

Usine de Dépose de Gel

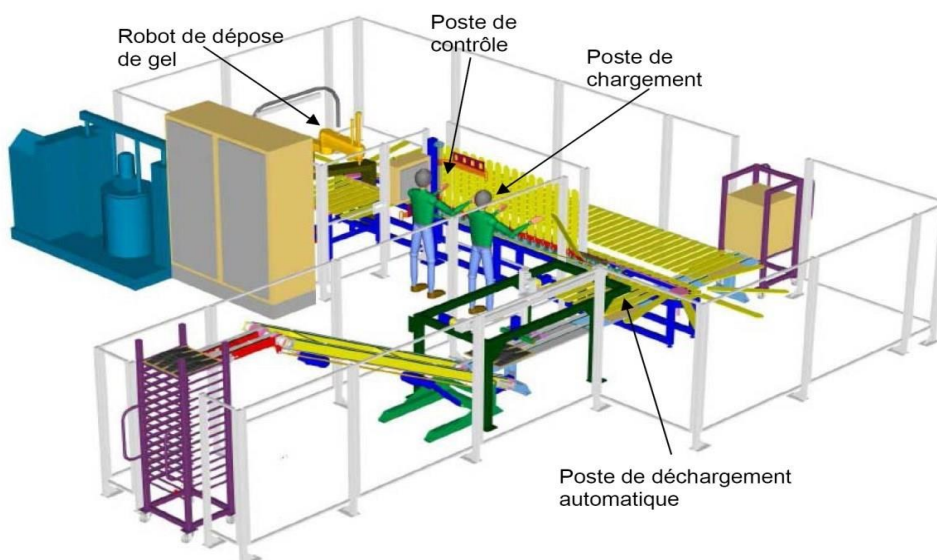


Figure 1 - Schéma général de l'installation

1 PRESENTATION

Le sujet s'appuie sur une pré-étude réalisée pour le développement d'une machine de dépose de gel sur des vêtements de sport.

Une entreprise qui fabrique des vêtements de sport haut de gamme a développé des produits sur lesquels elle dépose un gel qui permet d'améliorer leur confort d'usage. Sur chaque article, elle dépose une ou deux empreintes sous forme d'un rectangle. Pour le moment, l'opération de dépose de gel se fait manuellement. L'entreprise désire automatiser cette opération de dépose afin d'augmenter les cadences de production, d'améliorer la qualité de dépose et d'optimiser la consommation de gel.

La figure 1 donne une vue générale de la machine développée. Pour faciliter l'opération de dépose, les articles sont déposés sur des formes en métal que nous appellerons « palettes ». Le gel se présente sous forme liquide et est déposé par gravitation. Après la dépose, il faut maintenir les articles sur leur forme pendant 4 minutes, avant de les manipuler, pour laisser le temps au gel de se solidifier.

Ensuite, les articles peuvent être retirés de leur forme et empilés les uns sur les autres sans risquer de détériorer l'empreinte de gel.

La machine est composée de plusieurs sous-ensembles :

- Le poste opérateur comprenant : une zone de chargement manuel, une zone de contrôle de positionnement des articles et une zone de déchargement manuel ;
- Le convoyeur à palettes ;
- Le système de dépose de gel par gravité composé d'un robot muni de buses ;
- Le poste de traitement et de pompage de gel ;
- Le poste de déchargement automatique.

Une pompe assure l'alimentation en gel mais seule la maîtrise des mouvements de la buse de dépose du gel permet de garantir la quantité de gel sur les articles.

Le robot dispose de 15 secondes pour réaliser l'opération de dépose de gel sur 4 articles. Pour chaque article, les zones de dépose de gel se trouvent dans une zone rectangulaire de dimensions 100 mm x 300 mm au maximum. Le gel se répand autour du point de dépose selon un disque d'environ 1 cm de rayon.

Pour des raisons économiques, le concepteur a choisi d'effectuer les déplacements de la buse de dépose de gel à partir de deux systèmes vis - écrou à billes motorisés par deux moteurs à courant continu asservis (voir figures 2 et 3).

