

Travaux Pratiques de SII

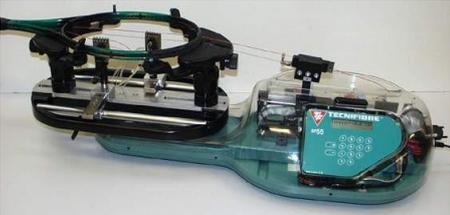
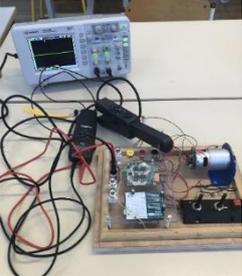
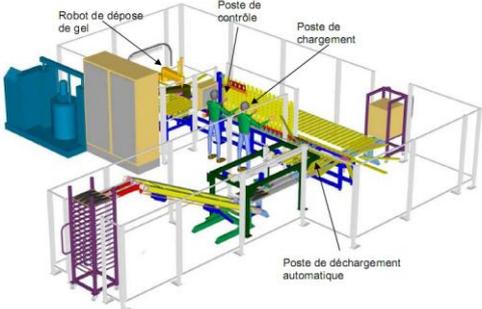
Série 2 : Modélisation et identification de systèmes



Série 2- Modélisation de systèmes

Les activités pratiques de cette série traitent des démarches de modélisation de connaissance et de comportement de systèmes automatisés ou mécaniques. Les questionnements et techniques abordés devront devenir acquis pour les épreuves écrites et encore davantage pour les épreuves orales.

Ce document peut être utilisé en TP, comme guide ou complément du texte fourni sur chaque support. Il a d'abord pour objectif de vous servir de synthèse lors de vos révisions et de la préparation de l'oral.

<p><i>Modélisation de connaissance de l'axe de mise en tension de la corde sur la cordeuse de raquettes</i></p>	
<p><i>Identification indicielle des paramètres physiques d'une machine à courant continu</i></p>	
<p><i>Analyse et réglage de correcteurs avec Psyslic</i></p>	
<p><i>Modélisation cinématique d'un mécanisme 2D et 3D (voir Poly de la série 1)</i></p>	

TP 1 : Modélisation de connaissance de l'axe de mise en tension de la corde sur la cordeuse de raquettes

Capteurs de la station (15 minutes)

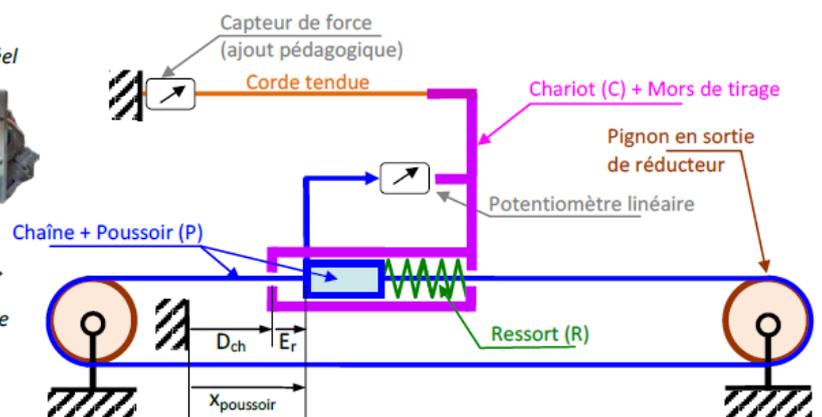
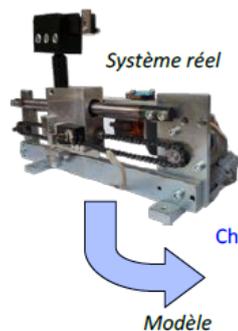
Recensement et localisation : type, principe, analogique/numérique/logique, nécessité de traitement du signal, distinction capteurs système et capteurs pédagogiques.

Synthèse en un tableau, à insérer dans le document 'Ressources pour les TP', recensant mesurandes, principe général du mesurage, grandeur mesurée, unités, etc.

Analyse des composants

Simulation de la tension dans la corde (max 15 minutes)

Observer et analyser le fonctionnement du dispositif de mise en tension et de mesure de la tension dans la corde par la machine réelle.



1. En appliquant le PFS à l'ensemble {chariot, mors de tirage}, déterminer la relation algébrique (1) entre $F_{\text{corde} \rightarrow \text{mors}}$ et $F_{\text{ressort} \rightarrow \text{chariot}}$
2. Déterminer la relation (2) entre $F_{\text{pousoir} \rightarrow \text{ressort}}$ et l'écrasement E_r du ressort de mesure, à l'équilibre (ressort de raideur k_r).
3. De même pour la corde, supposée à peine tendue pour un déplacement du chariot $D_{\text{ch}} \text{ nul}$:
 - relation (3) entre $F_{\text{mors} \rightarrow \text{corde}}$ et l'allongement de la corde E_c (corde de raideur k_c)
 - relation (4) entre D_{ch} et l'allongement de la corde E_c si l'on fait en sorte d'empêcher le mouvement entre mors et chariot lors de la mise en tension. Justifier par composition de mouvement.
 - en déduire la relation entre E_c , E_r et x_{pousoir} .
4. Montrer alors l'expression $F_{\text{mors} \rightarrow \text{corde}} = \frac{k_{\text{ressort}} k_{\text{corde}}}{k_{\text{ressort}} + k_{\text{corde}}} x_{\text{pousoir}}$.

