

## Support technologique : Control'X

**Objectifs** : Control'X est la maquette de laboratoire uniaxe d'un robot portique multiaxe. Donc ici, seul l'axe X est motorisé et instrumenté. Le déplacement d'un chariot en translation est assuré par un moteur CC entraînant un réducteur puis une poulie/courroie.

**La présente étude a pour but de :**

- Evaluer les performances de précision/rapidité/amortissement/robustesse du système
- Compléter et critiquer le modèle causal (schéma bloc)
- Mettre en évidence les problématiques de perturbation et saturation
- Comparer les performances expérimentales et simulées : écart n°2 de la démarche ingénieur (voir ci-après).

Durée de la séance : 2 heures avec permutation à mi-séance



### Démarche ingénieur

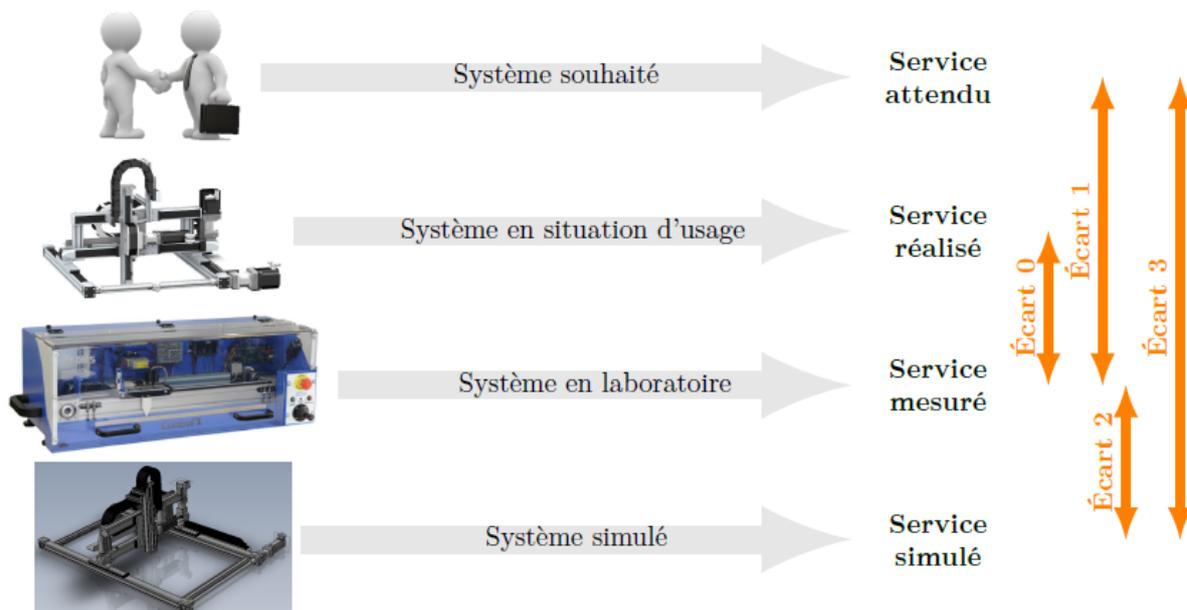


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

**Objectif : minimiser les écarts**

## Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Lire le sujet
- Partie **1** préparatoire. A faire chez soi. Sera vérifiée en début de séance par le professeur. Ne doit pas être abordée pendant la séance de TP.



Revoir les notions suivantes

- Performances d'un système asservi : stabilité, précision, rapidité, amortissement, robustesse
- Critère de performance d'un système asservi : erreur statique, temps de réponse à 5%, 1<sup>er</sup> dépassement relatif, erreur après perturbation.
- Non linéarité : saturation notamment
- Calcul du rapport de réduction d'un train épicycloïdal

Vous disposez

- Du sujet



Vous devez rendre

- Rédaction des réponses sur cahier de TP.



## PARTIE 1 : PREPARATION DE LA SEANCE

**Cette partie se prépare avant la séance de TP... chez soi. Elle doit être prête et rédigée avant la séance.**

### Calcul du rapport de réduction du réducteur épicycloïdal

Vous disposez du schéma cinématique montrant la chaîne de puissance de Control'X, et, notamment des données du réducteur à train épicycloïdal, en annexe 4. Calculez son rapport de réduction  $i$ . Avant le calcul prenez soin de bien définir ce qu'est  $i$  (rapport des deux vitesses recherché). Expression littérale, puis, application numérique.



