

**ETUDE DES SYSTEMES LINEAIRES CONTINUS ET INVARIANTS :****Identification****Cordeuse SP55**

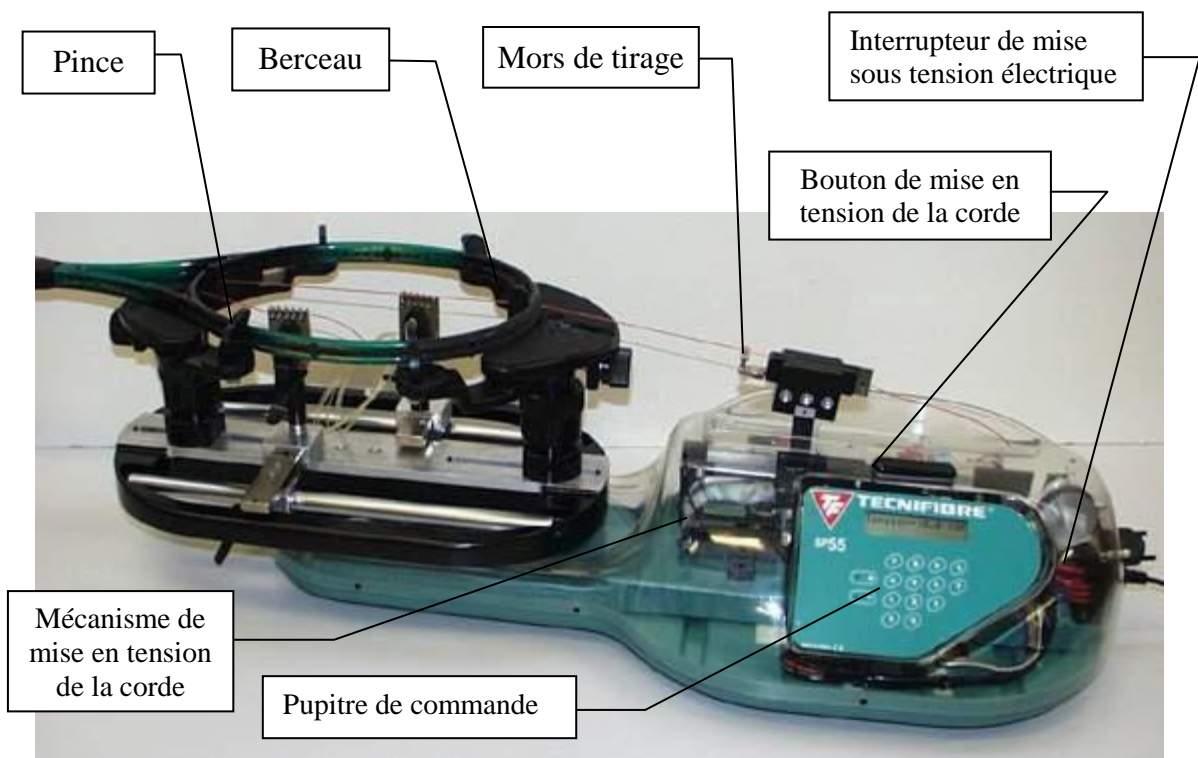
## But du TP

Nous nous proposons dans cette étude d'établir un modèle de connaissance de la cordeuse, d'identifier sur le système réel les différents paramètres de ce modèle. Dans un second temps nous étudierons l'asservissement de tension de la corde, et plus particulièrement l'influence du gain de la boucle sur cet asservissement.

## Mise en situation

Le cordage d'une raquette de tennis ou de badminton nécessite de nombreuses opérations manuelles. La partie automatisée de la machine permet de garantir la tension de chaque brin de la corde. La figure ci-dessous situe les éléments constitutifs de la machine (modèle SP55).

