

### Cordeuse de raquettes SP55

#### Objectifs:

- Découvrir le fonctionnement d'un asservissement de tension,
- Identifier les principaux constituants et compléter le schéma - bloc,
- Modéliser les constituants du système.

#### 1- Fonctionnement

##### 1.1 Présentation

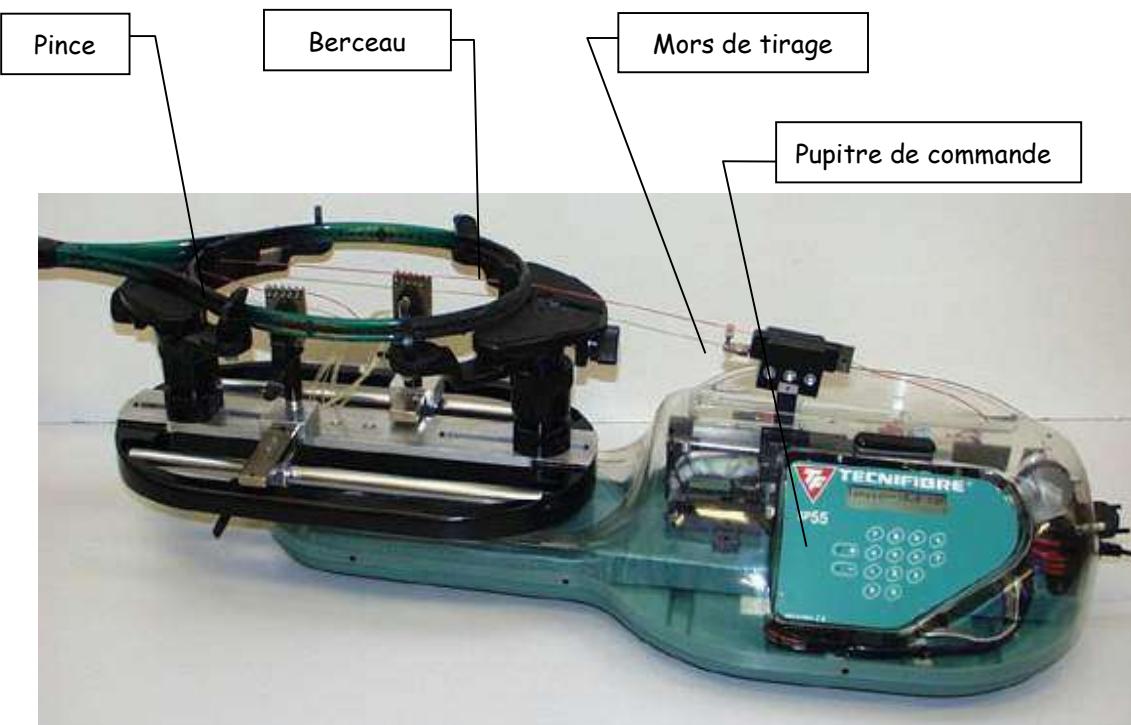
Le cordage d'une raquette de tennis ou de badminton nécessite de nombreuses manipulations manuelles. La partie automatisée de la machine permet d'assurer la réalisation précise de la tension de chaque brin.

La figure ci-dessous met en évidence les éléments de la structure de la machine (modèle SP55).

Le berceau reçoit le cadre de la raquette sur lequel il est fixé rigidement.

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. Celle-ci, asservie en effort, ajuste la valeur de la tension, préglée sur le pupitre de commande.

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.



## 1.2 Manipulation

Le cordage ne se fera pas ici sur une vraie raquette mais sur 2 supports métalliques percés de trous. La corde est déjà fixée sur le capteur d'effort, implanté ici pour pouvoir ultérieurement faire des enregistrements de courbe.