### Constante de force électromotrice et constante de couple

La constante de force électromotrice,  $K_e$ , du moteur électrique est donnée par leur fabricant (copie d'écran ci-dessous du tableau constructeur en annexe 3) :

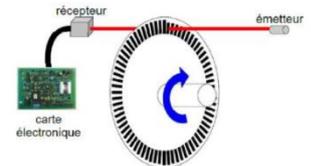
| Constante de couple                      | * | $K$ OU $K_c$ | $N.m/A$  | 0.21                   |
|--|---|--------------|----------|------------------------|
| Constante de force contre électromotrice | * | $k$ ou $k_e$ | V/min    | $21.8 \times 10^{-3}$  |
| Moment d'inertie du rotor                | * | $J$          | $kg.m^2$ | $0.027 \times 10^{-3}$ |

Vous remarquerez la faute grossière du fabricant : il ne faut pas lire  $V/min$  mais  $V.min/tr$  !! Pfff !

- Convertir cette valeur de  $K_e$  en unité du système international, soit, en  $V.s.rad^{-1}$ .
- Démontrer que l'unité  $V.s.rad^{-1}$  est dimensionnellement équivalente à  $N.m.A^{-1}$ .
- Comparer avec la valeur de la constante de couple donnée dans ce même tableau annexe 3 (Et non, ce n'est pas un hasard !)

### Résolution du codeur angulaire

La mesure de la position du chariot n'est pas directe. Un codeur angulaire est installé sur le rotor moteur et mesure l'angle balayé par le rotor. La position du chariot est ensuite déduite par la loi entrée-sortie géométrique.



Le codeur angulaire délivre 4000 impulsions par tour.

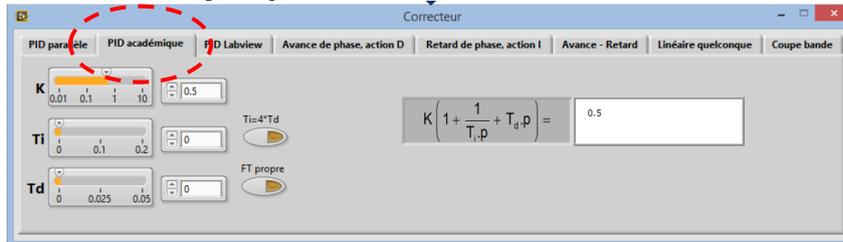
- L'information délivrée est de type « numérique » : il est donc naturel de déterminer la *résolution* du codeur. Calculer sa résolution angulaire  $\delta$ , en  $^\circ$  et en  $rad$ .
- Calculer sa fonction de transfert  $K_{cap}$  en points/radian ( $pts/rad$ ).

## PARTIE 2 : EXPERIMENTATION

### 1ère expérience

Reportez-vous à l'annexe 1 pour la mise en route et l'utilisation de Control'X (essais).  
A partir du PC, lancer l'appliquatif « Control'Drive ».

Réaliser un essai en boucle fermée : consigne 100 mm, sur une durée de 0,7s.  
Réglage de correction PID : uniquement proportionnel, **Kp=0,5**, « Ti=0 », Td=0 (Choix « PID académique »).



Relever : la vitesse de rotation moteur maxi atteinte, la tension maximale d'alimentation moteur, la valeur de position finale atteinte.

Déterminer l'erreur statique de position. Conclusion.

Déterminer le temps de réponse à 5%.

Déterminer le 1<sup>er</sup> dépassement relatif.

Que remarquez-vous sur l'évolution de la tension moteur ?

### 2ème expérience

Faire de nouveaux essais échelon progressifs en diminuant la consigne, pour faire disparaître la « non linéarité » de la tension moteur. Noter la consigne à partir de laquelle (à peu près) il n'y a plus de saturation de tension.

Pourquoi la saturation de la tension de commande moteur apparait-elle avec une forte consigne et disparaît-elle avec de faibles consignes ?

D'où provient, technologiquement la saturation de tension ?



