

# CORDEUSE

Secteur d'activité du matériel : loisir

Support : Cordeuse de raquette SP55

Thème : Modélisation des actions mécaniques - Statique des solides



## I PRÉSENTATION DE LA PROBLÉMATIQUE

Pour que les joueurs de tennis ou de badminton puissent atteindre leur meilleur niveau de jeu, il est indispensable que leurs raquettes soient correctement cordées à la tension souhaitée. En effet, de nombreux tennis-elbow sont souvent provoqués par des raquettes neuves mais mal cordées.

Les centres de compétition et les magasins spécialisés disposent de machines improprement appelées « à corder les raquettes » (ou « cordeuses » dans le texte) du type de celle qui sera étudiée aujourd'hui.

Le choix de la tension des cordes est extrêmement important, car de ce choix dépend la manière de jouer. En moyenne, les tamis actuels supportent des tensions allant de 24 Kg à 30 Kg. Plus une tension est importante et plus le contrôle de la balle sera facilité, par contre, le joueur aura moins de puissance, de confort, de toucher et la longévité de la raquette sera diminuée.

Un joueur de tennis souhaite avoir une raquette cordée toujours de la même façon. S'il est nécessaire de changer le type de corde (cordage rompu, nouveau cadre...), la maîtrise de la tension précisément dans celle-ci est une nécessité.

Nom	Fonction	Critère	Valeur
FS1	Fixer la raquette	Déformation du berceau	Déformation longitudinale maxi du cadre de raquette: 5 mm pour une tension de 250 N sur 16 cordes
FS2	Acquérir la consigne de tension		Tous les 10 N
FS3	Fixer la corde sur le mors	Glissement	Serrage sans écrasement permanent de la corde (essais)
FS4	Tendre la corde	Tension	$50 \text{ N} < T < 250 \text{ N}$ $\pm 1 \%$ (Fidélité)
FS5	Maintenir la tension	Glissement	Serrage sans écrasement permanent de la corde (essais)
FS6	Orienter la raquette	Rotation	$360^\circ$
FS7	S'adapter à différents types de raquette	Dimensions raquettes	Dimension intérieure longitudinale du cadre : 395 mm Maxi
FS8	Modifier l'énergie	Puissance	220 W
FS9	Etre esthétique		

Extrait de l'analyse fonctionnelle

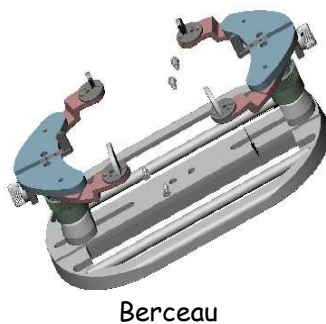
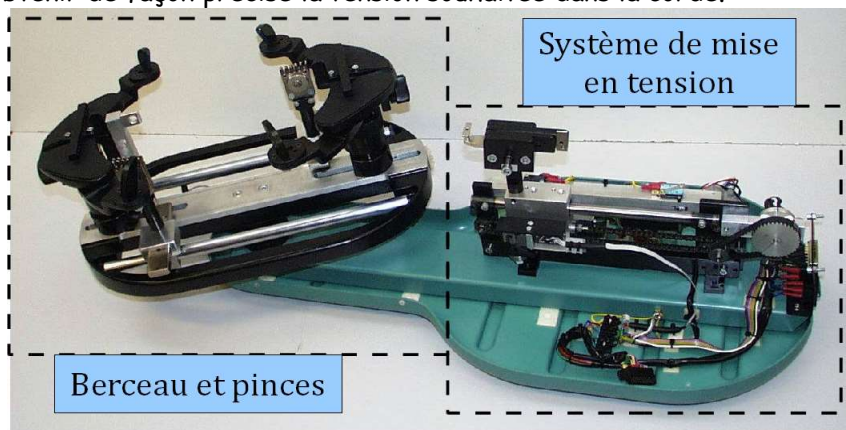
Critère étudié pendant le TP.

Le cahier des charges impose que la raquette puisse être cordée à 25 kgf. L'objectif du tp est d'une part de vérifier que le moteur choisi peut fournir une énergie mécanique suffisante et d'autre part de vérifier que le cordage est précis, c'est à dire que celui-ci se fait bien à la tension désirée (justesse) et qu'on peut facilement reproduire une tension de cordage visée (fidélité).

