{p(1+\tau p)}$ et comme architecture de commande le schéma bloc à retour unitaire de la figure 15.

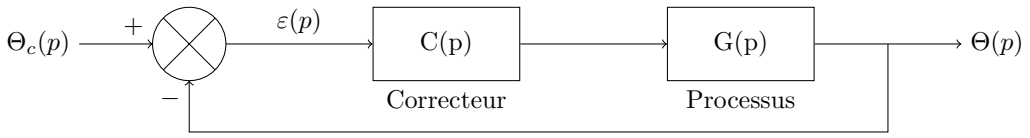


Figure 15 Schéma bloc associé à l'architecture de commande avec retour unitaire de l'actionneur $[M_2]$

On fournit figure 16 le diagramme de Bode de la fonction de transfert $G(p)$.

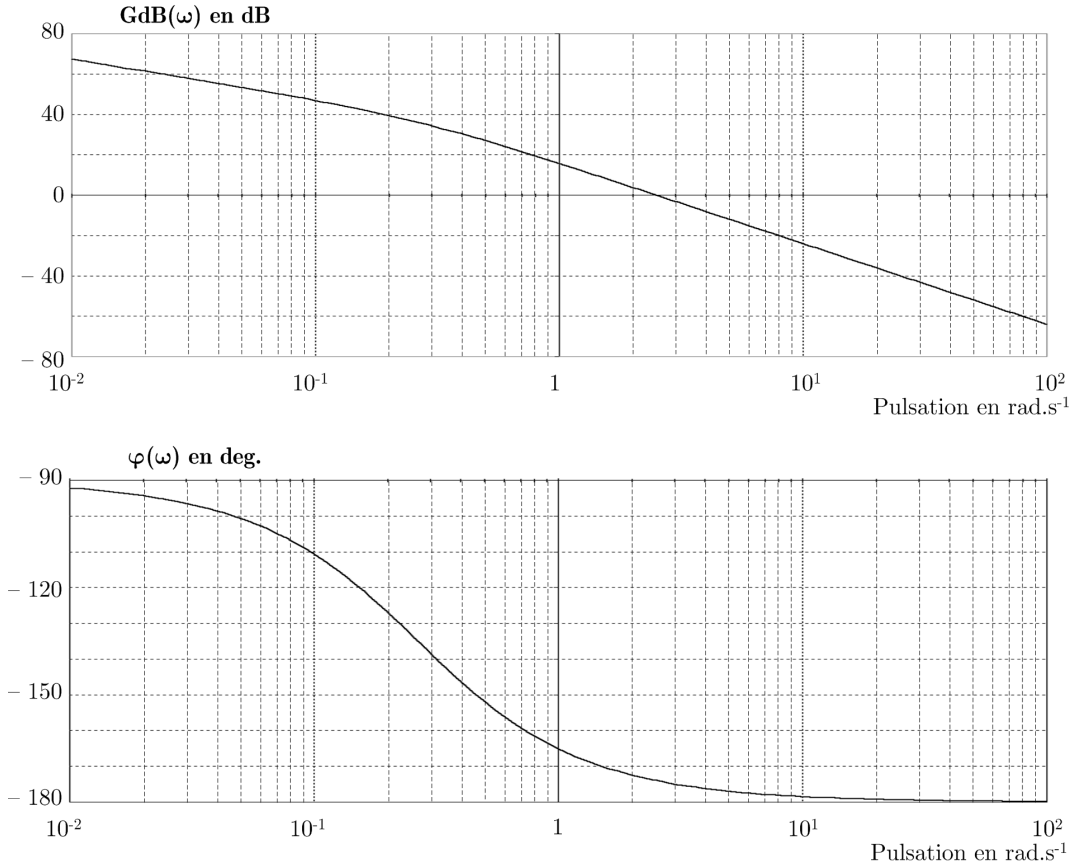


Figure 16 Diagramme de Bode de la fonction de transfert $G(p)$

Q 18. Justifier, à partir de ce diagramme, que le système en boucle fermée est stable.

Q 19. Déterminer la valeur de l'écart en régime stationnaire pour un échelon de consigne d'amplitude θ_0. Conclure quant au respect du cahier des charges.

Afin de respecter le temps d'exécution, le cahier des charges impose que la pulsation au gain unité de la boucle ouverte ω_u soit au moins égale à 4 rad $\cdot$ s^{-1}.

Q 20. Déterminer la valeur minimale du gain K du correcteur à action proportionnelle assurant la validation du critère de performance en rapidité. En déduire la valeur de la marge de phase $M\varphi$ pour cette valeur de K. Conclure quant au respect du cahier des charges.

