

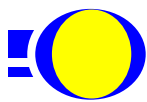
## TP 2.1

# MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT DE CORRECTEUR

### PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une attelle de mobilisation du genou, présente dans les cabinets de kinésithérapie et centres de ré-éducation fonctionnelle. Le professionnel de santé l'emploie sur les patients ayant subi des lésions au niveau du genou, avec pour but de faire retrouver au patient, séance après séance, une mobilité satisfaisante de son articulation traumatisée.





### COMPETENCES VISEES

- ❖ Associer les fonctions aux constituants
- ❖ Caractériser un constituant de la chaîne de puissance
- ❖ Identifier la structure d'un système asservi
- ❖ Extraire un indicateur de performance pertinent à partir du cahier des charges ou de résultats issus de l'expérimentation ou de la simulation
- ❖ Caractériser les écarts entre les performances
- ❖ Identifier les paramètres d'un modèle
- ❖ Identifier et justifier les hypothèses nécessaires à la modélisation
- ❖ Choisir un modèle adapté aux performances à prévoir ou à évaluer
- ❖ Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle
- ❖ Modéliser un système par schéma-blocs
- ❖ Vérifier la cohérence du modèle choisi en confrontant les résultats analytiques et/ou numériques aux résultats expérimentaux
- ❖ Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats analytiques et/ou numériques et les résultats expérimentaux
- ❖ Proposer une démarche de réglage d'un correcteur
- ❖ Déterminer les performances d'un système asservi
- ❖ Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur
- ❖ Mener une simulation numérique
- ❖ Mettre en œuvre un système en suivant un protocole
- ❖ Proposer et justifier un protocole expérimental
- ❖ Régler les paramètres de fonctionnement d'un système

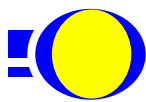
### MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- ❖ L'attelle CPM130 instrumentée
- ❖ Un PC muni de :
  - l'IHM et de l'Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)
  - Un logiciel de modélisation numérique par schéma-blocs (SCILAB XCOS)

### OBJECTIFS DU TP

L'objectif du TP est de déterminer les paramètres de correction de l'asservissement de l'attelle CPM-130, en vue d'obtenir un asservissement de vitesse précis, suffisamment rapide, et stable. Le TP se décompose en deux temps :

- Dans un premier temps, l'objectif est d'établir un modèle causal de la CPM-130, dans le contexte d'un asservissement en vitesse ;
- Dans un second temps, on utilisera le modèle élaboré pour régler un correcteur, puis on implantera les paramètres choisis sur le système réel.



### I. COMPLETION D'UN MODELE D'ASSERVISSEMENT

On dispose d'une ébauche d'un modèle causal de pilotage de l'attelle CPM-130. Il s'agit dans cette partie de l'adapter au mieux au système réel, en le modifiant et en complétant les différentes grandeurs physiques. Le fichier contenant le modèle est à votre disposition et s'intitule « *asserv\_vitesse\_a\_modifier.xls* ».

#### I.1 MODELE DE CONNAISSANCE

Par définition, un **modèle de connaissance** est établi à partir de la « connaissance » des lois et principes physiques auxquels le système est soumis. En d'autres termes, l'étude de la documentation technique, et votre connaissance du cours de SI, doivent vous permettre de déterminer certains paramètres du modèle.

**Activité 1** Par analyse de la documentation technique, compléter le schéma-blocs avec les paramètres suivants pour le moteur :

- Résistance électrique (en ohm)
- Constante de couple (en  $\text{Nm.A}^{-1}$ )

(NB : Dans Scilab, il suffit de faire clic droit, puis « modifier le contexte » pour affecter une valeur numérique à une grandeur littérale)

**Activité 2** Déterminer littéralement, en employant toute simplification que vous jugerez pertinente, l'énergie cinétique de l'ensemble rotor + réducteur + vis à billes. Justifier qu'on ne s'intéresse pas aux pièces du mécanisme en aval de la vis à billes pour ce calcul.

