

Cycle

3

Analyser, Expérimenter et Modéliser de façon causale  
les systèmes complexes pluri-technologiques

Dossier travaux pratiques

Consignes  
générales



# Organisation et restitution

Au cours du TP, les étudiants doivent réaliser leur partie mais aussi échanger avec le reste de l'îlot pour pouvoir s'appropriier tous les aspects du TP.

Compte rendu :

- A rendre avant la séance prochaine

Ressources :

- Sujet TP
- Annexe et dossier ressource
- Vidéo présentant le support sur le PC (facultatif)



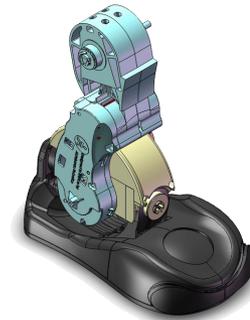
# Roulement TP cycle 1



Slider



Maxpid



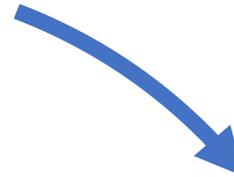
Cheville NAO



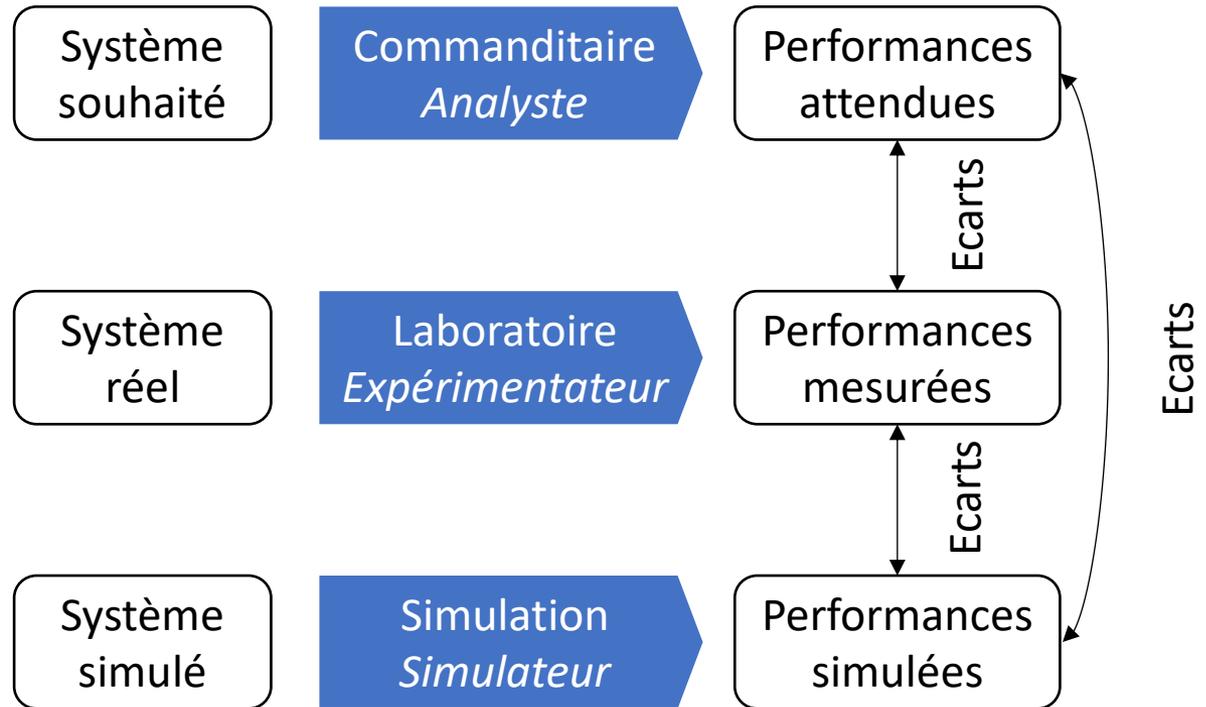
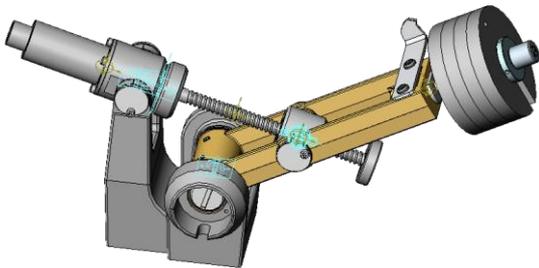
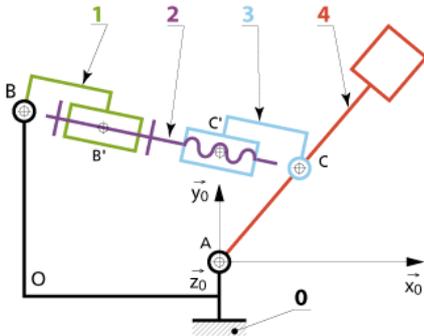
Drone



