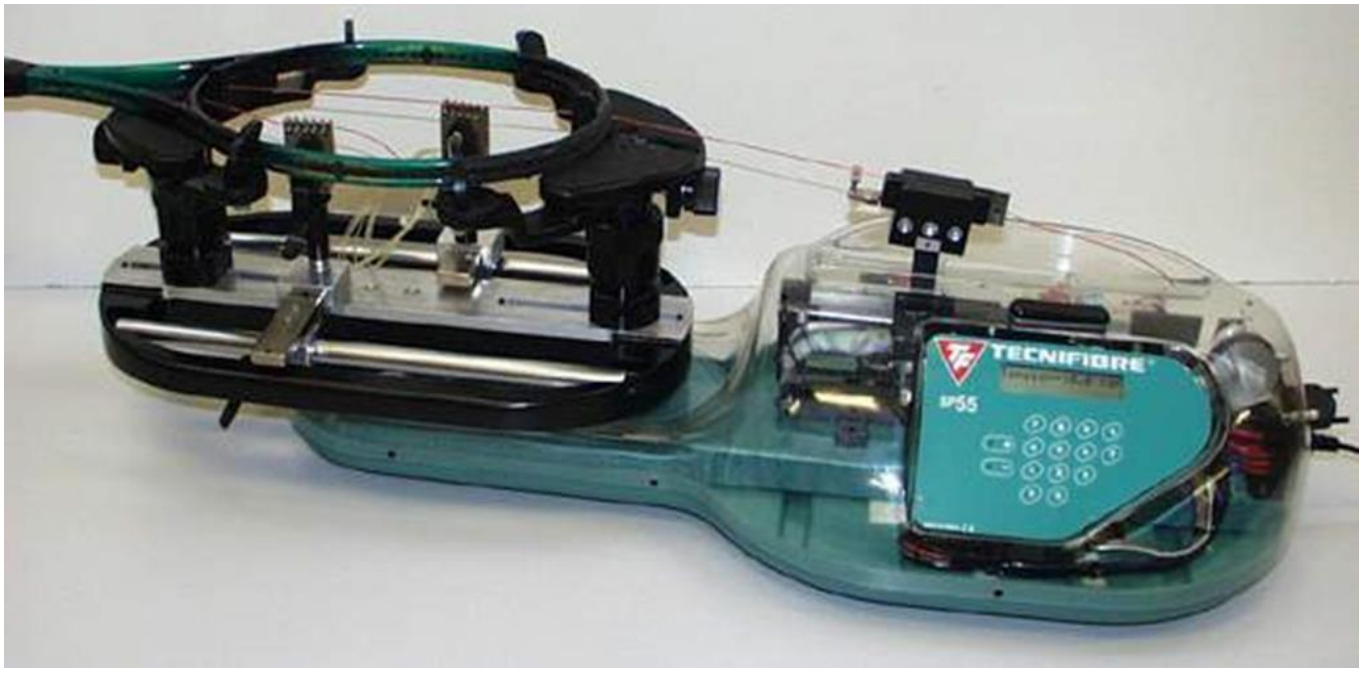
Travaux Pratiques - ASSERVISSEMENT
Cordeuse de raquette



Objectifs du TP

Vérifier la pertinence du choix des composants et communiquer sur les chaînes fonctionnelles de la cordeuse de raquette. Etudier l'influence de différents correcteurs sur les performances du système.