**Activité 3** En déduire l'expression de l'inertie équivalente  $J_{eq}$  vue depuis le moteur. Affecter la valeur numérique correspondant à  $J_{eq}$  (en  $\text{kg.m}^2$ ) dans le schéma-blocs.

**Activité 4** Quelles hypothèses simplificatrices ont été mises en œuvre pour établir le modèle qui vous est proposé. Discuter de leur pertinence.

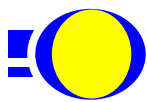
#### I.2 MODELE DE COMPORTEMENT

Il s'agit dans cette partie de déterminer des paramètres physiques de la CPM-130, que seule l'expérience peut nous aider à déterminer avec une bonne précision.

- Lancer le logiciel lhm\_CPM-130.
- Connecter l'interface PC (la LED devient verte en mode « connexion ») au CPM-130



- Cliquez sur l'interrupteur « Activation » pour activer la carte de commande
- Passer en mode LABO

**Activité 5 Préparer un pilotage du chariot avec les paramètres suivants :**

- Amener le chariot à son abscisse initiale  $P_{a0}=230$  mm grâce à la commande ci-contre

Paramétrer le mouvement commandé en cliquant sur « envoyer sollicitation axe » (cocher *acquisition*) avec les paramètres suivants :



- Consigne de vitesse du chariot= 20 mm/s
- Choix des mesures : Courant et Vitesse Axe
- Période d'échantillonnage 100ms (pour une durée de mesure d'environ 4s)
- Correcteur vitesse :  $K_p=90$  ;  $K_i=0$

**Activité 6 Justifier l'évolution temporelle du courant, et expliquer notamment quel phénomène est mis en évidence en régime permanent**

**Activité 7** Faire 4 mesures, pour lesquelles la consigne en vitesse du chariot sera successivement de 5, 10, 15, et 20 mm/s, lors desquelles vous relèverez les valeurs de  $\omega_{\text{moteur}}$  ( $\text{rad.s}^{-1}$ ), et l'intensité  $I$  (A) en régime permanent. Justifier que la mesure de l'intensité nous fournit en régime permanent une image du couple résistant  $C_r$  (Nm) dû aux frottements.

**Activité 8** Tracer avec un outil numérique (Excel, Python,...) vos relevés de points  $C_r=f(I)$ . En déduire les valeurs du couple résistance sec  $C_{r\text{sec}}$  (N.m), et le coefficient de frottement visqueux  $f$  (N.m.s).

**Activité 9** Compléter le schéma-blocs pour tenir compte de ces observations.

---

**I.3 VALIDATION DU MODELE**

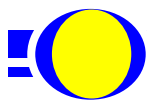
On se propose ici de confronter avec deux réglages distincts le modèle élaboré et l'expérience correspondante, puis de confronter les résultats.

**Activité 10** Exécuter sous Scilab la simulation suivante :

- Echelon de vitesse de +20 mm/s
- $K_{\text{pepos}}=90$ ,  $K_i=0$

**Activité 11** Réaliser sur l'attelle l'essai correspondant.

**Activité 12** Conclure sur la validité du modèle, le modifier si nécessaire.

**II. RÉGLAGE DE CORRECTEUR**

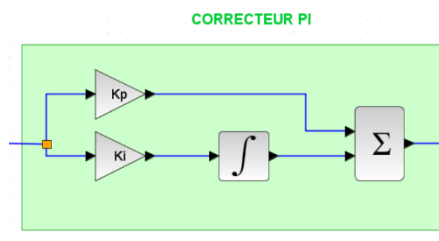
Le modèle précédemment élaboré, à priori valide dans certaines conditions d'emploi du système, nous permet dorénavant de prévoir les performances du système pour un réglage donné. L'objectif de cette partie est de prévoir un réglage de correction à l'aide du modèle numérique sous Scilab, puis de les valider sur le système réel.

