Concours Centrale-Supélec, France

Session 2010, filière TSI

Sciences industrielles 1

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : locomotion du robot à l'intérieur du tube
- Partie II : asservissement en position de la tige
- Partie III : blocage du robot par le module supérieur
- Partie IV : analyse d'un pas et contrôle des tubes

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/tsi/2010/si1

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

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

S2I 1

TSI

2010

4 heures Calculatrices autorisées

Robot d'inspection tubulaire

En France, la production d'énergie électrique assurée par E.D.F. est à 88% d'origine nucléaire. Il y a 58 réacteurs nucléaires répartis sur 18 sites.

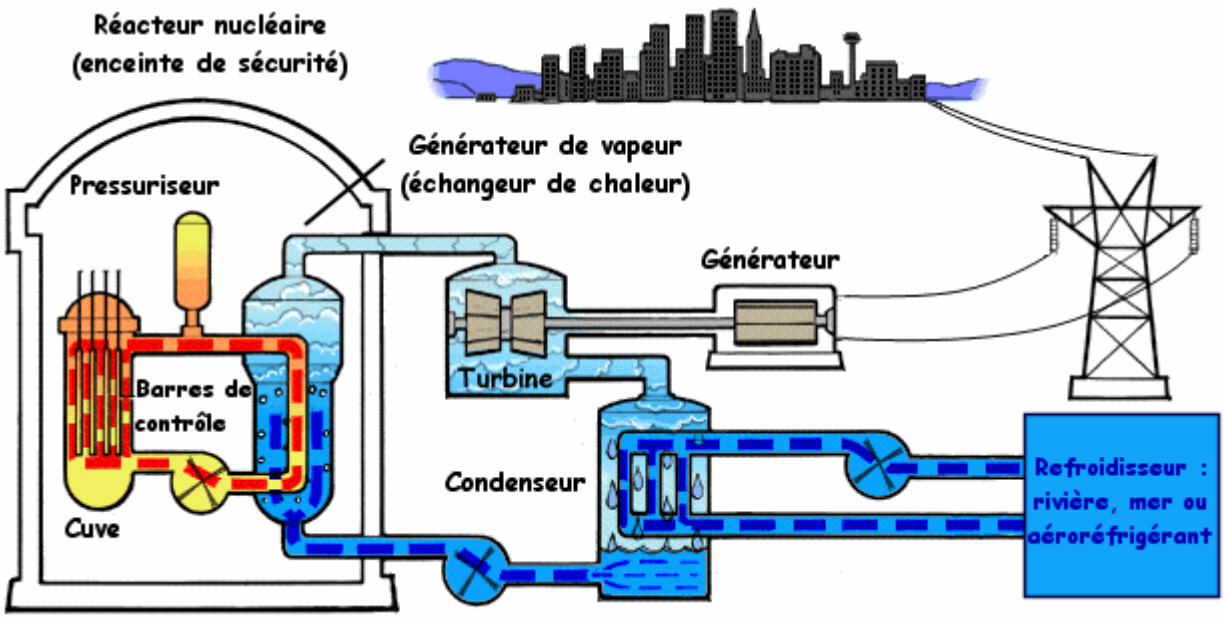


Figure 1 Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire

Le générateur de vapeur est l'élément où se produit l'échange de chaleur entre le circuit primaire (radioactif) et le circuit secondaire (non radioactif). La barrière entre les deux circuits est matérialisée par des tubes de diamètre intérieur variant entre 17 mm et 20,5 mm, et d'épaisseur 1 mm. Ils sont en forme de U et sont disposés verticalement en forêt de 3000 à 5000 éléments. La différence de pression de part et d'autre de l'enveloppe en fonctionnement est d'une centaine de bars.

En conséquence, une attention toute particulière est accordée à la vérification de l'étanchéité des tubes au cours des arrêts de tranche.

Différents procédés sont utilisés pour contrôler les tubes : remplissage du tube par de l'hélium pour vérifier leur étanchéité, utilisation de courants de Foucault pour mesurer l'état mécanique des tubes.

Les tubes présentant des défauts, dus par exemple à la corrosion ou à des fissures, sont obstrués pour éviter que le fluide du circuit primaire pollue le circuit secondaire.

C'est pour effectuer ces vérifications qu'un laboratoire de recherche de l'INSA de Lyon s'est vu confier la réalisation du prototype d'un robot susceptible de progresser à l'intérieur de ces tubes verticaux.

Le principe de locomotion retenu s'inspire du mouvement de déplacement du ver (inchworm). Ce type d'avance nécessite la présence d'au moins trois parties distinctes qui assurent chacune une fonction d'élongation ou de blocage. Les deux modules de blocage assurent successivement le maintien du robot dans le tube et sont séparés par le module d'élongation qui réalise le pas d'avance.

Cahier des Charges (extrait)

- Les tubes ont un diamètre intérieur compris entre 17 et 20,5 mm, ils sont verticaux et rectilignes (on n'étudie pas la locomotion dans les parties cintrées).
- Le robot est capable de monter ou descendre une charge de masse $M = 2$ kg dans un tube vertical. Cette charge, constituée par les différents modules nécessaires à l'inspection des tubes est soit poussée, soit tirée.
- La vitesse d'avance variable doit permettre des déplacements à la vitesse maximale de 2 mm $\cdot$ s^{-1}.

Description du robot

Le robot est composé de trois modules :

- un module de blocage supérieur,
- un module d'élongation,
- un module de blocage inférieur.

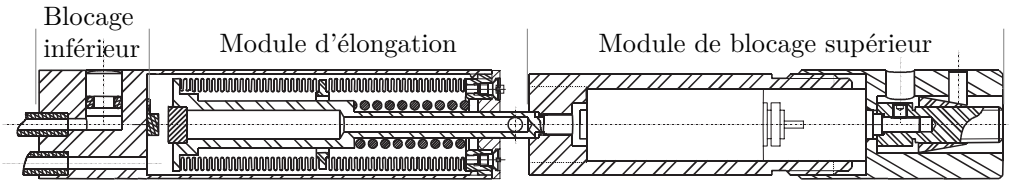


Figure 2 Dessin du robot complet

Précision importante

Le robot est un micro système de longueur maximale $L = 120$ mm et de diamètre $\phi = 15$ mm, sa masse totale à vide est de 51 g. Il est conseillé de se référer à ces indications tout au long de la résolution afin d'analyser avec pertinence les résultats numériques obtenus.

Module de blocage supérieur (figure 3)

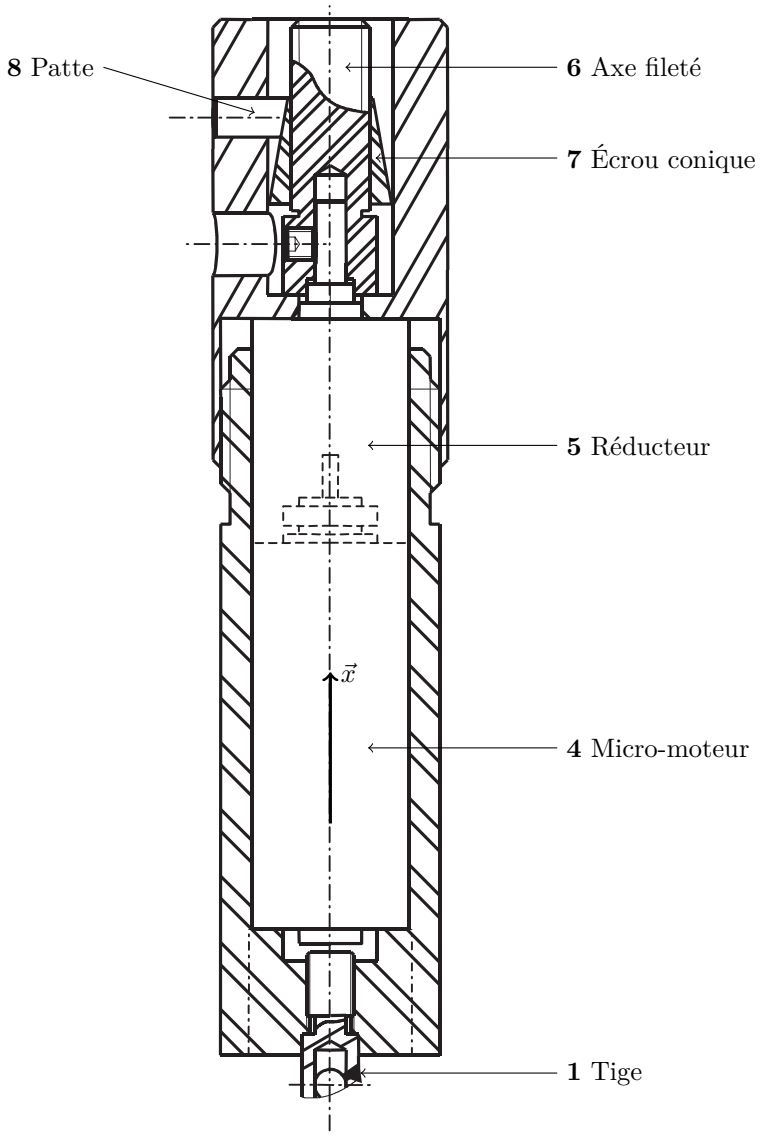


Figure 3 Module de blocage supérieur

Le moteur électrique **4** entraîne en rotation l'axe fileté **6** par l'intermédiaire du réducteur **5**. La rotation de l'axe **6** provoque la translation verticale de l'écrou conique **7** et la sortie des trois pattes de blocage **8** (disposées à 120°) qui viennent en appui sur le tube.

