

# MACHINE À CORDER LES RAQUETTES



## PRESENTATION DE L'ÉPREUVE

Durée : 4 heures

### Objectifs de l'épreuve

L'objectif de l'épreuve d'oral de SII du concours TSI est d'évaluer les compétences des candidats à s'inscrire dans une démarche d'ingénieur pour :

- analyser les performances d'une cordeuse de raquettes ;
- élaborer et valider un ou plusieurs modèles à l'aide de la cordeuse fournie afin de prévoir, des évolutions de performances conformément au cahier des charges.

Il s'agit, pour le candidat, de mesurer les écarts (Figure 1) entre :

- les performances attendues du système présentées dans le cahier des charges et les performances mesurées sur le système fourni,
- les performances obtenues par simulation et les performances mesurées sur le système fourni,
- les performances attendues du système présentées dans le cahier des charges et celles obtenues par simulation.

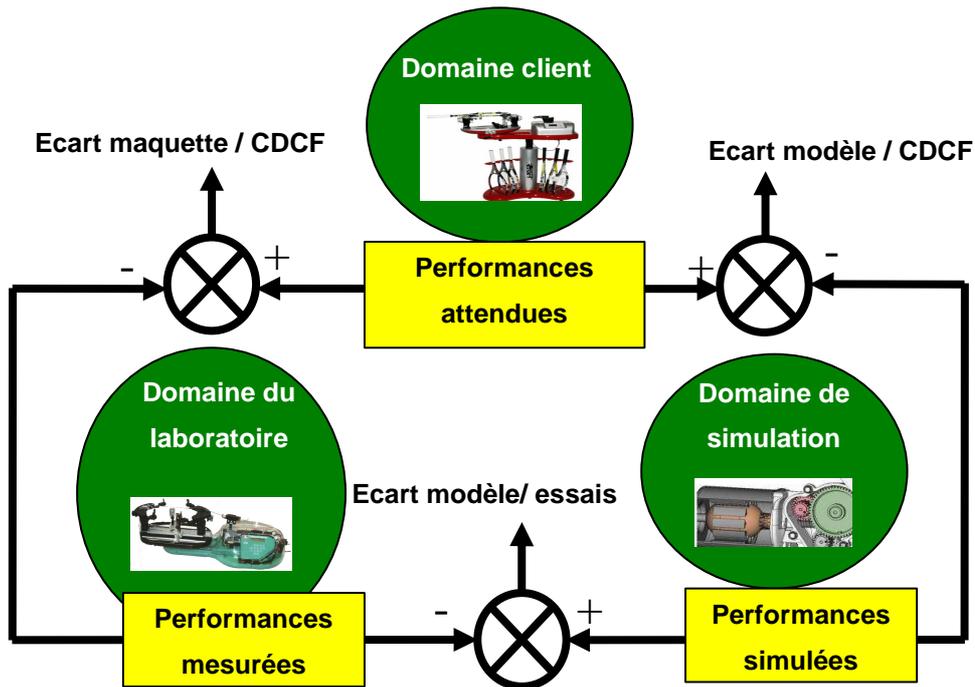


Figure 1

Cette épreuve n'est pas une épreuve écrite, il n'est donc pas demandé de rédiger de compte rendu. Toutefois, les dessins, les schémas et les graphes utilisés comme illustrations lors de la prestation orale doivent être élaborés avec soin.

Un dossier ressources et un dossier technique sont à votre disposition. Vous serez invité à consulter ces documents lors de l'épreuve.

Pour préparer les réponses aux activités proposées, utiliser les feuilles remises comme brouillon en début d'épreuve. **La qualité de la prestation orale est évaluée.**

**Une présentation des réponses aux activités 1 à 5** sera faite à l'examineur dès que ces activités seront traitées (le signaler à l'examineur). Pour cette présentation, vous vous appuyerez sur le système lui-même, sur vos notes, vos schémas (il est inutile de reproduire les schémas présents dans le sujet).