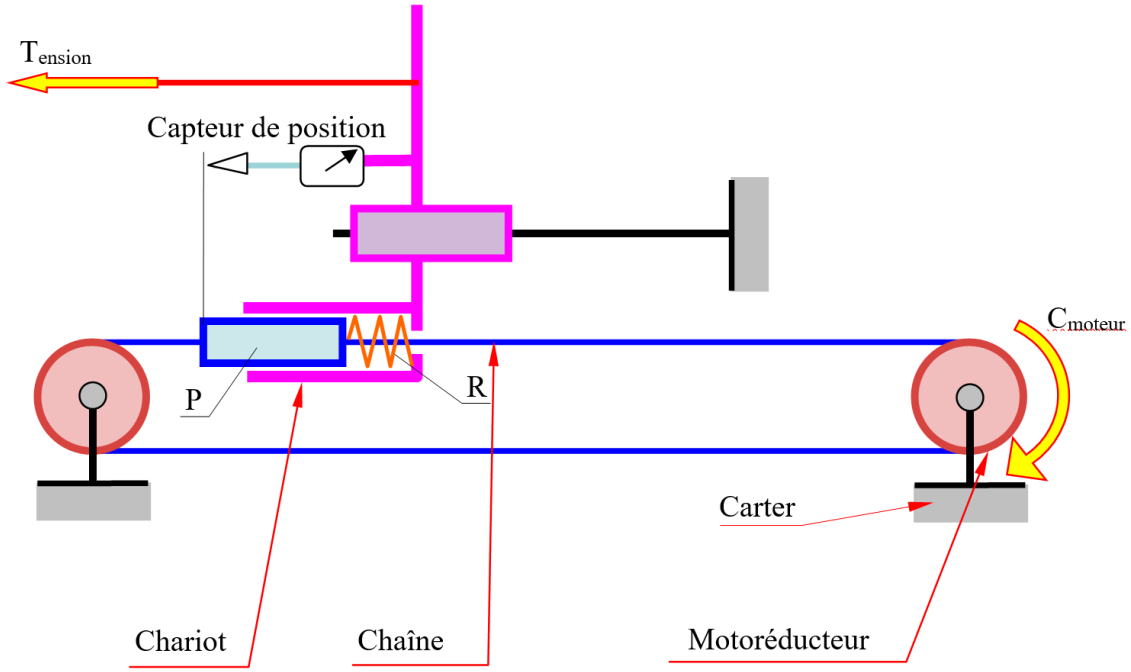
1 – Mise en situation et description

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.

Fonctionnement

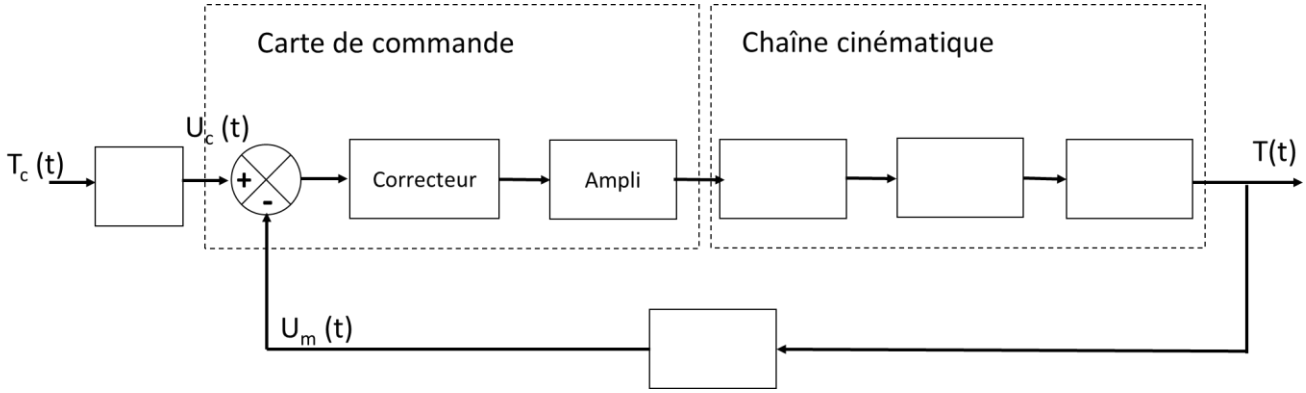
La structure de la machine est expliquée dans le **DOSSIER RESSOURCES**. Seul le mécanisme de tension de la corde et sa mesure sont expliqués ci-dessous.

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.



2 – Etude de l'asservissement en tension d'une corde

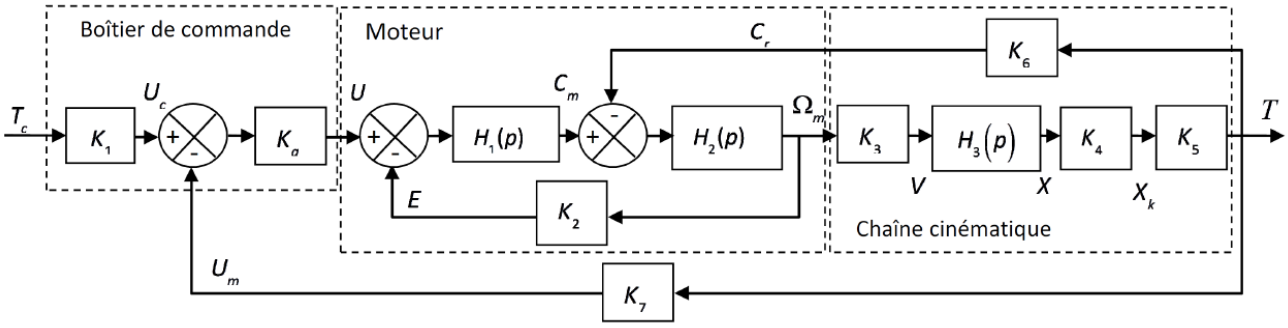
A partir de l'observation du système, ainsi que des diagrammes SysML (**DOSSIER RESSOURCES**), compléter le schéma bloc fonctionnel ci-dessous représentant l'architecture de l'asservissement de la tension dans une corde.