Le sens de rotation du moteur détermine la sortie des pattes (dévissage) ou la rentrée de celles-ci (vissage), un système élastique (non représenté) assurant alors le rappel des pattes.

Module d'élongation (figure 4)

Le module d'élongation comporte les éléments suivants :

- la tige **1**,
- le cylindre **2**,
- des éléments élastiques que sont le ressort et le soufflet.

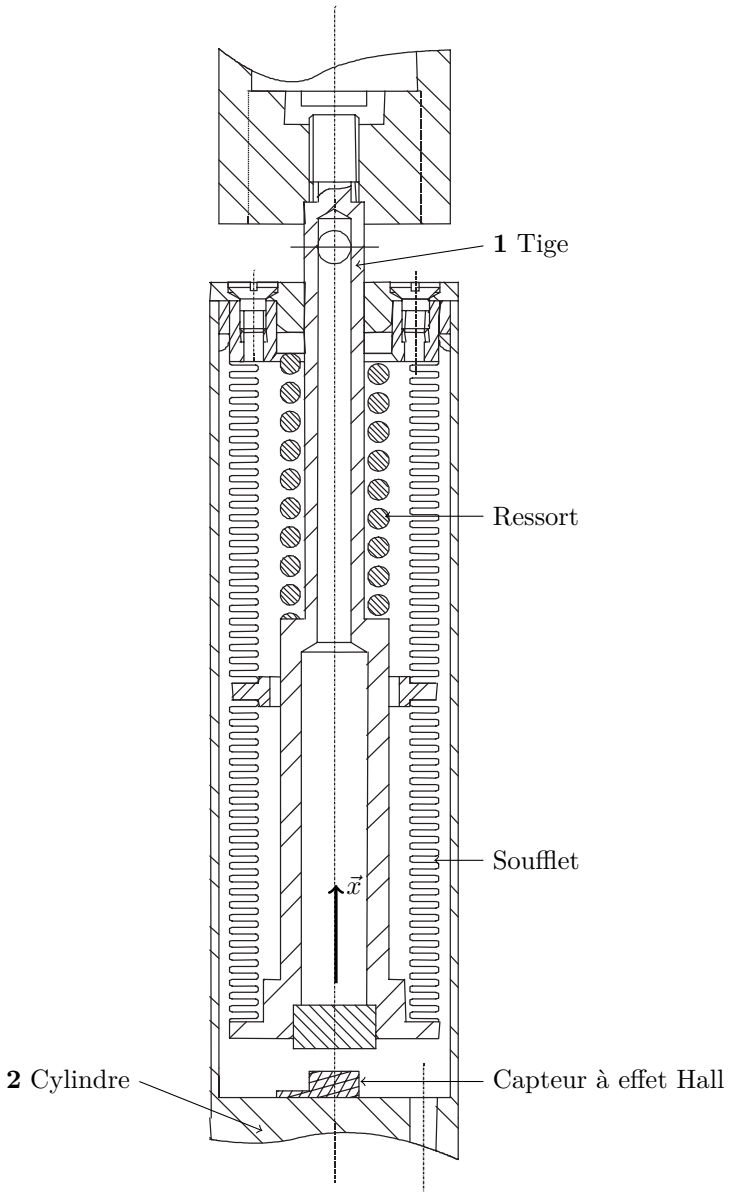


Figure 4 Module d'élongation

L'envoi d'air comprimé dans ce module fait sortir la tige **1** et comprime les éléments élastiques (éloignement relatif des modules de blocage inférieur et supérieur).

En absence d'air comprimé dans le module, le ressort se détend (rapprochement des modules de blocage inférieur et supérieur)

Module de blocage inférieur (figure 5)

L'envoi d'air comprimé fait sortir les trois pattes inférieures **9** qui viennent se plaquer contre la paroi du tube. En l'absence de pression, une bague fendue élastique entoure le corps du robot en couvrant l'extrémité des pattes et sert de ressort de rappel (cet élément ne figure pas sur le dessin).

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- décrire et analyser le fonctionnement du robot ;
- modéliser la chaîne d'énergie et identifier certains paramètres caractéristiques ;
- modéliser le comportement global du robot ;
- évaluer les performances.

Ces quatre objectifs sous-tendent respectivement les quatre parties du sujet qui sont relativement indépendantes.

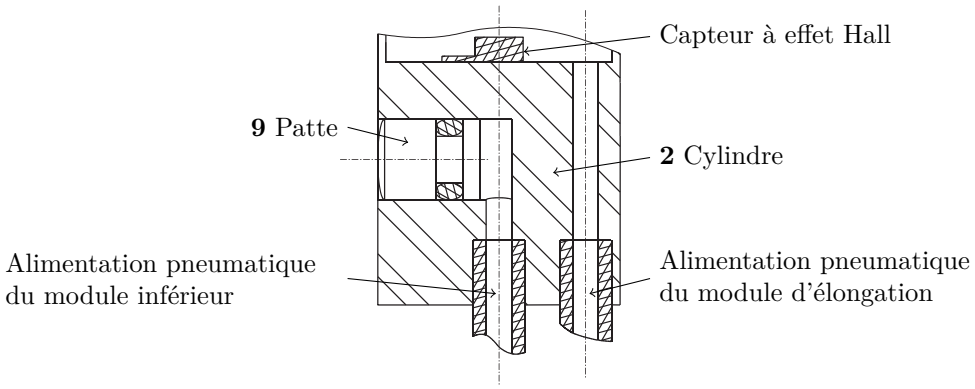


Figure 5 Module de blocage inférieur

I Étude de la locomotion du robot à l'intérieur du tube

La locomotion résulte de l'alternance des blocages successifs des modules inférieur ou supérieur et des mouvements (montée ou descente) de la tige **1** par rapport au corps **2**.

La séquence d'avance est réversible et permet l'inversion du sens de déplacement du robot.

Objectif

Afin d'évaluer la pertinence de la solution retenue au regard de la précision de 50 μm imposée par le cahier des charges, on envisage l'analyse du fonctionnement et le calcul du pas de déplacement δ du robot pour un cycle, mesuré à partir du déplacement du module inférieur dans le tube.

Notations et hypothèses (on se réfère à la figure 6)

Le repère $\{O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}\}$ est lié au tube ; $(O, \vec{x})$ étant associé à l'axe du tube est supposé vertical ascendant, le point O est un point du tube.

L'accélération de la pesanteur est notée g ($g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$).

O est un point du tube choisi comme origine. Le point de **2** noté A est tel que $\overrightarrow{OA} = x\,\vec{x}$ (cf figure 6-b).

La pression (notée p_e) s'exerce dans la chambre formée par l'extérieur du soufflet et l'intérieur du corps **2** ; elle passe alternativement de la valeur initiale p_0 à la valeur finale p_1. On supposera que la section de cette chambre est S, la section du soufflet est supposée égale à celle de l'intérieur du corps **2**. On raisonnera en pression effective : on ne tiendra pas compte de la pression régnant à l'intérieur du soufflet.

Les masses de **1** et **2** sont respectivement notées M_s et M_i.

Le soufflet et le ressort de traction sont équivalents à un ressort unique, monté entre **1** et **2**, noté $\mathcal{R}$, dont la raideur est K_e. La masse de ce ressort équivalent est supposée négligeable.

Le torseur des actions du ressort $\mathcal{R}$ sur **1** est

$$\{\mathcal{R} \to 1\} = \left\{ \begin{array}{c} -K_e\, x\vec{x} \\ \vec{O} \end{array} \right\}_0$$

x désignant le déplacement de l'extrémité du ressort compté à partir de la position initiale (position d'équilibre) pour laquelle A et O sont confondus ($x = 0$) et pour la valeur de la pression $p_e = p_0$.

I.A – Analyse du fonctionnement du robot, calcul du pas de déplacement δ et évaluation de la pertinence du mode de commande

I.A.1) On veut calculer le pas de déplacement du robot : on envisage pour cela le comportement du système lors d'un cycle de fonctionnement, selon l'immobilisation de la tige **1** ou du corps **2** par rapport au tube et avec une évolution de la pression p_e vers les valeurs p_0 ou p_1.

a) Le corps **2** est fixe dans le tube **0**, le solide **1** est mobile, on fait passer la pression p_e de la valeur p_0 à la valeur p_1 (figure 6-b). Donner l'expression du raccourcissement δ_1 du ressort à l'équilibre (soit aussi la montée de 1 égale à δ_1) en fonction de M_s, p_1, S, K_e, g. En déduire l'expression de p_0 en fonction de M_s, S, g.

b) Le coefficient de frottement visqueux dans la liaison entre **1** et **2** est b et l'on note $\vec{R}_v(2 \to 1) = -b\dot{x}\vec{x}$ la résultante des actions de frottement. Montrer que l'équation de mouvement du solide **1**, lors de l'évolution précédente et pour une valeur de la pression égale à p_e, est donnée par $M_s\ddot{x} + b\dot{x} + K_e x = (p_e - p_0)S$.

I.A.2) Le corps **2** est libéré, le solide **1** est fixe dans **0**, la pression reste égale à la valeur p_1 (figure 6-c). Donner, à l'équilibre du solide **2**, l'expression du déplacement δ_2 par rapport à **1** en fonction de M_i, p_1, S, K_e et g.