**Pendant le dernier quart d'heure de l'épreuve, et quelque soit l'état d'avancement de vos travaux, vous présenterez une conclusion orale (3 minutes maximum).** Vous vous attacherez à préciser les objectifs qui vous ont été fixés, à établir un bilan des activités menées et vous conclurez sur les résultats obtenus.

**Cette conclusion doit vous permettre de montrer à l'examineur vos capacités d'analyse et de synthèse du problème posé.**

## SOMMAIRE

1. Description du système	4
1.1. Contexte	4
1.2. La chaîne de motorisation	4
1.3. Description de l'étude	6
2. Analyse fonctionnelle et structurelle. Observation et découverte	6
2.1. Analyse fonctionnelle	7
2.2. Mise en œuvre du système	7
3. Performances de la cordeuse	7
3.1. Justesse	7
3.2. Fidélité	8
4. Modélisation du système	8
4.1. Modélisation des éléments	8
4.2. Validation du système	9

## DOSSIER RESSOURCES

**annexe 1 : Données générales**

**annexe 2 : Modélisation volumique**

**annexe 3 : Mode opératoire de cordage**

**annexe 4 : Capteur de tension de la corde**

**annexe 5 : Logiciel de traitement des mesures**

**annexe 6 : Schéma bloc de l'asservissement**

**annexe 7 : Paramètres du système asservi**

**annexe 8 : Modèle de comportement cinématique du capteur**

**annexe 9 : Schéma du circuit de commande**

**annexe 10 : Documentation technique du moto-réducteur**

**annexe 11 : Notice d'utilisation simplifiée du logiciel Did'acsyde**

## 1. Description du système

### 1.1. Contexte

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

La photo suivante laisse apparaître les éléments constitutifs de la structure de la machine.

- Le berceau reçoit le cadre de la raquette sur lequel il est fixé (cadre non présent sur la figure)
- L'extrémité de la corde est attachée au cadre puis glissée dans le mors de tirage. Grâce à un asservissement de tension, la cordeuse permet à l'opérateur d'ajuster la tension de la corde sur la raquette à une valeur pré-réglée sur le pupitre de commande.
- Deux pinces mobiles assurent le maintien de la tension dans la corde durant les différentes étapes du cordage.

