

1 ROBOT DE CHIRURGIE

Le modèle cinématique ci-dessous présente de façon simplifiée, la chaîne cinématique de l'axe d'élévation d'un robot de chirurgie endoscopique.

L'actionneur est un motoréducteur à courant continu produisant un couple noté C_{mot} sur son rotor **1**.

Le premier étage de transmission du mouvement se fait par une courroie crantée **2** qui s'enroule sur des poulies de même diamètre pour entraîner l'arbre intermédiaire **3**. Une roue dentée **3'** solidaire de l'arbre intermédiaire **3** engrène avec une crémaillère **4** solidaire de la partie supérieure mobile du robot. Cette crémaillère est en liaison glissière de direction \vec{z}_1 par rapport à la partie inférieure du robot considérée comme bâti et numérotée **0**.

Pour équilibrer le poids de la partie supérieure (coulisseau compris), les ingénieurs ont placé un contre-poids **7** tiré par un câble qui s'enroule sur un tambour **3''** solidaire de l'arbre intermédiaire **3**.

L'accélération de la pesanteur est notée $\vec{g} = -g \cdot \vec{z}_0$.

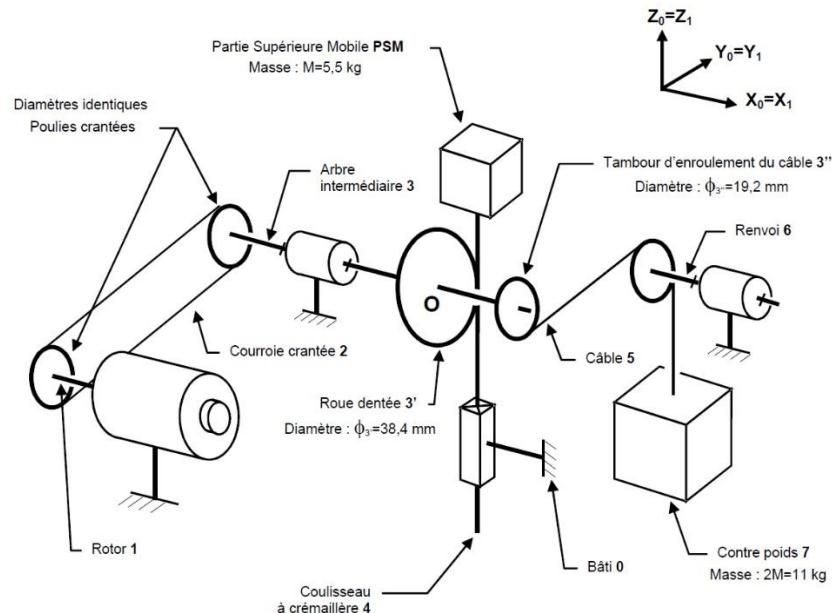


Figure 1 - Transmission de puissance du robot de chirurgie

1.1 Tracer le graphe d'isolement de l'axe d'élévation du robot endoscopique.

En vue de la vérification du temps de réponse du groupe motoréducteur à un échelon de tension, on cherche à modéliser le comportement du motoréducteur sous la forme d'un schéma-bloc donnant la pulsation angulaire en sortie de réducteur en fonction de la tension d'alimentation du moteur.

Le moteur est une machine à courant continu dont les équations électriques sont les suivantes :

$$\begin{aligned} u(t) &= R \cdot i(t) + L \cdot \frac{d i(t)}{dt} + e(t) \\ c_m(t) &= K \cdot i(t) \\ e(t) &= K \cdot \omega_m(t) \end{aligned}$$

Modélisation par schéma-bloc

L'équation dynamique de comportement de l'arbre moteur est la suivante :

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

Le réducteur est un train simple dont le rapport de transmission est noté k .

$$\frac{\omega_{asr}(t)}{\omega_m(t)} = k$$

- 1.2 Passer les équations électriques dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $C_m(p)$ en fonction de $U(p)$ et $\Omega_m(p)$.
- 1.3 Passer l'équation dynamique de comportement de l'arbre moteur dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $\Omega_m(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et $C_r(p)$.
- 1.4 Passer l'équation cinématique de comportement du réducteur dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $\Omega_{asr}(p)$ en fonction de $\Omega_m(p)$.
- 1.5 Rassembler les schéma-blocs précédents pour obtenir le schéma-bloc global donnant $\Omega_{asr}(p)$ en fonction de $U(p)$.