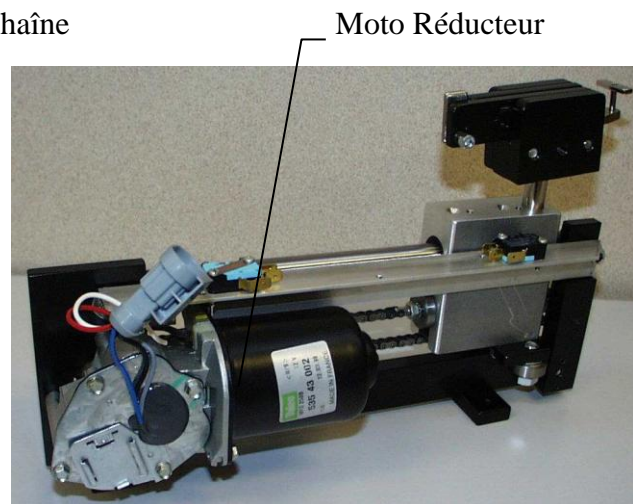
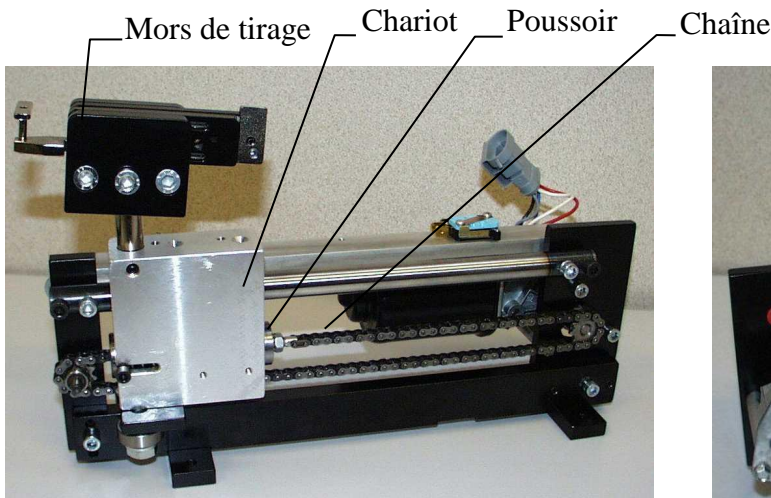
- Le berceau reçoit le cadre de la raquette sur lequel il est fixé efficacement.
- L'extrémité de la corde est attachée sur le cadre puis glissée dans le mors de tirage. L'opérateur met la machine sous tension électrique, saisit au clavier la tension et appuie sur le bouton de mise en tension de la corde. Le système, asservi en effort, ajuste la valeur de la tension.
- Des pinces maintiennent la corde pendant que l'opérateur la retire du mors, la glisse au travers des œillets du cadre et retourne le berceau pour pouvoir la saisir à nouveau et la tendre.



**Figure 1 :** Machine à corder SP55

## Système de mise en tension de la corde

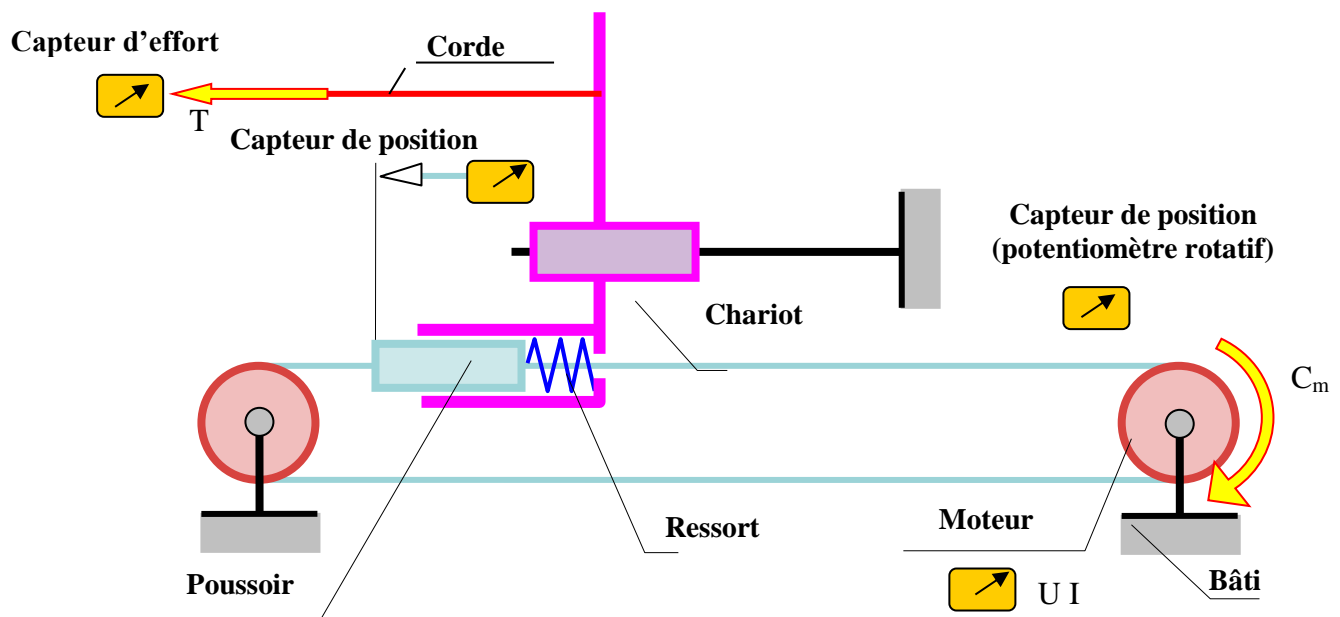
Les photographies ci-dessous concernent le module de mise en tension. Il est constitué principalement d'un **moto réducteur** à courant continu et d'une transmission par **chaîne**. Celle-ci assure le déplacement du **chariot** qui porte le **mors de tirage**.



