

## ROBOT COLLABORATIF COMAX

### Problématique :

*Faire évoluer et valider un modèle dynamique de l'axe asservi en position, afin de vérifier sa motorisation*

## 1 PRESENTATION ET PROPOSITION D'ORGANISATION DE TP

### 1) Présentation

Le système étudié est une partie d'un robot collaboratif. Ayant des domaines d'application très variés d'assistance à l'humain (domaine d'assistance à la personne, domaine médical), le contexte d'utilisation est ici le domaine manufacturier. Ce type d'équipement permet d'assister l'humain dans les tâches industrielles où il est nécessaire d'appliquer un effort répétitif pendant le travail. Le robot collaboratif est commandé de manière continue et intuitive par l'utilisateur ; pour cette raison, il est dit collaboratif puisque l'humain se trouve déchargé des efforts dans sa tâche. Cette solution limite les risques des Troubles Musculo Squelettiques (maladies TMS) et l'utilisateur peut alors uniquement se concentrer sur le contrôle du travail à accomplir.

Le diagramme des exigences du robot Collaboratif de la société SAPELEM est fourni dans le dossier ressources.

Le robot CoMax reprend les fonctions du robot collaboratif SAPELEM, tout en les complétant pour une approche didactique. Son diagramme des exigences est fourni dans le dossier ressources.

### 2) Objectifs et déroulement du TP

- Une première partie **d'analyse du système** permet de quantifier les performances attendues et d'identifier les composants constituant une chaîne fonctionnelle.
- Une deuxième partie **d'étude expérimentale** permet de mesurer les performances réelles.
- Une troisième partie permet de **simuler** le fonctionnement du régulateur sur une **modélisation numérique**.
- Enfin il faudra veiller tout au long du TP à caractériser les écarts entre les performances **réelles** et **simulées**.

### 3) Organisation

Pour une démarche conduite en îlot, le travail pourra être décomposé comme suit :

Conducteurs de projet	Modélisateur	Expérimentateur
Activité : 3, 4, 16, 17, 18, 19, 20,	Activité : 13, 14, 15,	Activité : 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Vous trouverez l'ensemble de la documentation sur le système dans la documentation technique disponible sur le serveur.

## 2 ANALYSE DU SYSTEME

### 1) Mise en oeuvre

**Activité 1. Mettre en service** (fiche 2) et activer la commande collaborative. Tester alors le comportement de l'axe lors d'une actions sur la poignée.

**Activité 2.** L'ajout de masses additionnelles influe-t-il sur les performances de la boucle collaborative du robot ? La sensation ressentie par l'utilisateur est-elle modifiée ?

*Enlever les 4 masses supplémentaires mises en place.*

### 2) Analyse structurelle du système

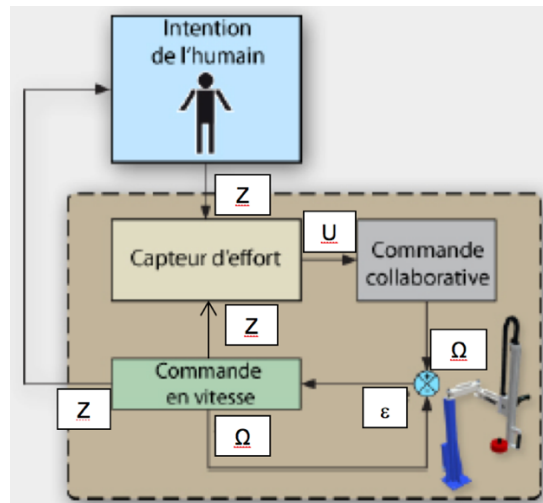
**Activité 3. Situer** chaque composant des chaînes d'énergie et d'information du système, puis **réaliser** une description de l'ensemble avec un graphe « chaîne d'énergie – chaîne d'information », qui sera utilisé pour effectuer la présentation lors de la restitution orale des travaux.

### 3) Modélisation de l'asservissement du système

A des fins ergonomiques, l'objectif est de faire ressentir à l'utilisateur une action faible lorsqu'il manipule le robot, même si ce dernier avec lequel il collabore déplace une lourde charge. Pour que la coopération avec le robot soit intuitive, l'humain est dans la boucle de commande.