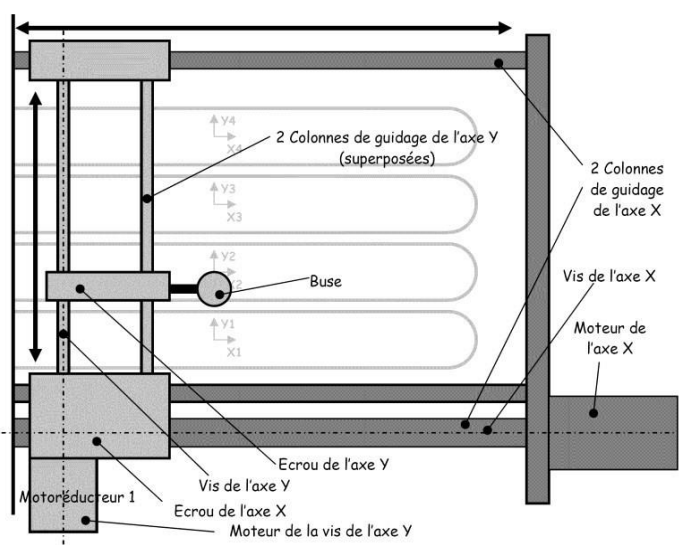


Figure 2 - Schéma de principe du robot (vue de dessus)

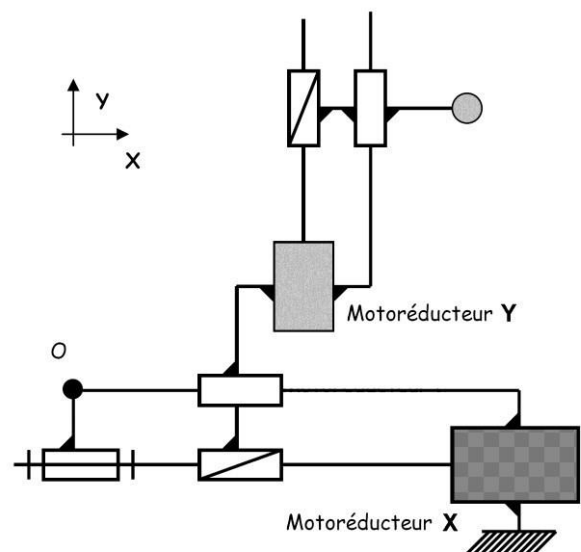
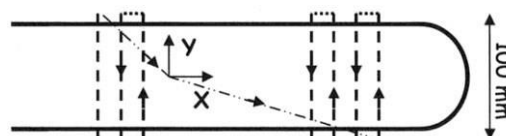


Figure 3 - Schéma cinématique du robot (vue de dessus)

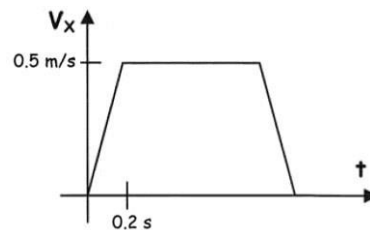
Sur un article, le gel est déposé en bandes de 2 cm de large et au maximum 100 mm de long (voir ci-dessous).



Cinq bandes au maximum sont déposées sur chaque article.

Le robot dépose le gel lors de déplacements suivant l'axe Y. La vitesse dépose optimale du gel est de 0,2 m/s. les déplacements du robot suivant Y doivent garantir cette vitesse et peuvent atteindre une vitesse maximale de 0,5 m/s sans déposer de gel.

Les déplacements suivant X doivent être précis (< 0,2 mm) et aussi rapides que possible sans sollicitations inutiles de la structure. La loi de déplacement souhaitée suivant X est la suivante :

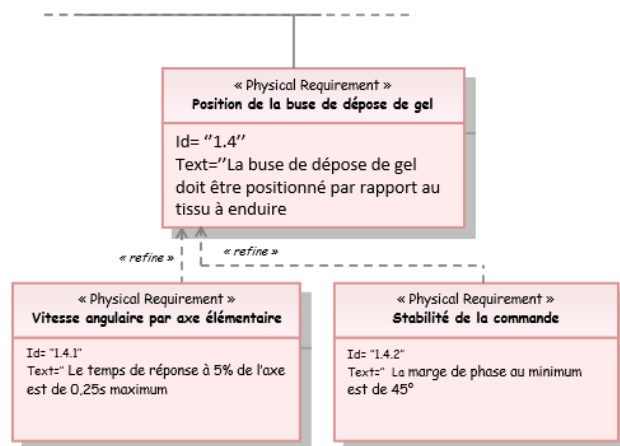


2 OBJECTIF

Dans ce sujet, on étudie uniquement la motorisation de l'axe X. L'axe Y est immobile. On cherche à établir le schéma-bloc du modèle de connaissance de l'axe X afin d'estimer les performances du robot selon cet axe.