Identifier sur le diagramme SysML adapté, la performance attendue par le client en terme de précision.

Modélisation du système

On donne ci-dessous 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).



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

Les notations intervenantes 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)

Modélisation du capteur d'effort

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).

Situer sur le système de la cordeuse le potentiomètre linéaire et le ressort **R**. Observer son fonctionnement lors d'un essai pour une tension imposée de 15 Kgf.

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.

Proposer sous forme de schéma bloc fonctionnel, le détail du bloc capteur d'effort (utiliser les informations du **DOSSIER RESSOURCES**).

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.

Quelle condition doivent satisfaire K_1 et K_7 pour que l'asservissement soit précis (sortie du premier soustracteur égale à 0 en régime permanent). En déduire la valeur numérique de la constante K_1.

Modélisation de l'actionneur de la cordeuse – Moteur à courant continu

Les quatre équations du moteur à courant continu sont données dans le **DOSSIER RESSOURCES**.

Déterminer les expressions des fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$ ainsi que la valeur de la constante K_2.

Modélisation de la chaîne cinématique

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

Déterminer le rapport $\eta = \frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{\theta_r}{\theta_m}$ en traçant θ_r en fonction de θ_m.

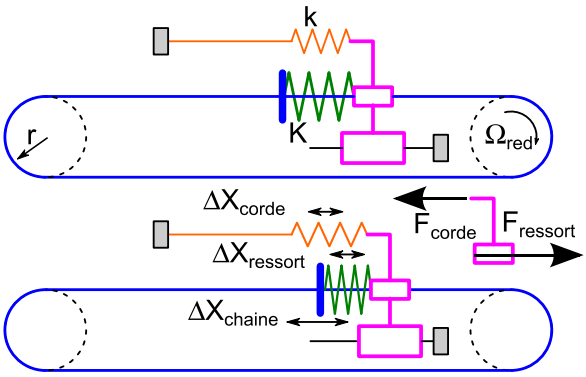
Remarque : La courbe donnant ω_r en fonction de ω_m n'est pas linéaire à cause du calcul des vitesses par dérivation numérique des positions angulaires.

Déterminer la relation entre la vitesse angulaire en sortie du réducteur ω_r et la vitesse linéaire v du poussoir en fonction de R_p.

En déduire la valeur numérique de la constante K_3.

Déterminer la relation entre la vitesse linéaire v et la position linéaire x. En déduire $H_3(p)$.

Le Principe Fondamental de la Statique appliqué au mors de tirage (dont la masse peut être négligée), lorsque la corde est maintenue tendue, donne l'équation : $\boldsymbol{k.x_k = K.(x - x_k)}$ où K est la raideur du ressort **R** et k la raideur de la corde.



Déterminer K_4.

A partir d'un essai, tracer $F_{corde} = f(x)$. Déterminer le coefficient directeur de cette droite.

En déduire, d'après les résultats précédents, la relation entre K et k.

En considérant que la corde est assimilable à un ressort de raideur k, déterminer la valeur numérique de la constante K_5.

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 $\boldsymbol{c_r(t) = \eta.R_p.T(t)}$.

En déduire l'expression de la constante K_6.

Expliquer (en s'aidant du schéma bloc global) et mettre en place un protocole expérimental pour justifier la relation donnée pour $c_r(t)$.

3 – Simulation et validation expérimentale du modèle

On se propose maintenant d'implémenter le modèle de l'asservissement de la tension dans une corde élaboré précédemment dans le logiciel de simulation Scilab, dans le but d'analyser sa réponse temporelle.

Ouvrir le modèle de la Cordeuse sous Scilab. 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_p = 10 000.

Déterminer les performances simulées en termes de précision, de rapidité et de stabilité.

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

Commenter les résultats.

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.

Etudier l'influence de la force (5 / 10 / 15 / 20 kgf) sur les paramètres étudiés précédemment. *S'aider d'une représentation graphique pour montrer l'influence de la tension de consigne sur les différents paramètres (histogrammes, …).*

Commenter les résultats.

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

Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques obtenus avec Scilab. Commenter et expliquer les différences observées ?

4 – Amélioration des performances avec un correcteur PID

Il est possible de configurer la cordeuse en Boucle Fermée et de modifier les paramètres du correcteur PID du système grâce à un module externe. Il sera donc ensuite possible de comparer les résultats expérimentaux aux résultats issus de la simulation numérique sous Scilab.

Suivre la procédure expliquée dans le **DOSSIER RESSOURCE** (*PILOTAGE EXTERNE DE LA CORDEUSE – CORRECTEUR PID*) afin de modifier les paramètres du PID de la cordeuse en Boucle Fermée.