- Passer la corde dans un œillet du cadre puis vers le mors de tirage,
- Fixer la corde sur le mors de tirage (en l'engageant dans la fente médiane),
- Mettre la machine sous tension (bouton à l'arrière, à droite du pupitre),
- Programmer la tension souhaitée (15 daN) sur le pupitre (vérifier que l'affichage est correct),
- Appuyer sur le bouton poussoir (au dessus du pupitre) pour mettre en tension la corde,
- **Observer le léger mouvement alternatif du mors de tirage lorsque la corde est tendue**
- Maintenir le brin de corde tendu à l'aide de la pince en la plaçant au plus près de l'intérieur du cadre, du côté du mors de tirage et serrer la pince,
- Appuyer à nouveau sur le bouton poussoir pour relâcher la tension,
- **Observer le léger mouvement de la pince lors de l'opération précédente.**

La première partie de la manipulation venant de se terminer (le premier brin est tendu et maintenu à son extrémité par la pince, il s'agit ici de continuer le cordage en cours :

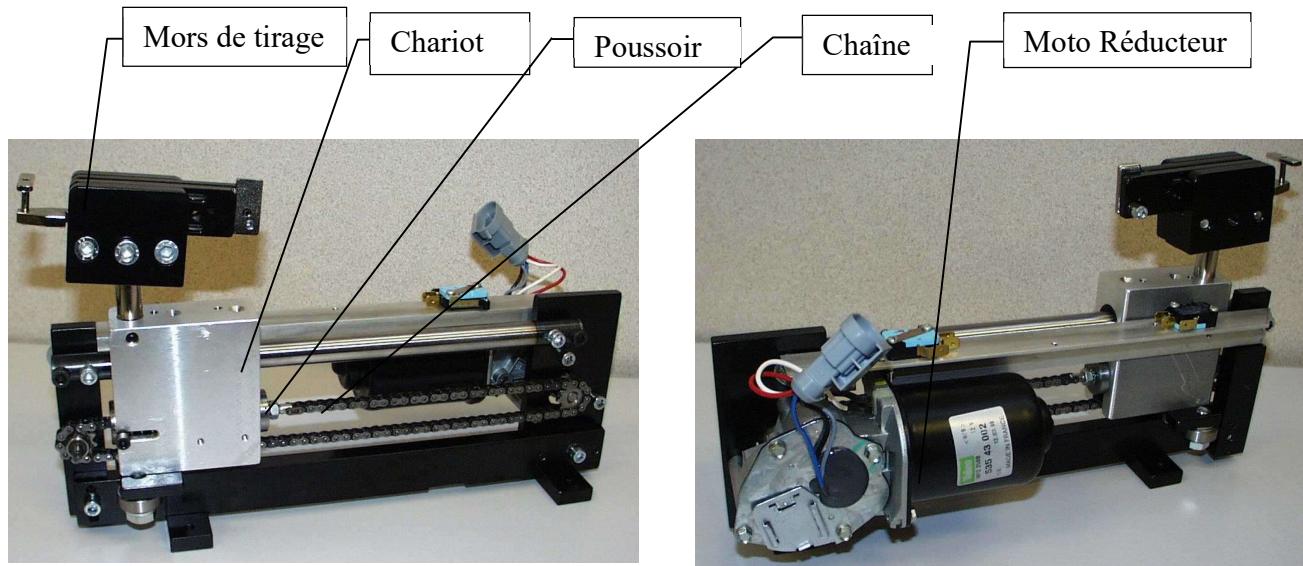
- Saisir l'extrémité du premier brin (après la pince), le passer dans l'œillet le plus proche puis au travers de l'œillet correspondant de la partie symétrique du cadre ;
- Faire pivoter le berceau de 180° et fixer la corde sur le mors de tirage ;
- Tendre ce brin (sans changer la valeur de la tension) ;
- Desserrer la pince et déplacer la afin de maintenir le brin de corde tendu en disposant la pince au plus près du cadre, du côté du mors de tirage ;

Lorsque tous les montants (cordages longitudinaux) seront tendus sur cette demi-raquette, le berceau sera tourné de 90° pour tendre tous les travers (cordages transversaux).

## 2- Modélisation de la cordeuse

### 2.1 Mécanisme de mise en tension

Le mécanisme de mise en tension est constitué principalement d'un moto réducteur et d'une transmission par chaîne assurant le déplacement du chariot. Celui-ci porte le mors de tirage auquel est fixé la corde à tendre.