Cordeuse de raquette



# Objectif général des TP



- **Proposer une modélisation**
- **Prévoir et vérifier les performances**
- **Analyser les écarts entre le souhaité, le réel et le simulé**

# Cycle 3

Analyser, Expérimenter et Modéliser de façon causale  
les systèmes complexes pluri-technologiques

Dossier travaux pratiques

## Cordeuse Cycle 3



# Trame analytique

**Question 1 :** Identifier sur le diagramme SysML adapté, la performance attendue par le client en termes de précision.

On cherche ici à modéliser les blocs du schéma blocs présent en annexe à travers un modèle de connaissance. Les quatre équations du moteur à courant continu sont données dans le « DOSSIER RESSOURCES ».

**Question 2 :** Transformer ces équations dans le domaine de Laplace, en se plaçant dans les conditions d'Heaviside. En déduire l'expression des fonctions de transfert  $H1(p)$  et  $H2(p)$  ainsi que la valeur de la constante  $K2$ .

La courbe, du logiciel d'acquisition, donnant  $\omega_r$  en fonction de  $\omega_m$  (cf. « Dossier ressource » pour les notations) n'est pas linéaire à cause du calcul des vitesses par dérivation numérique des positions angulaires.

**Question 3 :** Déterminer la relation entre la vitesse angulaire en sortie du réducteur  $\omega_r$  et la vitesse linéaire  $v$  du poussoir en fonction de  $R_r$  (avec  $R_r$  le rayon de la poulie).

**Question 4 :** En déduire la valeur numérique de la constante  $K3$ .

**Question 5 :** Déterminer la relation entre la vitesse linéaire  $v$  et la position linéaire  $x$ . En déduire  $H3(p)$ .

# Trame expérimentateur

On cherche ici à modéliser expérimentalement les blocs du schéma blocs présent en annexe Le capteur d'effort dans la corde est réalisé par un potentiomètre linéaire qui mesure l'écrasement du ressort **R**. Le potentiomètre linéaire est caractérisé par une tension de 5 V lorsque le déplacement est de 15 mm (et de 0 V pour un déplacement nul).

**Question 1 :** Pour un essai avec 15 Kgf, après avoir tracé la force dans le ressort en fonction de l'écrasement du ressort, en déduire la valeur de la raideur  $K$  du ressort en N/m.

**Question 2 :** Proposer sous forme de schéma bloc fonctionnel, le détail du bloc capteur d'effort (utiliser les informations du dossier ressources et dossier technique). En déduire le gain du capteur d'effort dans la corde, noté  $K_7$ , exprimé en  $V.N^{-1}$ .

Le bloc  $K_1$  modélise la carte de traitement et l'interface de commande du système sur lequel le codeur saisit la tension de consigne de la corde.

**Question 3 :** Quelle condition doivent satisfaire  $K_1$  et  $K_7$  pour que l'asservissement soit correctement calibré ? En déduire la valeur numérique de la constante  $K_1$ .

Le bloc  $K_3$  représente l'ensemble réducteur et poulie/chaîne. Il a, en entrée, la vitesse de rotation du moteur  $\omega_m$  et en sortie la vitesse linéaire de déplacement du chariot  $v$ . La poulie a un rayon  $R_p = 20 \text{ mm}$ .

**Question 4 :** Déterminer le rapport  $\eta = \frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{\theta_r}{\theta_m}$  en traçant  $\theta_r$  en fonction de  $\theta_m$ .