2 MACHINE A GROUPER ET BROSSER LES PLAQUES DE BATTERIE

Une machine d'empilage-brossage est chargée d'assurer les fonctions d'empilage et d'évacuation de plaques de batteries. La chaîne de transmission de puissance est composée d'un moteur associé à un réducteur à train épicycloïdal et un système de transformation de mouvement de type poulies-courroie crantées. Compte tenu des différentes tailles de plaques et de l'encombrement du système de doigts, deux chariots montés en parallèle et distants de 1m20 sont nécessaires.

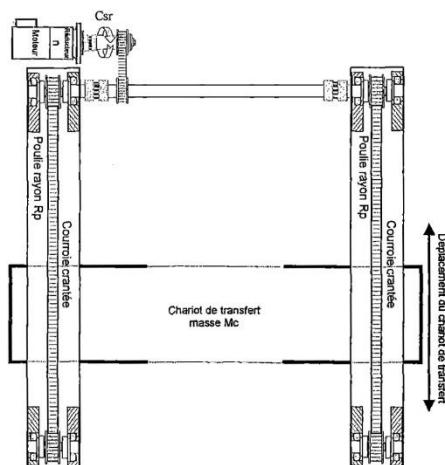


Figure 2 - Chaîne de transmission de puissance de la machine

Les deux arbres d'entraînement des guidages sont liés mécaniquement par un arbre de synchronisation qui assure la transmission de puissance simultanément aux deux chariots. Le moteur-réducteur transmet la puissance mécanique à l' arbre de synchronisation par un jeu de poulies de renvoi reliées par une courroie crantée.

La grande longueur de l'arbre de synchronisation lui confère une souplesse caractérisée par le coefficient de raideur équivalente K_t . La transmission de puissance est alors modélisable de la façon suivante :

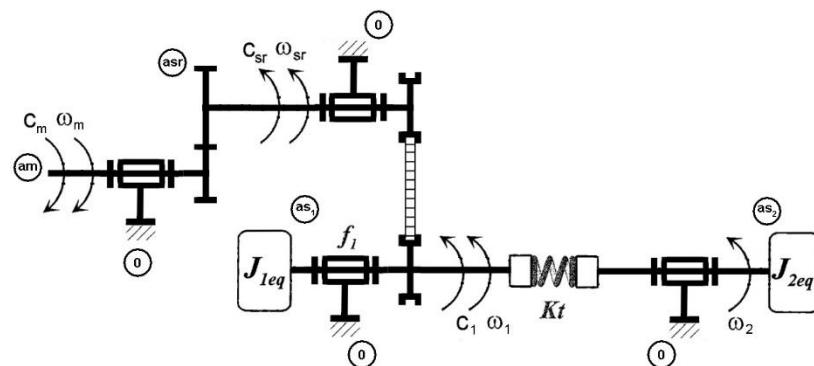


Figure 3 - Modèle générique équivalent

Hypothèses :

- l'ensemble des frottements visqueux est regroupé en un frottement visqueux équivalent f_1 au niveau de la liaison entre **as1** et le bâti **0** ($f_1 = 0,1 \text{ Nm.s.rad}^{-1}$) ;
- la masse de la courroie est négligeable devant les masses en mouvement ;
- les poulies de renvoi ont le même diamètre.

L'équation dynamique de comportement de la partie **1** de l'arbre de synchronisation est la suivante :

$$J_{1eq} \cdot \frac{d\omega_1(t)}{dt} = n \cdot c_m(t) - f_1 \cdot \omega_1(t) - c_{Kt}(t)$$

Rem : $c_{Kt}(t)$ représente le couple exercé par **1** sur **2** au travers du ressort de torsion.

L'équation dynamique de comportement de la partie **2** de l'arbre de synchronisation est la suivante :

$$J_{2eq} \cdot \frac{d\omega_2(t)}{dt} = c_{Kt}(t)$$

La loi de comportement du ressort de torsion est la suivante :

$$c_{Kt}(t) = K_t \cdot [\theta_1(t) - \theta_2(t)]$$

- 2.1 Tracer le graphe d'isolement correspondant au modèle générique équivalent de la figure 3.
- 2.2 Passer l'équation de dynamique de la partie **1** de l'arbre de synchronisation dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $\Omega_1(p)$ en fonction de $C_{Kt}(p)$ et $C_m(p)$.
- 2.3 Passer l'équation de comportement du ressort de torsion dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $C_{Kt}(p)$ en fonction de $\Omega_1(p)$ et $\Omega_2(p)$.
- 2.4 Passer l'équation de dynamique de la partie **2** de l'arbre de synchronisation dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $\Omega_2(p)$ en fonction de $C_{Kt}(p)$.
- 2.5 Regrouper les schéma-blocs précédents pour obtenir le schéma-bloc global donnant $\Omega_2(p)$ en fonction de $C_m(p)$.