De plus, on envisage l'étude d'un modèle rigide et d'un modèle souple du robot de dépose.

On dispose d'un extrait du diagramme des exigences qui précise les caractéristiques à respecter.



3 PERFORMANCES DE L'AXE X DU ROBOT – MODELE RIGIDE

On note :

- m_Y : Masse de l'écrou d'axe Y et de la vis de l'axe Y $m_Y = 10 \text{ kg}$
- M_b : Masse de la buse avec son système d'alimentation $M_b = 50 \text{ kg}$
- m_X : Masse de l'écrou d'axe X, des deux colonnes d'axe Y et du motoréducteur Y $m_X = 20 \text{ kg}$
- J_X : Inertie équivalente du rotor, du réducteur et de la vis ramenée sur l'axe moteur X $J_X = 15 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- K_X : Gain de la roue codeuse de l'arbre moteur X associé à un compteur d'incréments (on considérera ce système comme continu) $K_X = 80$
- L_X : Inductance des bobines du moteur X $L_X = 2,5 \text{ mH}$
- R_X : Résistance d'induit du moteur X $R_X = 2,65 \Omega$
- e_X : Force contre-électromotrice du moteur X

u_X : Tension aux bornes du moteur X

i_X : Courant dans le moteur X

k_{eX} : Constante de force contre-électromotrice du moteur X $k_{eX} = 1,1 \text{ V}/(\text{m}/\text{s})$

k_{cX} : Constante de couple du moteur X $k_{cX} = 1,1 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{A}$

C_{mX} : Couple développé par le moteur X

ω_X : Vitesse angulaire du rotor du moteur X

r_X : Rapport de réduction du réducteur du moteur X $r_X = 1$

p_X : Pas de la vis X $p_X = 20 \text{ mm}/\text{tr}$

ω_{vX} : Vitesse angulaire de la vis X

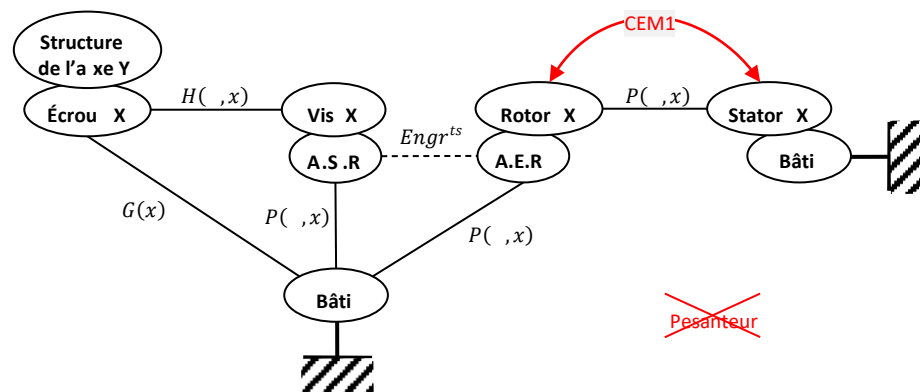
On donne également les équations électriques du moteur X :

$$u_X(t) = R_X \cdot i_X(t) + L_X \cdot \frac{di_X(t)}{dt} + e_X(t)$$

$$e_X(t) = k_{eX} \cdot \omega_X(t)$$

$$C_{mX}(t) = k_{cX} \cdot i_X(t)$$

Le graphe d'isolement correspondant à la description de la figure 3 et en considérant l'axe Y immobile est le suivant :



On appelle $T(i/0)$, énergie cinétique d'un solide i dans son mouvement par rapport à un référentiel O, la quantité scalaire :