L'humain impose un déplacement  $Z_c$  à une extrémité du capteur déformable (en exerçant un effort sur la poignée) et à partir de la tension  $U_j$  fournie par le capteur, la commande collaborative calcule une consigne de vitesse  $\Omega_c$  pour l'envoyer à l'axe linéaire asservi en vitesse.

L'autre extrémité du capteur liée à la partie mobile en translation de l'axe se déplace alors de la valeur  $Z_p$ . L'objectif est alors de maintenir nulle (ou très petite) la valeur  $Z_c - Z_p$ .



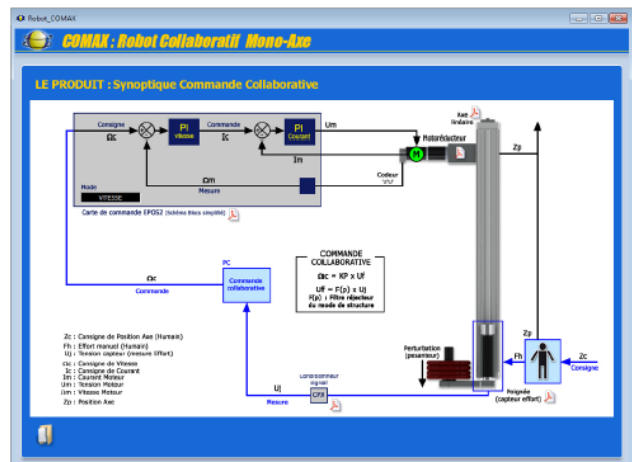
La Commande collaborative est exécutée en continu par l'interface du PC.

La Commande collaborative envoie (via la liaison USB) une consigne de vitesse  $\Omega_c$  à la carte de commande EPOS de l'axe asservi en vitesse, en fonction de la tension  $U_j$  image de la mesure effectuée par le capteur (intention de l'opérateur).

Le synoptique à l'écran reprend les éléments ci-contre.

Il montre de plus que la commande asservie (avec un correcteur Proportionnel Integral) en vitesse possède une boucle interne de courant (avec aussi un correcteur PI).

Un codeur incrémental placé à l'arrière du moteur renvoie la valeur mesurée de la vitesse de rotation du moteur.

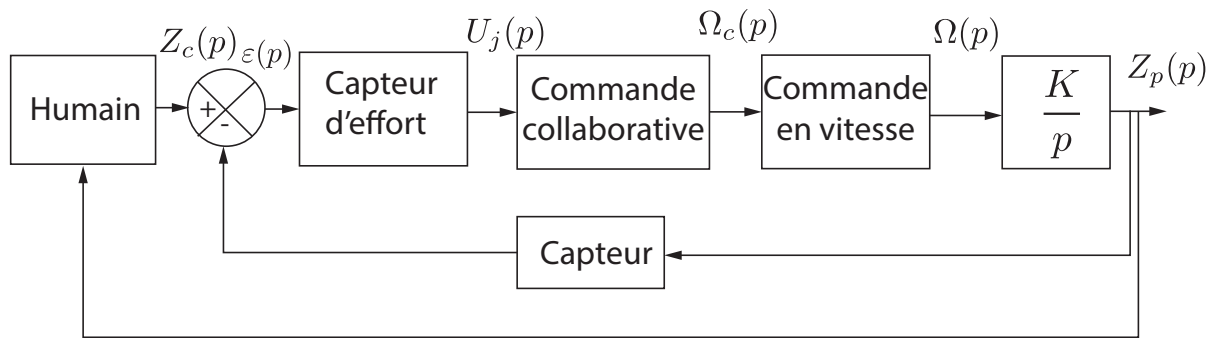


Le schéma bloc simplifié ci-dessous précise la structure du robot.

La Commande collaborative est exécutée en continu par l'interface du PC.

La Commande collaborative envoie (via la liaison USB) une consigne de vitesse  $\Omega_c$  à la carte de commande EPOS de l'axe asservi en vitesse, en fonction de la tension  $U_j$  image de la mesure effectuée par le capteur (intention de l'opérateur).