I.A.3) Justifier en s'aidant de la figure 6 que :

a) nécessairement entre les deux immobilisations de **1** et **2**, il y a évolution de **2** vers une nouvelle position d'équilibre par rapport à **1** (figure 6-b et figure 6-c) ;

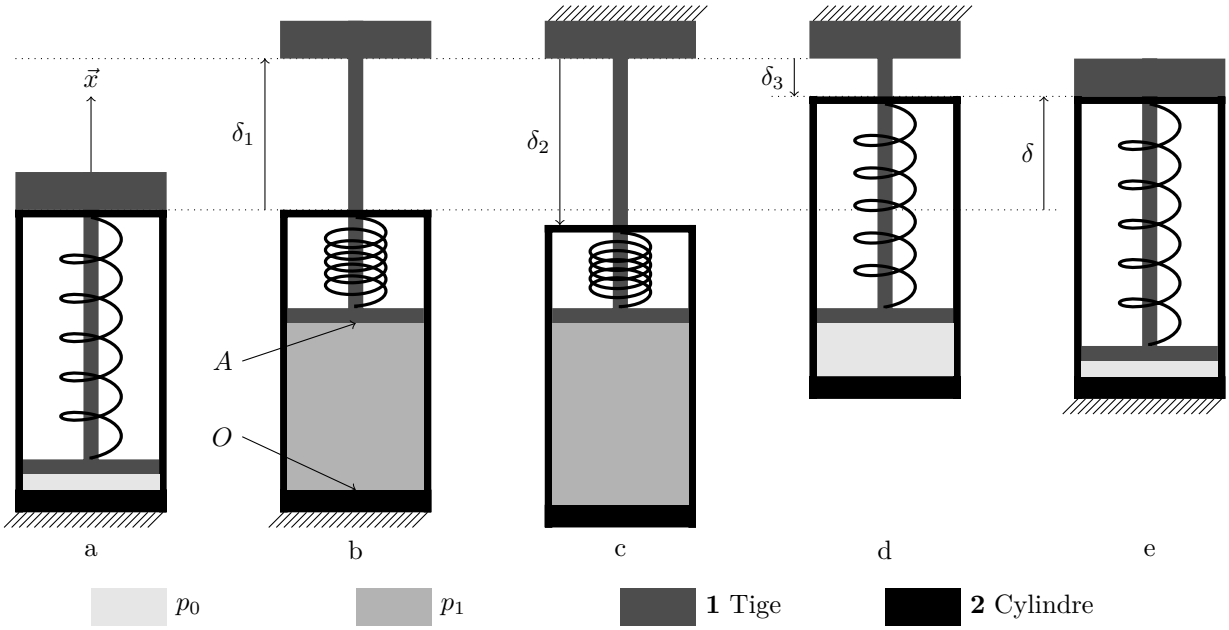


Figure 6 Évolution du robot au cours d'un cycle de fonctionnement (les déplacements sont comptés algébriquement)

b) si on fait évoluer, à partir de la position précédente, la pression de p_1 vers la valeur initiale p_0, le déplacement du solide **2** par rapport à **1** devient égal à δ_3. On donnera l'expression de δ_3 en fonction de M_i, p_0, S, K_e et g (figure 6-d).

I.A.4) Le corps **1** devient libre, le solide **2** redevient fixe dans **0** (fin du cycle), la pression reste égale à la valeur p_0 (figure 6-e). Montrer que le pas de déplacement δ du solide **2** pour un cycle de fonctionnement est alors donné par l'expression

$$\delta = \frac{(p_1 - p_0)S - (M_i + M_s)g}{K_e}$$

Le cahier des charges impose une précision de 50 μm sur la valeur du pas. Les masses M_i et M_s sont comprises entre 0 et 2 kg selon le travail effectué par le robot. Faire l'application numérique et indiquer les grandeurs sur lesquelles il est possible d'agir pour conserver la valeur du pas δ constante quelle que soit la masse transportée.
On donne : $K_e = 9{,}6$ N $\cdot$ mm^{-1}, $S = 89$ mm^2, $M_i = 2$ kg, $M_s = 30$ g, $\Delta p = p_1 - p_0 = 6$ bar (1 bar $= 10^5$ Pa).

I.B – Étude et modélisation du capteur de position

Objectif

Analyser les contraintes inhérentes à ce type de capteur du point de vue du fonctionnement mais aussi du point de vue commande en vue de la modélisation de la chaîne d'information.

La première partie a montré qu'il était possible d'obtenir un déplacement du robot en agissant sur les pressions p_0 et p_1 d'alimentation. Elle a montré aussi que les performances demandées au système imposent la présence d'un capteur de position. La solution retenue utilise un capteur à effet Hall (figure 7) qui mesure la valeur du champ magnétique capté dans une direction. Le champ magnétique est créé par un aimant permanent, la valeur du champ est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare le capteur de l'aimant.

Notation : on appelle d, la distance entre le capteur et l'aimant permanent. L'information délivrée par le capteur est alors mise en forme par une carte interface afin d'obtenir une tension v_{Hall} qui varie en fonction de la distance d suivant la caractéristique idéalisée fournie figure 8.

Le capteur à effet Hall a été étalonné à l'aide d'un banc de télémétrie laser dont la précision est de l'ordre du micromètre. Cet étalonnage a été effectué en commandant des déplacements du module supérieur.

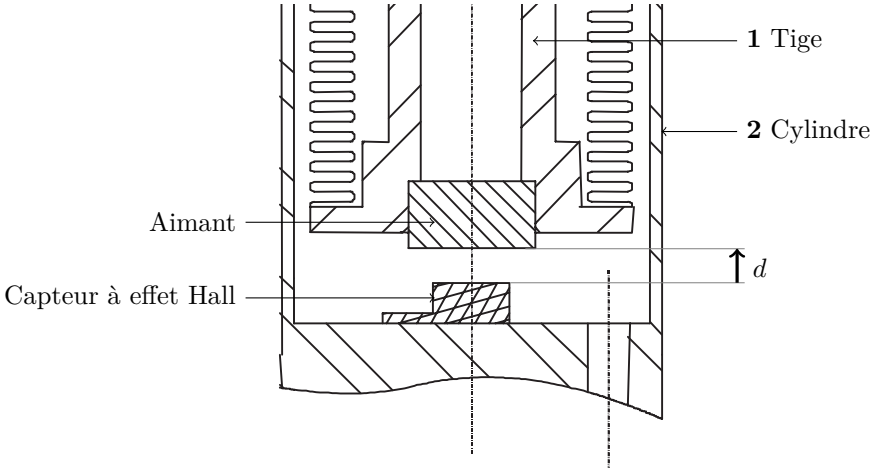


Figure 7 Implantation du capteur de position

I.B.1) Indiquer les causes des phénomènes de saturation observés sur la figure 8. En déduire que l'utilisation de capteur n'est possible que sur une plage $D_m < d < D_M$. Donner les valeurs de D_m et D_M.

I.B.2) Au voisinage du capteur, les éléments du robot sont réalisés dans un alliage léger de perméabilité magnétique relative égale à 1. Pourquoi est-il indispensable d'utiliser un matériau ayant cette caractéristique au voisinage du capteur ?

On envisage le conditionnement de la tension aux bornes du capteur v_{Hall}. Le montage doit permettre le décalage et l'amplification par un facteur deux et le filtrage de la tension v_{Hall} (figure 9)

a) Compte tenu de la plage d'utilisation du capteur définie à la question I.B.1 et des caractéristiques de la carte d'interface (décalage de -5 V et amplification d'un facteur 2), indiquer la plage de variation de la tension V_F (tension de sortie du conditionneur, figure 9) lorsque d varie de D_m à D_M.

Le convertisseur A/N est un convertisseur 16 bits, -10 V/ $+$ 10 V. Quel est l'intérêt d'amplifier et de décaler la tension v_{Hall} ?

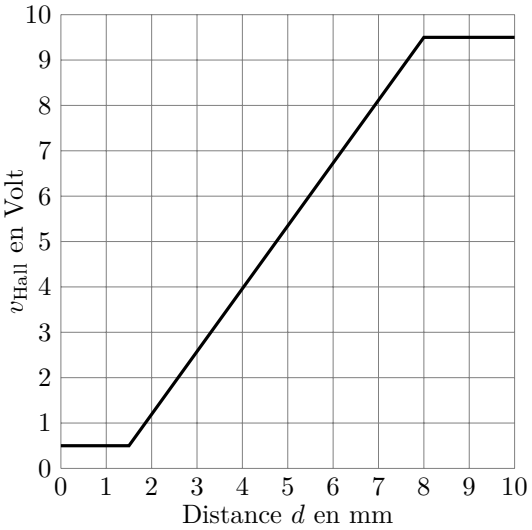


Figure 8 Courbe $v_{\text{Hall}} = f(d)$

b) La précision fixée par le cahier des charges sur le déplacement est de 50 μm ; conclure sur la pertinence de la solution technologique retenue.