**Fin de la partie 2 : permutation.**

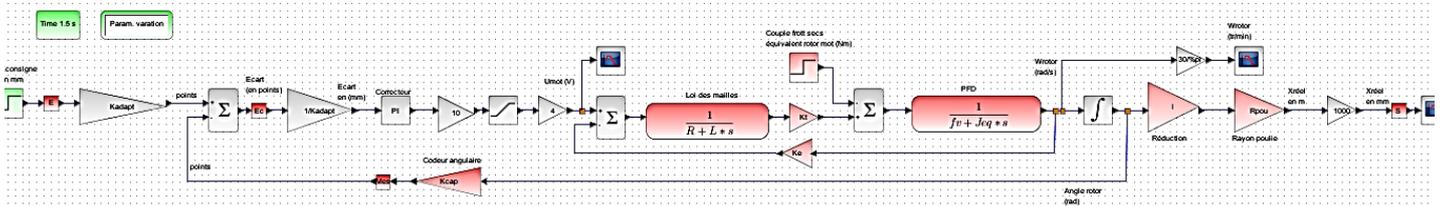
## PARTIE 3 : SIMULATION

Sur un PC de la « zone informatique », ouvrez le logiciel Scilab, A PARTIR DE L'ICONE DU BUREAU SANS FAIRE UNE RECHERCHE. Sinon vous risquez d'ouvrir une mauvaise version de Scilab.



Ensuite, quand Scilab est ouvert, ouvrez le modèle simulé Scilab/Xcos : « *schema\_bloc\_ControlX-eleve* ».

Vous obtenez un schéma bloc qui ressemble à ceci :



### Préparation du modèle causal

Pour saisir les valeurs : clic droit sur l'arrière-plan du graphique, puis « modifier le contexte » pour obtenir la saisie des valeurs des différents paramètres.

Reportez-vous à l'annexe 3 et saisissez les valeurs des données du moteur électrique :  $R$ ,  $L$ ,  $K_e$ ,  $K_c$ .

Saisir le rapport de réduction  $i$  et le rayon de la poulie  $R_{pou}$  (annexe 5).

Saisir le gain capteur  $K_{cap}$ .

Reportez-vous à votre TP du cycle de TP précédent de dynamique (vous avez un cahier de TP, cela sert à quelque chose !) : saisir le coefficient de frottement visqueux équivalent, et l'inertie équivalente rapportés au rotor moteur :  $f_v$  et  $J_{eq}$ .

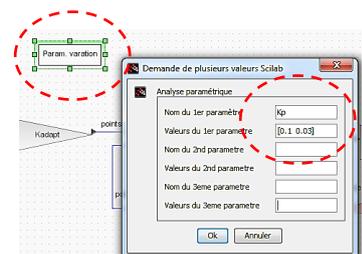
Frottement sec dans toute la chaîne de transmission de puissance, rapportée au rotor moteur : vous avez déterminé ce couple de frottement (Nm) dans le TP Control'X du cycle précédent. Retrouvez la valeur de ce couple et saisissez-le.

### Simulation causale : correction proportionnelle

Pour une valeur de consigne de 20mm, lancer une simulation pour deux réglages de correction proportionnelle simultanée  $K_p = 0,1$  et  $0,03$  (pas de correction intégrale :  $K_i=0$ ). Vous allez visualiser les sorties pour ces deux valeurs différentes sur les mêmes graphiques grâce au bloc « paramètre variation ».

Adapter la durée de la simulation (bloc « Time ») quitte à refaire des simulations.

Observer l'évolution des différentes grandeurs physiques.



- Précision : valeur de l'erreur statique ? Conclusion ? Provenance de cette erreur non nulle ? Vérifier cette provenance en rendant nulle la perturbation.
- Observez l'évolution de la tension : une non linéarité apparaît. Quelle est-elle ? Noter la « valeur ».

### Simulation causale : correction intégrale

Régler la correction proportionnelle  $K_p = 0,03$  et ne pas la modifier.

Pour visualiser l'effet de la correction sur la perturbation, faire apparaître le couple de frottement à l'instant  $t=0,5s$ . Certes, c'est artificiel, mais cela permet de voir l'influence d'une correction intégrale sur une perturbation.