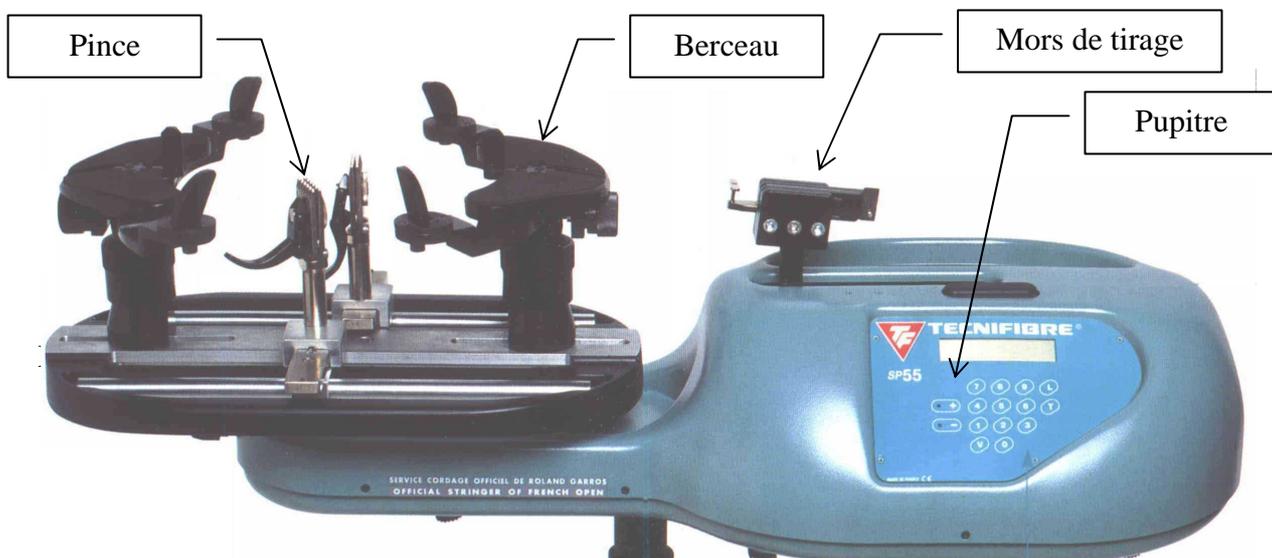


Figure 2: Cordeuse de raquettes

### 1.2. La chaîne de motorisation

Le module de mise en tension (Figure 3) est essentiellement constitué d'un motoréducteur et d'une transmission par chaîne assurant 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**). Le déplacement du poussoir par rapport au chariot est mesuré à l'aide d'un capteur de déplacement linéaire. L'électronique de commande génère à partir de cette information et de la consigne de l'opérateur la tension d'alimentation du moteur.

Dans une optique de réduction des coûts, le moto-réducteur utilisé, fabriqué par VALEO, est issu de l'industrie automobile. Il s'agit d'un moteur à courant continu d'une puissance 340 W ( $I_n=15A$ ) associé à un réducteur dont le rapport de réduction vaut 1/50.

Le reste de la machine est construit en petite série (mécanique de qualité). Le châssis est principalement constitué d'un profilé rectangulaire central sur lequel se monte le berceau et le mécanisme de tension.