I.B.3) Le conditionnement du signal se fait selon le montage de la figure 9 :

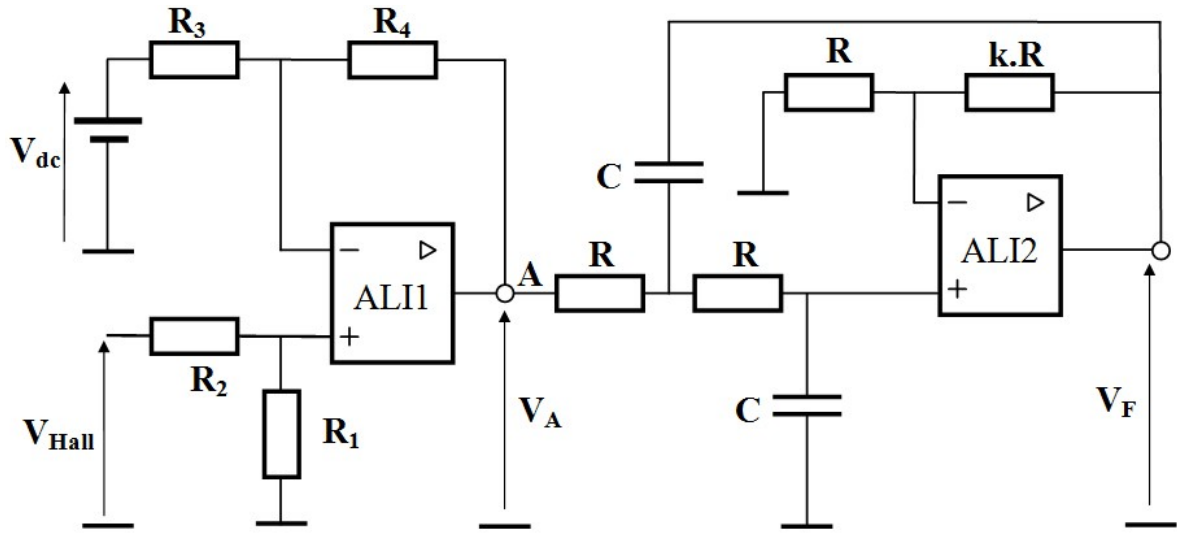


Figure 9 Conditionneur du signal issu du capteur à effet Hall

Les amplificateurs linéaires intégrés sont idéaux. On utilise le formalisme de Laplace dans l'expression des fonctions de transfert, on note p la variable de Laplace et t la variable temporelle.

a) Exprimer $V_A(p)$ en fonction de $V_{\text{Hall}}(p)$ et de $V_{\text{dc}}(p)$. Choisir les valeurs des résistances et de la tension continue V_{dc} afin d'avoir $v_A(t) = v_{\text{Hall}}(t) - 5$.

b) Soit $H(p) = V_F(p)/V_A(p)$. Déterminer H_0 le gain statique de $H(p)$, choisir k afin d'avoir $H_0 = 2$.

c) Déterminer la fonction de transfert $H(p)$. On présentera $H(p)$ sous la forme

$$H(p) = \frac{H_0}{1 + 2m_0\dfrac{p}{\omega_0} + \left(\dfrac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

Exprimer ω_0 en fonction des éléments du montage et donner la valeur de m_0. Justifier la nature de ce filtre et le choix d'une fréquence de coupure f_0 de 1,5 kHz (voir figure 10). Quel est l'ordre de ce filtre ?

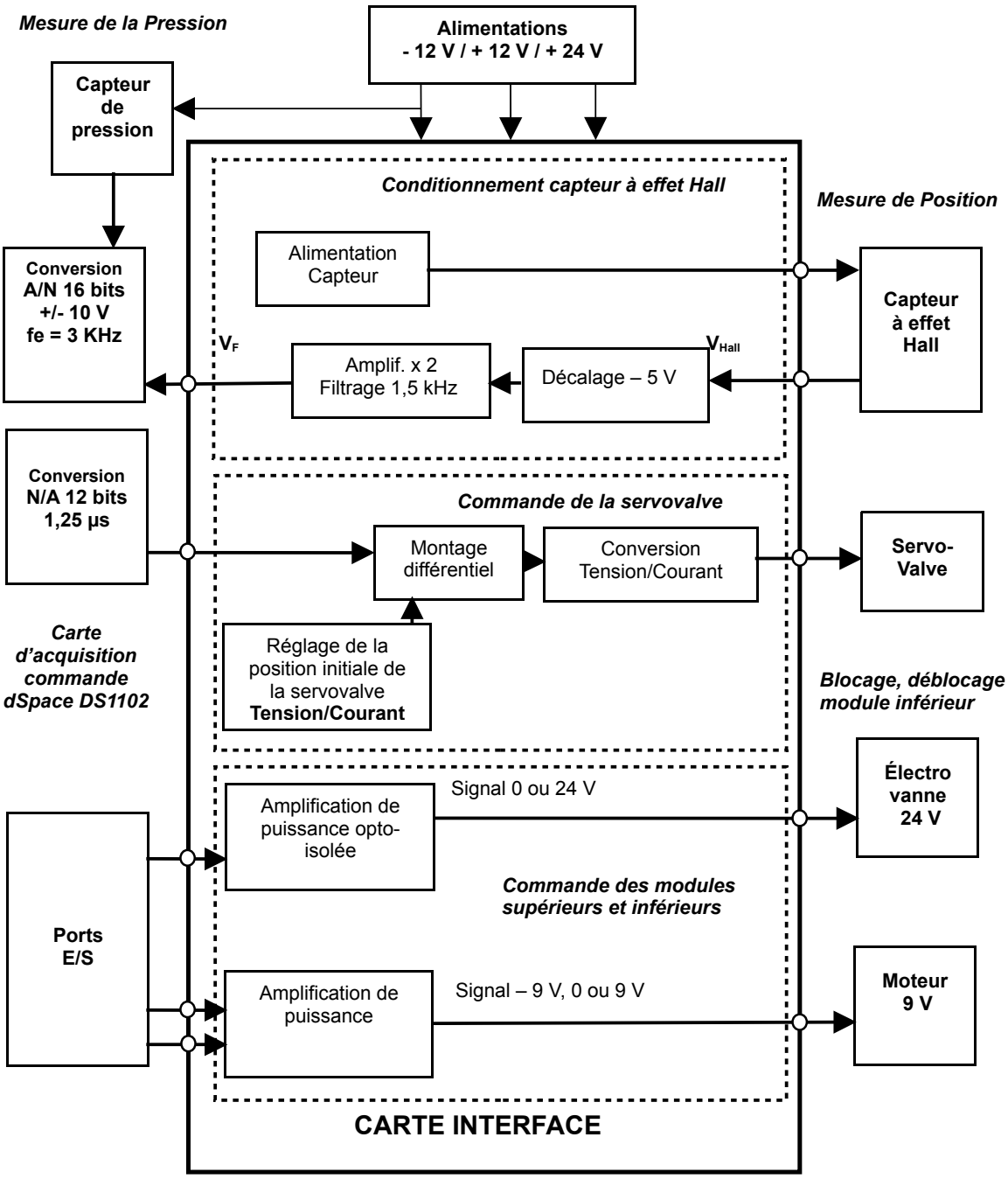


Figure 10 Schéma structurel de la commande du robot

d) Choisir la valeur de C pour une valeur de $R = 4{,}7$ kΩ.

e) À une constante près, la grandeur d représente la position x du robot. Pour l'étude du robot en régime variable, on a donc $D(p) = X(p)$. On modélise l'ensemble du capteur de position d'entrée $X(p)$ et de sortie $V_F(p)$ par un gain pur $K_{\text{Hall}} = V_F(p)/X(p)$ (unité $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$). En utilisant la caractéristique de la figure 8, donner la valeur de K_{Hall}.

II Modélisation de l'asservissement en position de la tige 1

Objectif

La modélisation de la chaîne d'énergie (actionneur, puis servovalve) et l'étude partielle de son comportement. L'identification de certains paramètres décrivant la modélisation intégrant la boucle d'asservissement.

Notations :

- $i_e(t)$ courant d'alimentation de la servovalve (Ampère), sa transformée est $I_e(p)$;
- $p_e(t)$ pression d'alimentation de l'actionneur (Pascal, 1 bar $= 10^5$ Pascal), sa transformée est $P_e(p)$;
- $x(t)$ position de la tige (mètre), sa transformée est $X(p)$.

La chaîne d'énergie est constituée des éléments décrits figure 11.

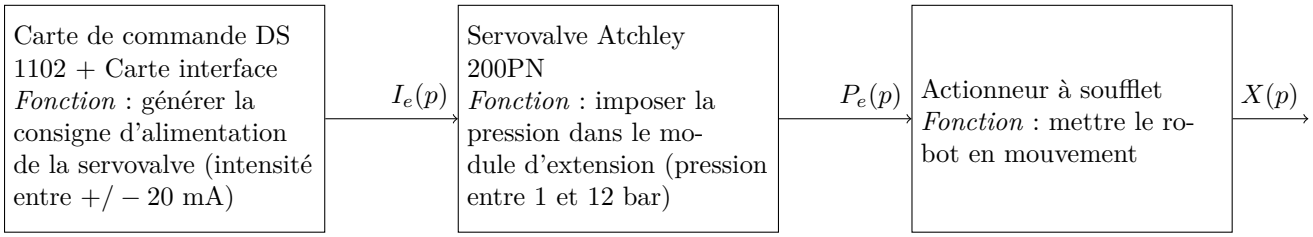


Figure 11 Chaîne directe de la boucle d'asservissement de position

II.A – Modélisation de l'actionneur à soufflet et identification de certains de ses paramètres

Le comportement de l'actionneur à soufflet est décrit par l'équation temporelle obtenue en I.A.1 b :

$$M_s\ddot{x} + b\dot{x} + K_e x = (p_e - p_0)S$$

- M_s : Masse totale supérieure en mouvement en kg
- S : Section utile du soufflet $S = 89 \times 10^{-6}$ m^2
- K_e : Raideur du module d'élongation en N $\cdot$ m^{-1}
- b : Coefficient de frottement visqueux en N $\cdot$ m^{-1} $\cdot$ s
- p_e : pression d'alimentation de l'actionneur
- p_0 : pression initiale

On supposera les conditions initiales nulles, on rappelle que le terme $p_0 S$ étant constant, il est sans influence sur le comportement de l'actionneur en régime variable.