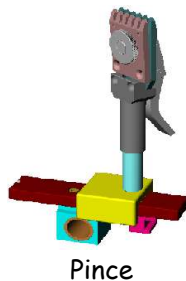
## II PRÉSENTATION DU SYSTÈME

La structure de la machine peut être découpée en deux zones :

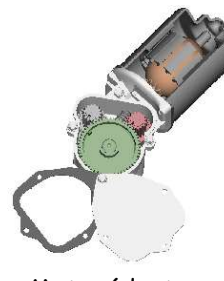
1. **le berceau et les pinces** permettant respectivement de fixer la raquette et maintenir la tension de la corde. Cette zone correspond à des opérations manuelles de la part du cordeur ;
2. **le mécanisme de mise en tension** : cette partie, entièrement automatisée, permet d'obtenir de façon précise la tension souhaitée dans la corde.



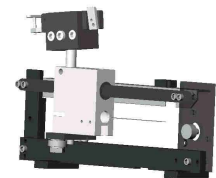
Berceau



Pince



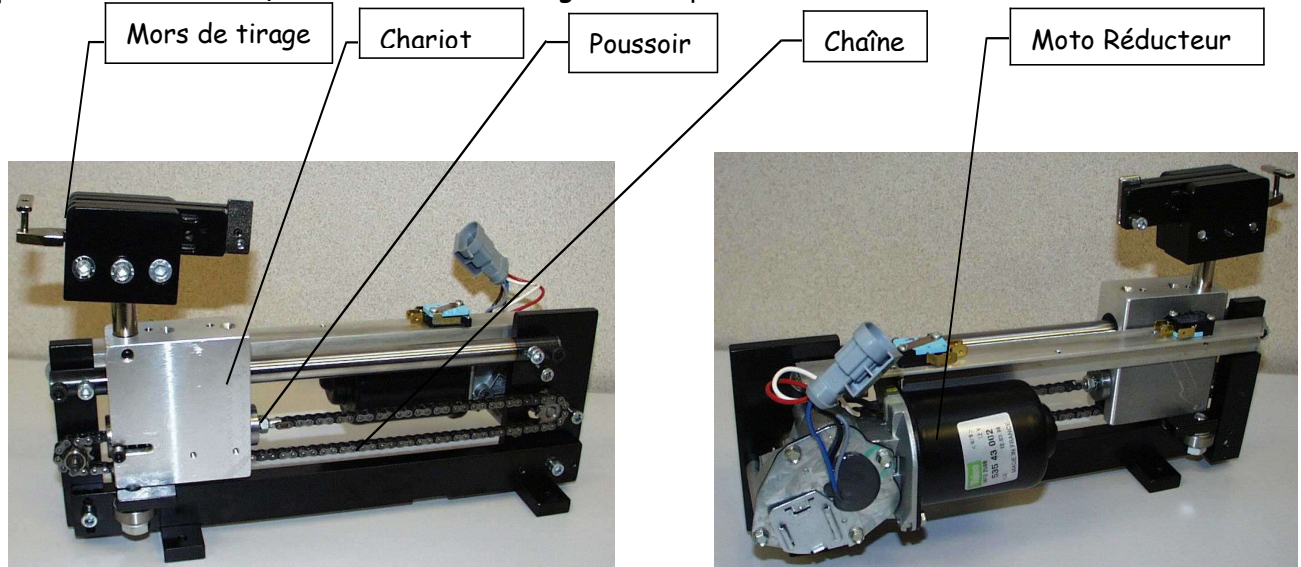
Motoréducteur



Dispositif de mise en tension

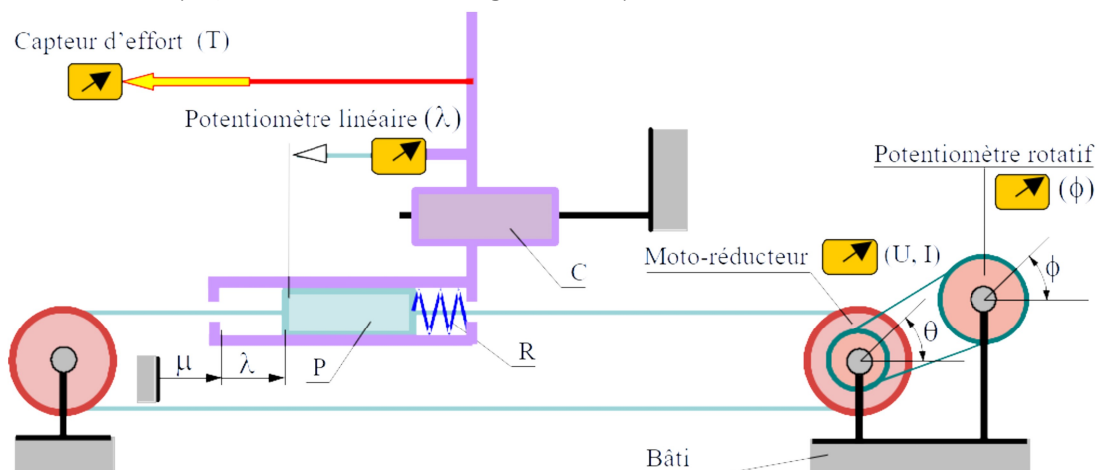
### • Système de mise sous tension

Les photographies ci-dessous permettent de mettre en évidence le module de mise en tension. Il est constitué principalement d'un **moto réducteur** et d'une transmission par **chaîne**. Elle assure le déplacement du **chariot** portant le **mors de tirage** dans lequel sera fixée la corde à tendre.



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. 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.

Le schéma suivant explique le fonctionnement global du système de mise en tension de la corde:



Dans une première partie, nous étudierons ce système afin de vérifier que le moteur est capable de fournir l'énergie nécessaire pour corder à la tension maximale du Cahier des Charges.

### • Instrumentation du système

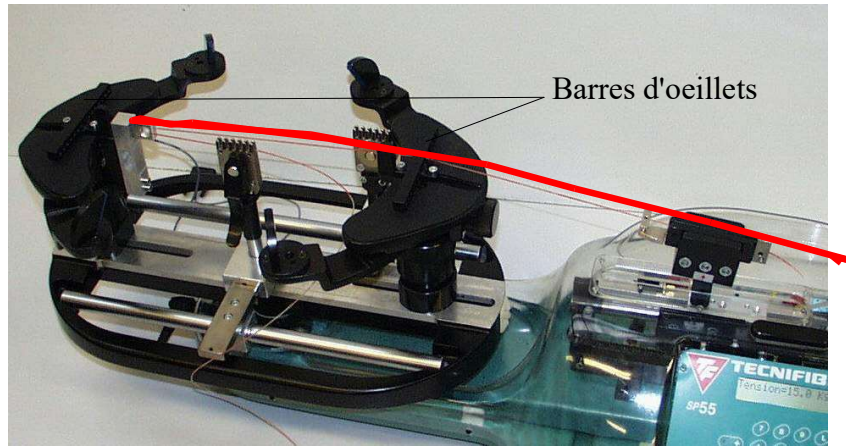