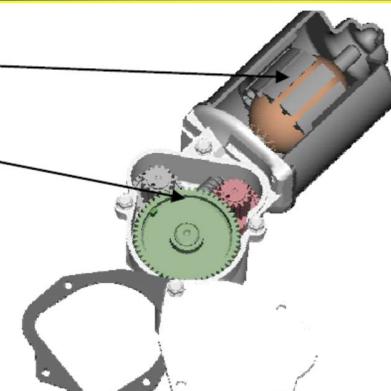


Le moto-réducteur est composé :

- d'un moteur électrique à courant continu piloté par une carte électronique,
- d'un réducteur à roue et vis sans fin.

Le stator du moteur est constitué par la couronne d'aimants permanents et le rotor par les spires bobinées (voir le moto-réducteur démonté).

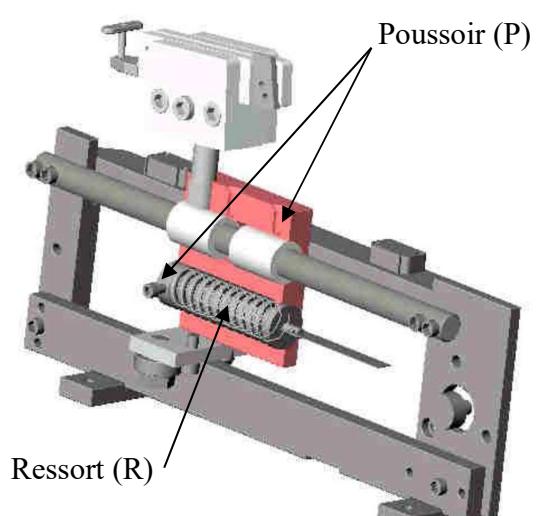
Le chariot est guidé en translation par rapport au châssis.



Le pincement de la corde dans le mors de tirage est assuré par un système formant un coin.

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.



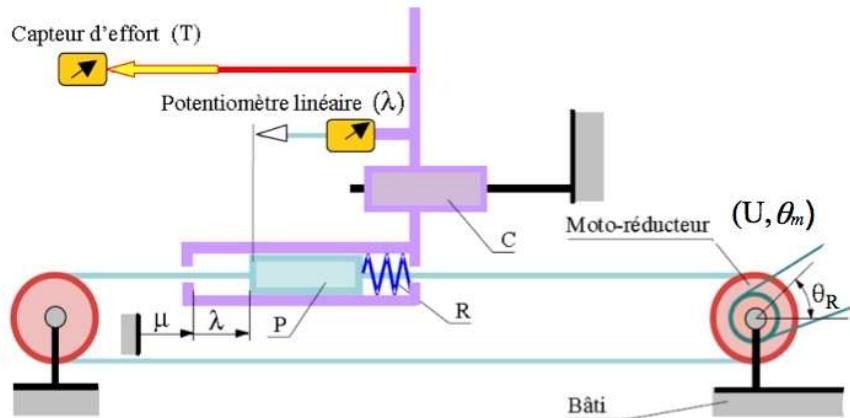
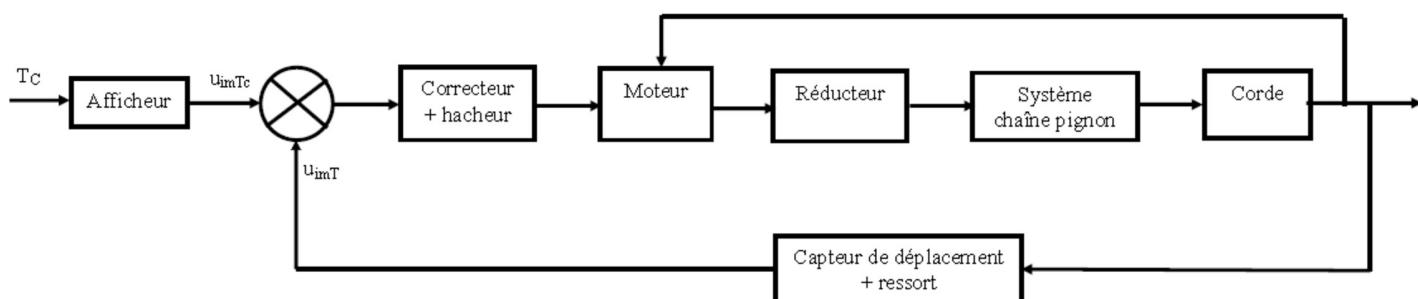