Le schéma bloc modélisant l'actionneur (module d'extension) a la structure donnée figure 12.

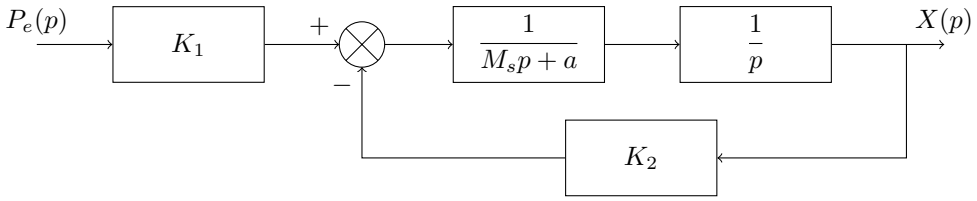


Figure 12 Modélisation de l'actionneur à soufflet

II.A.1) À partir de l'équation temporelle obtenue en I.A.1 b et rappelée ci-dessus, établir l'équation symbolique en p qui décrit le fonctionnement du module d'élongation. Exprimer alors la fonction de transfert $H_1(p) = X(p)/P_e(p)$.

II.A.2) Exprimer la fonction de transfert $H_1(p) = X(p)/P_e(p)$ à partir du schéma de la figure 12.

II.A.3) Comparer les deux formes de $H_1(p)$ obtenues et exprimer K_1, K_2 et a en fonction de S, K_e et b.

II.A.4) Mettre la fonction de transfert sous la forme

$$H_1(p) = \frac{H_{10}}{1 + 2\xi\frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

Exprimer H_{10}, ω_0 et ξ en fonction de M_s, S, K_e et b.

La réponse du module à un échelon de pression pour $M_s = 30$ g est donnée figure 13.

II.A.5) À partir de l'expression de H_{10} obtenue en II.A.4 et du relevé figure 13, déterminer la valeur numérique de K_e, raideur du module d'élongation en N $\cdot$ m^{-1}.

II.A.6) Pour un système du second ordre de coefficient d'amortissement $\xi < 1$, on a la relation

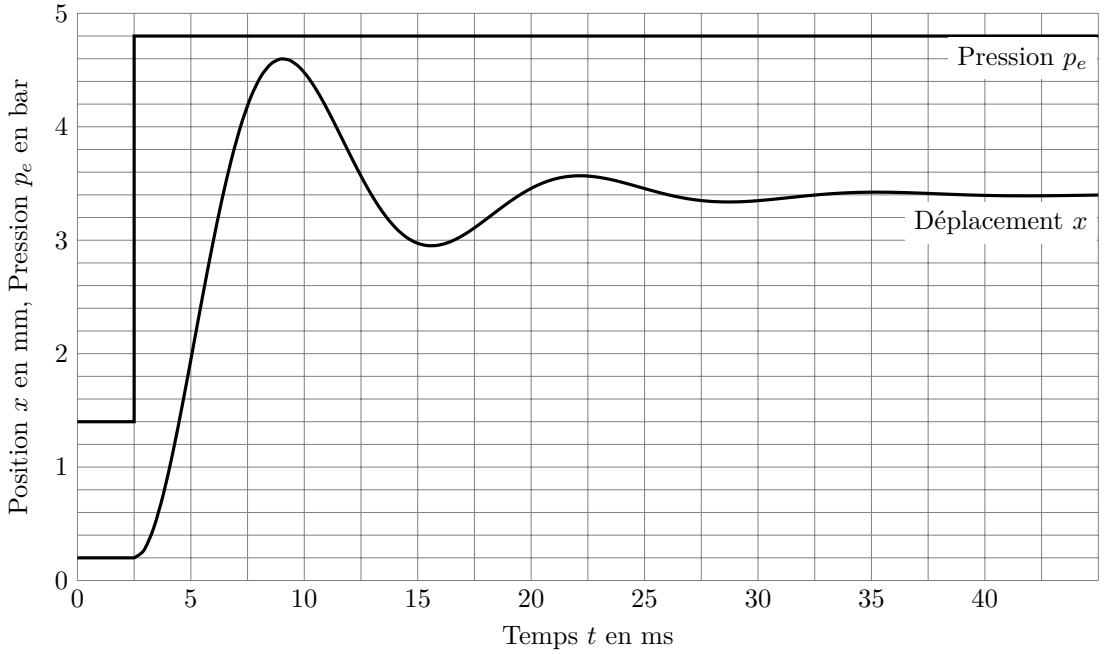


Figure 13 Réponse en déplacement en réponse à un échelon de pression

$$D_{1\%} = e^{\frac{-\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

où $D_{1\%}$ est l'amplitude du premier dépassement exprimée en %. À l'aide du relevé de la figure 13, déterminer la valeur du coefficient ξ. Utiliser l'expression de ξ obtenue en II.A.4 pour déterminer la valeur numérique de b, coefficient de frottement visqueux en $\mathrm{N \cdot m^{-1} \cdot s}$.

II.B – Modélisation de l'ensemble : servovalve associée à l'actionneur à soufflet

Les équations décrivant le comportement de la servovalve sont non linéaires. Pour simplifier, et en tenant compte du fait que la variation de volume de la chambre reste faible devant le volume à l'équilibre, on admettra un modèle linéarisé, décrivant le comportement simplifié de la servovalve autour d'un point d'équilibre.

Dans le domaine symbolique, ce comportement s'exprime par l'équation :

$$(p + a_1)P_e(p) = a_2 I_e(p) - a_3 p X(p)$$

On donne $a_1 = 10$ rad $\cdot$ s^{-1}, $a_3 = 35 \times 10^5$ Pa $\cdot$ m^{-1}.

Ces équations jointes à celles établies en II.A pour l'actionneur permettent d'obtenir le schéma-bloc de la figure 14 représentant le système (actionneur + servovalve) avec en entrée le courant et en sortie la position de la tige.

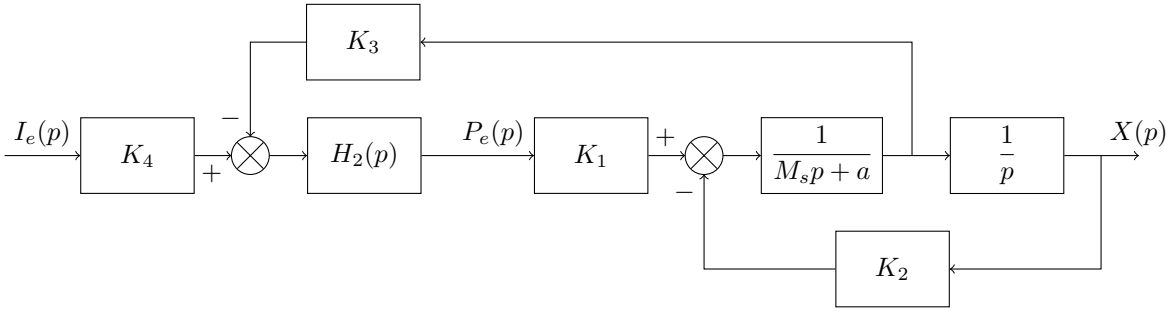


Figure 14 Modélisation de l'ensemble (servovalve + actionneur)

II.B.1) À partir de l'équation et du schéma de la figure 14, exprimer H_2, K_3 et K_4 en fonction de a_1, a_2 et a_3.

II.B.2) Montrer que le gain statique est donné par $X_0/I_{e0} = a_2 S/a_1 K_e$.

Indication, ne pas calculer la fonction de transfert complète de l'ensemble (servovalve + actionneur), utiliser les propriétés de l'intégrateur en régime statique.

À partir de la réponse à l'échelon d'intensité de la figure 15, donner la valeur de a_2 en Pa $\cdot$ s $\cdot$ A^{-1}.

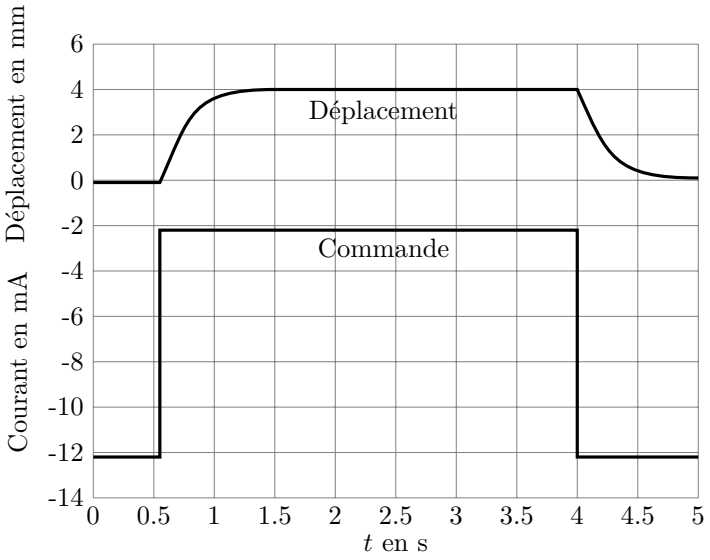


Figure 15 Réponse de l'ensemble (servovalve + actionneur)

Le schéma bloc représentant l'ensemble (servovalve + actionneur) intégré dans la boucle d'asservissement comportant le capteur (modélisé dans la partie I.B) et les cartes de commande et d'interface (figure 10) est donné figure 16.