Le Principe Fondamental de la Statique (2<sup>ème</sup> loi de Newton, en régime statique) nous donne la raideur équivalente  $K_{eq}$  correspondant à l'association en série de la raideur du ressort  $K$  et de la raideur de la corde  $k$ . Cela donne  $K_{eq} = \frac{K*k}{k+K} = K_4 * K_5$

**Question 5 :** A partir d'un essai expérimental, déterminer la raideur de la corde  $k$ . En déduire la valeur numérique de  $K_4 * K_5$ .

**Question 6 :** Pour un essai sur le système réel pour une tension de consigne de 15 kgf (1 kgf = 9.81 N), déterminer sur le relevé expérimental : le temps de réponse à 5%, l'erreur statique et la valeur du premier dépassement.

**Question 7 :** Etudier l'influence de la force (5 / 10/ 15 / 20 kgf) sur les paramètres étudiés précédemment. Commenter les résultats.

**Question 8 :** Expliquer les « oscillations » autour de la valeur finale lors du maintien de l'effort dans la corde.

**Question 9 :** Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques obtenus avec Scilab. Comment expliquer les différences observées ?

# Trame simulation

On donne en annexe un schéma bloc détaillé de l'asservissement. Il est nécessaire de proposer un modèle à chaque composant ou constituant intervenant dans le schéma bloc fonctionnel afin de prévoir les performances. Les modèles seront élaborés soit à partir d'équations issues des lois de la physique (modèles de connaissance) ou de résultats expérimentaux (modèles de comportement).

**Question 1 :** Le couple résistant  $c_r(t)$  qui s'exerce sur le moteur à courant continu est directement lié à la tension T dans la corde par la relation  $c_r(t) = \eta \cdot R_r \cdot T(t)$  (avec  $R_r$  le rayon de la poulie). On note  $\eta$  le rapport  $\eta = \frac{\omega_r}{\omega_m}$ . Il correspond au rapport de réduction du réducteur (noté r dans le dossier technique).

En déduire l'expression de la constante K6.

**Question 2 :** A partir du schéma bloc en annexe, reconstruire un schéma équivalent sous Xcos et renseigner la valeur des blocs en fonction de ce que vous donne le pole analytique et expérimentale. Réaliser une analyse temporelle d'une durée de 5 secondes et visualiser cette réponse temporelle. On effectuera cette simulation pour un échelon de consigne d'effort dans la corde de 150 N et pour un gain correcteur  $K_a = 10\ 000$ .

**Question 3 :** Déterminer les performances simulées en termes de précision, de rapidité et de stabilité.



**Comparer les résultats obtenus et hypothèses posées avec les autres pôles et identifier les écarts**

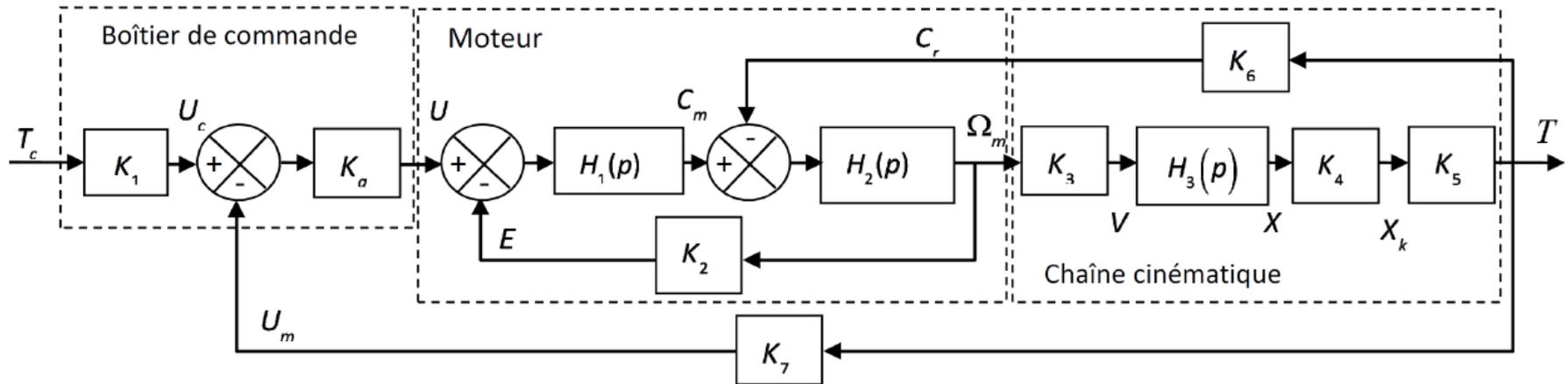
**Question 4 :** Etudier l'influence de  $K_a$  (100 / 1 000 / 10 000 / 100 000 / 1 000 000) sur les paramètres étudiés précédemment. S'aider d'une représentation graphique pour montrer l'influence de  $K_a$  sur les différents paramètres (histogrammes, ...)