Le brin tendu de la chaîne est attaché à un poussoir qui s'appuie sur le chariot par l'intermédiaire d'un ressort calibré. Lors de l'opération de tension de la corde, le poussoir se déplace vers la droite par rapport au chariot en écrasant le ressort (voir la figure 3 ci-dessous). Ce déplacement est mesuré par un potentiomètre linéaire qui envoie à la carte électronique un signal image de la force appliquée à la corde. La carte gère alors la commande du moteur nécessaire à la réalisation précise de la tension souhaitée.

## INSTRUMENTATION DE LA STATION

Afin de permettre l'étude de son fonctionnement la cordeuse de raquette du laboratoire a été équipée d'un certain nombre de capteurs qui ne sont pas nécessaires à son fonctionnement mais permettent d'effectuer différentes mesures nous permettant d'analyser son fonctionnement. Ces capteurs sont représentés sur la figure suivante.



## Travail demandé

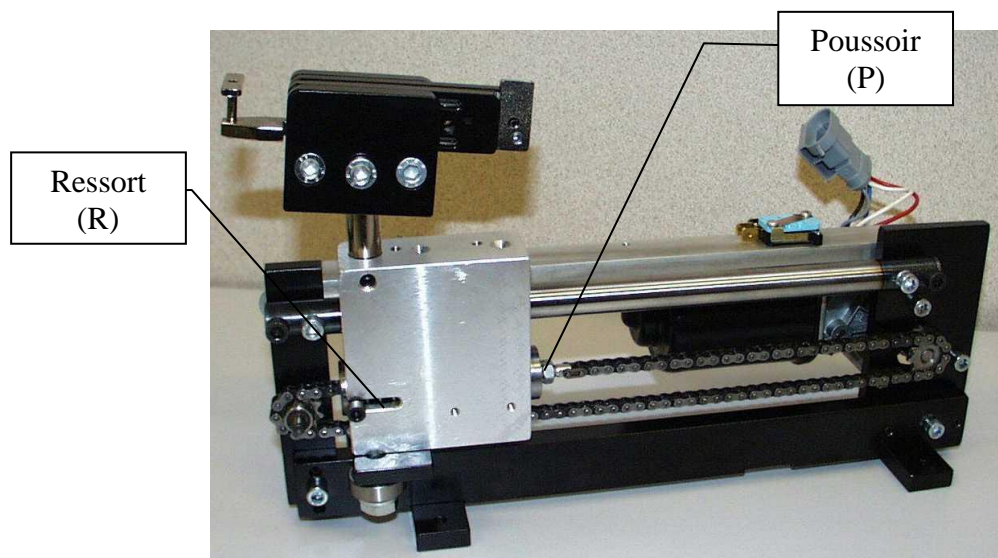
## Prise en main de la maquette

*Cette prise en main n'est à traiter que si vous n'avez jamais utilisé le système ou si vous souhaitez vous remémorer son fonctionnement..*