Schéma du mécanisme de mise en tension

## 2.2 Premier Schéma - bloc du système

La grandeur à asservir est la tension dans la corde. L'objectif de l'asservissement en effort est de tendre la corde et de la maintenir à une tension égale à la tension  $T_C$  de consigne, programmée à l'aide du clavier situé sur la machine. La tension dans la corde est mesurée grâce à l'écrasement du ressort lié au poussoir.

**Compléter** le schéma bloc ci-dessous en précisant le nom de chaque variable transvant entre chaque bloc (choisir les mêmes noms que ceux qui apparaissent sur le schéma du mécanisme de mise en tension).



On souhaite vérifier quelle est la grandeur réellement asservie : l'effort dans le ressort (lié à son écrasement) ou l'effort dans la corde ?

**Repérer** sur le système les 2 capteurs mesurant ces grandeurs. Bien distinguer le capteur équipant la cordeuse et le capteur didactique qui a été ajouté pour faire les TP.

On va procéder à la mesure simultanée des 2 efforts en créant une perturbation.

- **Démarrer** le logiciel SP55 situé dans le répertoire « Systèmes, Cordeuse » et vérifier que le câble de d'acquisition est bien connecté au PC.
- **Programmer** sur l'écran de la cordeuse une tension de 15 daN (15 kgF abusivement)
- **Faire apparaître** l'écran de mesures en cliquant sur l'icône et **initialiser**.
- **Appuyer** ensuite sur le bouton **départ mesures** situé sur le boîtier de mesures (derrière la cordeuse, en bas à droite de ce boîtier). Il faut pour déclencher la mesure appuyer plus d'une seconde.
- Vous avez alors 10 secondes pour réaliser les mesures.
- **Appuyer** alors sur le bouton de mise en marche du mécanisme de tension automatique et observer le comportement.

- **Attendre** la fin de l'importation pour cliquer sur l'icône  qui permettra de tracer des courbes.
- **Tracer**, avec le logiciel, l'évolution de l'effort dans la corde en fonction du temps et celui de l'effort mesuré par le ressort ( $F_{ressort}$ ) : sans perturbation les 2 grandeurs doivent correspondre
- **Recommencer** la mesure en freinant pendant quelques secondes le mors de tension de façon à exercer une perturbation stable, puis relâcher la perturbation avant la fin de l'essai (avant la fin des 10s).
- **Tracer** pour cette nouvelle mesure (n°2) l'évolution de l'effort dans la corde et de l'effort mesuré par le ressort ( $F_{ressort}$ ) et conclure sur la grandeur effectivement asservie.

On souhaite modéliser les comportements cinématiques des blocs réducteur et Système chaîne pignon, ainsi que les blocs « Capteur de déplacement + ressort » et « corde ». Lorsque le modèle complet de la cordeuse sera connu, il sera possible de prévoir le comportement global du système.

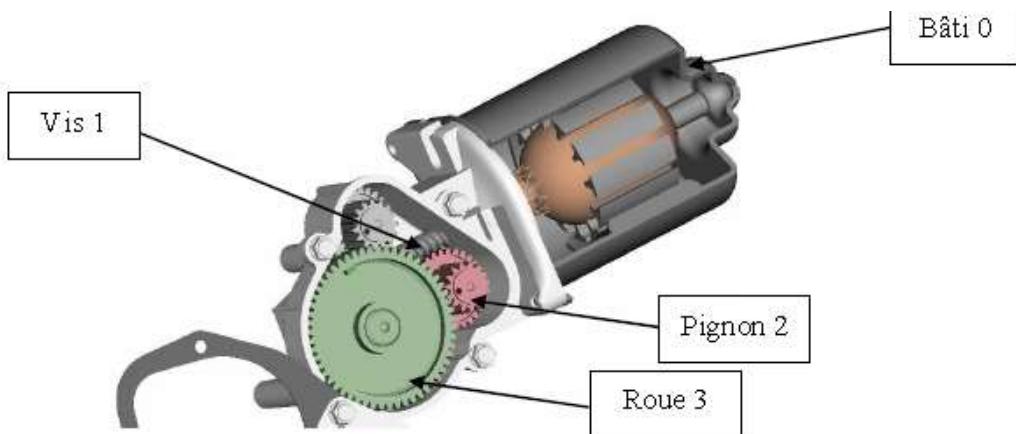
### 3- Etude du rapport de réduction du réducteur