3.1. Déterminer $T(\Sigma/0)$, énergie cinétique de l'ensemble des pièces en mouvement par rapport au bâti.

3.2. Montrer que l'énergie cinétique $T(\Sigma/0)$ peut se mettre sous la forme :

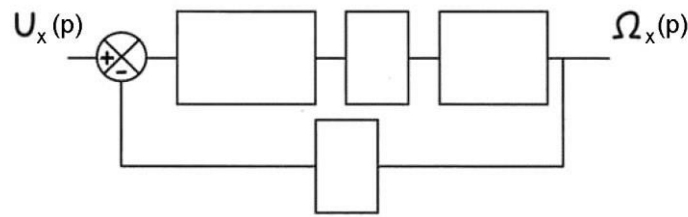
$$T(\Sigma/0) = \frac{1}{2} \cdot J_{eqX} \cdot \omega_X^2 \quad \text{avec} \quad J_{eqX} = J_X + \left(\frac{r_X \cdot p_X}{2\pi}\right)^2 (M_b + m_X + m_Y)$$

J_{eqX} est l'inertie équivalente du système ramenée sur l'arbre moteur X

L'équation mécanique du système est alors : (Théorème du moment dynamique à l'arbre moteur X) :

$$C_{mX}(t) = J_{eqX} \cdot \dot{\omega}_X(t)$$

3.3. Passer les équations électriques et mécaniques dans le domaine opérationnel (domaine de Laplace) et montrer qu'on peut se ramener à un schéma-bloc de la forme suivante :



Expliciter les fonctions de transfert des différents blocs.

3.4. Montrer que la fonction de transfert $H_{motX}(p)$ peut s'écrire :

$$H_{motX}(p) = \frac{\Omega_X(p)}{U_X(p)} = \frac{1/k_{eX}}{1 + \frac{R_X \cdot J_{eqX}}{k_{eX} \cdot k_{cX}} \cdot p + \frac{L_X \cdot J_{eqX}}{k_{eX} \cdot k_{cX}} \cdot p^2}$$

3.5. Montrer qu'il est possible de négliger l'inductance du moteur et d'assimiler la fonction de transfert à un ordre 1 :

$$H'_{motX}(p) = \frac{\Omega_X(p)}{U_X(p)} = \frac{1/k_{eX}}{1 + \frac{R_X \cdot J_{eqX}}{k_{eX} \cdot k_{cX}} \cdot p} \text{ au schéma}$$

3.6. Appeler sous MATLAB Simulink le schéma **AHmxE**. Vérifier qu'il correspond bien au schéma précédent.

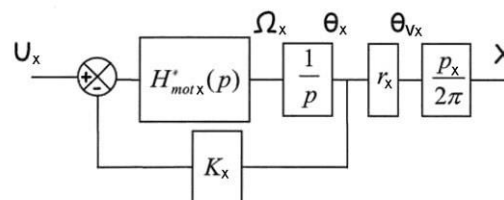
3.7. Tracer la réponse à un échelon $(t) = U_0 \cdot u(t)$. Commenter.

On souhaite maintenant modéliser la chaîne fonctionnelle depuis la tension du moteur de l'axe X jusqu'à la position de la buse selon X.

On doit donc ajouter dans le schéma-bloc précédent, un bloc fonctionnel pour le réducteur et un autre bloc fonctionnel pour le système vis-écrou.

De plus, le contrôle de la position de la buse nécessite l'utilisation d'un capteur. On choisit d'utiliser une roue codeuse et de la placer sur l'arbre moteur. Elle a une résolution importante qui permet de déterminer la position et la vitesse de la buse avec une bonne précision. La période d'échantillonnage étant très petite devant les constantes de temps du système, le comportement est considéré comme continu. La roue codeuse est alors modélisée par un gain pur de valeur K_X .

Le schéma-bloc précédent évolue pour devenir le nouveau schéma-bloc suivant :



3.8. Appeler le schéma **BHmxRVEBodeE**. Vérifier qu'il tient compte des évolutions souhaitées.

3.9. Tracer les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte (F.T.B.O.).

3.10. D'après les diagrammes de Bode, le cahier des charges est-il respecté du point de vue de la stabilité (marge de phase) ?

On montre que la marge de phase peut atteindre 45° si on ajoute un bloc correcteur de gain pur $k_{cor} = 0,4$ dans la chaîne directe entre le sommateur et le bloc $H'_m(p)$.