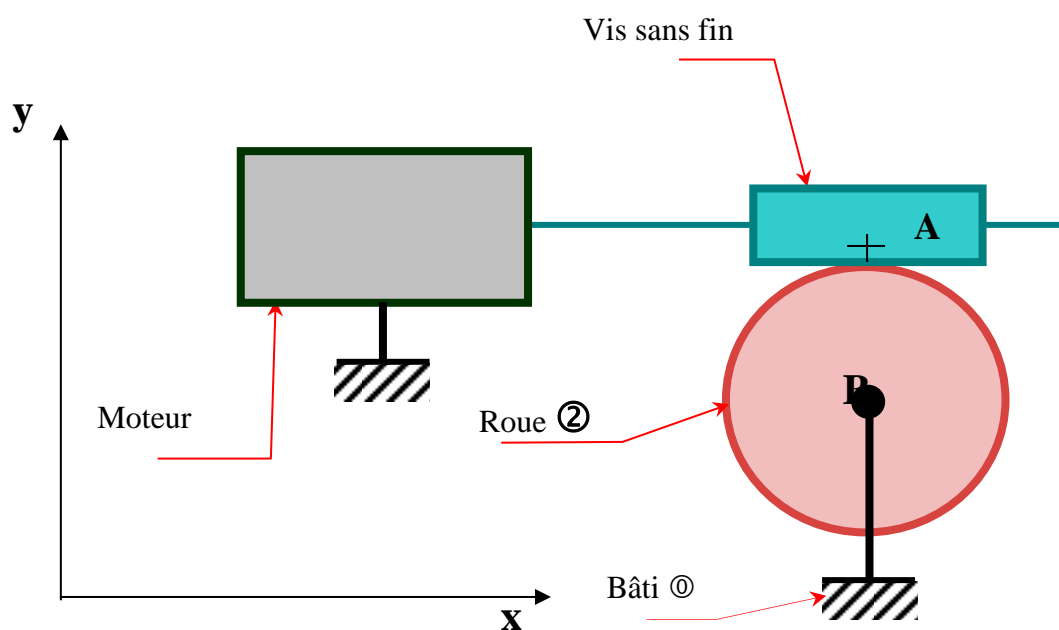
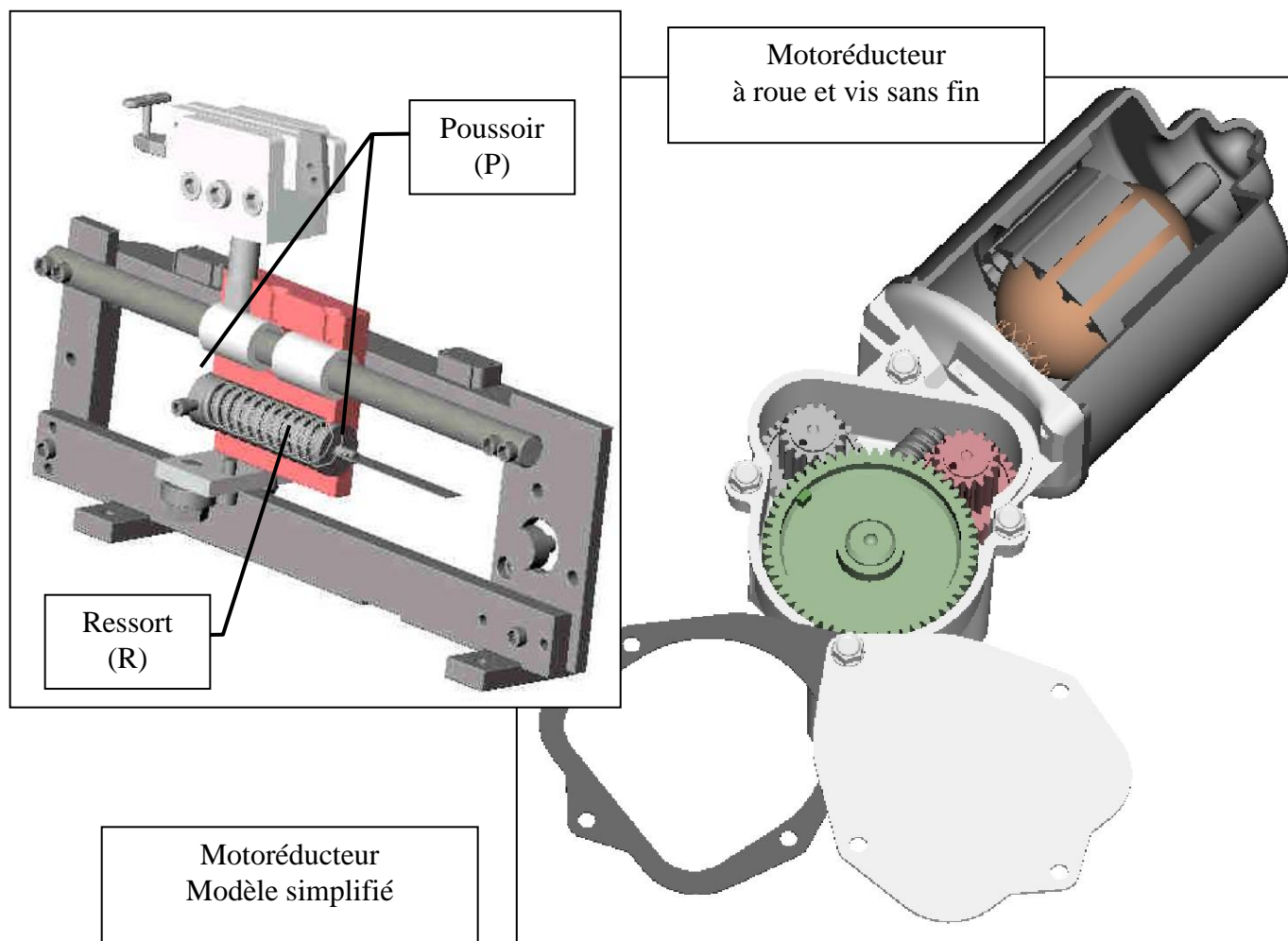
- Fixer une extrémité de la corde sur le capteur d'effort et l'autre dans le mors de tirage en la tendant légèrement,
- mettre la machine sous tension (bouton à droite du pupitre),
- programmer la tension souhaitée (20 daN) sur le pupitre,
- appuyer sur le bouton poussoir (au dessus du pupitre),
- observer le léger mouvement alternatif du mors de tirage lorsque la corde est tendue,
- appuyer à nouveau sur le bouton poussoir pour relâcher la tension.