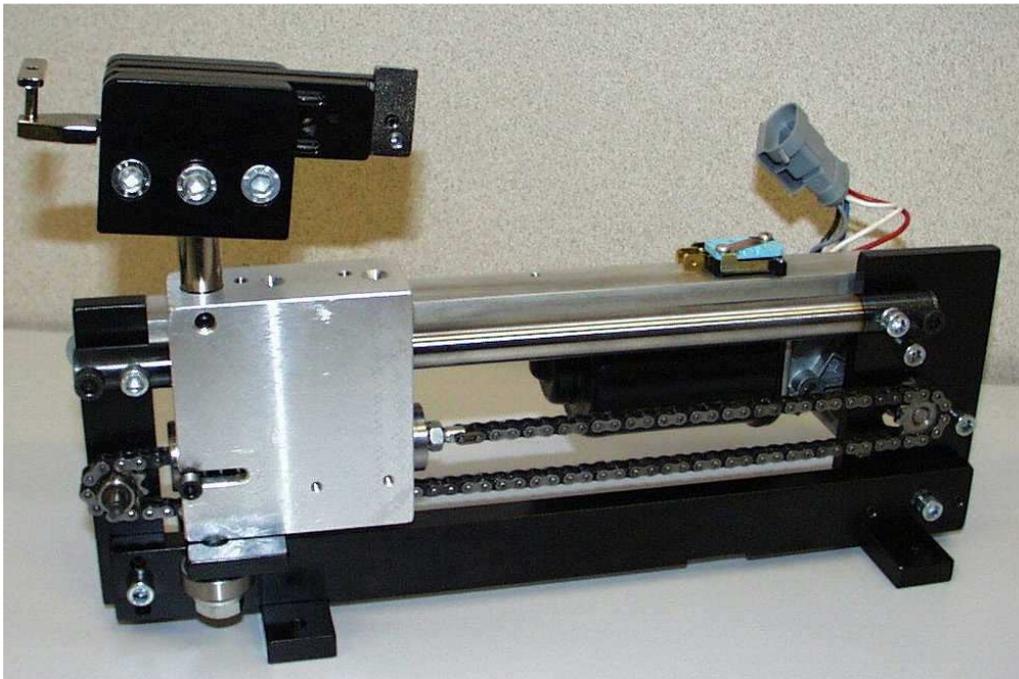


Figure 3 : Module de mise en tension de la corde

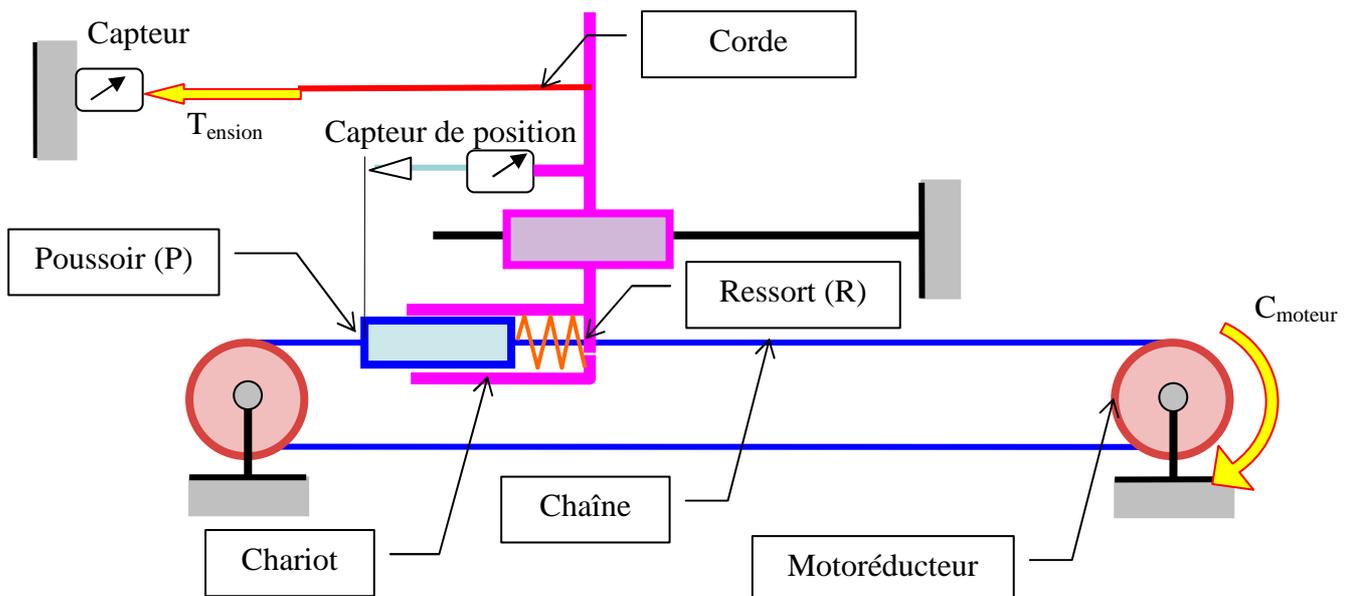


Figure 4 : Schéma du mécanisme de tension de la corde

Le schéma bloc fourni (Figure 5) met en évidence la structure de l'asservissement du mécanisme de tension de la corde (comparateur, chaîne directe, chaîne de retour).

**La tension de consigne** étant donnée, la carte de commande génère la tension d'alimentation du moteur afin d'obtenir dans la corde la tension souhaitée.

**Le retour d'information** est réalisé par l'ensemble composé d'un potentiomètre linéaire et un ressort calibré, constituant un capteur d'effort.

