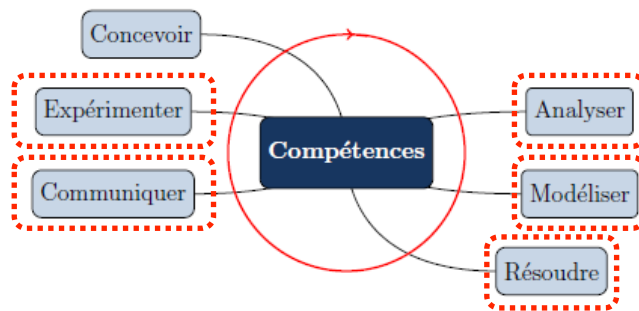


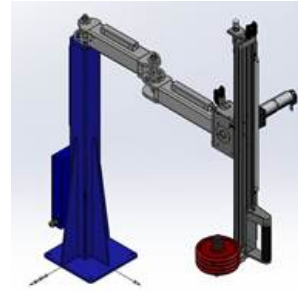
Problème technique :

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



Matériel utilisé :

- Système Comax
- Logiciel d'acquisition associé au système
- Logiciel de modélisation simulation dynamique : Scilab



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**.

I. Analyse du système

a. Présentation structurelle

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.




SI	Robot collaboratif COMAX	TP
----	--------------------------	----

b. Analyse du besoin : adaptation de la collaboration

- Vérifier que la maquette est sous sous tension et que le bouton d'arrêt d'urgence est bien désenclenché.



- Démarrer l'EMP CoMax en cliquant sur  et parcourir le menu « Le Produit ».
- L'interface CoMAX étant lancée, cliquer sur Connexion puis sur Activation (boutons de sélection en haut à gauche de l'écran). L'axe se positionne par défaut en position Basse.



- En cliquant sur l'icône , commander l'axe en position *Inter*

Activer la commande collaborative en cliquant sur le bouton de sélection « collaboration » en haut à gauche de l'écran.

Tester le comportement de l'axe lors d'une action sur la poignée.

Il se peut que le réglage du système (courant résiduel) ne soit pas correct ce qui provoque un déplacement du bras vers le bras. Il faut alors régler l'Off-set CPJ.



- Cliquer sur 

PARAMETRES COMAX

Spécifications Axe | **Commande Collaborative** | Positionnement Axe

Commande Collaborative : $\Omega_c = K_P \times U_f$
 $U_f = F(p) \times U_j$

Commande de Vitesse Proportionnelle
Filtre réjecteur du Mode de structure

Commande Collaborative

Gain Prop. (KP) : 2000 x 0.001

Limitations Asservissement Vitesse

Accélération Max. : 25000 rpm/s
Vitesse Max. : 6000 rpm

☒ **Filtre réjecteur du Mode de structure**

Période : 130 ms

Traitement Signal Capteur Effort

Offset CPJ : 2440 mV
(Réglage zéro signal)

Plage morte +/- : 20 mV

- Placer alors 4 masses supplémentaires de 1 kg sur le support de masse et tester à nouveau le comportement collaboratif.

Les performances de la boucle collaborative ne sont pas modifiées par l'ajout de masses additionnelles.

La sensation ressentie par l'utilisateur n'est pas modifiée.

On comprend bien que le robot est un robot collaboratif, seule l'intention est détectée et le comportement est indépendant de la masse transportée.

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.