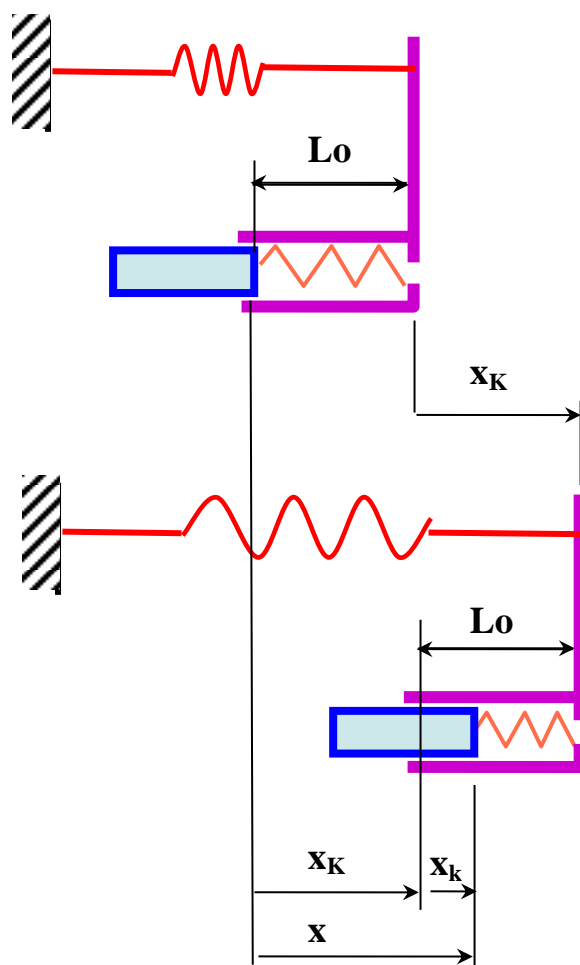
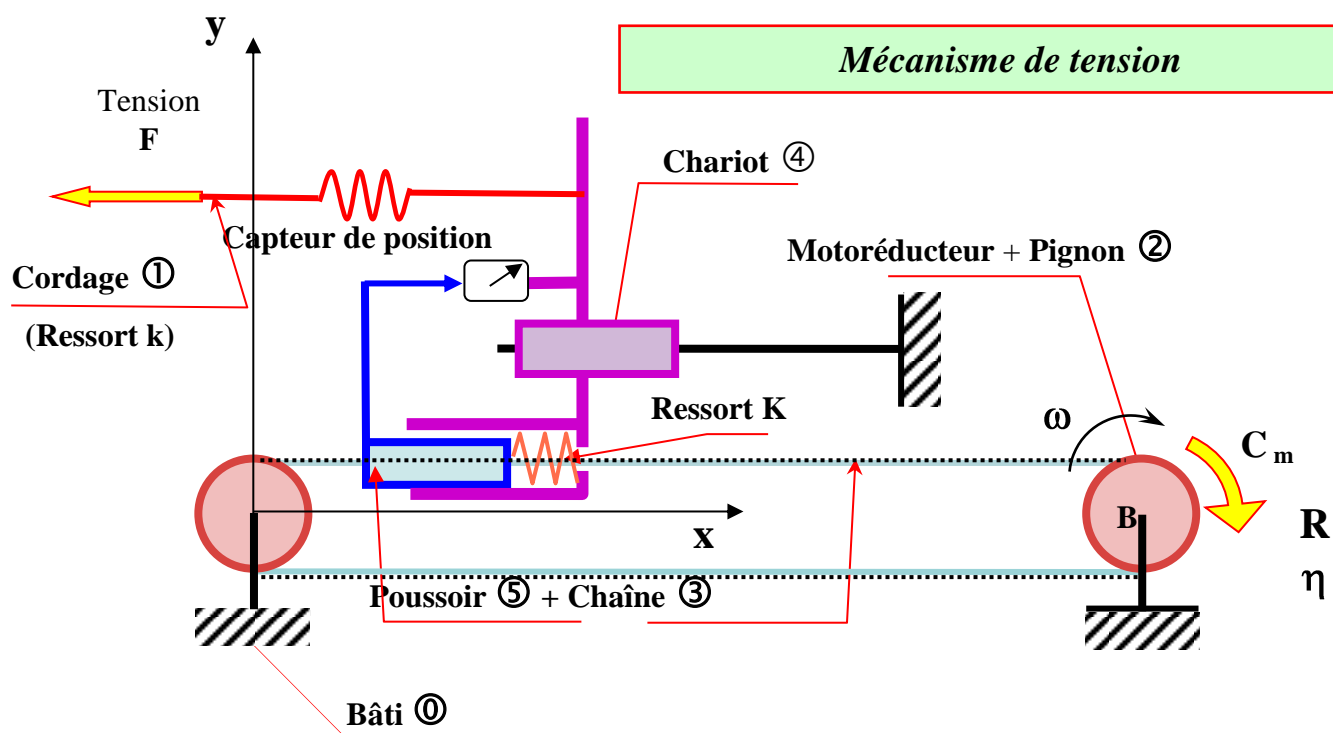
## Mécanisme de tension de la corde