3 ROBOT DE TRANSFERT

Le robot cartésien représenté ci-contre sert à décharger des pièces d'une presse à injecter.

Une modélisation numérique (éléments finis) du robot cartésien 3 axes a été réalisée. Les analyses ont montré que les premiers modes de flexion.

Pour les deux axes concernés, le modèle générique de commande doit donc tenir compte de la souplesse liée à cette flexion pure. On se limite ici au mode de flexion dans la direction Y.

La modélisation adoptée est celle de la figure 4.

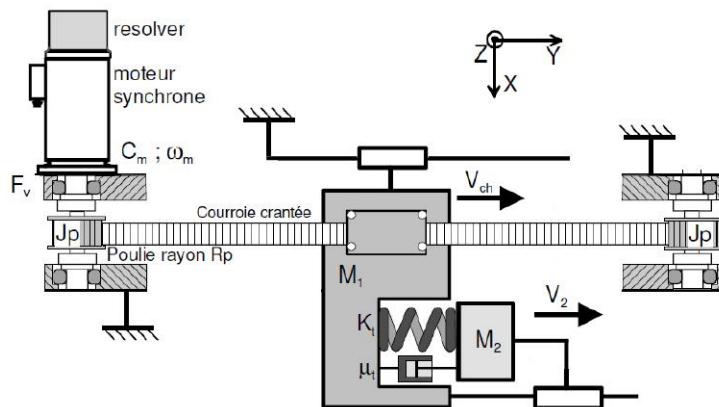
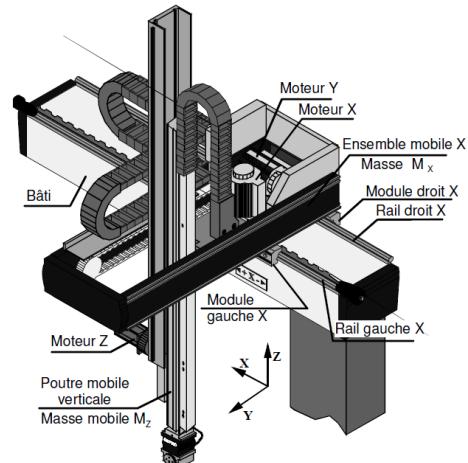


Figure 4 - Modèle retenu pour l'axe Y

L'équation dynamique de l'arbre moteur est la suivante :

$$J_{1eq} \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t) - f_1 \cdot \omega_m(t) - c_2(t)$$

L'équation dynamique de la partie rigide 1 est la suivante :

$$F_2(t) = F_{ressort}(t) + F_{amort}(t)$$

- La loi de comportement du ressort est :

$$F_{ressort}(t) = -K_t \cdot [x_2(t) - x_{ch}(t)]$$

- La loi de comportement de l'amortisseur est :

$$F_{amort}(t) = -\mu_t \cdot [v_2(t) - v_{ch}(t)]$$

L'équation dynamique de la partie souple 2 est la suivante :

$$M_2 \cdot \frac{d^2 v_2(t)}{dt^2} = F_2(t)$$

Les équations cinématique et dynamique de la transmission par poulies-courroie sont :

$$\frac{v_{ch}(t)}{\omega_m(t)} = R_p \quad ; \quad \frac{c_2(t)}{F_2(t)} = R_p$$