V.C.2) Proposition d'une nouvelle correction

Q 21. Que devrait permettre l'action correctrice afin de respecter l'ensemble des spécifications du cahier des charges ?

La finalisation de la synthèse de cette commande nécessite l'étude de sensibilité aux différentes perturbations.

V.D – Limite de l'étude : robustesse de la commande synthétisée

L'étude menée aboutit à la définition d'un modèle de connaissance constitué de trois équations différentielles et à la synthèse d'une loi de commande respectant les spécifications du cahier des charges. Dans ce modèle, dit nominal, les paramètres physiques sont explicitement exprimés et ne sont sujets à aucune incertitude. Ce cas, intéressant lors de la pré-synthèse des lois de commande, doit être complété par l'étude de l'influence des incertitudes sur les performances du bras motorisé. Afin de garantir les performances du bras motorisé, il est donc nécessaire de vérifier la robustesse de la commande synthétisée à partir du modèle nominal c'est-à-dire de caractériser l'impact des incertitudes sur le respect des spécifications du cahier des charges.

On distingue les *incertitudes paramétriques* qui définissent les écarts entre les valeurs nominales et réelles des paramètres et les *incertitudes associées au mode d'utilisation*.

Le système ADVIA WorkCell® est conçu pour utiliser différents tubes d'où la nécessité de vérifier la robustesse de la commande synthétisée lors de ces changements de tubes, changements qui induisent une modification de la masse embarquée en bout de bras. La masse m_3 de l'Ensemble bras + pince + tube **3** peut prendre trois valeurs : $m_{30} = 1$ kg (masse nominale), $m_{31} = 0{,}9$ kg et $m_{32} = 1{,}1$ kg.

Les courbes de la figure 17 définissent le comportement de la pince et du tube, pour les trois situations, lors du même mouvement de translation de l'ensemble **3** pour une consigne de 0,3 m.

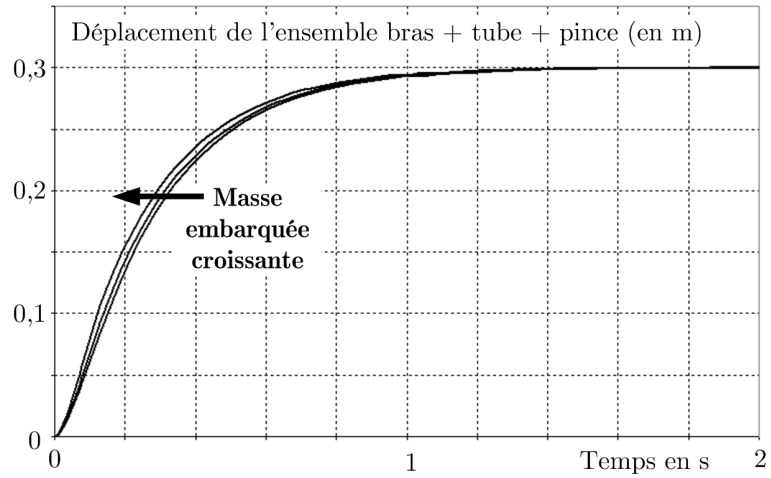


Figure 17 Comportement en position de l'ensemble **3** pour différents tubes

Q 22. Lors d'une variation de la masse embarquée de ±10%, les performances en terme de stabilité et précision de la commande de l'actionneur $[M_3]$ associé à l'axe N° 3 sont elles dégradées ? Si on considère que cette commande a peu d'influence sur la rapidité, cette commande peut elle être considérée comme robuste ?

VI Synthèse et conclusion

Q 23. Proposer une synthèse décrivant et justifiant la démarche mise en œuvre dans le questionnement de ce sujet pour répondre à la problématique de la « préservation de la stérilité de la zone de stockage lors des transferts de tube entre le module de stockage et le convoyeur à recirculation ». Une réponse utilisant un outil de la communication technique (par exemple organigramme) est souhaitée.