Les photographies ci-dessous et les documents techniques joints permettent de mettre en évidence le mécanisme de mise en tension de la corde constitué principalement d'un moto réducteur et d'une transmission par chaîne. Cet ensemble assure le déplacement du chariot portant le mors de tirage.



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.



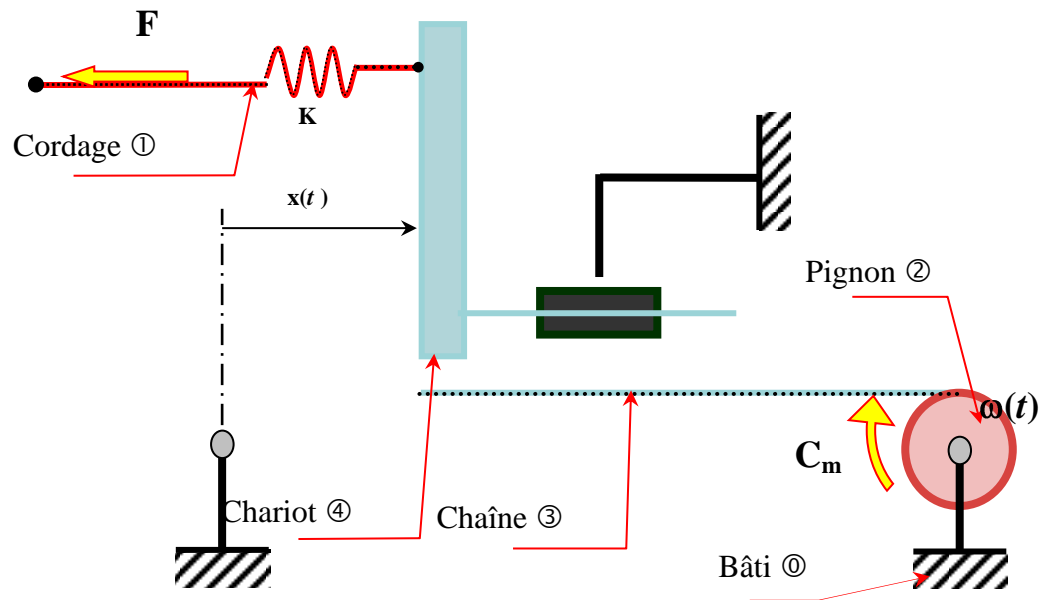


*position repos*

*position en charge*

$$x = x_k + x_K$$



**Modèle simplifié**

## 1. Identification des paramètres de l'ensemble motoréducteur + mécanisme de tension.

Une étude préliminaire nous a permis de déterminer les modèles des différents éléments de la chaîne cinématique du mécanisme de tension. Dans cette partie nous allons déterminer les valeurs numériques des paramètres de ces modèles puis construire le schéma fonctionnel de l'ensemble

### 1.1. Moteur électrique

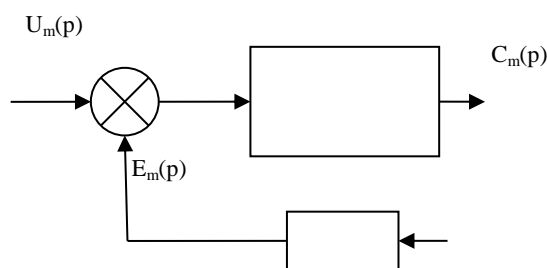
On donne les équations reliant la tension aux bornes du moteur électrique et le couple qu'exerce le moteur électrique sur son arbre de sortie :

$$\begin{pmatrix} C_m = k_m i \\ e = k_e \omega_m \\ U_m = e + Ri + L \frac{di}{dt} \end{pmatrix}$$

Avec:

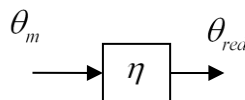
- $C_m$  le couple moteur
- $\omega_m$  la vitesse de rotation du moteur
- $e$  la fem du moteur.
- $U_m$  la tension aux bornes du moteur
- $R$  et  $L$  la résistance et l'inductance du moteur.
- $k_m$  et  $k_e$  les constantes mécanique et électrique du moteur.