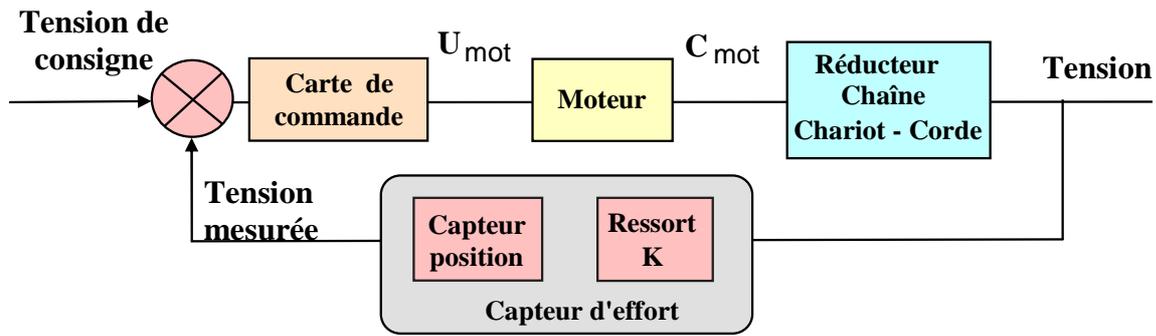


Figure 5 : asservissement de la tension de la corde

### 1.3. Description de l'étude

- La première partie de l'étude porte sur l'analyse système et a pour objectif de vous permettre d'appréhender l'ensemble du procédé et les différents éléments fonctionnels qui le composent.
- La seconde partie a pour objectif de vérifier les performances du système en regard des attendus du cahier des charges et de proposer des solutions permettant de réduire les éventuels écarts constatés.
- La troisième partie nous conduit à modéliser le système asservi et à en identifier les paramètres afin de renseigner un logiciel de simulation en vue de régler un correcteur conférant à la cordeuse une réponse conforme au cahier des charges.

## 2. Analyse fonctionnelle et structurelle. Observation et découverte

Dans cette partie, les manipulations proposées ainsi que les questions posées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système : on demande d'observer le fonctionnement du système (procédure fournie) et d'extraire des informations importantes dans les documents annexes.

Il n'est pas nécessaire de répondre aux questions dans l'ordre proposé ; en revanche, une synthèse orale sera présentée, selon un plan personnel, en se limitant à ces manipulations et à ces questions. Il est possible d'utiliser un éditeur de texte pour garder des traces de votre travail en collant des images sur lesquelles des commentaires peuvent être ajoutés pour appuyer votre propos.

**La durée de cette présentation ne doit pas dépasser 10 minutes et le temps conseillé pour la préparation de cette partie est de 45 minutes maximum.**

Pendant le temps de préparation, il ne faut pas hésiter à faire appel à un examinateur en cas de problème (lors de l'utilisation du système, incompréhension des questions posées ou des manipulations proposées ...).

**Dès que votre intervention orale est prête, le signaler à l'examineur, puis passer à la suite sans attendre.**

## 2.1. Analyse fonctionnelle

**Question 1.** Commencer un cordage en vous limitant à 3 brins et en suivant la procédure décrite dans l'annexe 3.

**Question 2.** Compléter le diagramme FAST au niveau de la décomposition de la fonction technique « Tendre la corde » en définissant les sous fonctions techniques (annexe 1)

**Question 3.** Repérer sur la machine à corder (ou le dispositif didactisé annexe) les composants associés aux différentes solutions techniques.

## 2.2. Mise en œuvre du système

**Question 4.** Réaliser une mise en tension de la corde en utilisant le capteur d'effort (voir annexe 4). Relever la tension dans la corde au cours du cycle de cordage d'un brin (mise en tension de 25 daN, pose de la pince et relâchement) avec le logiciel d'acquisition et d'exploitation des mesures (voir annexe 5).

Utiliser le menu « Courbes » du logiciel afin de tracer la tension effective de la corde en fonction du temps.

Commenter brièvement cette courbe.

Que peut-on dire du résultat obtenu au regard du cahier des charges fourni annexe 1 ?

**Question 5.** Recenser et distinguer les capteurs qui sont utiles à la commande du système réel et ceux qui servent uniquement à l'instrumentation du système didactique.