Le système en laboratoire de SII est instrumenté à l'aide d'un capteur de force sur le point d'accroche de la corde à la place du premier œillet (elle n'est donc pas attachée au cadre de la raquette).

Q1/ Repérer sur le système instrumenté le capteur de force ainsi que le potentiomètre + ressort calibré. Essayer d'expliquer comment le capteur de force mesure une force.

## • Manipulation de prise en main du système

### Manipulation 1

La corde est attachée à l'anneau du capteur d'effort, passe par un œillet et est glissée dans le mors de tirage.



On utilisera la chaîne de mesure installée sur la station : capteurs, acquisition par la carte du boîtier, traitement et affichage par l'ordinateur. Pour cela :

1. Lancer le logiciel SP55 et allumer le boîtier d'acquisition blanc (bouton à l'arrière);
2. Établir la communication micro - station en validant successivement [Mesures], [Initialiser]. Un message à l'écran indique que la mesure est prête à démarrer ;
3. Faire passer l'extrémité libre de la corde dans l'œillet central du rail de sélection. Bloquer la corde dans le mors de tirage en l'engageant dans la fente médiane (on appelle cette solution constructive un coin).
4. Mettre la machine sous tension (bouton sur le côté droit du pupitre) ;
5. Programmer la tension souhaitée (25 kgF) sur le pupitre en appuyant sur T puis 2,5,0 (vérifier que l'affichage est correct) et mettre le système en petite vitesse (1) en appuyant sur V;
6. Appuyer sur le bouton 'Départ mesure' du tableau de bord du boîtier.