Transformer ces équations dans le domaine de Laplace. Compléter le schéma bloc suivant



### 1.2. Réducteur

On démontre aisément que la fonction de transfert du réducteur peut se mettre sous la forme du schéma bloc suivant :



Où  $\theta_{red}$  est la position angulaire de l'axe de sortie du rotor du réducteur et  $\theta_m$  celle du moteur.  $\eta$  est une constante dont vous déterminerez la valeur par un essai sur la codeuse.

**Remarque :** La fonction de transfert qui relie les vitesses angulaires est identique.

### 1.3. Pignon et chaîne

La fonction de transfert de l'ensemble cinématique **pignon+chaîne** est modélisée par le schéma bloc suivant :

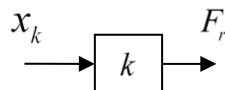




Pour déterminer la valeur numérique de  $R_p$ , tracer la courbe du déplacement du poussoir  $x$  (il n'y a pas de capteur relatif à ce déplacement, il faut exprimer ce déplacement en fonction du déplacement du chariot et de l'écrasement du ressort et utiliser la calculatrice fournie avec le logiciel) en fonction de l'angle de rotation du réducteur  $\theta_{red}$  en radians.

### 1.4. Ressort

Le ressort est modélisé par le schéma bloc suivant :

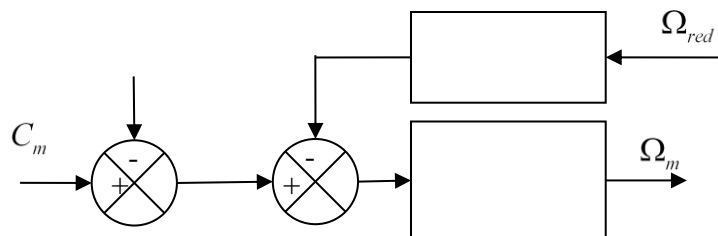


Afin de déterminer la raideur  $k$  du ressort, tracer la courbe de l'effort de compression du ressort  $F_R$  en fonction de son raccourcissement  $x_k$ .

### 1.5. Inertie du moteur et du réducteur

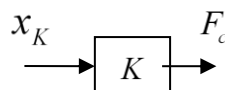
Le principe fondamental de la dynamique appliqué aux pièces tournantes du mécanisme donne l'équation suivante :  $J_e \frac{d\omega_m}{dt} = C_m - C_r$  avec  $C_r$  le couple résistant au mouvement du chariot et du mors de tirage de la corde. On modélise le couple résistant comme étant égal à :  $C_r = \eta R_p F + f \omega_{red}$  avec  $F$  la tension dans la chaîne,  $f$  le coefficient de frottement.

Transformer cette équation dans le domaine de Laplace et compléter le schéma bloc suivant.



### 1.6. Comportement de la corde

On considère que la corde se comporte comme un ressort, ce qui conduit à la modéliser de la manière suivante :  $F_C = Kx_K$  avec  $F_C$  la tension dans la corde et  $x_K$  le déplacement du chariot.



**Remarque : attention à ne pas confondre les lettres  $k$  et  $K$  ( $K$  majuscule fait référence à la corde,  $k$  minuscule au ressort du capteur d'effort).**

Tracer l'effort dans la corde en fonction du déplacement du chariot. En déduire la valeur de  $K$ .

### 1.7. Vitesse du chariot et déplacement du chariot

Pour passer de la vitesse du poussoir à sa position il faut intégrer. La fonction de transfert  $\frac{X(p)}{V(p)} = \frac{1}{p}$ .

### 1.8. Inertie du chariot

Le principe fondamental de la dynamique appliqué au chariot donne l'équation suivante :  $M \frac{dV_K}{dt} = -F_C + F_R$  avec  $F_R$  la force exercée par le ressort sur le chariot. La relation entre le raccourcissement du ressort  $x_k$ , le déplacement du chariot  $x_K$  et le déplacement du poussoir  $x$  est donnée par :

$$x = x_k + x_K$$

En déduire l'expression de  $F_R = k \cdot x - x_K$ . Déduire le schéma bloc correspondant dont l'entrée est  $x$  et la sortie  $x_K$ .

### 1.9. Simulation

Assembler les différents schémas blocs des questions précédentes pour établir le schéma bloc complet du système dont l'entrée sera la tension d'alimentation du moteur ( $U_m$ ) et la sortie la tension dans la corde ( $F_c$ ).

