



## TRAVAUX PRATIQUES SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR



### Modélisation dynamique et pilotage des systèmes

C123 C124  
C126

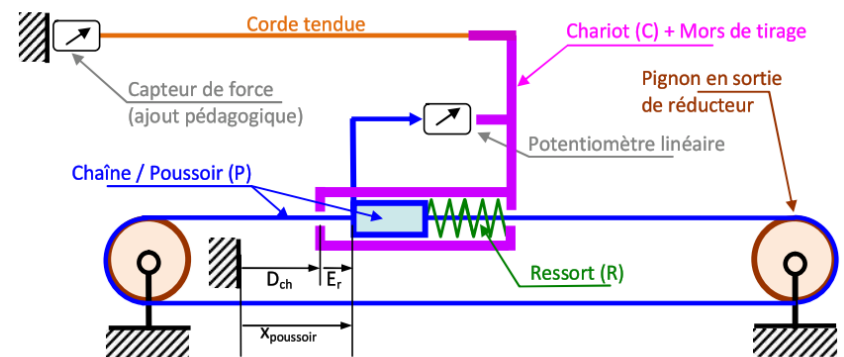
#### CORDEUSE SP55 : dynamique de la mise en tension de la corde

**Problématique :** *Quels sont les paramètres influents sur la dynamique d'un système lors de sa mise en position ? Pour cela vous êtes chargés :*

- d'exploiter un modèle 3D pour établir en partie le modèle de connaissance,
- d'acquérir la réponse indicielle et d'en déduire un modèle de comportement,
- d'agir sur le réglage d'un correcteur pour ajuster une réponse dynamique.

La cordeuse de raquettes SP55 est issu du domaine des sports et loisirs. Elle permet de corder des raquettes avec une tension prédéfinie par l'utilisateur. Cette cordeuse est utilisée lors des grands tournois de tennis.

La version du laboratoire est un système réel didactisé auquel on a ajouté des capteurs supplémentaires et un logiciel d'acquisition, de réglage et de visualisation.



**Démarche à suivre :** La résolution de la problématique proposée est faite sous forme collaborative en trois activités autour du même support (*travail en îlot*).

#### ACTIVITE 1 C123 (2H30) : Dynamique du système par le théorème « Energie / Puissance »

- Localiser et exprimer l'énergie cinétique de ses différentes pièces en mouvement, et en faire le bilan.
- Localiser et exprimer les puissances extérieures,
- Localiser l'origine des puissances intérieures (pertes) à partir de la cinématique,
- Savoir exprimer analytiquement et évaluer expérimentalement ces pertes (rendement),
- Etablir et résoudre le théorème « Energie / Puissance ».

Chef de projet

#### ACTIVITE 2 C124 C126 (2H30) : Acquisition d'une loi « Entrée / Sortie » et modèle de comportement

- Configurer et raccorder une carte d'acquisition numérique multi entrées (DAQ NI6009) pour acquérir les grandeurs analogiques « Entrée / Sortie » du système,
- Faire l'acquisition et traiter éventuellement les données (mise à l'échelle, filtrage),
- Etablir le modèle de comportement par une méthode graphique et des abaques, par une méthode numérique et un tableur (Excel) et en déduire les caractéristiques dynamiques du système,
- Vérifier que la méthode expérimentale suivie peut s'appliquer au système étudié.

#### ACTIVITE 3 C124 (2H30) : Réglage des performances dynamiques de l'asservissement

- Agir sur le réglage du correcteur et obtenir une réponse répondant aux critères de stabilité, précision, rapidité,
- Relever les caractéristiques dynamiques de la réponse, et les commenter pour le contexte d'emploi,
- Conclure sur les caractéristiques attendues d'une correction PI dans le contexte de votre système.