**Faire appel à l'examinateur pour présenter vos résultats. Pour la suite de l'épreuve, préparer les réponses aux questions posées en suivant l'ordre et les indications du texte.**

**Question 6.** Reprendre le relevé proposé à la **question 4** en traçant sur un même graphique, en fonction du temps : *tension de la corde*, *tension moteur*, *courant moteur* et *position du chariot*. Il est possible d'ajuster les échelles du graphe afin d'adapter chaque courbe à l'écran.

En vous reportant au schéma de commande du moteur à courant continu fourni en annexe 9, commenter les évolutions de  $U_m$  et  $I_m$ . Préciser le fonctionnement du convertisseur de puissance au cours des différentes phases de fonctionnement observées sur le relevé expérimental. Justifier la forme du courant moteur. Vous disposez pour cela du logiciel SP55 de pilotage de la cordeuse, ainsi que d'un oscilloscope muni d'une pince ampèremétrique et d'un ampli d'isolement.

Comment est élaborée l'information  $I_m$  obtenue sur l'écran de l'ordinateur? Identifiez-vous un problème lié à ce type de mesure de courant? Existe-t-il d'autres solutions ?

## 3. Performances de la cordeuse

**Problème posé :** Les performances de la cordeuse reposent sur des caractéristiques de précision parmi lesquelles il y a la justesse et la fidélité. L'analyse qui suit a pour but d'évaluer l'écart entre la performance attendue et le résultat mesuré, de recenser les causes possibles de cet écart et de rechercher les solutions au problème technique posé.

### 3.1. Justesse

**Question 7.** Effectuer des relevés permettant de tracer les courbes donnant la tension au maintien et la tension finale effective en fonction de la tension de consigne pour les valeurs suivantes 10, 15, 20, 25, 30 et 35 daN. Commenter le résultat obtenu.

**Question 8.** Recenser les causes possibles de l'écart de tension dans la corde entre les valeurs affichées sur le pupitre de commande et les valeurs obtenues dans les 2 phases de cordage (tension puis relâchement). Proposer une méthode opératoire permettant de réduire l'écart entre tension de consigne et valeur finale effective.

### 3.2. Fidélité

**Question 9.** Effectuer plusieurs mises en tension de la corde (tension de consigne = 25 daN) en faisant varier le mode de mise en place de la pince, puis relever dans chaque cas la valeur de la tension après relâchement.

**Question 10.** Commenter les résultats obtenus question 9 au regard du cahier des charges. Identifier des causes possibles de ces variations.

**Question 11.** Sans rien changer aux solutions techniques retenues sur la cordeuse, proposer une liste de conseils méthodologiques de cordage destinée à un opérateur qui doit réaliser le cordage de la raquette d'un joueur averti.

## 4. Modélisation du système

**Problème posé :** Le constructeur annonce une erreur de fidélité de  $\pm 3\%$  sur la valeur de tension de la corde. Il s'agit en fait du résultat obtenu au niveau des mors du mécanisme de tension de la cordeuse. Ce mécanisme est asservi. Afin de déterminer les paramètres des correcteurs d'une commande asservie, il faut modéliser le système, et en particulier le comportement de la partie opérative (voir annexe 6).

Pour déterminer expérimentalement les valeurs de certains paramètres du système, on pourra utiliser les possibilités offertes par le logiciel de tracer les grandeurs (mesurées ou calculées) qui apparaissent sur le synoptique du menu courbes.

*Ne pas hésiter à faire appel à l'examineur si nécessaire pour obtenir des précisions sur l'utilisation de ces fonctions.*

### 4.1. Modélisation des éléments

**Question 12.** Identifier, en faisant référence à des lois ou principes utilisés, les équations de comportement physique associées à chaque constituant de la chaîne asservie (voir annexe 7 et annexe 8).

$$\left[ J_m + J_r r^2 + m R_p^2 r^2 \right] \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_{re}(t) - f_e \Omega_m(t) - r R_p F_r(t)$$

$$F_r(t) = K x_K(t) \quad u(t) = R i(t) + e(t) \quad e(t) = K_e \Omega_m(t) \quad C_m(t) = K_c i(t)$$

$$M \frac{d^2 x_K(t)}{dt^2} = F_r(t) - F_c(t) \text{ dont le premier terme est considéré nul } F_c(t) = k x_K(t)$$

Vérifier également que le terme  $m R_p^2 r^2$  est négligeable devant  $J_m + J_r r^2$  dans l'équation de mouvement du rotor du moteur. Justifier que la constante de couple  $K_c$  est égale à  $K_e$ .