A l'aide du logiciel Simulink, programmer cette fonction de transfert. Observer l'évolution de la tension dans la corde, ainsi que la tension du ressort du capteur d'effort lorsque le système est soumis à un échelon de tension d'alimentation du moteur.

Par la suite, c'est la tension dans le ressort du capteur qui est asservie. Ce choix est-il pertinent ? Justifier.

## 2. Etude de l'asservissement

### 2.1. Observation expérimentale

Sur la cordeuse, l'électronique de commande utilise une correction « prédictive » (ou freinage anticipé). Des algorithmes de calculs assurent un compromis optimal entre dépassement, précision et rapidité.

On utilisera ici une carte électronique externe qui remplacera la carte de la cordeuse de façon à utiliser une commande purement proportionnelle de gain  $K_p$ .

*Cette opération est à réaliser avec le professeur*

**Procédure pour connecter la carte externe :**

- mettre la machine hors tension,
- brancher le connecteur carré à l'arrière de la machine,
- la remettre sous tension,
- connecter le bouchon sur la prise correspondante (le message « Bus Occupé » s'affiche à l'écran),
- brancher le connecteur 25 broches en remplacement du bouchon,
- valider les actions au clavier en appuyant sur la touche 'V'.

**Saisir les valeurs suivantes :**  $K_P = 10$ ,  $K_I = 0$ ,  $K_D = 0$  et une tension de 10 daN (10 kgf)

*Un appui sur la touche RESET de la carte auxiliaire permet de saisir une série d'autres valeurs.*

**Procédure pour acquérir des mesures avec le logiciel :**

- mettre le boîtier interface cordeuse-ordinateur sous tension,
- mettre l'ordinateur en marche,
- lancer le logiciel SP55,
- établir la communication ordinateur-station en validant successivement [Mesures], [Initialiser]. Un message à l'écran indique que la mesure est prête à démarrer. On appuiera quelques secondes sur le bouton 'Départ mesure' du boîtier lorsqu'on sera prêt à exécuter l'étape suivante ( la mesure durera 10s),
- appuyer sur le bouton poussoir (au dessus du pupitre) pour mettre en tension la corde,
- à la fin de l'acquisition appuyer à nouveau sur le bouton poussoir pour relâcher la corde.

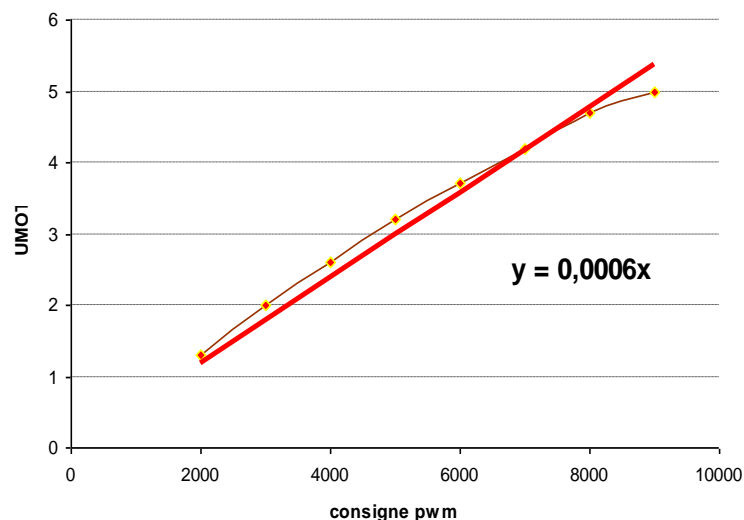
**Procédure pour afficher les courbes représentatives des paramètres du système :**

- revenir à la page d'accueil du logiciel,
- sélectionner le bouton [Courbes],
- choisir le bouton [Abscisse], puis désigner l'icône représentant le paramètre souhaité, et procéder de la même façon avec le bouton [Ordonnée],
- sélectionner le numéro de la ou des mesures à afficher,
- sélectionner l'option [Tracer].

Effectuer une série de relevés pour une consigne de tension de 20 daN avec les valeurs de KP suivantes : 10, 30, 50 (ne pas aller au delà car on risque de griller le fusible de la cordeuse). Tracer la valeur de la tension dans la corde sur un même graphique.

## 2.2. Identification du hacheur

Le relevé suivant nous permet d'identifier la fonction de transfert du Hacheur à un simple Gain,  $K_h$ . Déterminer la valeur numérique de  $K_h$ .



### 2.3. Simulation de la boucle d'asservissement

La structure de l'asservissement de tension de la corde est fournie sur la figure suivante. Modifier le programme Simulink pour obtenir le modèle de cet asservissement. Simuler le fonctionnement de l'ensemble pour les différentes valeurs de  $K_p$  pour lesquelles vous avez effectué le relevé expérimental. Conclusion.