Lancer une simulation affichant les trois réponses simultanées pour le gain intégral  $K_i$  ayant les valeurs : 0,01 ; 0,1 ; 0,5.

Conclure sur l'influence d'une correction proportionnelle sur un asservissement.



---

**Fin de la partie 3 : permutation.**

**FIN DU SUJET**

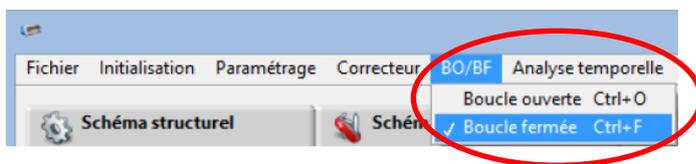
## Annexe 1 : utilisation de Control'X



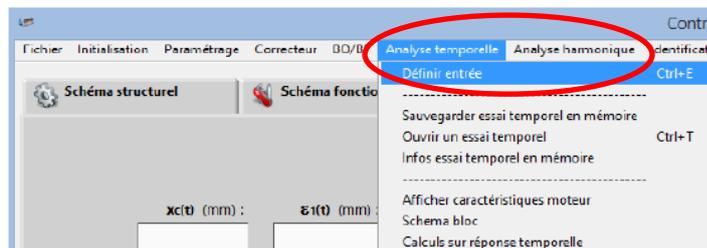
### Mise en marche générale du système

- Appuyer sur le bouton marche/arrêt situé derrière le système.
- Fermer le capot de protection
- Déverrouiller le gros bouton rouge d'arrêt d'urgence
- Armer le système (petit bouton vert) => la lumière verte s'allume.

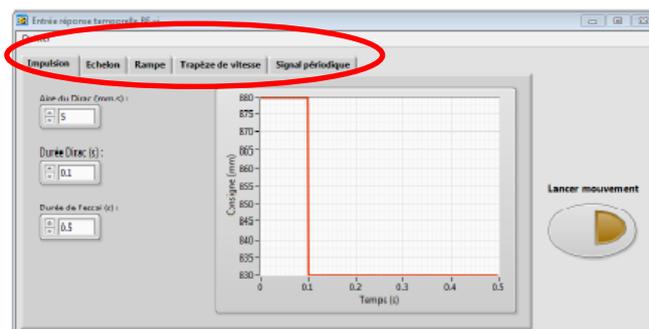
### Lancer un essai



Choix du bouclage :  
boucle ouverte ou  
fermée



Pour effectuer un essai temporel :  
**bien ouvrir le menu déroulant**  
« Analyse temporelle » / « Définir  
entrée »



Choix de l'entrée  
imposée : impulsion,  
échelon, rampe, trapèze,  
périodique.

## Annexe 2 : acquisition des mesures sur Control'X

### Affichage des grandeurs physiques acquises par les capteurs

Après avoir lancé un mouvement, la fenêtre ci-dessous apparaît.

Choix des signaux à observer en ordonnées

Déplacer le curseur pour obtenir les valeurs correspondantes

Choix du signal en abscisse

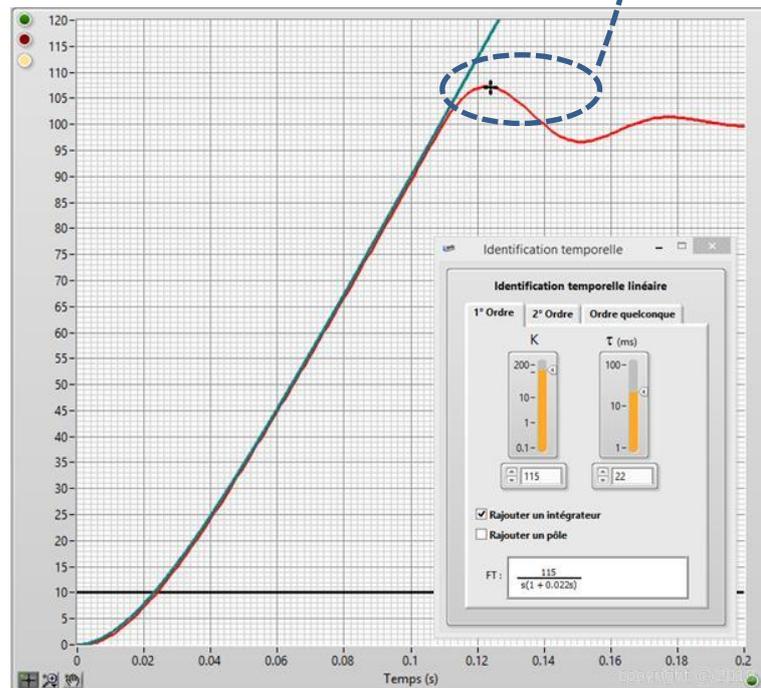
Seules grandeurs qui ne sont pas mesurées mais calculées