**Remarque :** il n'est pas demandé d'établir ces relations.

**Question 13.** Le schéma cinématique du chariot est fourni en annexe 8. Justifier la transmittance  $H_7(p)$  liée au capteur d'effort interne au système. Vérifier expérimentalement la valeur de  $K$  fournie annexe 7.

**Question 14.** Repérer les constituants du schéma structurel associés aux blocs fonctionnels sur le schéma de l'annexe 6 (moteur, éléments de la chaîne cinématique, capteur de la chaîne de retour). Compléter ce document (sauf  $H_1(p)$ ).

**Question 15.** A l'aide de la documentation constructeur du moto-réducteur MFD250, déterminer une valeur de la constante  $K_e$  (ou  $K_c$ ) du moteur. ( $R = 0,7 \Omega$  et  $r = 1/50$ ). Par un essai à vide, produire les courbes adéquates permettant d'évaluer la constante  $K_e$ .

**Question 16.** Proposer une méthode de mesure expérimentale de la résistance électrique du rotor du moteur à courant continu. Dans la suite vous utiliserez la valeur de résistance rotorique fournie en annexe 7.

**Question 17.** Déterminer la fonction  $H_{11}(p)$ . Le capteur potentiométrique est constitué d'une résistance de 5 ohms (longueur 15 mm) qui est alimentée par une tension  $V_E = 5$  V. La tension image de l'écrasement  $X_K$  du ressort est notée  $U_m$ . Déterminer la relation entre  $U_m$  et  $X_K$ . Calculer le coefficient. En déduire l'expression de  $H_1(p)$ . Effectuer l'application numérique.

**Question 18.** Déterminer les constantes liées aux frottements. Différentes mesures en régime établi ont été effectuées permettant de relever les grandeurs couple moteur et vitesse de rotation dans différentes conditions. Ouvrir le fichier **Etude\_frottements.xls** et tracer le graphe  $C_m = f(\omega_m)$ . En déduire des valeurs du couple  $C_f$  de frottement sec et du coefficient de frottement visqueux noté  $f$ .

## 4.2. Validation du système

**Question 19.** Lancer le programme DidacSyde

Charger le schéma **Schema\_bloc\_moteur.sch**.

Dans ce modèle, parcourir les différents éléments et vérifier les valeurs affectées ( $K_e$ ,  $R$ ,  $C_f$ ,  $f_e$ ). Effectuer une analyse temporelle sur 1 s. En déduire une valeur approchée de la constante de temps  $\omega_m$  du moteur. Quel est l'effet du couple de frottement sur la vitesse de rotation du moteur ?

**Question 20.** Etude du schéma complet avec correction proportionnelle.

Charger le schéma **Schema\_bloc\_complet.sch**.

Editer les paramètres du correcteur pour effectuer une correction proportionnelle avec  $K_p = 10$  puis  $K_p = 100$  (pas d'action intégrale).

Effectuer une analyse temporelle en réponse à un échelon de tension de consigne de 250 N. Faire apparaître à l'écran les différentes courbes et commenter celle de  $U_m$ .

**Question 21.** Modifier les paramètres du correcteur pour obtenir une correction intégrale du type  $C(p) = K_p \cdot (1+1/T_i \cdot p)$ .

Proposer des valeurs permettant un fonctionnement satisfaisant et le faire constater.

**Question 22.** En comparant la courbe réponse obtenue par simulation et celle du système réel, indiquer les différences notables et proposer des raisons possibles à ces écarts.