#### ACTIVITE COMMUNE DE SYNTHESE ET RESTITUTION ECRITE (20') / (Communiquer)

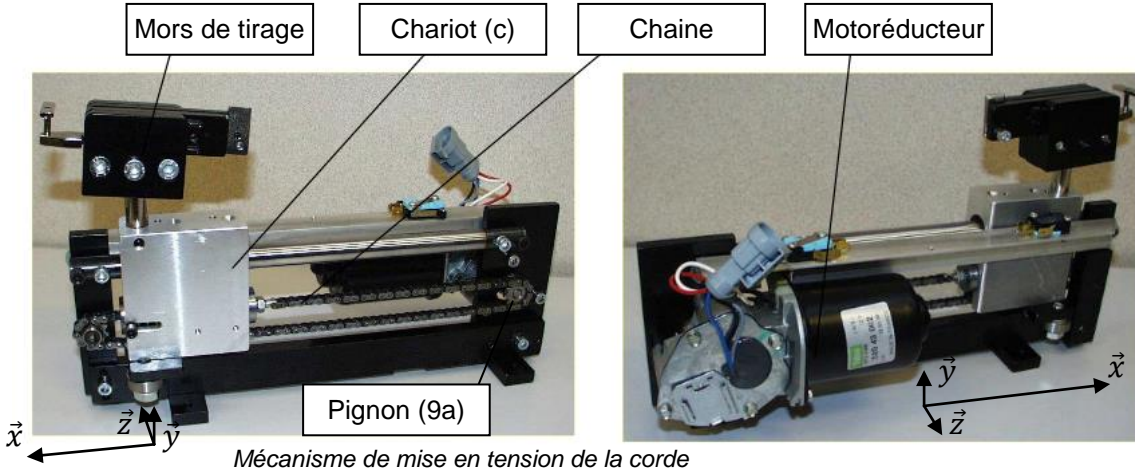
**Le chef de projet** gère la mise en commun des travaux effectués, il complète la « fiche bilan » distribuée, synthétise les études et résultats obtenus avec pour objectifs de **comprendre et expliquer le lien entre les 3 activités et la problématique posée.**

**ACTIVITE 1 CI23 (2H30) : Dynamique du système par le théorème « Energie / Puissance »**

En exploitant le système réel, sa documentation et les documents de cours, vous allez faire un bilan des éléments mécaniques influents sur sa dynamique.

**ENERGIE CINETIQUE, PUISSANCES INTERIEURES ET EXTERIEURES**

**Mise en place des éléments de l'étude**

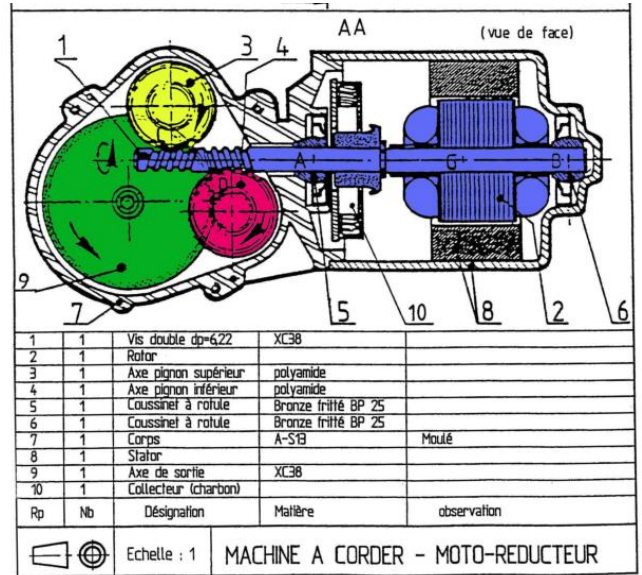


Mécanisme de mise en tension de la corde

1. Lister les principaux composants dont les caractéristiques (masse et inertie) peuvent influencer sur le comportement dynamique du système de tension de la corde.