On ne s'intéresse dans ce TP qu'aux critères de performances listés dans l'extrait de cahier des charges ci-dessous :

|           | Critère         | Niveau             |
|-----------|-----------------|--------------------|
| Précision | Erreur statique | $e_s=0$ mm/s       |
| Rapidité  | Tr5%            | $Tr5\% \leq 200ms$ |

**II.1 CORRECTION PROPORTIONNELLE**

Le modèle Matlab proposé utilise pour l'asservissement en vitesse un correcteur proportionnel intégral :



On souhaite ici analyser l'influence de la correction proportionnelle seule. A cet effet, dans toute la partie II.1, afin d'annuler le caractère intégral du correcteur, on prendra  $K_{ie}=0$  (**CTRL = H pour accéder au Worspace**). On note au passage que  $K_i=K_{iepos} \cdot 0.06$  ( $K_{iepos}$  correspondant à une grandeur « constructeur » de la carte EPOS, est linéairement liée avec la grandeur correspondante sur le schéma-blocs).

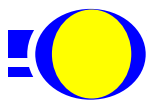
**Activité 13** Exécuter consécutivement 4 simulations, pour lesquelles :

- la consigne en vitesse du chariot : 20 mm/s
- Le correcteur sera réglé successivement avec les couples de valeurs suivants :

$(K_{pepos}, K_{iepos}) = (60, 0), (120, 0), (180, 0)$  et enfin  $(240, 0)$

Vous relèverez à chaque fois l'erreur statique, puis à l'aide d'un outil numérique (Excel, Python,...) vous tracerez l'erreur statique en fonction de  $K_p$ .

**Activité 14** Justifier l'allure du tracé observé vis-à-vis de la nature de la correction et des fonctions de transferts employées dans le schéma-blocs.



Afin de préparer le réglage d'asservissement sur le système réel, ouvrir sur l'IHM de la CPM-130, cliquer sur « paramétrer axe » :



puis ouvrir la fenêtre suivante :

Paramètre Axe 1 : "Axe linéaire"

Moteur / Capteur Sécurité Unité Position PID Position **PI Vitesse** PI Courant

Correcteur PI

KP, Gain Proportionnel : 60

KI, Gain Intégral : 0

Anticipation (feedforward)

Gain Vitesse : 0

Gain Accélération : 0

**Activité 15** Mettre en œuvre ( $K_{pepos}$ ,  $K_{iepos}$ )= (210 , 0) le réglage sur le système réel, et conclure quant à la pertinence de ce type de correction vis-à-vis d'un critère de précision, pour ce système.

## II.2 CORRECTION PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE

**Activité 16** Justifier la pertinence d'une correction présentant un caractère intégral vis-à-vis d'une problématique de précision.

Pour cette partie, on garde pour  $K_p$  la valeur suivante :  $K_p=210$ , et on va déterminer  $K_i$  par la méthode des pôles dominants, avant de le mettre en œuvre sur le système. Cette méthode est pratique pour pré-dimensionner un correcteur Proportionnel Intégral, en vue d'obtenir un système précis et suffisamment dynamique.

**Activité 17** En vous appuyant sur le schéma-blocs sous Matlab, déterminer analytiquement une valeur de  $K_i$  permettant de compenser le pôle dominant de la FTBO. On note que  $K_p=K_{pepos} \cdot 0.000917$

**Activité 18** En déduire la valeur de  $K_{iepos}$  correspondante sachant que  $K_i=K_{iepos} \cdot 0.060$

**Activité 19** Implémenter cette valeur de  $K_{iepos}$  dans le modèle numérique Scilab, exécuter, et discuter de la pertinence du réglage effectué.

**Activité 20** Implémenter le réglage complet ( $K_{pepos}$ ,  $K_{iepos}$ ) sur le système réel. Conclure.

## II.3 SYNTHESE

**Activité 21** Synthétiser les résultats obtenus pour le réglage du correcteur, et discuter qualitativement de la démarche suivie lors de ce travail pratique.