Ceci a pour effet de lancer le chronomètre contrôlant la durée de mesure (10 s) ;

7. Appuyer sur le bouton poussoir (sur le boîtier d'acquisition blanc) pour mettre en tension la corde ; Attendre que le chronomètre soit à 3 secondes et appuyer à nouveau sur le bouton poussoir pour détendre la corde.
8. Attendre la fin des dix secondes et l'importation des résultats ;
9. Regarder les différentes grandeurs que l'on peut tracer avec le logiciel en revenant à la page d'accueil et en cliquant sur [Courbes].

## III VÉRIFICATION DU MOTEUR

Nous allons vérifier que le moteur choisi est capable de corder une raquette est satisfaisant à la FS2. Cette vérification se fait habituellement en vérifiant que la puissance du moteur est supérieure à la valeur  $C_{max}$   $W_{max}$  avec  $C_{max}$  le couple maximum à fournir pendant la phase de démarrage du moteur (pour vaincre l'inertie) et  $W_{max}$  la vitesse maximale à atteindre (souvent en régime permanent). Ici on comparera simplement le couple à fournir en régime permanent et le couple maximum du moteur.

### III.1 Validation expérimentale (avec les mesures de la manipulation 1)


1. Choisir le bouton [Abscisse]  , puis désigner l'icône représentant le temps ;



- Choisir le bouton [Ordonnée]  , puis désigner l'icône représentant l'effort effectif dans la corde;
- Sélectionner le numéro de la mesure (1 pour commencer). Sélectionner l'option [Tracer].

Q2/ Commenter l'allure de la courbe et conclure sur le respect ou non du cahier des charges.

Le moteur utilisé est un moteur à courant continu dont le couple fourni est proportionnel à l'intensité le traversant :  $C_m = k I$  avec  $k = 0,032 \text{ Nm / A}$

Q3/ Tracer la courbe permettant de voir le couple délivré par le moteur en fonction du temps. Commenter succinctement l'allure de la courbe. Dans la phase de maintien en tension, le couple devrait être constant. Relever la valeur moyenne du couple durant cette phase (pour cela, cliquer sur l'icône « configuration » , sélectionner via l'onglet la courbe d'intensité et à l'aide du curseur, lisser la courbe pour obtenir une courbe « acceptable »).

### III.2 Calcul du couple

En isolant successivement les différents solides du schéma initial proposé lors de la présentation du système en partie I (avec un modèle de liaisons parfaites), on montre que le couple vérifie la relation suivante :

$$C_m = \mu * C_{red} = \mu * r * F_{corde}$$

avec  $C_m$  couple exercé par le stator du moteur sur le rotor moteur (entrée du réducteur),  
 $C_{red}$  couple du réducteur sur le pignon entraînant la chaîne  
 $\mu$  le rapport de réduction ( $=0,02$ ), rayon de la poulie  
 $r$  ( $=0,01\text{m}$ ) le rayon du pignon  
 $F_{corde}$  effort dans la corde.

Q4/ Faire l'application numérique pour la tension de corde maximum du cahier des charges. Comparer le couple théorique au couple mesuré expérimentalement. Quelles sont les sources de différences possibles ?

## IV VÉRIFICATION DU CRITÈRE DE PRÉCISION

Nous allons maintenant nous intéresser au cordage en lui même. En effet la faculté qu'à le système de mise sous tension à tendre la corde à la bonne valeur ne suffit pas à rendre le système performant. Nous allons alors nous intéresser à deux critères :

- fidélité : faculté d'un système à reproduire la même chose lors de plusieurs essais,
- justesse : faculté d'un système à atteindre la valeur visée.