**L'énergie cinétique accumulée dans le système**

2. Pour la vis sans fin + rotor, le pignon 9a (situé en sortie du réducteur) et le chariot, exprimer l'énergie cinétique correspondante. Les écritures abordées en cours seront impérativement respectées.
3. En vue du dimensionnement du motoréducteur, il faut « rapporter » les inerties au niveau de l'axe de sortie du réducteur. Pour cela, exprimer les différentes vitesses (vitesse linéaire du chariot  $V_{c/7}$ ,  $\omega_{9a7}$  et vitesse angulaire du rotor  $\omega_{17}$ ) en fonction de la vitesse angulaire de l'axe de sortie du réducteur par rapport au corps  $\omega_{9a7}$ . (Ressource : site fltsi ou document Annexe 1 : Cordeuse, établissement du modèle (synthèse série 3)).



4. Puis établir l'expression littérale de l'énergie cinétique totale sous la forme  $E_{c\text{ totale}} = \frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega_{9a7}^2$ .

Déterminer numériquement  $J_{\text{éq}}$  et comparer la contribution de chaque élément (rotor+ vis, pignon et chariot) aux phénomènes inertiels engendrés et rapportés au niveau de l'axe du réducteur. Conclure.

Données :  $J_{\text{rotor}} = J_1 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$  ;  $J_{\text{pignon}} = J_{9a}$  est à calculer avec l'hypothèse suivante : le pignon est assimilé à un cylindre en acier (masse volumique  $7,8 \text{ g.cm}^{-3}$ ) de diamètre 20 mm et d'épaisseur 3 mm ;  $M_{\text{chariot}} = M_c = 2,15 \text{ kg}$ .

**Prise en compte des puissances intérieures**

5. 1<sup>er</sup> cas : On suppose la liaison glissière entre le chariot (c) et le bâti (7) comme parfaite. Déterminer le moment des torseurs cinématique et statique au centre de cette liaison (attention à l'ordre des indices). En déduire l'écriture correspondante de la puissance dissipée par cette liaison.
6. 2<sup>ème</sup> cas : Les frottements sont pris en compte dans cette même liaison glissière. Ils sont associés au modèle d'une force résistante opposée au déplacement, notée  $F_r$ , suivant la direction  $\vec{x}$ . En déduire la puissance désormais dissipée dans cette liaison.
7. Dans quel cas cette puissance sera considérée comme « intérieure » ou « extérieure » au système (termes utilisés dans l'écriture du théorème de la puissance cinétique).
8. Proposer un protocole expérimental permettant de quantifier les pertes dues au frottement au niveau de cette liaison chariot / bâti. Puis le mettre en œuvre et estimer la force de frottement correspondant.
9. Conclure sur les solutions technologiques employées pour minimiser les pertes au niveau de cette liaison. Exemple de fonctionnement d'un système vis-écrou à billes : <https://www.youtube.com/watch?v=kl6qNn9-nkk>.
10. Quelle hypothèse doit-on impérativement vérifier (ou établir) avant de commencer une étude dynamique ?

**Prise en compte des puissances extérieures**

- Lister l(es) action(s) mécanique(s) engendrant une puissance dite « extérieure » lorsque le moteur est alimenté.
- Formuler l'écriture de la puissance extérieure correspondante.