Curseur : à déplacer pour obtenir les valeurs numériques correspondantes

La (ou les) courbes apparaissent comme l'exemple ci-dessous.

#### Attention, lors d'impression de plusieurs courbes :

Une courbe de forte amplitude (valeurs numériques élevées) peut « écraser » une courbe dont les valeurs sont faibles. Cette dernière peut donc avoir l'air « plate » et à valeurs quasi-nulles, alors que ce n'est pas le cas. Il faut alors afficher la courbe « écrasée » seule pour bien visualiser ses variations.



## ANNEXE 3 : DOCUMENTATION TECHNIQUE DU MOTEUR CC SANYO

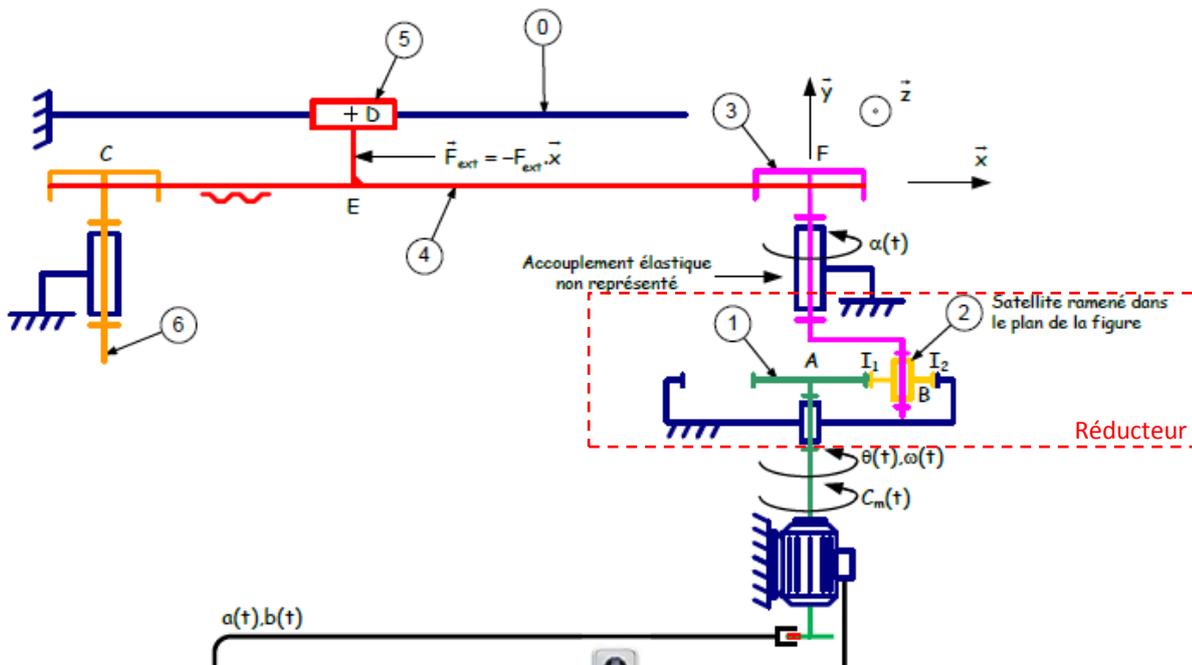
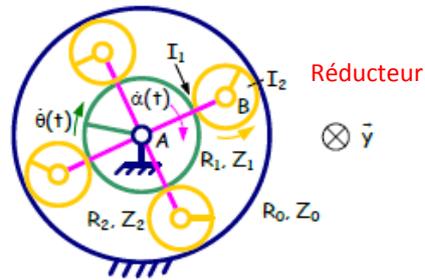
## 5.1 Documents moteur Sanyo T511-T012-EL8