**Activité 4.** Un codeur incrémental optique placé sur l'axe du moteur réalise une mesure de position. Expliquer brièvement son principe de fonctionnement en consultant le dossier CAPTEUR et le DOSSIER TECHNIQUE. Quels sont les avantages et inconvénients de mesurer la position du moteur plutôt que celle de l'axe vertical.



### 3 ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTEME EN COMMANDE DIRECTE

#### 1) Mesure expérimentale du courant moteur

**Activité 5.** Réaliser des mesures afin de justifier l'évolution du couple moteur pour une entrée en trapèze de vitesse, avec différentes masses additionnelles et pour différentes accélérations.

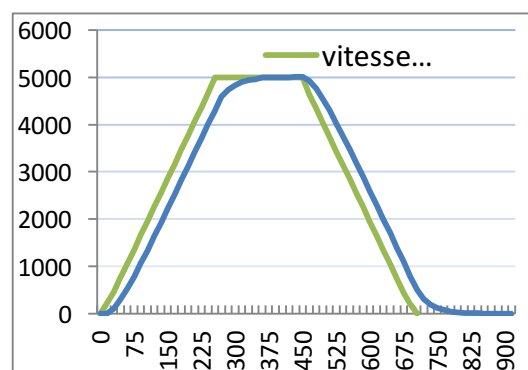
- Arrêter la commande collaborative
- Dans l'interface, sélectionner l'icône « Acquisition axe »  puis sélectionner l'acquisition de la consigne de vitesse et de position (icône ) et choisir un asservissement en profil de position.
- Solliciter l'axe  muni de **deux masses additionnelles** par une consigne en profil de position avec un échelon de valeur 250 mm, en partant de la position Basse.
- Vérifier que la vitesse et l'accélération du moteur sont aux valeurs maxi : 5000 rpm et 20 000 rpm/s
- Avant chaque manipulation, et pour revenir dans une position initiale correcte dans le cas d'un mouvement de l'axe, on se placera au préalable en position Basse  
Pour cela, il suffit de revenir dans l'écran de base de l'interface de mesure et de cliquer sur  puis Inter.
- Mettre l'échelle de courant à gauche et l'échelle de vitesse à droite en cliquant sur l'icône .
- Choisir un échantillonnage de 15ms pour avoir une visualisation sur toute la durée de fonctionnement (0.7s au moins)

**Activité 6.** Décrire l'évolution du courant dans les différentes phases de mouvement. Indiquer pourquoi le couple moteur est maxi au démarrage. Pourquoi le moteur force t'il en phase d'accélération nulle? Pourquoi est il non nul en début et fin de mouvement? Décrire les zones où le moteur est « moteur » et celles où il est « récepteur ».

**Activité 7.** Commenter les courbes ci-dessous en comparant la consigne en trapèze de vitesse et sa mesure. Justifier en particulier le retard. Pourquoi les changements de phase de mouvement ne sont ils pas discontinus en réalité ?

L'équation de mouvement de l'ensemble est de la forme :

$$C_m(t) = J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} + C_{pes}(t)$$



**Activité 8.** Ajouter 2 masses sur l'axe . Comment le courant et donc le couple moteur ont-ils évolué ? Expliquer et conclure. Modifier l'accélération en prenant le quart de la précédente. Comment le courant et donc le couple moteur ont-ils évolué ? Expliquer et conclure.

**Activité 9.** Conclure sur l'influence de l'inertie et de l'accélération sur le couple moteur, justifier en faisant appel à vos connaissances de dynamique.

- Avant chaque manipulation, et pour revenir dans une position initiale correcte dans le cas d'un mouvement de l'axe, on se placera au préalable en position *Inter*. Pour cela, il suffit de revenir dans l'écran de base de l'interface de mesure et de



cliquer sur puis *Inter*.

- Dans l'écran de base, sélectionner l'icône « Visualisation dynamique »



puis, afin de préparer les acquisitions,

cliquer sur l'icône puis sur afin de sélectionner la visualisation des paramètres pour un asservissement en courant. L'unité de la vitesse moteur est en rpm (tour par minute).



- Solliciter l'axe non chargé en cliquant sur puis en choisissant le Mode d'Asservissement *Courant (BO)* pour les consignes de courant 2500 mA, 3500mA, 4500 mA et 500, puis 800 mA.