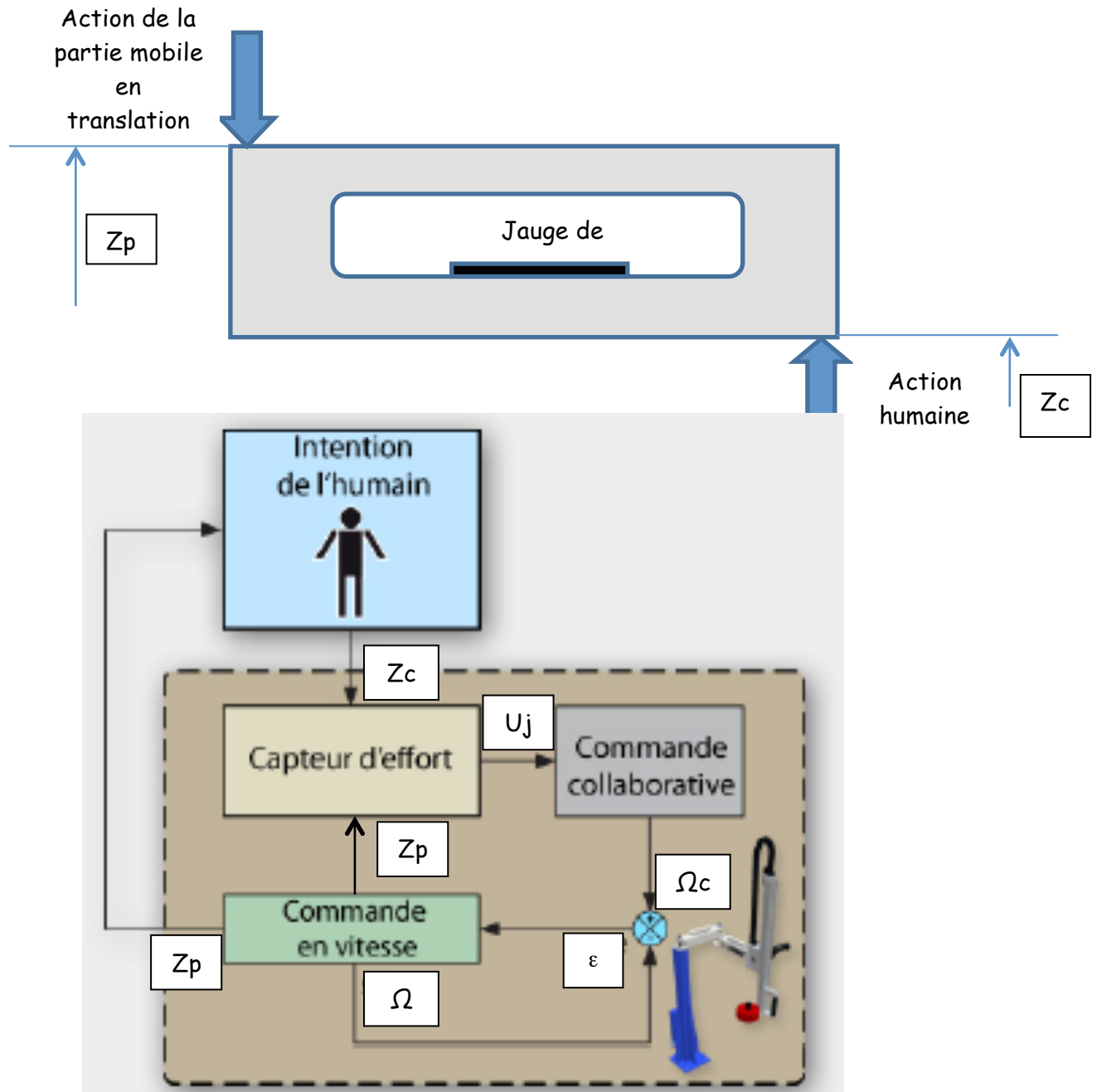
SI	Robot collaboratif COMAX	TP
----	--------------------------	----

Pour une sécurité de conduite accrue, la dureté du volant doit être fonction de la vitesse du véhicule.

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 Ω_c pour l'envoyer à l'axe linéaire asservi en vitesse.

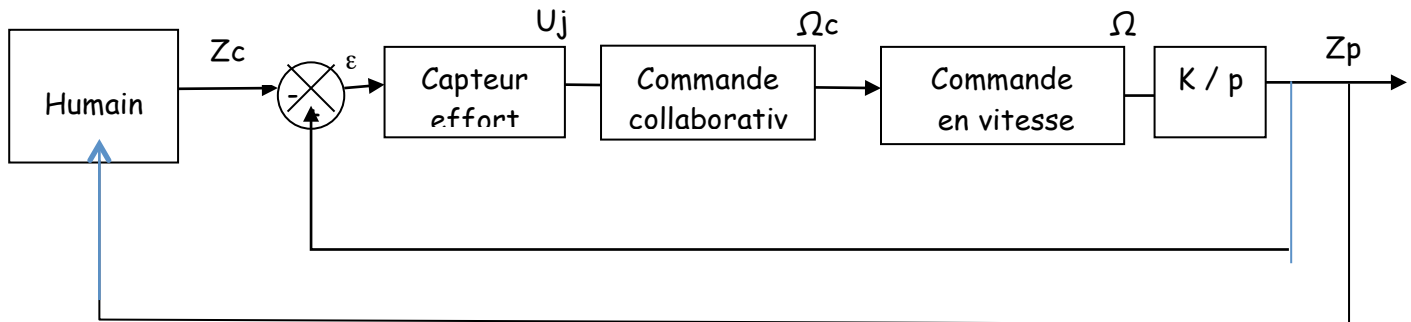
L'autre extrémité du capteur liée à la partie mobile en translation de l'axe se déplace alors de la valeur Z_p . L'objectif est alors de maintenir nulle (ou très petite) la valeur $Z_c - Z_p$.