Il faudra veiller à ce que le gain total du correcteur soit inférieur à 1 sinon l'effort sur la corde sera trop grand et celle-ci cassera !

On se propose de régler les paramètres K_p , K_i et K_d , gains proportionnel, intégral et dérivé en s'appuyant sur l'observation de réponses à un échelon de consigne pour obtenir le meilleur compromis entre tous les critères de réglages qui sont :

- la précision statique
- la possibilité de dépassement (lié à la stabilité)
- la rapidité

Pour réaliser un plan de réglage sérieux, il faudrait affecter 4 valeurs différentes à chaque paramètre P, I et D : soit un plan de 4^3 mesures (64 mesures).

Pour des raisons de temps disponible, nous allons simplement effectuer 8 mesures. (voir tableau).

Essai	K_p	K_i	K_d
1	0.5	0	0
2	0.1	0.3	0
3	0.5	0.4	0
4	0	0.1	0
5	0	0.3	0
6	0.1	0.1	0.1
7	0.1	0.3	0.1
8	0.2	0.1	0.1

Essais expérimentaux

Pour chaque essai expérimental :

- Appliquer un échelon de consigne de 1 daN (Ne pas mettre plus !!)
- Relever l'allure de la courbe de réponse
- Observer l'influence du paramètre qui a été modifié par rapport à l'essai précédent.
- Analyser la réponse et la caractériser par rapport aux différents critères de réglage (rapidité, stabilité, précision).

Remarque : Il est possible d'utiliser d'autres valeurs que celles proposées à condition qu'elles soient **inférieures** à celles proposées.

Proposer un réglage qui semble être un bon compromis entre précision, stabilité et rapidité.

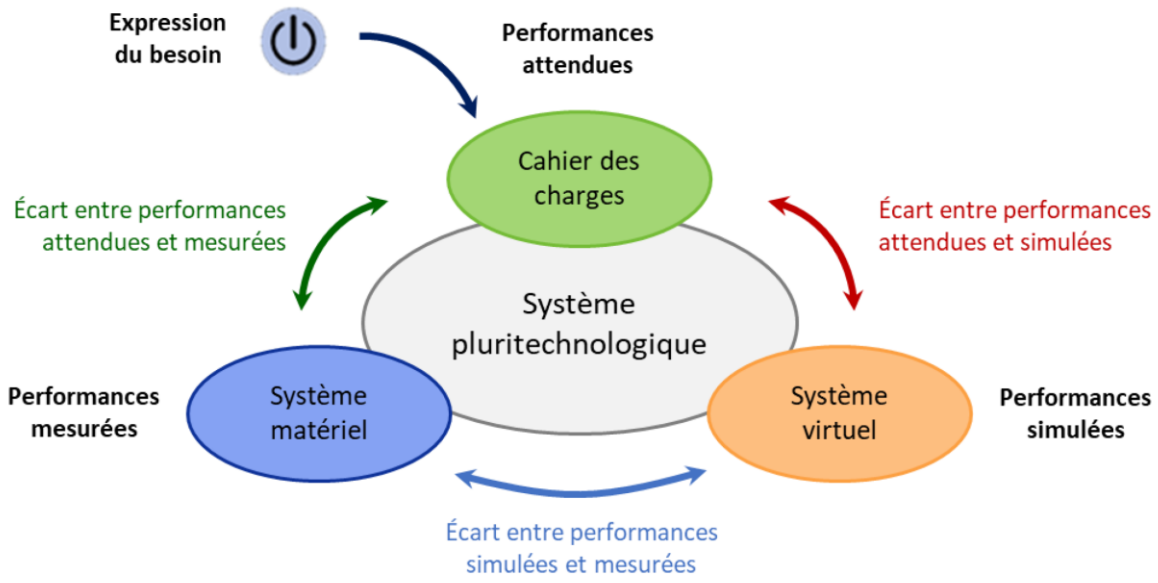
Essais numériques

Pour chaque essai numérique sous Scilab :

- Appliquer un échelon de consigne de 1 daN.
- Relever l'allure de la courbe de réponse.
- Observer l'influence du paramètre qui a été modifié par rapport à l'essai précédent.
- Analyser la réponse et la caractériser par rapport aux différents critères de réglage (rapidité, stabilité, précision).

Proposer un réglage qui semble être un bon compromis entre précision, stabilité et rapidité.

5 – Validation

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les performances de rapidité, de précision et de stabilité **avec le correcteur Proportionnel Intégral Dérivé**, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

Conclure quant à l'intérêt d'un PID. Sur quels critères de performance chaque partie va-t-elle agir ?