- Chercher les courants justes suffisants pour provoquer le mouvement normal vers le haut ou juste suffisant avant le mouvement de chute vers le bas.

**Activité 10.** Interpréter les essais précédents. Donner en particulier la relation entre le couple (courant) moteur mesuré , le couple de frottement ramené sur l'axe moteur  $C_{\text{frottement}}$  et le couple de pesanteur  $C_{\text{pes}}$  ramené sur l'axe moteur , dans chacune des deux situations .

- On rappelle que les relations de comportement dans la machine à courant continu permettent d'écrire  $C_m = K_m I_m$ , avec  $K_m = 0,0302 N.m.A^{-1}$  et  $I_m$  l'intensité dans le moteur.
- Le constructeur annonce un rendement du réducteur de 0.75.

**Activité 11.** Déterminer à partir des valeurs précédentes la valeur absolue du couple ramené sur l'axe du moteur et représentant tous les frottements dans le mécanisme, en supposant qu'il est constant et le même à la montée et à la descente, noté :  $C_{\text{frottement}}$ . Discuter de son importance en pourcentage du couple moteur maxi. Conclure.






**Activité 12.** Dans quelles zones du mécanisme sont à priori situés les frottements les plus importants ?

## 2) Modélisation et simulation de l'axe asservi avec Scilab/Xcos

### a. Objectif

Analyser et faire évoluer une modélisation de l'axe asservi en position pour obtenir la valeur théorique du couple moteur. Le modèle utilisé désormais est fourni dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de position profil-serie3.zcos », qu'il faut ouvrir. Le correcteur de l'asservissement de position est déjà en place.

### b. Mise en place de la simulation

- Démarrer Scilab en cliquant sur l'icône .
- Charger le module CPGE, voir l'annexe (fiche 8).**
- Lorsque la fenêtre de commande apparaît, taper « xcos » ou cliquer sur .
- Dans la fenêtre graphique qui apparaît, sélectionner Ouvrir dans le Menu Fichier et sélectionner le fichier « Asservissement de position profil-serie3.zcos »
- La variable de Laplace dans Scilab est notée « s ». Les blocs  permettent de tracer des réponses temporelles.
- Le bloc  permet de tracer les réponses temporelles. Il suffit de double cliquer dessus pour modifier les paramètres c Time 0.7 s in.
- Il suffit, pour lancer les simulations, de cliquer sur  (Simulation).
- Vous devez au préalable cliquer avec le bouton droit sur le fond d'écran Scilab et choisir : « Modifier le contexte » pour vérifier les valeurs pour les différents paramètres.

Le constructeur fournit les données suivantes pour la consigne en profil de position :

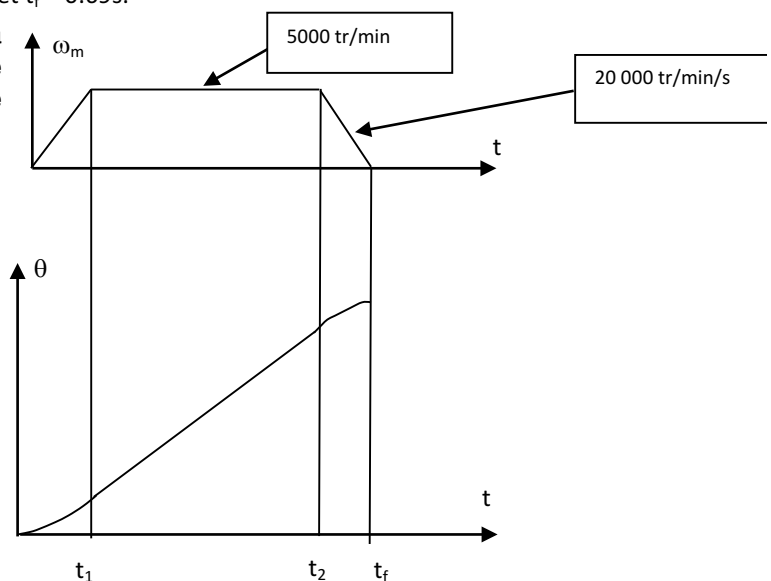
- Vitesse maximale au niveau du moteur  $\omega_{m\max} = 5000 \text{ tr.min}^{-1}$
- Accélération maximale au niveau du moteur  $\dot{\omega}_{m\max} = 20000 \text{ tr.min}^{-1}.\text{s}^{-1}$

La consigne en profil de position est déduite du trapèze en vitesse ci-dessous :

On effectue un déplacement de 250 mm et  $t_1 = 0.25\text{s}$ ,  $t_2 = 0.44\text{s}$  et  $t_f = 0.69\text{s}$ .

