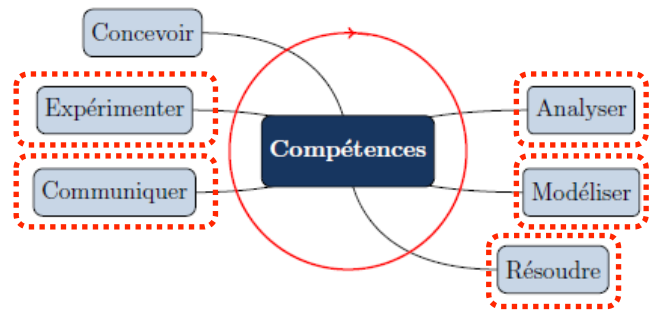


Période 3 TP

ROBOT COLLABORATIF COMAX



Problème technique :

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

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.



Vous allez dans ce TP réaliser les activités suivantes :

Obtenir une réponse : Mesure du courant moteur

Objectif : 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.

Obtenir un résultat : Modélisation de l'axe asservi en position

Objectif : Analyser et faire évoluer une modélisation de l'axe asservi en position pour obtenir la valeur théorique du couple moteur.

Diagnostiquer un écart et définir un plan d'action


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 et enfin vérifier la motorisation.

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


Partie 1 et 2 :

- Vérifier que la maquette est 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 



- 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.

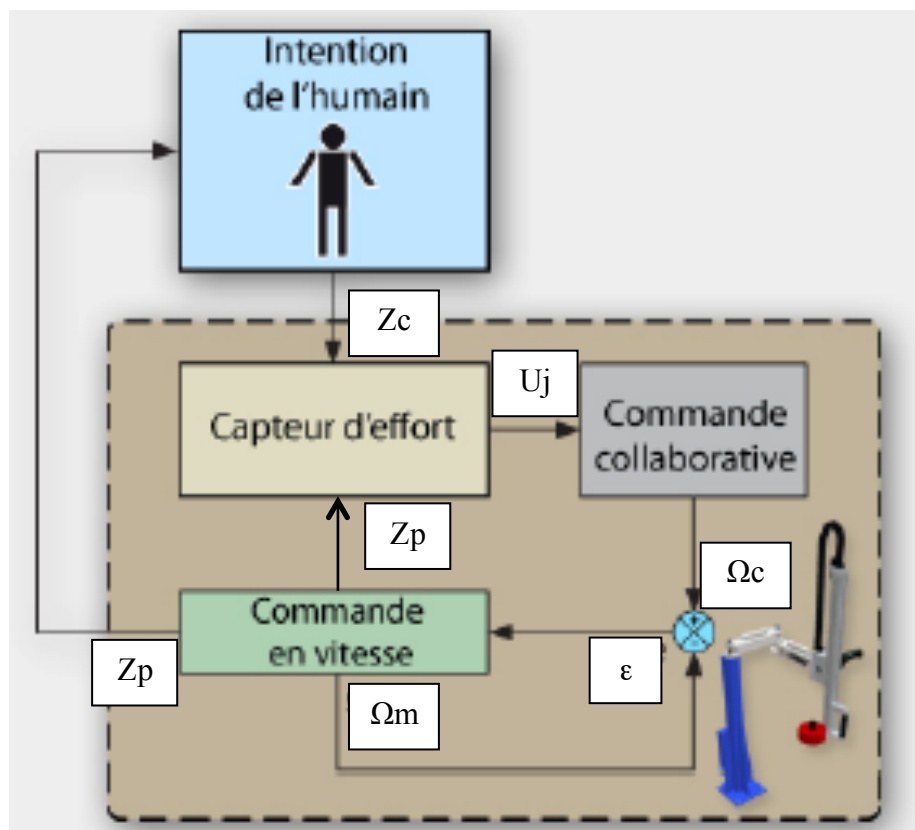
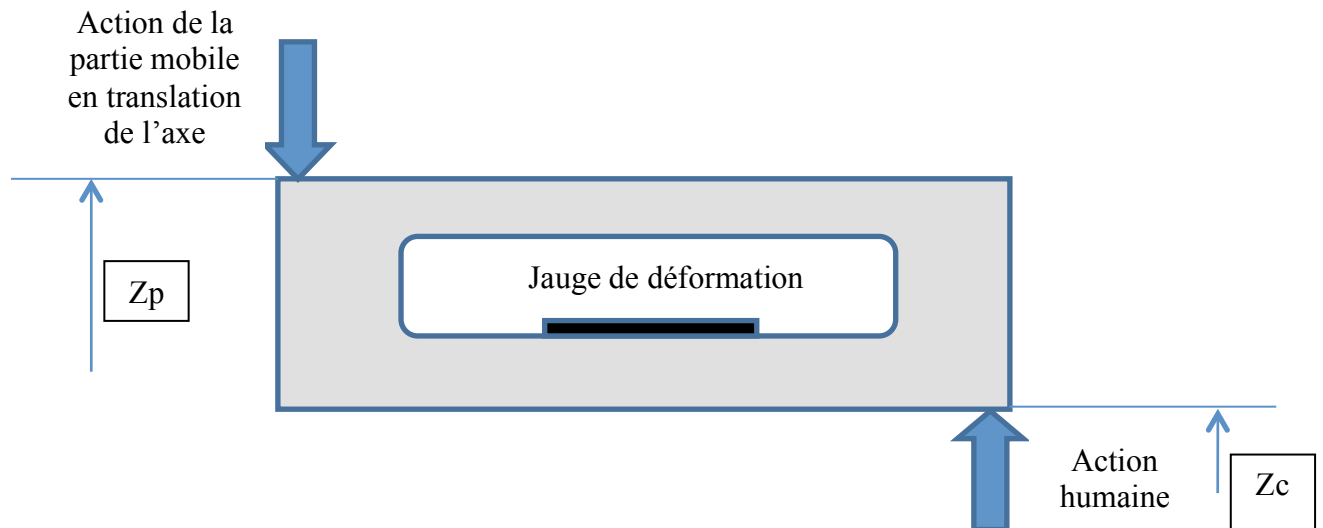
A des fins ergonomiques, l'objectif est de faire ressentir à l'utilisateur une action faible lorsqu'il manipule le robot, même si ce dernier avec lequel il collabore déplace une lourde charge.