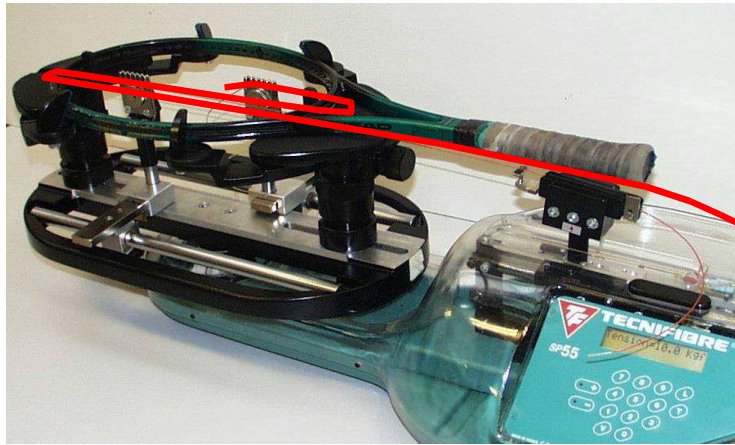
Pour être rigoureux, on devrait tenir compte des deux critères précédents lorsqu'on parle de précision. Nous n'étudierons que le critère de justesse dans ce tp.

On s'intéresse donc à la tension du cordage complet afin de comprendre comment 'corder la raquette à 25kg'.

### IV.1 Expérimentation

#### Manipulation 2

- Établir à nouveau la communication micro - station en validant successivement [Mesures], [Initialiser]. Régler une tension de 15 kgF.
- Passer la corde dans un premier œillet et dans le mors de tirage.
- Appuyer sur le bouton 'Départ mesure' du tableau de bord du boîtier.
- Appuyer sur le bouton poussoir pour mettre en tension la corde, Attendre la fin de l'acquisition pour détendre la corde.



Q5/ Relever la valeur atteinte de l'effort dans la corde ainsi que celle dans le ressort du mors de tirage. Comparer les valeurs obtenues.

### Manipulation 3

1. Débloquer le berceau à l'aide de la poignée situé sous le berceau et tourner celui-ci d'un demi tour. **ATTENTION A NE PAS ENROULER LE FIL GRIS DU CAPTEUR DE FORCE**
2. Faire passer la corde dans l'oeillet situé en face du premier oeillet utilisé et la coincer ensuite dans le mors de tirage.
3. Refaire une acquisition comme précédemment.
4. Remettre le berceau dans sa position initiale (demi-tour). **ATTENTION A NE PAS ENROULER LE FIL GRIS DU CAPTEUR DE FORCE**
5. Recommencer la procédure précédente jusqu'à ce que vous ayez fait les acquisitions pour 6 oeillets environ.

Q6/ Tracer pour ces 6 mesures l'effort dans la corde ainsi que celui dans le ressort du mors de tirage en fonction du temps. Ouvrir le fichier « cordeuse\_frottement\_exponentiel.ods » et entrer la valeur de l'effort de maintien dans la corde dans la première colonne du tableau pour chaque oeillet supplémentaire.

Q7/ Observer l'allure de la courbe expérimentale donnant l'évolution de la tension de la corde en fonction du nombre d'oeillets. Conclure quant à la possibilité de corder une raquette par cette procédure.

## IV.2 Etude théorique du frottement entre la corde et un œillet

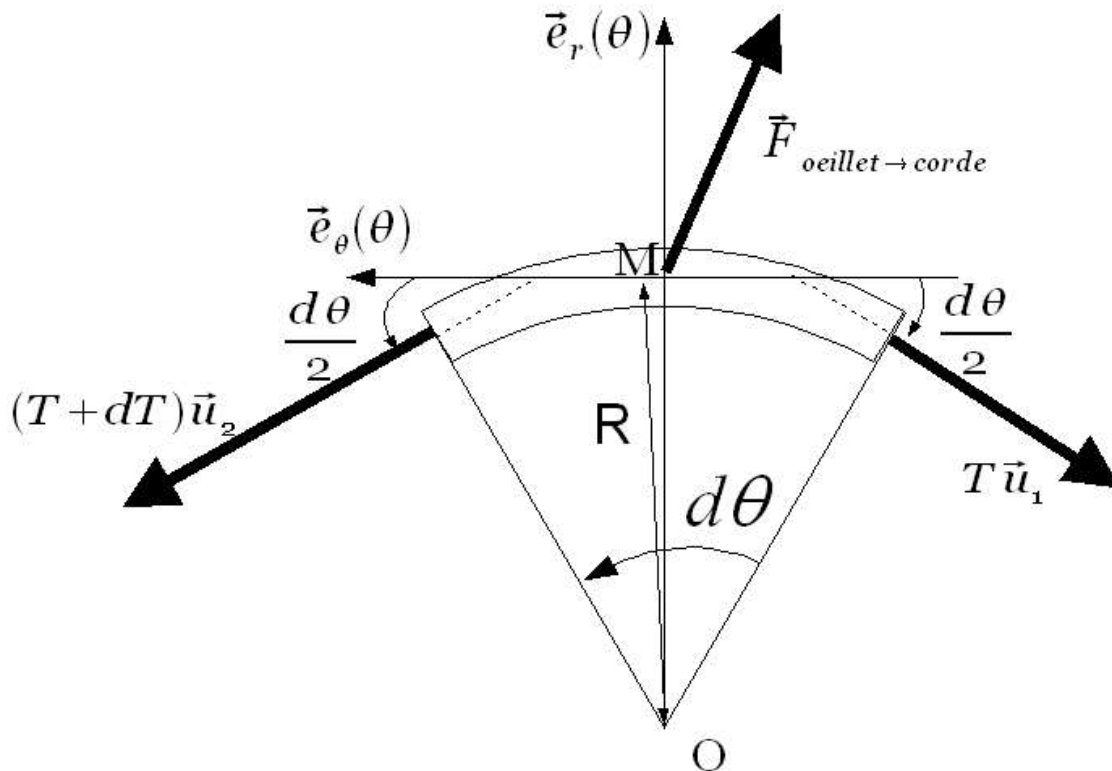
On cherche maintenant à expliquer d'où provient la perte de tension dans la corde. Nous allons donc modéliser le frottement entre la corde et un œillet. Pour rendre le calcul plus simple, on modélise la zone de contact entre la corde et un œillet par un demi-cercle.