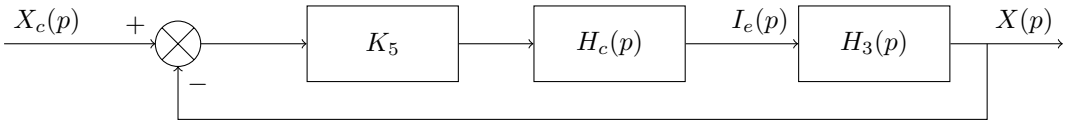


Figure 16 Schéma bloc du système bouclé

- K_5 : coefficient permettant de ramener la boucle à un retour unitaire. $K_5 = 5$ S.I.
- $H_c(p)$: fonction de transfert du correcteur

$$H_c(p) = K_c \frac{1 + 9 \times 10^{-2} p}{9 \times 10^{-2} p}.$$

- $H_3(p)$: fonction de transfert de la servovalve associée à l'actionneur.
- X_c : consigne de déplacement exprimée en mètres.

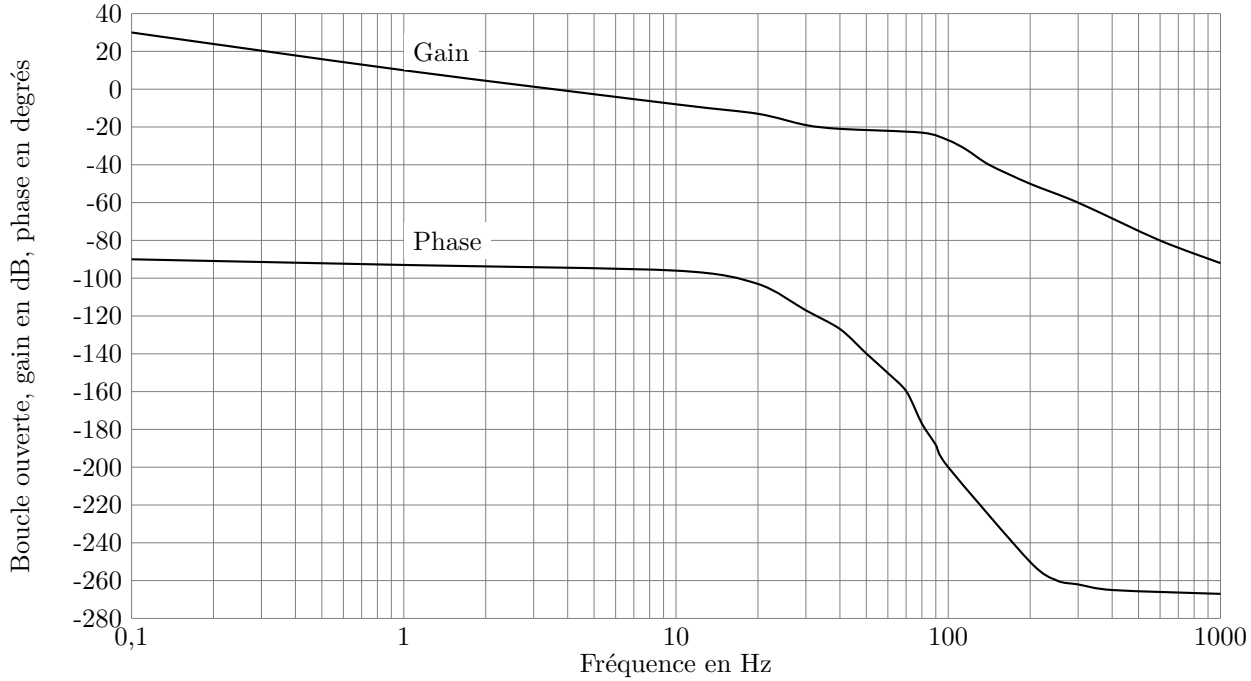


Figure 17 Diagramme de Bode de la FTBO

II.B.3) Le diagramme de Bode de la fonction de transfert $H_4(p) = K_5 H_c(p) H_3(p)$ est donné figure 17 pour $K_c = 1$. Le cahier des charges impose que le déplacement se produise sans dépassement. Pour respecter cette contrainte une marge de phase de 80° est suffisante, déterminer la valeur de K_c.

II.B.4) Pour le système corrigé, donner et justifier la valeur de l'écart de position pour une entrée constituée d'un échelon de 4×10^{-3} m.

III Étude du blocage du robot par le module supérieur

Objectif

Déterminer la forme du torseur statique de la liaison hélicoïdale avec frottement ainsi que le couple moteur nécessaire au blocage des pattes (dévissage) afin de valider le choix de l'actionneur et de calculer ultérieurement les performances globales du robot (partie IV).

On se placera dans toute cette partie en statique et les masses des composants de **1** tels que (pattes **8**, vis **6**, écrou **7**, réducteur **5**, moteur **4**) seront supposées négligeables devant la masse tractée M du solide **2**.

Notations :

- La liaison hélicoïdale entre **6** et **7** est une liaison avec frottement. Le contact entre la vis et l'écrou est supposé s'effectuer en un point M_6 de l'hélice moyenne de rayon r_m (hélice à droite). Le pas est $p_v = 1{,}5$ mm, l'angle d'hélice est α ($0 < \alpha < 90°$), l'angle d'inclinaison de profil est β (mesuré dans un plan de section droite normal à l'hélice moyenne). On note f_{67} le coefficient de frottement entre la vis **6** et l'écrou **7** et on posera dans la suite de l'étude $f_{67} = \tan\varphi' \cos\beta = 0{,}2$; la densité des actions de contact entre **6** et **7** est définie au point M_6 d'un filet par $d\vec{F}_{7\to6} = (-p\vec{n} + t\vec{\tau})dS$ avec $|t| = pf_{67}$ où dS est un élément de la surface de contact supposée réduite à l'hélice de rayon r_m. On pose $\overrightarrow{OM_6} = r_m\vec{u} + q_m\vec{x}$.
- $\{6/7\} = \left\{ \begin{array}{c} \dot\theta\vec{x} \\ h\dot\theta\vec{x} \end{array} \right\}_0$ h est le pas réduit ($h = p_v/2\pi$) $\qquad\qquad$ $\{7 \to 6\} = \left\{ \begin{array}{c|c} X_{76} & L_{76} \\ Y_{76} & M_{76} \\ Z_{76} & N_{76} \end{array} \right\}_{0}^{\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$
- Le réducteur **5** monté entre le moteur et la vis a pour rapport de transmission ρ ($\rho = 135$) et pour rendement η ($\eta = 65\%$). Le moteur est un moteur Portescap 08G61. On note les actions développées par le moteur et le réducteur :

$$\{M_{\text{moteur}} \to 5\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ -C_m\vec{x} \end{array} \right\}_0 \qquad \text{et} \qquad \{5 \to 6\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ -C_M\vec{x} \end{array} \right\}$$

- La résultante des efforts exercés par les pattes $\mathbf{8}_1$, $\mathbf{8}_2$, $\mathbf{8}_3$ sur l'écrou **7** est notée $\vec{R}(8 \to 7) = -F\vec{x}$.
- On se place dans le cas du mouvement de sortie des pattes (moteur sens 1), on suppose donc $\dot\theta < 0$, $C_m > 0$ et $C_M > 0$, cas du dévissage de la vis **6** par rapport à l'écrou **7**.