Pour que la coopération avec le robot soit intuitive, l'humain est dans la boucle de commande.

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

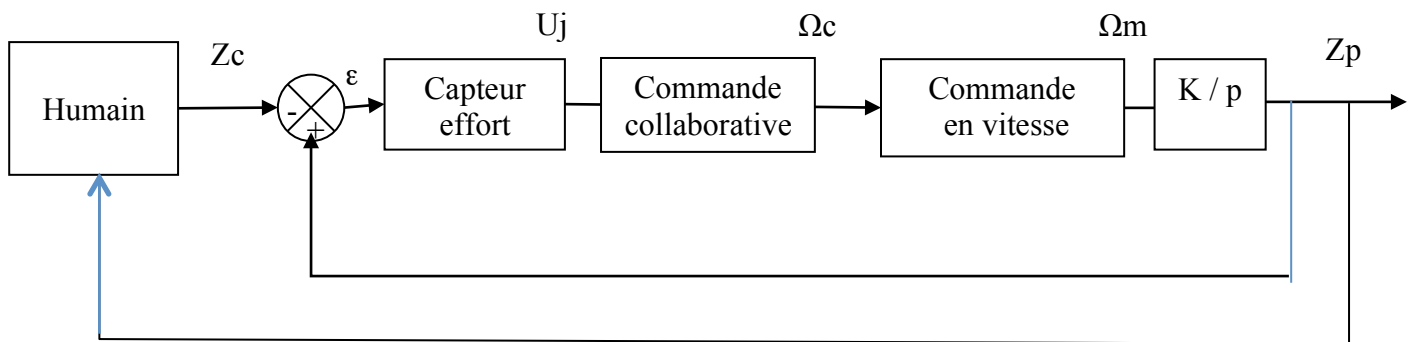
L'humain impose un déplacement Z_c à une extrémité du capteur déformable (en exerçant un effort sur la poignée) et à partir de la tension U_j fournie par le capteur, la commande collaborative calcule une consigne de vitesse Ω_c pour l'envoyer à l'axe linéaire asservi en vitesse. L'autre extrémité du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



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

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



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 issue 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 Integral) 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


Partie 1 : Obtenir une réponse : mesure du courant moteur

Objectif : 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.