#### 3.1 Etude expérimentale

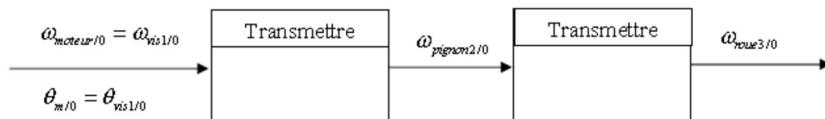
- **Programmer** sur l'écran de la cordeuse une tension de 10 daN (10 kgF abusivement) mais ne pas placer la corde dans le mors de tirage.
- **Faire** une nouvelle mesure (théoriquement mesure n°3)

**Tracer**, avec le logiciel, l'évolution de  $\dot{\theta}_R(t)$  (défini tel que  $\dot{\theta}_R(t)=\omega_{roue3/0}(t)$ ) en fonction de  $\dot{\theta}_m(t)$  (défini tel que  $\dot{\theta}_m(t)=\omega_{vis1/0}(t)$ ) et déterminer expérimentalement le rapport de réduction  $\frac{\omega_{roue3/0}}{\omega_{moteur/0}} - \frac{\omega_{roue3/0}}{\omega_{vis1/0}}$ .

#### 3.2 Modélisation cinématique du réducteur

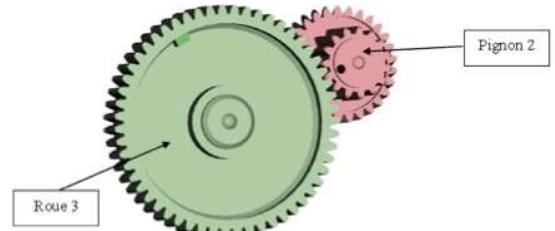


Avec les termes train simple et roue vis sans fin, compléter le schéma ci-dessous :



Le réducteur à train simple est composé de deux roues dentées (doublées en fait dans la réalité pour mieux transmettre les actions mécaniques et minimiser la charge axiale sur la vis)

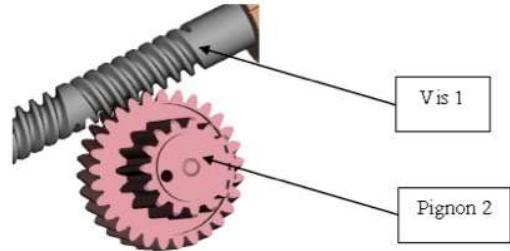
La plus petite des roues dentées, appelées pignon 2, comporte 15 dents, alors que la grande roue dentée, notée 3, liée à l'arbre de sortie, comporte quant à elle 55 dents.



Déterminer le rapport de réduction de cet engrenage cylindrique à contact extérieur  $\left| \frac{\omega_{roue3/0}}{\omega_{pignon2/0}} \right|$ .

Le réducteur roue vis sans fin est constitué d'une vis à deux filets et d'une roue liée au pignon 2 qui comporte 29 dents. Ainsi, lorsque la vis fait un tour, le pignon 2 tourne d'un angle correspondant à deux dents.

Donner alors, en valeur absolue, l'expression analytique de  $\left| \frac{\omega_{pignon2/0}}{\omega_{vis1/0}} \right|$ ,



Donner finalement le rapport de réduction de ce réducteur sous la forme  $\left| \frac{\omega_{roue3/0}}{\omega_{vis1/0}} \right|$ ,

Comparer au rapport déterminé expérimentalement et conclure.