Les hypothèses sont les suivantes :

- On note  $\alpha = \pi$  l'angle d'enroulement.
- On pose  $f = \tan \phi$  le coefficient de frottement supposé constant entre la corde et l'oeillet.
- On néglige l'épaisseur de la corde et sa masse par rapport aux autres éléments.
- On se place à la limite du glissement

On souhaite obtenir une équation donnant l'évolution de la tension dans la corde en fonction de l'angle d'enroulement. Pour établir cette relation, on choisit d'isoler un tronçon de corde de longueur  $R d\theta$  autour d'un point M de coordonnées  $(R, \theta)$  (cf. figure).

On note  $T \vec{u}_1$  la tension exercée par la corde sur le brin du côté droit, et  $(T + dT) \vec{u}_2$  celle exercée par la corde du côté gauche ( $dT$  est très petite devant  $T$ ). On modélise l'effort exercé par l'oeillet sur la corde par un glisseur en M de résultante  $\vec{F}_{\text{oeillet} \rightarrow \text{corde}}$ .



- Q8/ Exprimer  $\vec{F}_{\text{oeillet} \rightarrow \text{corde}}$  en fonction de  $p$  (pression de contact),  $R d\theta$  et  $f$  dans le repère  $(\vec{e}_R, \vec{e}_\theta)$ .
- Q9/ Exprimer le théorème de la résultante statique en projection selon  $\vec{e}_R$  et  $\vec{e}_\theta$  (Attention au signe des projections de  $\vec{u}_1$  et  $\vec{u}_2$ ).
- Q10/ Linéariser à l'ordre 1 ce système sachant que  $d\theta$  est petit. Montrer qu'on obtient l'équation différentielle suivante :  $\frac{dT}{T} = f d\theta$

Pour  $\theta=0$  la tension est égale à  $t$  (brin mou) pour  $\theta=\alpha$  la tension est égale à  $T$  (brin tendu).

- Q11/ Dédurre de la question précédente une relation entre la tension avant l'œillet ( $t$ ) et la tension après ( $T$ ). Que devient cette relation pour un nombre d'œillet égal à  $n$  ?
- Q12/ Dans le tableur, l'expression précédente a été entrée. Seul le coefficient de frottement est inconnu. En procédant par tâtonnement, déterminer une valeur de  $f$  pour laquelle la courbe théorique soit proche de la courbe expérimentale.

La procédure réelle de cordage consiste à tendre une corde puis placer une pince pour maintenir cette tension. On fait ensuite passer la corde dans un autre œillet, on la tend et on place la deuxième pince pour maintenir le second brin tendu. On peut alors enlever la première pince.

- Q13/ Justifier au regard des résultats précédents cette procédure et vérifier si le critère de justesse est bien respecté en mettant en œuvre cette procédure.