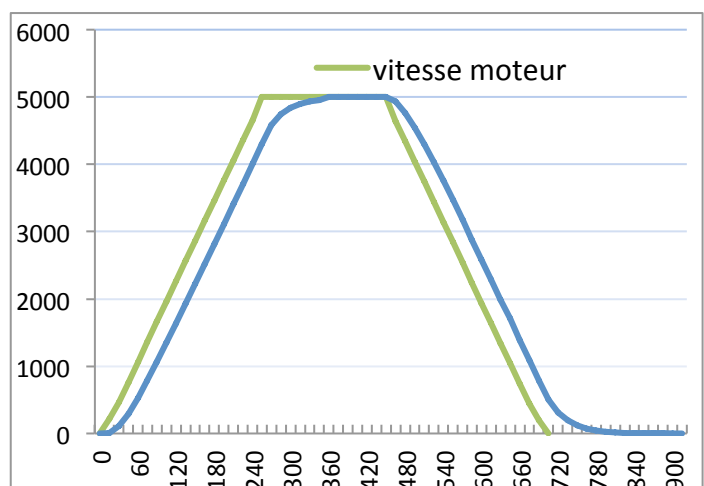


The screenshot shows a control interface with two main panels. The left panel, titled 'Profil de Position demandé', contains fields for 'Consigne' (111541 qc, 380.00 mm), 'Type' (Trapézoïdal), 'Vitesse' (5000 rpm), 'Accél.' (20000 rpm/s), and 'Décél.' (20000 rpm/s). The right panel, titled 'Valeurs actuelles', shows 'Consigne' (58706 qc), 'Position' (58706 qc, 200.00 mm), and 'Echelon de Position demandé' (52835 qc, 250.00 mm). A green oval highlights the 'Echelon de Position demandé' section.

- 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 ? Pourquoi est-il non nul en début et fin de mouvement ? Décrire sur la sortie imprimante les zones où le moteur est « moteur » et celles où il est « receveur ».

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 ?



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






L'équation de mouvement de l'ensemble est de la forme : $C_m = J_{eq} d\omega_m/dt + C_{pes}$

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 pesanteur C_{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 reducteur 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 : $C_{frottement}$.

Discuter de son importance en pourcentage du couple moteur maxi. Conclure.

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




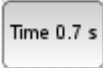

Dans quelles zones du mécanisme sont à priori situés les frottements les plus importants ?

Partie 2 : Obtenir un résultat : Modélisation de l'axe asservi en position

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.

- 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.

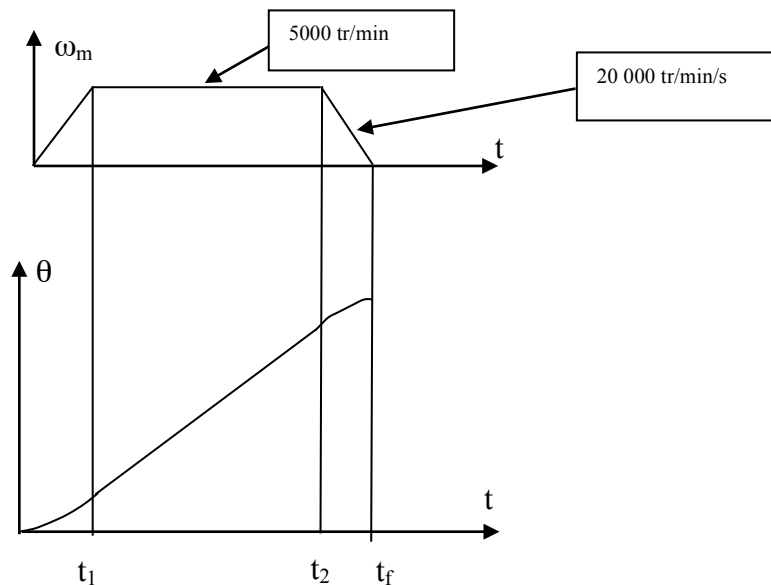
Le constructeur fournit les données suivantes pour la consigne en profil de position :

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

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 $t_f = 0.69\text{s}$.

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



- J_{eq0} est l'inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur à l'ensemble : pièces tournantes de l'actionneur, du reducteur 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 8 : 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 9 : 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.

Partie 1 et 2 : Diagnostiquer un écart et définir un plan d'action

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 10 : 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 extrémales de courant (+7.5 A et -7.5 A) en les saturant.

Question 11 : 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 12 : 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.