La figure ci-dessous précise le montage du capteur déformable à jauge équipant la poignée du robot (voir aussi la documentation du dossier technique).



SI	Robot collaboratif COMAX	TP
----	--------------------------	----

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 Ω_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-dessus.

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

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

Nous allons nous intéresser uniquement à la structure de **l'asservissement de position**, qui est mis en œuvre par exemple lors du positionnement de l'axe dans les positions Basse, Inter et Haute en cliquant,



dans le menu de base de l'interface, sur l'icône .

L'objectif est de faire évoluer le modèle proposé de l'axe asservi en position et de le valider en comparant les résultats théoriques aux résultats mesurés.

La structure de l'asservissement de position est donnée sur le schéma de la page suivante.

Dans cette situation, l'utilisateur agit depuis le PC pour prépositionner l'axe et donne ses consignes de position Basse, Inter et Haute, *sans agir sur la poignée* .

Le capteur d'effort ne figure donc pas dans ce schéma.





Question 1 : Un codeur incrémental optique placé sur l'axe du moteur réalise une mesure de position .

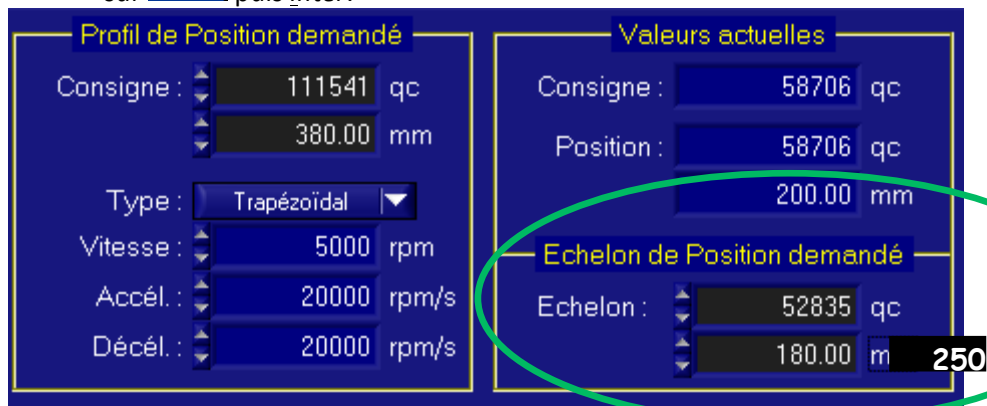
Expliquer brièvement son principe de fonctionnement en consultant le dossier CAPTEUR et le DOSSIER TECHNIQUE. Quels sont les avantages et inconvénients de mesurer la position du moteur plutôt que celle de l'axe vertical.


II. Analyse expérimentale : mesure du courant moteur

a. Objectif de l'expérimentation

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)

Question 2 : Décrire l'évolution du courant dans les différentes phases de mouvement.

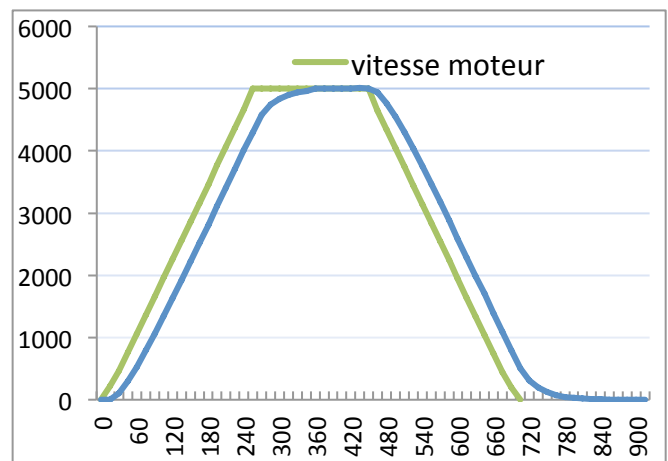
Indiquer pourquoi le couple moteur est maxi au démarrage.