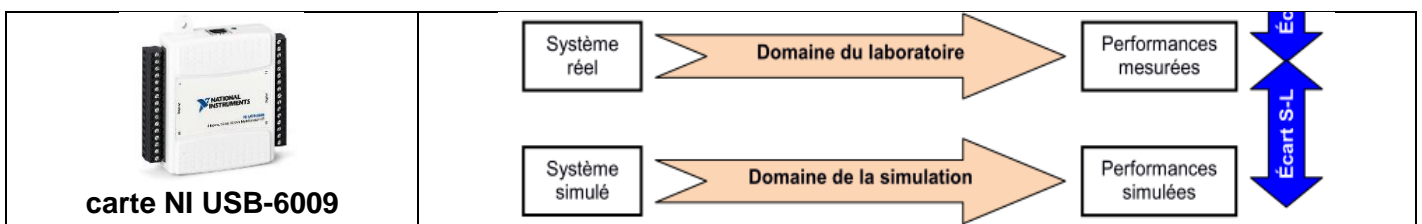
**SYNTHESE DE L'ETUDE**

- Établir littéralement l'expression du théorème de la puissance cinétique dans le cas d'un système parfait puis non parfait. Exprimer le couple en sortie de réducteur  $C_{\text{réd}}$ . En fonction de  $J_{\text{éq}}$ ,  $\dot{\omega}_{17}$ ,  $R_{9a}$ ,  $r$  et  $F_{\text{résistante}} = F_r$ . Reformuler l'expression lorsque le système tend la corde ( $F_{\text{tension}} = F_t = 400 \text{ N}$ ).
- Calculer numériquement le couple nécessaire en sortie de réducteur et vérifier son dimensionnement à partir des documents constructeurs.
- Proposer un protocole expérimental permettant de quantifier le rendement global du système d'un point de vue énergétique. Le mettre en œuvre et estimer le rendement  $\eta_{\text{global}}$ .

**ACTIVITE 2 CI26/ CI24 (2H30) : Acquisition d'une loi « Entrée / Sortie » et modèle de comportement**

Établir le **modèle de connaissance** d'un système (à partir des équations) est parfois difficile et approximatif.

Établir le **modèle comportemental** du système existant à partir d'un essai indiciel est souvent plus efficace et précis et tient compte du contexte d'emploi du système.



L'acquisition des mesures sera faite grâce à un module numérique NI USB-6009, puis elles seront exploitées :

- soit à partir de la réponse graphique à l'aide d'abaques,
- soit à partir d'un tableur et d'un fichier de points.

Vous devez modéliser la fonction de transfert liant la tension aux bornes de l'induit d'une MCC (variable d'entrée) à la vitesse de son rotor lors de son démarrage (variable de sortie).

L'alimentation de la machine est réalisée à partir d'une alimentation 0-30V réglée à 10V environ et subitement reliée à l'induit du moteur. Mettre la limitation de courant au maximum pour qu'elle n'intervienne pas lors de l'essai.

- La tension d'alimentation est observée par l'intermédiaire d'une sonde de tension isolée à gain ajustable...
- La vitesse est mesurée par une dynamo tachymétrique délivrant une tension proportionnelle à la vitesse.
- Une carte d'acquisition NI USB-6009 permet de récupérer les signaux sur ses entrées analogiques.

**EXPLOITATION DE LA NOTICE du boîtier NI USB-6009 et CONFIGURATION DE L'ACQUISITION**

Utiliser la notice résumée de la carte et du logiciel d'acquisition.

- INDIQUER à l'aide de schémas la différence entre l'acquisition d'un signal en mode Différentiel (DIF) et en mode asymétrique référencé à la masse (RSE). CHOISIR le mode de raccordement de vos capteurs (dynamo tachymétrique et sonde de tension isolée).
- DEDUIRE de ce qui précède le nombre maximum d'acquisitions simultanées analogiques pour une carte NI6009 dans chacun des 2 modes (DIF et RSE).
- INDIQUER la fréquence d'échantillonnage maximum de la carte et DEDUIRE si on utilise 2 voies en mode DIFF, la fréquence d'échantillonnage maximale possible pour chaque voie.
- INDIQUER les caractéristiques de la conversion CAN en nombre de bits et en DEDUIRE la résolution de mesure ou quantum (en mV) pour une plage de tension de 10V.

**MISE EN ŒUVRE : ACQUISITION DE LA VITESSE au DEMARRAGE D'UNE MCC**

- PROPOSER le schéma de câblage de façon à utiliser les 2 entrées en mode DIF.
- RELEVER les coefficients utiles à la mesure pour les 2 capteurs utilisés.  
ESTIMER les amplitudes maximales des signaux à relever à partir des caractéristiques de la MCC pour une tension d'alimentation de 10V environ.