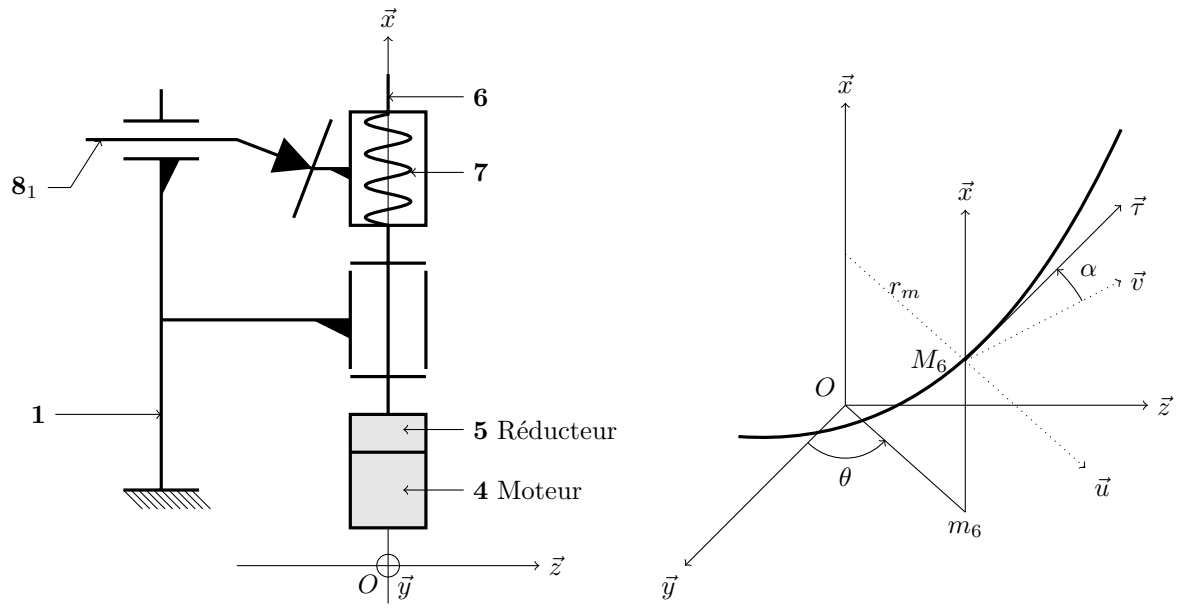


Figure 18

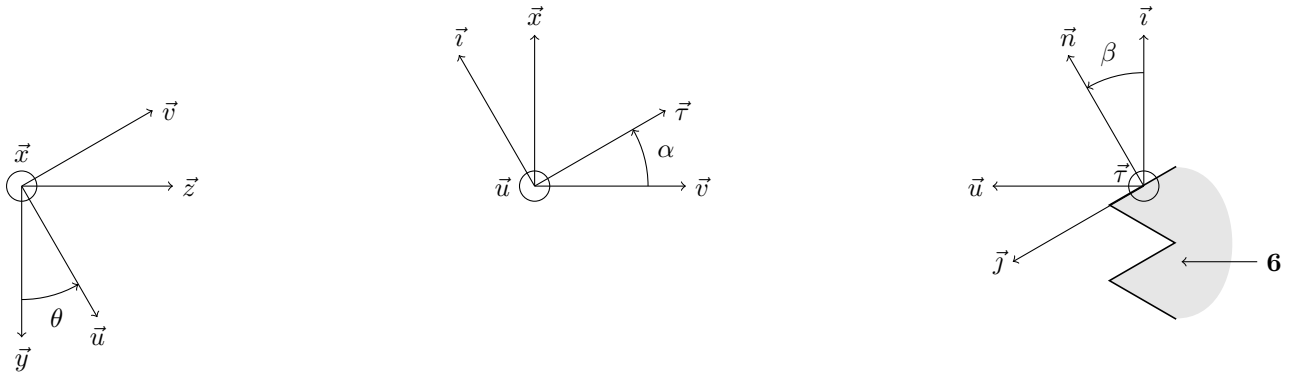


Figure 19 Paramétrage de la liaison hélicoïdale

III.A – Expression de la densité et de la relation entre L_{76} et X_{76}

III.A.1) Calculer la vitesse de glissement $\vec{V}(M_6, 6/7)$ dans la base $(\vec{u}, \vec{v}, \vec{x})$, en déduire alors l'expression $d\vec{F}_{7\to6} = (-p\vec{n} + pf_{67}\vec{\tau})dS$.

III.A.2) Donner, en isolant le solide **6**, la relation liant C_M et L_{76}.

III.A.3) Donner, en isolant le solide **7**, la relation liant F et X_{76}.

III.A.4) On veut montrer que $L_{76} = -h^* X_{76}$ avec $h^* = r_m \tan(\alpha + \varphi')$, pour cela on demande d'évaluer directement à partir de la densité définie en III.A.1 les expressions

$$X_{76} = \vec{x} \cdot \int_7 d\vec{F}_{7\to6} \qquad \text{et} \qquad L_{76} = \vec{x} \cdot \int_7 \overrightarrow{OM} \wedge d\vec{F}_{7\to6}$$

On donnera ces expressions en fonction de $\int_7 pdS$, f_{67}, r_m, α et β.

Déduire des résultats précédents la relation demandée.

III.B – Calcul du couple moteur minimum C_{m0} au dévissage nécessaire au maintien du contact des pattes avec le tube 0

Notations :

- Pour cette question, on suppose établis le centrage du robot dans le tube et par suite, les symétries qu'il en résulte : pour la géométrie d'une part, et aussi d'autre part pour les efforts au niveau de chacune des pattes **8**. Le calcul peut donc être développé pour une patte en particulier celle en contact en I_1 et J_1 avec respectivement le tube **0** et l'écrou **7**.
- Le repère orthonormé $\{I_1, \vec{u}_1, \vec{v}_1, \vec{w}_1\}$ est lié à **7**.
- Le repère orthonormé $\{I_1, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{x}\}$ est lié à $\mathbf{8}_1$.
- Les coefficients de frottements sont les suivants : f_{08} entre **0** et **8**, f_{78} entre **8** et **7**, f_{67} entre **7** et **6**.
- Les contacts entre **0** et **8** sont supposés ponctuels.
- Les contacts entre **7** et **8** sont également ponctuels et empêchent la rotation de l'écrou **7**.
- La liaison entre chacune des pattes **8** et le corps **1** est une liaison pivot glissant parfaite d'axe $(I_1, \vec{i}_1)$.
- $\{7 \to 8_1\} = \left\{ \begin{matrix} N_1\vec{u}_1 + T_1\vec{w}_1 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{I_1}$ (N_1 et T_1 sont positifs).
- $\{0 \to 8_1\} = \left\{ \begin{matrix} -N_{08}\vec{i}_1 + T_{08}\vec{x} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{J_1}$ (N_{08} et T_{08} sont positifs).

III.B.1) Exprimer, à partir de N_{08}, T_{08} et f_{08} la condition de non glissement des pattes sur le tube **0**.

III.B.2) Montrer, en définissant le système isolé, que $T_{08} = Mg/3$.

III.B.3) Montrer à partir de l'étude de l'équilibre de **7** que X_{67} et N_1 sont reliés par la relation $X_{67} = 3N_1(\cos\gamma + f_{78}\sin\gamma)$.

III.B.4) Montrer à partir de l'étude de l'équilibre de la patte $\mathbf{8}_1$ que N_{08} et N_1 sont reliés par la relation $N_{08} = N_1(\sin\gamma - f_{78}\cos\gamma)$.

III.B.5) Montrer, en utilisant les relations entre L_{76} et X_{76} et entre C_m et C_M que la condition de maintien du contact entre les pattes du robot et le tube (dans le cas d'une masse tractée M) s'exprime par $C_m > C_{m0}$ avec

$$C_{m0} = \frac{Mgr_m \tan(\alpha + \varphi')(\cos\gamma + f_{78}\sin\gamma)}{\eta\rho f_{08}(\sin\gamma - f_{78}\cos\gamma)}$$

Faire l'application numérique.

On donne $M = 2$ kg ; $f_{78} = 0{,}1$; $f_{08} = f_{67} = 0{,}2$; $f_{67} = \tan\varphi'\cos\beta$; $\gamma = 80°$; $\alpha = 5°$; $\beta = 30°$; $r_m = 4$ mm ; $g = 9{,}81$ m $\cdot$ s^{-2} ; $\eta = 0{,}65$; $\rho = 135$; $p_v = 1{,}5$ mm.