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 ».

Question 3 : 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 :
$$C_m = J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} + C_{pes}$$




Question 4 : 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.

Question 5 : 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.

Question 6 : Interpréter les essais précédents. Donner en particulier la relation entre le couple (courant) moteur mesuré , le couple de frottement ramené sur l'axe moteur $C_{frottement}$ et le couple de pesant C_{pes} ramené sur l'axe moteur , dans chacune des deux situations .

Page : 7	Cycle 3 : Performances dynamiques des solides	PSI	TP4
Robot collaboratif Comax			

- 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.

Question 7 : 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.

Question 8 : Dans quelles zones du mécanisme sont à priori situés les frottements les plus importants ?

III. Modélisation et simulation de l'axe asservi avec Scilab/Xcos




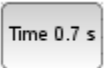

a. Objectif

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.**
- Lorsque la fenêtre de commande apparaît, taper « xcos » ou cliquer sur .
- Dans la fenêtre graphique qui apparaît, sélectionner Ouvrir dans le Menu Fichier et sélectionne 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 de simulation.
- 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 $\omega_{m\max}^g = 20000 \text{ tr.min}^{-1}.s^{-1}$

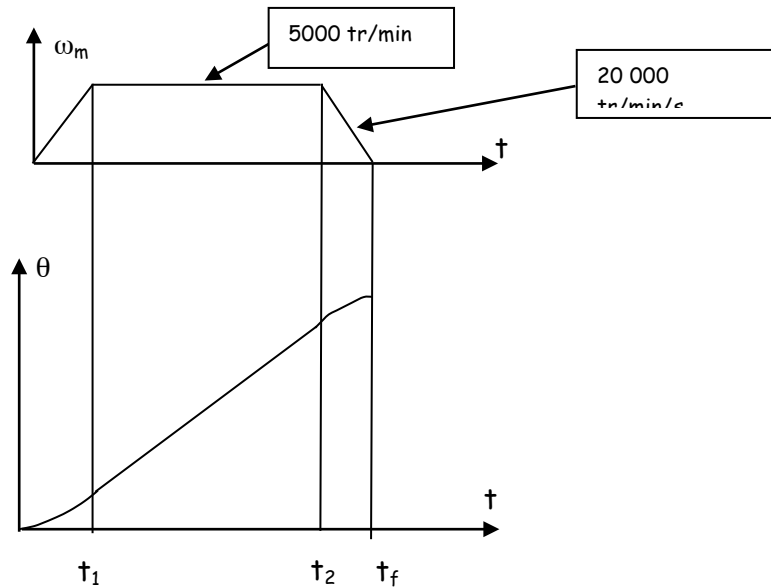
La consigne en profil de position est déduite du trapèze en vitesse ci-dessous :

Page : 8	Cycle 3 : Performances dynamiques des solides	PSI	TP4
Robot collaboratif Comax			

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

Question 9 : 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) .

Question 10 : 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.

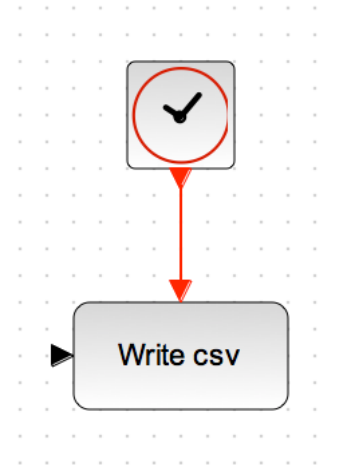
Question 11 : Analyser le modèle proposé : nature de la consigne, type de correcteur de position, de courant, moteur, action de la pesanteur (le frottement sera étudié plus loin) .

Question 12 : 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.

Question 13 : Ajouter la fonction « write CSV » disponible dans le module CPGE/sortie pour exporter l'évolution du courant.

Page : 9	Cycle 3 : Performances dynamiques des solides	PSI	TP4
Robot collaboratif Comax			

- « 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



IV. Analyse des résultats de la simulation et estimation des écarts entre performances simulées et mesurées

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

Question 14 : *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.

Question 15 : 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.

Question 16 : 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.

Question 17 : *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 ?*

Robot collaboratif Comax

Question 18 : Sur la documentation du moteur extraite ci-dessous, verifier 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 verifier que la puissance maxi de 150W n'est pas dépassée.

Conclure en émettant les conditions de fonctionnement dans ce cas.