**Réaliser le câblage seulement s'il est validé par un professeur**

- CONFIGURER les 2 entrées choisies avec le logiciel Labview Signal Express, CONFIGURER le coefficient de l'entrée vitesse de façon à obtenir directement la vitesse en rd/s.
- DEFINIR les critères que vous vous fixez pour configurer la fréquence d'échantillonnage et la durée d'acquisition des signaux. REALISER cette configuration.
- FAIRE L'ACQUISITION, et si elle est correcte, EXPORTER les données de mesure dans un tableur Excel de façon à pouvoir les exploiter ultérieurement.

**MODELISATION EXPERIMENTALE, ETABLISSEMENT DU MODELE**

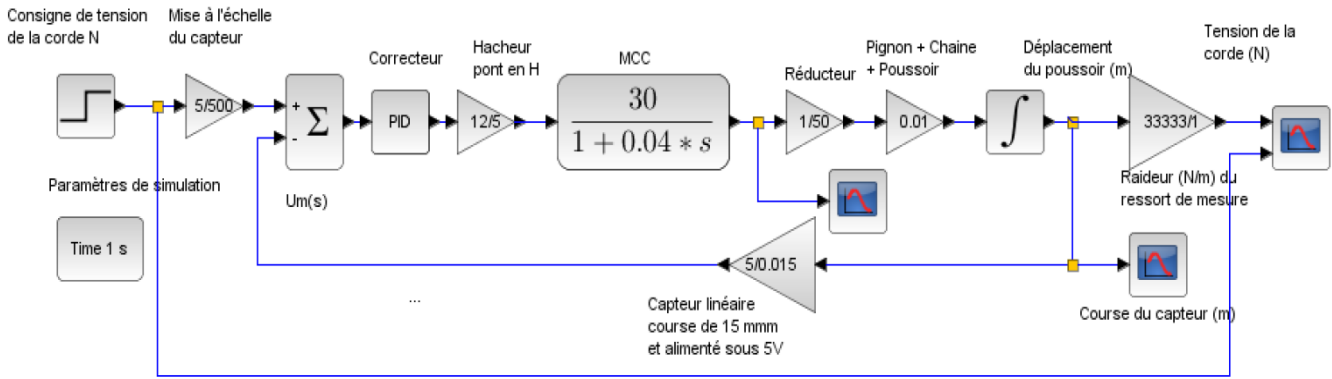
10. ETABLIR de 2 façons le modèle expérimental (fonction de transfert) entre la tension d'induit et la vitesse de rotation de la machine soit  $H(p) = \Omega(p) / U(p)$ .

- Méthode graphique à partir du tracé en utilisant le document [Méthodes et abaques d'identification2015.pdf](#)
- Méthode numérique à l'aide d'un tableur ([fichier Identif\\_numérique\\_ordre2\\_passe\\_bas.xlsx](#)).

Pour chaque méthode CHOISIR en justifiant une forme d'écriture canonique de type ordre 1 ou 2 passe bas et définir ses caractéristiques.

**SYNTHESE DE L'ACTIVITE, extrapolation au SYSTEME ETUDIE puis à votre TIPE**

11. Pour le système Cordeuse, en utilisant le schéma bloc ci-dessous, INDIQUER comment il faudrait envisager la modélisation expérimentale de l'ensemble MCC + cinématique et EXPOSER les difficultés à mettre en œuvre cette méthode pour un système complet en ordre de marche.



12. Pour votre TIPE, ENVISAGER une démarche comparable de type « modélisation expérimentale ». CITER la modélisation dont vous avez besoin et DONNER les grandes lignes de la méthode à mettre en œuvre (types des grandeurs pertinentes à mesurer, capteurs qu'il vous faudra utiliser).