### 3.3 Rapport de transmission du système pignon chaîne

On considère désormais le dernier transmetteur de la chaîne d'énergie, le système Chaîne pignon. On appelle **pas** d'une chaîne l'espace entre deux maillons consécutifs, c'est à dire la « période spatiale » de la chaîne.

Le constructeur nous fournit les données suivantes :

- Pas de la chaîne :  $p=6\text{mm}$
- Nombre de dents du pignon : 10

#### a. Modélisation

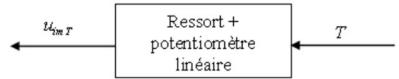
En expliquant votre démarche, déterminer la relation entre  $d(t)$ , déplacement du chariot en fonction de  $θ_R(t)$ , angle de rotation du réducteur, et donner les valeurs numériques.

En déduire le rapport global entre le déplacement du chariot  $d(t)$  et l'angle de rotation du moteur, noté  $θ_m(t)$

#### b. Vérification expérimentale

Tracer à l'aide du logiciel la courbe donnant l'évolution de  $d(t)$  en fonction de  $θ_m(t)$  et valider votre modèle.

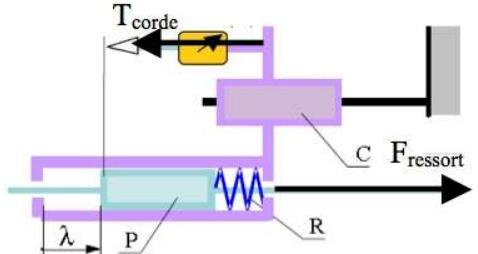
## 4- Modélisation du bloc « Capteur de déplacement + ressort »



### 4.1 Relation entre l'effort dans la corde et l'écrasement du ressort

Le capteur fixé au chariot (C) d'une part et au poussoir (P) d'autre part, permet de mesurer la déformation axiale du ressort (R) et de déterminer ainsi un effort F, supposé égal à la tension T dans la corde.

**Ecrire** l'équation du Principe Fondamental de la Dynamique en isolant le chariot (C) et indiquer à quelle condition  $|F_{ressort}| = |T_{corde}|$ .



Les caractéristiques du ressort (R) sont sa raideur k et sa longueur à vide  $l_0$ .

Le ressort (R) est monté dans le chariot avec une longueur  $l_i$  inférieure à  $l_0$ . Le ressort est dit précontraint. **Exprimer** l'effort de précontrainte  $F_i$  en fonction de  $k$ ,  $l_0$  et  $l_i$ .

Soient  $\lambda$  le déplacement mesuré par le potentiomètre linéaire (écrasement supplémentaire du ressort par rapport à la longueur initiale  $l_i$ ) et  $F$  l'effort de compression appliquée au ressort (R).

**Exprimer** l'effort  $F$  en fonction de  $k$ ,  $\lambda$  et  $F_i$ .

**Représenter** la courbe  $F$  en fonction de  $\lambda$ .

**Tracer** à l'aide du logiciel, pour une tension de consigne de 15daN et un seul fil en tension entre le capteur d'effort et le mécanisme de mise en tension, la courbe fournissant l'évolution de la force  $F_{ressort}$  dans la corde en fonction de l'écrasement du ressort  $\lambda$  et justifier le modèle mis en place précédemment.

**En déduire** la raideur  $k$  du ressort.

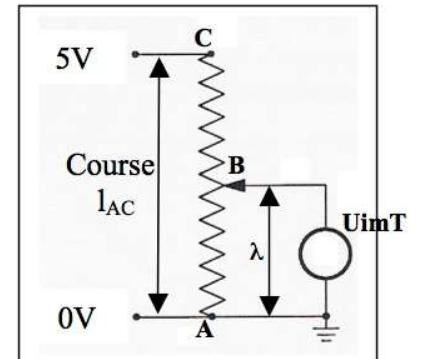
**Evaluer** la différence entre l'effort ressort et la tension dans la corde et identifier la cause.

### 4.2 Mesure de l'écrasement du ressort

L'écrasement de ressort  $\lambda$  est mesuré par un capteur de position appelé potentiomètre rectiligne.