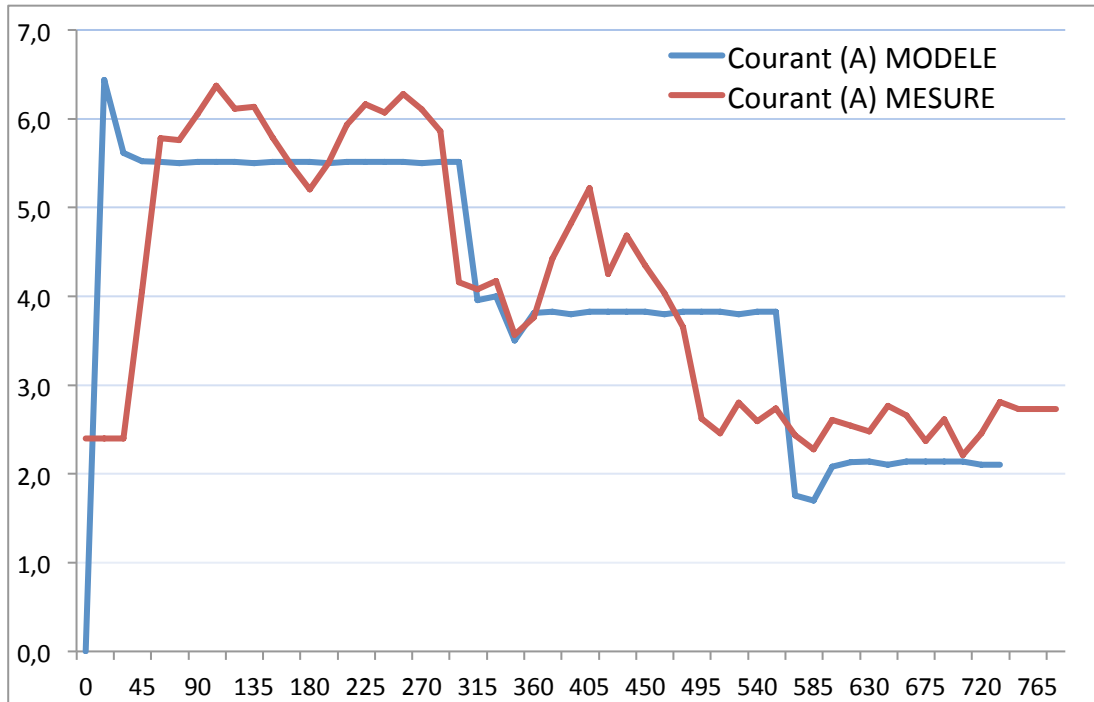
Entrer dans modifier le contexte la valeur mesurée plus haut (0.04 Nm) du couple de frottement ramené sur l'axe moteur.

Question 13 : 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.

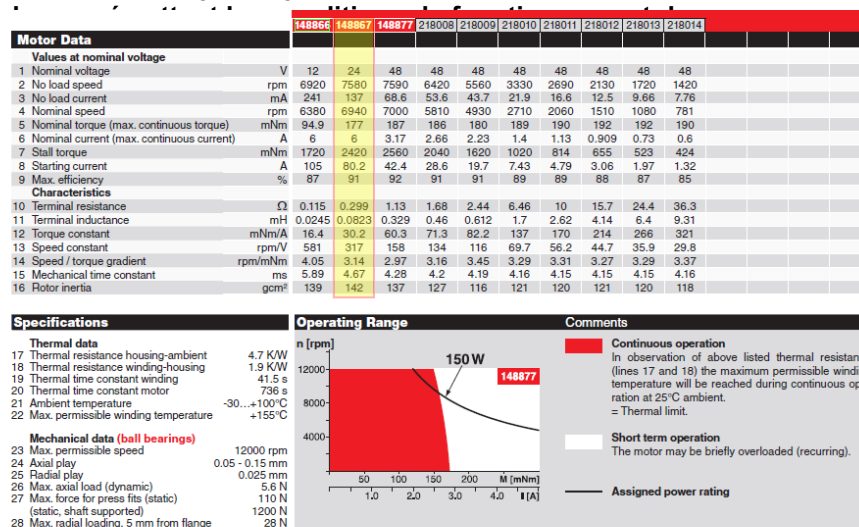
Est il possible de valider le modèle ainsi construit ?



Question 14 : 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.

Con



Annexe : chargement du module CPGE

Lancement de la console Scilab 5.4.1 Icône sur le bureau. La console windows apparaît.

Scilab charge l'environnement de travail au démarrage.

Vérifier (ou configurer) que les différents modules ATOM se chargent en l'occurrence le module CPGE,

les modules peuvent être chargé par le menu ATOM. Le module CPGE se trouve dans Education. Il faut redémarrer Scilab, puis lancer XCOS : icône bleue juste à droite de celle de ATOM.