• • • FIN • • •

Concours Centrale-Supélec 2010

NOM : _____ PRÉNOMS : _____

Signature :

Composition de **S2I** Filière **MP**

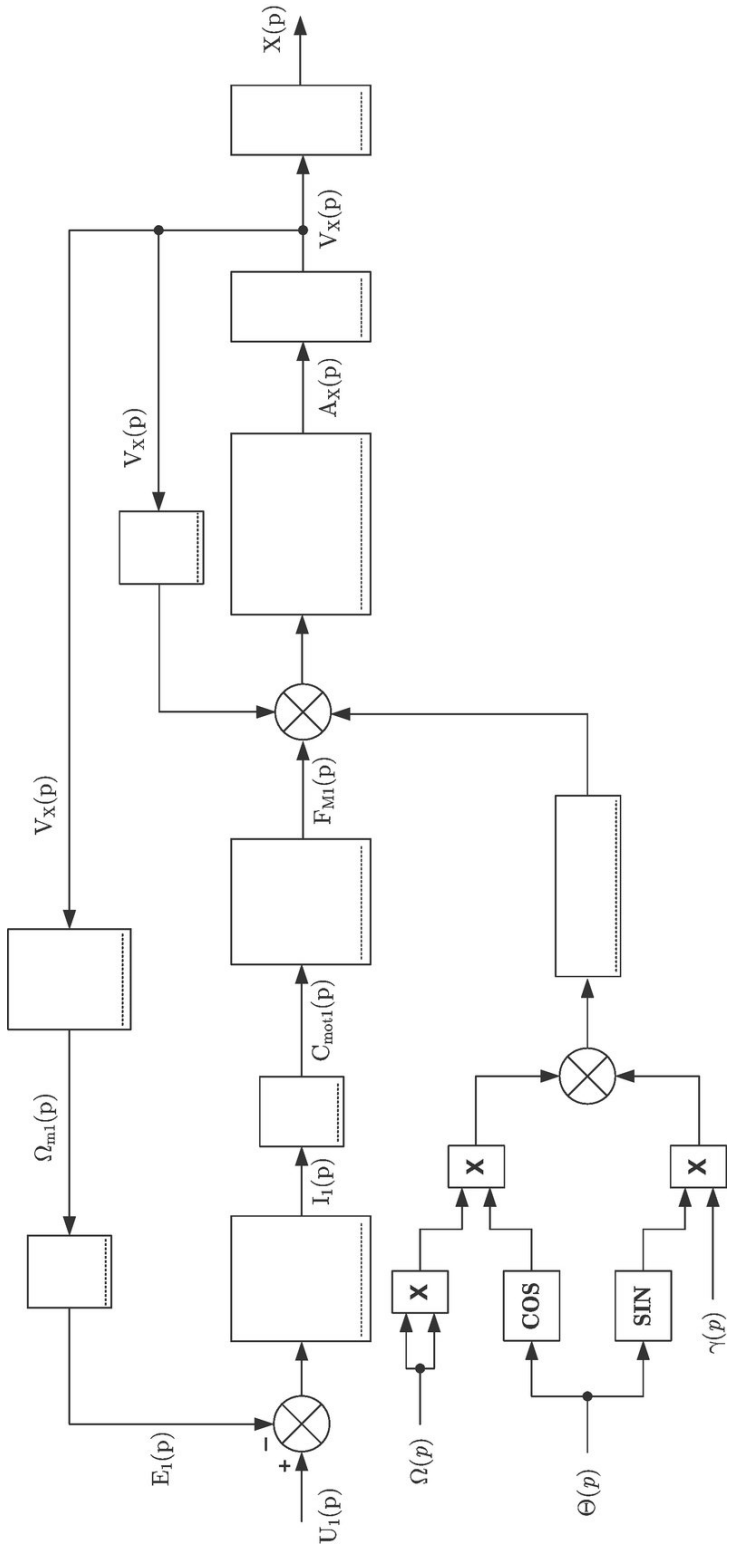
Ne rien porter sur cette feuille avant d'avoir rempli complètement cet en-tête

NUMÉRO DE PLACE

Document réponse : schéma bloc de l'actionneur $[M_1]$ associé à l'axe n° 1

Notations

- $A_X(p)$, $V_X(p)$ et $X(p)$ représentent respectivement l'accélération, la vitesse et la position du solide **1** par rapport au solide **0** ;
- $\gamma(p)$, $\Omega(p)$ et $\Theta(p)$, représentent respectivement l'accélération angulaire, la vitesse angulaire et la position angulaire du solide **2** par rapport au solide **1** ;
- les symboles « SIN » et « COS » représentent les fonctions trigonométriques sinus et cosinus ;
- le symbole « × » représente le symbole de multiplication de deux fonctions ;
- les autres symboles correspondent aux transformées de Laplace des fonctions temporelles : elles sont notées en majuscule (ainsi $\Omega_{m1}(p) = L[\omega_{m1}(t)]$ où L représente la fonction « transformée de Laplace »).



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de MP chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/mp