Dossier travaux pratiques

Cordeuse



# Annexe : schéma bloc fonctionnel



**Remarque :** Le gain  $K_a$  représente le correcteur du système qui ici est un simple gain proportionnel de valeur positive non nulle.

Les notations intervenant dans le schéma bloc sont :

- $T_c$  Tension (effort) de consigne dans la corde (N)
- $T$  Tension (effort) réelle dans la corde (N)
- $U_c$  Tension électrique image de la tension de consigne dans la corde (V)
- $U$  Tension électrique d'alimentation du moteur CC (V)
- $C_m$  Couple utile délivré par le moteur CC (N.m)
- $C_r$  Couple utile sur la poulie (N.m)
- $E$  Force électromotrice induite du moteur CC (V)
- $V$  Vitesse linéaire du poussoir (m/s)
- $X$  Déplacement linéaire du mors de tirage (m)
- $U_m$  Tension électrique délivrée par le capteur d'effort dans la corde (V)

**Remarque :** Un couple est une action mécanique qui tend à faire tourner un solide. Son unité est le N.m (Newton.mètre).

# Equations moteur courant continu

On rappelle :

- (E1) :  $u(t) = R \cdot i_m(t) + e(t)$ 
  - $u(t)$  est la tension d'alimentation du moteur (en V)
  - R est la résistance de l'induit (en  $\Omega$ ),
  - $i_m(t)$  est l'intensité consommée dans l'induit (en A)
  - $e(t)$  est la force contre-électromotrice (en V) ;
- (E2) :  $J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$ 
  - J est l'inertie du rotor (en  $\text{kg.m}^2$ )
  - $\omega_m(t)$  est la vitesse de rotation de l'axe moteur (en  $\text{rad.s}^{-1}$ )
  - $C_m(t)$  est le couple moteur
  - $C_r(t)$  est le couple résistant au niveau de l'axe moteur (en N.m).
- (E3) :  $e(t) = k_e \cdot \omega_m(t)$  avec  $k_e$  la constante de vitesse (en  $\text{V.s.rad}^{-1}$ ) ;
- (E4) :  $C_m(t) = k_t \cdot i_m(t)$  avec  $k_t$  la constante de couple (en  $\text{N.m.A}^{-1}$ ).

# Présentation système

Pour que les joueurs de tennis ou de badminton puissent atteindre leur meilleur niveau de jeu, il est indispensable que leurs raquettes soient cordées à leur convenance avec des tensions identiques. Les centres de compétition et les magasins spécialisés disposent de machines à corder les raquettes qui permettent de tendre uniformément le cordage d'une raquette à la valeur souhaitée par le joueur. La cordeuse de raquette SP55, support de ce TP, permet, via un asservissement de la tension de la corde, de régler automatiquement la tension du cordage à la valeur programmée. Au cours de ce TP, nous étudierons comment l'exigence « Mettre en tension la corde à la valeur souhaitée » est satisfaite.

La structure de la machine est expliquée dans le « **DOSSIER RESSOURCES** ». Seul le mécanisme de tension de la corde et sa mesure sont expliqués ci-dessous.

Le brin tendu de la chaîne est attaché à un poussoir **P** en appui sur le chariot par l'intermédiaire d'un ressort calibré **R**. Lors de l'opération de tension de la corde, le poussoir **P** se déplace vers la droite par rapport au chariot en écrasant le ressort **R**. Ce déplacement est mesuré par un potentiomètre linéaire qui envoie un signal, image de la tension dans la corde, à la carte électronique. Celle-ci gère alors la commande du moteur nécessaire à la réalisation précise de la tension dans une corde.