3.11. Ajouter le gain pur au schéma-bloc précédent et vérifier le critère de stabilité.

Pour vérifier le critère de rapidité, on doit soumettre le modèle précédent à un échelon de tension et observer sa réponse temporelle.

3.12. Appeler **BHmxRVEBodeCorE**. Vérifier qu'il tient compte des évolutions souhaitées.

3.13. Le critère de rapidité est-il respecté (temps de réponse à 5%) ?

4 PERFORMANCES DE L'AXE X DU ROBOT – MODELE SOUPLE

La structure du robot est allégée au maximum pour diminuer les effets dynamiques et permettre l'utilisation de moteurs moins puissants. Cependant, ce choix entraîne une déformation de la structure du robot sous charge. Le modèle détaillé de l'axe X est alors celui de la figure 4.

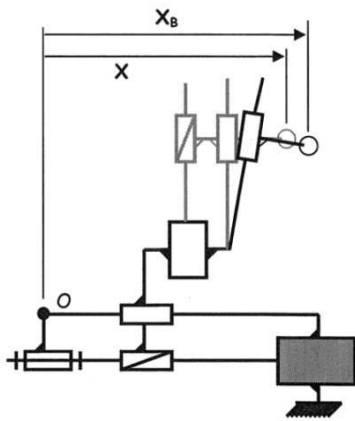


Figure 4 - Modèle souple du robot de dépôt

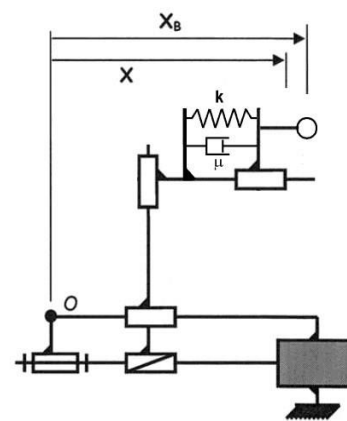


Figure 5 - Modèle équivalent du modèle souple

Le modèle souple de la figure 4 est équivalent à celui de la figure 5.

4.1. Combien de degré de liberté possède le modèle équivalent ?

Dans le modèle équivalent, on considère :

- X : abscisse du point piloté par l'axe X
- X_B : abscisse réelle de la buse après déformation de la structure
- Y : ordonnée du point piloté par l'axe Y
- M_b : masse de la buse avec son système d'alimentation (seule masse prise en compte)
- $k(Y)$: raideur de la structure suivant l'axe X en fonction de la position Y
- μ : coefficient de frottement visqueux

4.2. Montrer que l'équation de la dynamique traduisant le comportement de la structure est

:

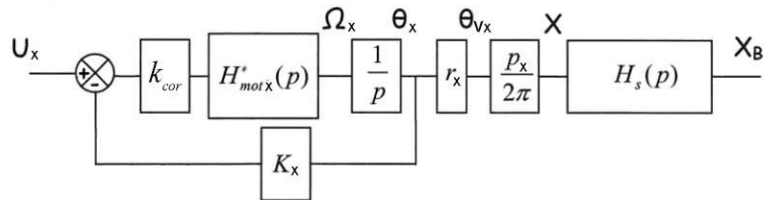
$$M_1 \cdot \ddot{X}_B = -k \cdot (X_B - X) - \mu \cdot \dot{X}_B$$

Pour la suite, on fixe $k = 100 \text{ N/mm}$, $\mu = 100 \text{ N/(m/s)}$ et $M_b = 50 \text{ kg}$.

4.3 Passer l'équation différentielle précédente dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et montrer qu'on peut écrire la fonction de transfert $H_s(p)$ suivante :

$$H_s(p) = \frac{X_B(p)}{X(p)} = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{k} \cdot p + \frac{M_1}{k} \cdot p^2}$$

La prise en compte de la souplesse modifie le schéma-bloc de la façon suivante :



4.4 A partir du schéma précédant, effectuer la modification pour prendre en compte la souplesse de la structure (nommer le fichier DHmxRVEBodeCorSoupE)

4.5. Tracer la réponse temporelle à un échelon de tension. Commenter.

4.6. Le critère de rapidité est-il respecté (temps de réponse à 5%) ?