Le principe d'un potentiomètre rectiligne est celui d'une résistance variable avec le déplacement du curseur B sur la piste resistive AC. Cette technologie permet des mesures précises avec une résolution pratiquement infinie et des vitesses de déplacement de la tige pouvant atteindre 10 m/s.

La simplicité du potentiomètre en fait un instrument de mesure directe, sachant que la résistance d'un conducteur est donnée par :  $R = \rho \frac{\ell}{S}$  avec  $\rho$  la résistivité,  $\ell$  la longueur du conducteur, et  $S$  la section du conducteur.



$$\text{D'où la relation : } u_{imT} = V_B - V_A = \frac{R_{AB}}{R_{AC}}(V_C - V_A) = \frac{l_{AB}}{l_{AC}}(V_C - V_A)$$

**Mesurer** sur le potentiomètre démonté la course  $l_{AC}$  du capteur.

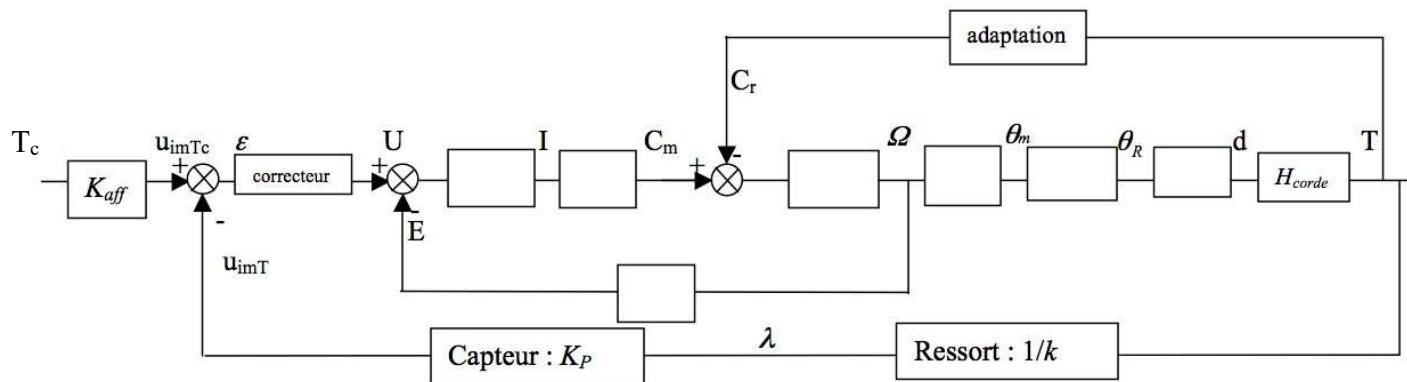
**En déduire** le gain  $K_P$  du capteur lorsqu'il est alimenté avec une tension de 5V.

## 5- Schéma-bloc complet de la cordeuse

On rappelle les équations simplifiées du moteur à courant continu :

$$U = E + RI, \quad C_m = KI, \quad E = K\Omega \text{ et } J \frac{d\Omega}{dt} = C_m - C_r$$

Ces équations permettent de représenter le schéma bloc du moteur à courant continu



**Compléter** les différentes transmittances des blocs modélisant le moteur CC avec les coefficients R, K et J.

**Compléter** les blocs modélisant le réducteur et le système de transmission à chaîne par les valeurs numériques des gains calculés au §3.

**Déterminer** l'expression du gain d'adaptation  $K_{aff}$  pour assurer le bon fonctionnement de l'asservissement en tension, puis déterminer sa valeur numérique.

**Proposer** une procédure expérimentale afin de déterminer le gain statique  $K_{corde}$  de la fonction de transfert  $H_{corde}$  liant la tension dans la corde au déplacement  $d$  du chariot.

**Mettre en œuvre** cette procédure et déterminer la valeur de  $K_{corde}$ .

**Comparer** la raideur de la corde avec celle du ressort R.

Enfin pour estimer la valeur du gain du bloc « adaptation », on considérera que le travail mécanique développé par le moteur se conserve au niveau de la corde (hypothèse de rendement égal à 1) :

$$C_r \cdot \theta_{moteur} = T_{corde} \cdot d_{chariot}$$

**En déduire** la valeur numérique du gain du bloc « adaptation ».