## 5.1.1 Caractéristiques moteur fournies par le constructeur

| Caractéristique                          | Température | Symbole             | Unité              | Valeur                 | Observations                |
|--|-------------|---------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|
| Puissance nominale                       | **          | $P_{nom}$           | W                  | 110                    |                             |
| Tension nominale                         | **          | $U_{nom}$           | V                  | 75                     |                             |
| Couple nominal                           | **          | $C_{nom}$           | N.m                | 0.34                   |                             |
| Courant nominal                          | **          | $I_{nom}$           | A                  | 2.0                    |                             |
| Vitesse nominale                         | **          | $\omega_{nom}$      | tr/min             | 3000                   | soit 314 rad/s              |
| Couple maxi en continu                   | **          | $C_{cont}$          | N.m                | 0.42                   |                             |
| Couple maxi instantané                   | **          | $C_{max}$           | N.m                | 3.4                    |                             |
| Courant maxi en continu                  | **          | $I_{cont}$          | A                  | 2.2                    |                             |
| Courant maxi instantané                  | **          | $I_{max}$           | A                  | 18                     |                             |
| Vitesse maximale                         |             |                     | tr/min             | 5000                   | soit 523 rad/s              |
| Couple de friction                       | *           | $C_{frotts-moteur}$ | N.m                | 0.022                  |                             |
| Accélération instantanée                 | maxi **     |                     | rad/s <sup>2</sup> | $91.9 \times 10^3$     |                             |
| Coefficient de frottement visqueux       | *           | $f_{D-moteur}$      | N.m/min            | $0.013 \times 10^{-3}$ | soit $0.124e-3$ N.m/(rad/s) |
| Constante de couple                      | *           | k ou $k_c$          | N.m/A              | 0.21                   |                             |
| Constante de force contre électromotrice | *           | k ou $k_e$          | V/min              | $21.8 \times 10^{-3}$  |                             |
| Moment d'inertie du rotor                | *           | $J_{rot}$           | kg.m <sup>2</sup>  | $0.037 \times 10^{-3}$ |                             |
| Résistance d'induit                      | *           | r                   | $\Omega$           | 5.1                    |                             |
| Inductance d'induit                      | *           | L                   | mH                 | 3.2                    |                             |
| Constante de temps mécanique             | *           | $T_{méca}$          | ms                 | 4.3                    |                             |
| Constante de temps électrique            | *           | $T_{élec}$          | ms                 | 0.63                   |                             |
| Constante de temps thermique             | **          |                     | min                | 30                     |                             |
| Résistance thermique                     | **          |                     | K/W                | 2.4                    |                             |
| Température limite                       | **          |                     | °C                 | 105                    |                             |

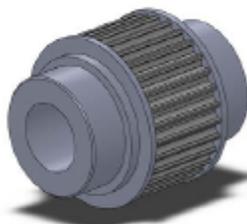
### ANNEXE 4 : CHAÎNE DE PUISSANCE

- 0 : bâti et couronne dentée,  $Z_0$  dents (=84)
- 1 : arbre d'entrée réducteur,  $Z_1$  dents (=42)
- 2 : satellite du réducteur,  $Z_2$  dents (=21)
- 3 : poulie menante et arbre de sortie du réducteur
- 4 : courroie crantée
- 5 : chariot
- 6 : poulie menée



### ANNEXE 5 : CARACTERISTIQUE DE LA POULIE

#### 5.6 Poulies crantées



| Caractéristique  | Symbole | Unité             | Valeur              | Observations                        |
|------------------|---------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Type             |         |                   |                     | 25 HTD 5M                           |
| Largeur          |         | mm                | 25                  |                                     |
| Pas              | $p^*$   | mm                | 5                   |                                     |
| Nombre de dents  | $Z$     |                   | 31                  |                                     |
| Rayon primitif   | $R$     | mm                | 24.67               | Avance de 155 mm/tour               |
| Avance par tour  | $a$     | mm                | 155                 |                                     |
| Moment d'inertie | $J_p$   | kg.m <sup>2</sup> | $4.2 \cdot 10^{-5}$ | Calculé avec SolidWorks (aluminium) |