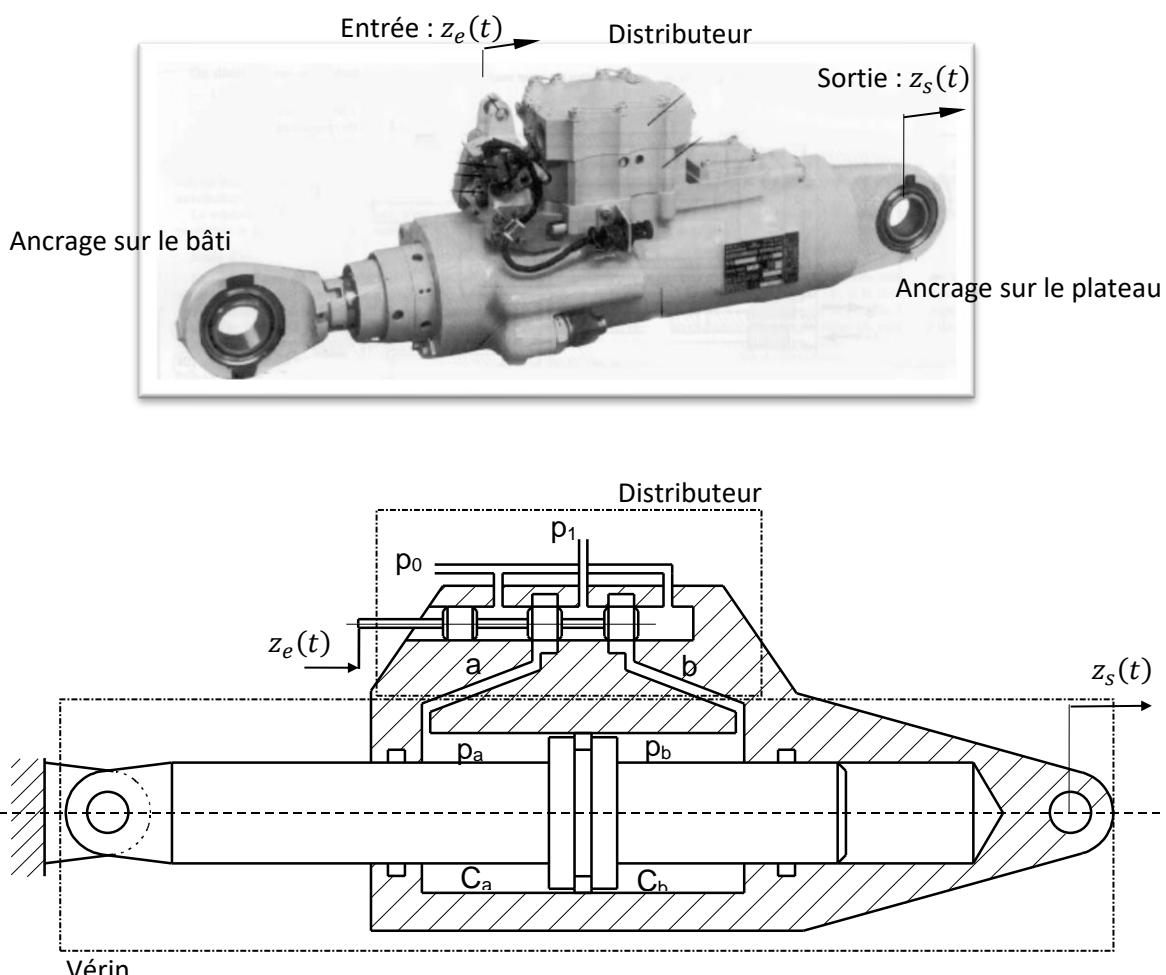
Modélisation par schéma-bloc

- 3.1 Réaliser le graphe d'isolement correspondant au modèle de la figure 4.
- 3.2 Passer l'équation de dynamique de l'arbre moteur dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $\Omega_m(p)$ en fonction de $C_2(p)$ et $C_m(p)$.
- 3.3 Utiliser l'équation de dynamique de la partie rigide **1** et les lois de comportement du ressort et de l'amortisseur pour exprimer $F_2(t)$ dans le domaine temporel. Passer l'équation obtenue dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) pour obtenir la relation donnant $F_2(p)$ en fonction de $V_{ch}(p) - V_2(p)$.
- 3.4 Passer l'équation de dynamique de la partie souple **2** dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $V_2(p)$ en fonction de $F_2(p)$.
- 3.5 Passer l'équation cinématique du système poulies-courroie dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $V_{ch}(p)$ en fonction de $\Omega_m(p)$.
- 3.6 Passer l'équation dynamique du système poulies-courroie dans le domaine opérationnel (Domaine de Laplace) et tracer le schéma-bloc donnant $C_2(p)$ en fonction de $F_2(p)$.
- 3.7 Regrouper les schéma-blocs précédents pour obtenir le schéma-bloc global donnant $V_2(p)$ en fonction de $C_m(p)$.

4 SERVOCOMMANDE POUR HELICOPTERE

Pour déplacer un hélicoptère dans le plan horizontal, le pilote agit sur un manche dit « de pas variable ». Ce manche agit par l'intermédiaire d'une tringlerie sur une servocommande. Cette dernière exerce par son actionneur un effort sur le plateau cyclique, mécanisme chargé de faire varier l'angle de pas des pales.

Les servocommandes sont des systèmes d'asservissement en position, à entrée mécanique. Elles sont composées d'un distributeur à tiroir pilotant un vérin à corps mobile. Le tiroir du distributeur reçoit la consigne $z_e(t)$. Celle-ci provient de la tringlerie de commande. Ce tiroir coulisse dans le corps du distributeur et met en communication chacune des deux conduites a et b à la pression d'alimentation p_1 ou à la pression de retour p_0 .



Les deux chambres C_a et C_b sont alimentées avec deux pressions différentes, ce qui a pour conséquence de déplacer le corps du vérin et de générer le déplacement $z_s(t)$ en sortie.