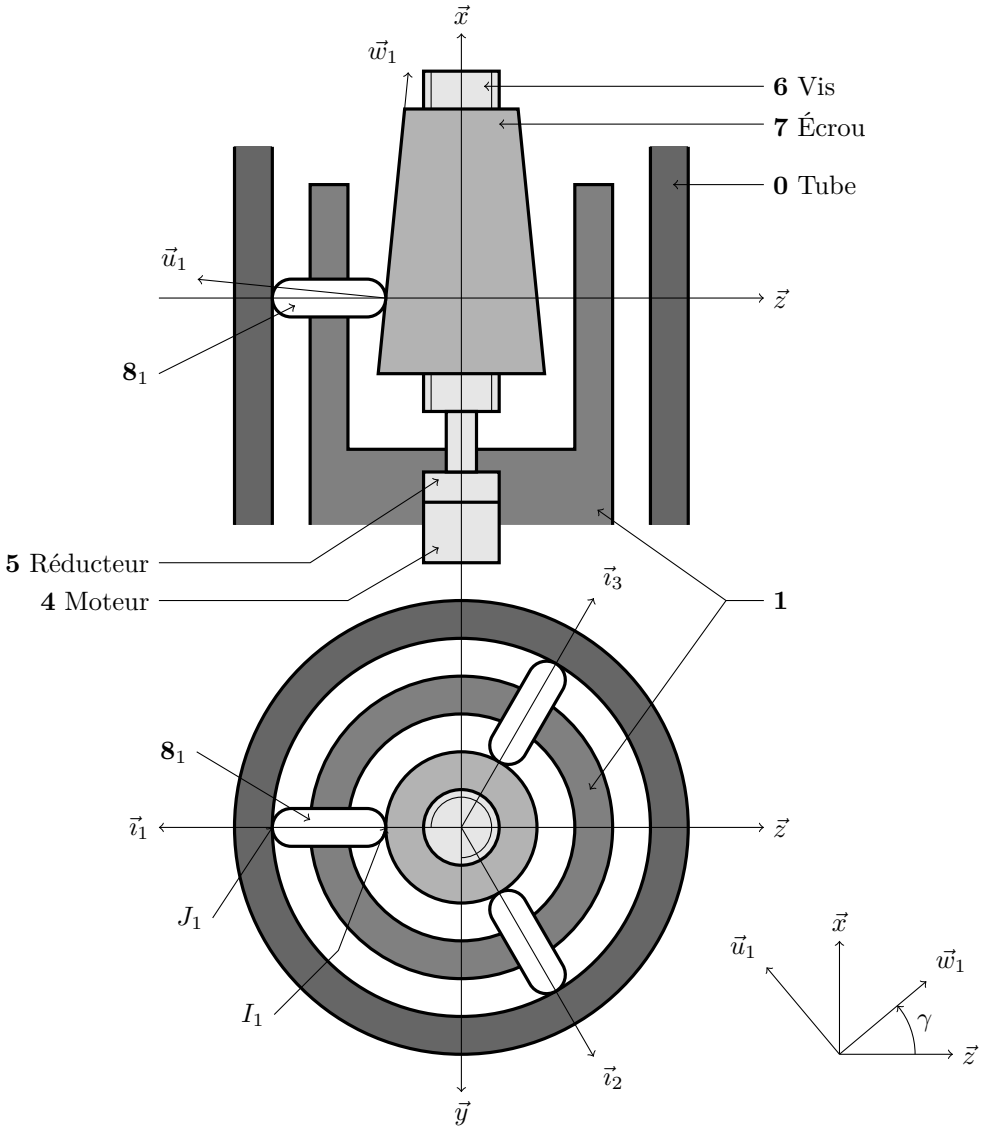


Figure 20 Paramétrage des pattes du module supérieur

III.B.6) Lorsque les pattes sont complètement sorties (blocage du module supérieur et le module inférieur est libre), l'alimentation du moteur est coupée, expliquer pourquoi le blocage des pattes est néanmoins conservé. Donner la démarche qui permettrait d'établir ce résultat.

III.C – Validation du moteur

Les caractéristiques principales du moteur à courant continu à aimants permanents Portescap 08G61 sont :

Grandeurs nominales : $U_N = 9$ V ; $I_N = 60{,}2$ mA ; $N_N = 7000$ tr $\cdot$ min^{-1} ; $R = 64\ \Omega$.

Grandeurs à vide : $U_0 = 9$ V ; $I_0 = 2{,}2$ mA ; $N_0 = 11800$ tr $\cdot$ min^{-1}.

Constante de couple : $K_t = 7{,}2 \times 10^{-3}$ N $\cdot$ m $\cdot$ A^{-1}. Constante de f.e.m. : $K'_e = 0{,}75$ V $\cdot \left(1000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}\right)^{-1}$.

III.C.1) Calculer le couple de pertes C_p du moteur. Le couple de pertes sera supposé indépendant de la vitesse.

III.C.2) Calculer le courant I_1 absorbé par le moteur, lorsque le rotor est bloqué pour $U = 9$ V. En déduire la valeur du couple utile moteur C_{m1} disponible. Conclure en fonction du résultat obtenu à la question III.B.1.

III.D – Détection du blocage du rotor

Calculer la puissance dissipée dans le moteur, le rotor est bloqué pour $U = 9$ V. Cet état ne doit pas se prolonger, aussi est-il nécessaire de le détecter afin de couper l'alimentation. Proposer un principe de détection simple du blocage du rotor. La coupure de l'alimentation doit-elle être instantanée ou temporisée ? Justifier.

III.E – Évaluation du temps de sortie des pattes

Lors d'une sortie, les pattes doivent parcourir un distance $|z_1| = 1{,}5$ mm avant d'arriver en butée contre la paroi du tube. Le moteur consomme alors un courant $I = 30$ mA pour une tension $U = 9$ V. Le temps d'accélération sera négligé.

III.E.1) Calculer la fréquence de rotation du moteur.

III.E.2) Calculer le temps de sortie des pattes.

IV Analyse d'un pas — Contrôle des tubes

Objectif

Évaluer les performances en déplacement du robot. Déterminer le nombre de robots nécessaire à l'opération de contrôle des tubes.

Les chronogrammes des signaux de commande du robot et la mesure du déplacement x pour un pas (montée) du robot sont donnés à la figure 21. Il est précisé que le blocage du module supérieur est bistable alors que les blocage et déblocage du module inférieur sont monostables.

Notations AR : module inférieur ; AV : module supérieur ; X_C : consigne de déplacement ; X : déplacement.

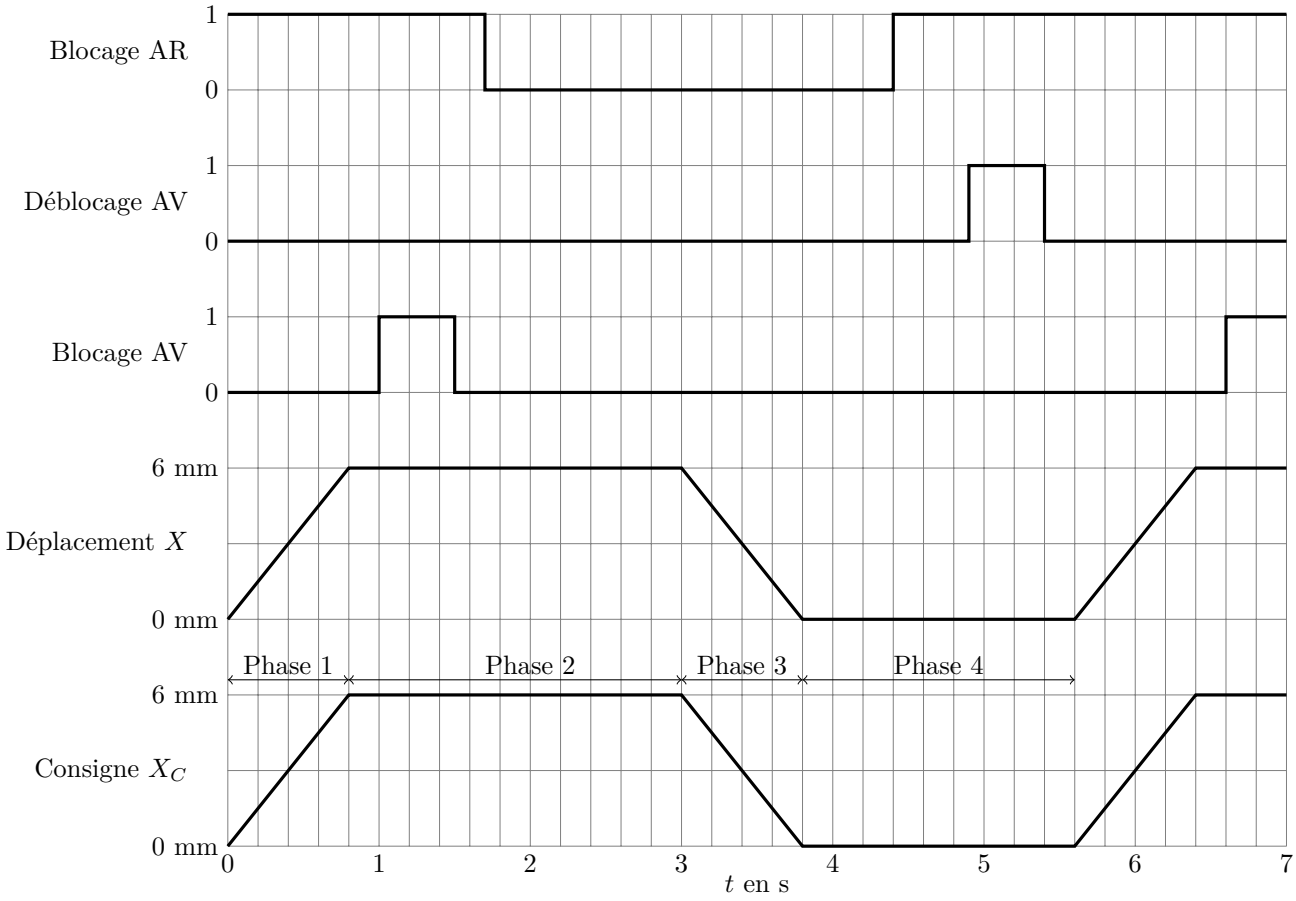


Figure 21 Signaux robot lors d'un pas (montée)

IV.A – Analyse d'un pas. Lecture des chronogrammes de la figure 21

IV.A.1) Indiquer pour les quatre phases, si les modules inférieur et supérieur sont fixes ou montent dans le tube.

IV.A.2) Indiquer la longueur du pas effectué par le robot. Calculer la vitesse moyenne d'avance du robot. La vitesse maximale imposée est de 2 mm $\cdot$ s^{-1}, conclure.

IV.A.3) Les chronogrammes montrent que la commande n'est pas parfaitement optimisée. Sur quelles phases est-il possible de gagner du temps ? Évaluer le gain de temps possible, et vérifier qu'il est possible d'atteindre la vitesse maximale de 2 mm $\cdot$ s^{-1} imposée par le cahier des charges.

IV.B – Calcul de l'effectif nécessaire à l'opération de contrôle des tubes

Lors des opérations de maintenance, la centrale est arrêtée pendant cinq semaines et il faut contrôler en moyenne douze kilomètres de tube. On estime qu'un robot travaille effectivement cent heures par semaine (il est utilisé par quatre opérateurs qui se relaient).

IV.B.1) Quelle est la longueur de tube susceptible d'être contrôlée par un robot se déplaçant à la vitesse maximale de 2 mm $\cdot$ s^{-1}, pendant les cinq semaines d'arrêt de la tranche ?

IV.B.2) Déterminer les nombres de robots et d'opérateurs nécessaires à la réalisation de l'ensemble du contrôle des tubes.

• • • FIN • • •

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI 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

- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement

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/tsi