**ACTIVITE 3 CI24 (2H30) : Réglage des performances dynamiques de l'asservissement**

Effacer mesure  
Effectuer mesure  
Afficher mesure

Choix de mesures à afficher  
Paramètre à afficher en abscisse

Ne pas oublier de cocher les bons numéros de mesures à afficher.  
Cliquez sur les icônes pour choisir les paramètres à afficher.  
Cliquez sur tracer courbe.  
Sur la fenêtre de courbes, cliquer sur la courbe permet de connaître abscisse et ordonnée de celle-ci.  
Fermer la fenêtre d'affichage pour faire d'autres mesures.

Zone icônes paramètres à afficher (passer la souris sur l'icône pour avoir la légende de celle-ci)

**DECOUVERTE DU SYSTEME ET DU LOGICIEL D'ACQUISITION**

1. PRENDRE connaissance du mode d'emploi de la cordeuse et PROGRAMMER une tension de corde de 20kgF.
  2. LANCER le logiciel d'acquisition et METTRE en tension la corde en faisant une acquisition pour un aller-retour du chariot sous la tension de 20kgF (attention, la séquence d'enregistrement ne dure que 10s).
  3. EXPORTER les données et faire TRACER simultanément
    - le déplacement du chariot
    - la tension (effort en N) dans la corde
    - le courant absorbé par le moteur
    - la vitesse angulaire en sortie de réducteur.
- ANALYSER la causalité (relations de cause à effet, ordre des événements) de ces phénomènes.
4. RELEVER pour la tension (effort en N) dans la corde les résultats importants (**distinguer valeur absolue avec ses unités et relative en %**) :
    - valeur finale et valeur éventuelle du premier dépassement  $D1(\%)$ , l'erreur finale absolue et relative,
    - temps de réponse à 5% et temps de montée (de 10% à 90% de la variation de la sortie),
    - pseudo période  $\omega_R$  éventuelle des oscillations,

**REGLAGE DU CORRECTEUR PID**

Une carte externe, équipée d'un microprocesseur identique à celui de la machine, permet de piloter la machine en remplacement de la carte industrielle. Elle permet d'effectuer une correction **Proportionnelle Intégrale Dérivée**.

**Pour connecter cette carte, 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 au clavier. Brancher le connecteur 25 broches en remplacement du bouchon. Valider les actions au clavier en appuyant sur la touche 'V'.**

**Un appui sur la touche RESET de la carte auxiliaire permet de lancer un autre groupe d'actions.**

Les valeurs des coefficients  $K_p$ ,  $K_i$  et  $K_d$  correspondent à celles de la simulation à condition que la fréquence d'échantillonnage soit celle programmée, c'est à dire ici  $T_e = 0,063$  s.

**REGLAGE PROPORTIONNEL :**

5. Lancer une mise en tension et visualiser F corde avec une consigne de 250 N (25 kgF...) pour différentes valeurs de  $K_p = 1, 10, 20$ . Comparer les réponses et conclure sur la précision et la stabilité.

**REGLAGE INTEGRAL :** Pour supprimer l'erreur finale dite « erreur statique » car en réponse à un échelon, il faut mettre en place une correction de type PI (Proportionnelle + Intégrale).

6. Lancer une mise en tension et visualiser F corde avec une consigne de 250 N avec  $K_p = 10$  et  $K_i = 0; 2$  et 4. Comparer les réponses et conclure sur la précision et la stabilité.

**SYNTHESE ET CONCLUSION SUR VOTRE ACTIVITE**

7. INDIQUER et COMMENTER quelles sont les influences sur le **comportement de la mise en tension de la corde** du type de correction P et PI d'un point de vue dynamique.
8. Pour un réglage du correcteur donné, DEVELOPPER une analyse qualitative de l'influence des actions mécaniques (statique), des liaisons (cinématique), de l'énergétique et des pertes (dynamique) sur le comportement de la mise en tension de la corde.