**Activité 13.** Analyser le modèle proposé : nature de la consigne, type de correcteur de position, de courant, moteur, action de la pesanteur (le frottement sera étudié plus loin) .

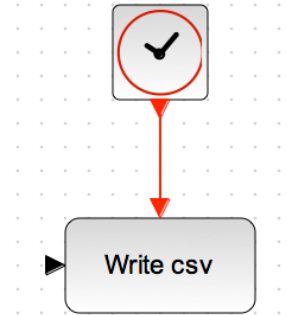
**Activité 14.** Vérifier les valeurs entrées dans le contexte (nombre de masses : 2) puis lancer le calcul pour afficher en particulier le courant moteur. Commenter cette courbe image du couple moteur.



- $J_{eq0}$  est l'inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur à l'ensemble : pièces tournantes de l'actionneur, du réducteur et du moteur, pièces en translation en l'absence de masses additionnelles. Sa valeur est  $J_{eq0} = 22 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$ , d'après les caractéristiques de l'axe en translation fournies dans les documents ressources.
- On note  $N_{bm}$  le nombre de masses supplémentaires ( $m = 1 \text{ kg}$ ) placées sur le support de masses additionnelles.

**Activité 15.** Ajouter la fonction « write CSV » disponible dans le module CPGE/sortie pour exporter l'évolution du courant.

- « Double cliquer » sur l'horloge et préciser la période d'échantillonnage
- « Double cliquer » sur « Write CSV » et préciser le nom du fichier .csv ainsi que son chemin d'accès



#### 4 ANALYSE DES RESULTATS DE LA SIMULATION ET ESTIMATION DES ECARTS ENTRE PERFORMANCES SIMULEES ET MESUREES

**Objectif :** Analyser les écarts entre les valeurs issues de la mesure d'une part, et celles issues de l'étude logicielle d'autre part, puis prendre des dispositions pour réduire cet écart, faire évoluer et valider le modèle

**Activité 16.** Conclure sur les écarts entre les valeurs issues de la mesure d'une part, et celles issues de l'étude logicielle d'autre part. Chiffrer la valeur maxi en pourcentage. Citer les éléments pouvant être responsables de ces écarts.

- Le constructeur précise que pour protéger le moteur, il a mis en place des valeurs extrêmes de courant (+7.5 A et -7.5 A) en les saturant.

**Activité 17.** Sur le modèle Scilab, modifier le contexte en saturant le courant et en modélisant 2 puis 4 masses additionnelles, la charge maxi. Conclure sur l'influence de la saturation de courant sur l'évolution du couple moteur, y compris dans la situation de charge maxi. Statuer alors sur l'hypothèse de système linéaire, en particulier.

**Activité 18.** Montrer l'influence du frottement sur l'évolution du couple moteur. Justifier le moyen utilisé pour modéliser le frottement de coulomb sur le schéma fourni. Entrer dans modifier le contexte la valeur mesurée plus haut (0.04 Nm) du couple de frottement ramené sur l'axe moteur.

**Activité 19.** Conclure sur les écarts entre les valeurs issues de la mesure d'une part, et celles issues de l'étude logicielle d'autre part, données sur la courbe ci-dessous. Remplir le tableau des écarts. Chiffrer la valeur maxi en pourcentage. Est-il possible de valider le modèle ainsi construit ?

**Activité 20.** Sur la documentation du moteur extraite ci-dessous, vérifier que la motorisation convient. Pour cela mettre en place le point de fonctionnement correspondant aux valeurs extrêmes (couple et vitesse) sur la courbe ci-dessous et vérifier que la puissance maxi de 150W n'est pas dépassée. Conclure en émettant les conditions de fonctionnement dans ce cas.