On notera $k_{\text{éq}} = \frac{k_{\text{ressort}} k_{\text{corde}}}{k_{\text{ressort}} + k_{\text{corde}}}$ la raideur équivalente de la corde et du ressort en série.

5. **Faire une copie du schéma-bloc dans vos documents et compléter le contexte de cette simulation.**

Travail personnel : en vous aidant par exemple du document 'Ressources pour les TP', ou avec tout autre document, expliquer le principe de fonctionnement d'un potentiomètre linéaire et d'un convertisseur numérique analogique.

Synthèse sur la mesure (10 minutes)

Présenter sous forme de schéma fonctionnel le processus complet de mesure numérique de $F_{\text{mors} \rightarrow \text{corde}}$ sur la machine en précisant toutes les grandeurs d'entrée, intermédiaires et de sortie avec leur unité.

Recenser dans un tableau les gains de ces blocs avec leur unité.

Compléter le contexte avec vos valeurs.

Transmission de puissance : sens direct (10 minutes)

Déterminer le gain global des transmetteurs à engrenages en série, d'abord en vitesse puis en effort, en notant ω_{mot} et $\omega_{\text{réd}}$ les vitesses angulaires et C_{mot} et $C_{\text{réd}}$ les couples. Vous considérez le rendement de transmission égal à 1 en régime permanent comme transitoire (mécanisme sans perte).

Indication : on admettra, d'ici le cours d'énergétique, que la puissance en entrée du transmetteur est donnée par l'expression simplifiée ' $P_E = \omega_{\text{mot}} \cdot C_{\text{mot}}$ ' et la puissance en sortie par ' $P_S = \omega_{\text{réd}} \cdot C_{\text{réd}}$ '

Transmetteur 1

Nom : Paramètre(s) physique(s) à connaître :

Signaux d'entrée et de sortie en vitesse : Transmittance : Unité :

Signaux d'entrée et de sortie en effort : Transmittance : Unité :

Déterminer le gain du transmetteur à pignon-chaîne, d'abord en vitesse puis en effort, en notant ω_{pignon} et $v_{\text{chaîne}}$ pour les vitesses et C_{pignon} et $F_{\text{chaîne}}$ pour les efforts, en supposant encore le rendement de transmission unitaire.

Indication : on admettra, d'ici le cours d'énergétique, que la puissance en entrée du transmetteur est donnée par ' $P_E = \omega_{\text{pignon}} \cdot C_{\text{pignon}}$ ' et la puissance en sortie est donnée par ' $P_S = v_{\text{chaîne}} \cdot F_{\text{chaîne}}$ '.

Transmetteur 2

Nom : Paramètre(s) physique(s) à connaître :

Signaux d'entrée et de sortie en vitesse : Transmittance : Unité :

Signaux d'entrée et de sortie en effort : Transmittance : Unité :

Comparer à la modélisation de la transmission de puissance de l'actionneur vers l'effecteur sur le modèle fourni.

Compléter le contexte.

Transmission de puissance : sens retour (10 minutes)

La tension dans la corde vient perturber le phénomène qui l'a engendrée (actionneur) : rétroaction physique

- indiquer comment un couple perturbateur en sortie de réducteur affecte l'actionneur en amont, en notant $C_{\text{pert,réd}}$ et $C_{\text{pert,act}}$ (qui est le plus grand... ?). Déterminer ce gain de retour d'effort.
- indiquer comment une force perturbatrice en sortie de pignon-chaîne affecte le réducteur en amont, en notant $F_{\text{pert,chaîne}}$ et $C_{\text{pert,pignon}}$ (homogénéité...). Déterminer ce gain de retour d'effort.

Synthétiser en construisant le gain entre $F_{\text{pert,chaîne}}$ et $C_{\text{pert,act}}$. Indiquer les hypothèses.

Analyser la modélisation du couple perturbateur s'exerçant sur l'actionneur. **Compléter le contexte si nécessaire.**

Mesures de paramètres physiques (15 minutes)

À l'aide du logiciel SP55, rédiger et mettre en œuvre un protocole de mesure permettant d'estimer la raideur de la corde en analysant le lien entre F_{corde} et D_{ch} (des indications ont été données dans la première partie du texte...)

Critiquer la courbe donnant F_r en fonction de E_r . Estimer valablement la raideur de la corde en analysant le lien entre F_{corde} et E_r .

Raideurs identifiées : $K_{\text{Corde}} =$

$K_{\text{ressort}} =$

Compléter le contexte.

Assurer l'homogénéité (1 minute)

Compléter le contexte pour le bloc d'adaptation et pour le bloc noté $\frac{1}{1}$, en précisant leur unité.

Validation expérimentale et synthèse (15 minutes)

Valider, recalculer, présenter les limites de votre modèle.

Établir les écarts entre performances mesurées et performances mesurées. Justifier notamment le choix du correcteur proposé dans le schéma-bloc en lien avec la précision et la stabilité.

Synthèse globale : écarts

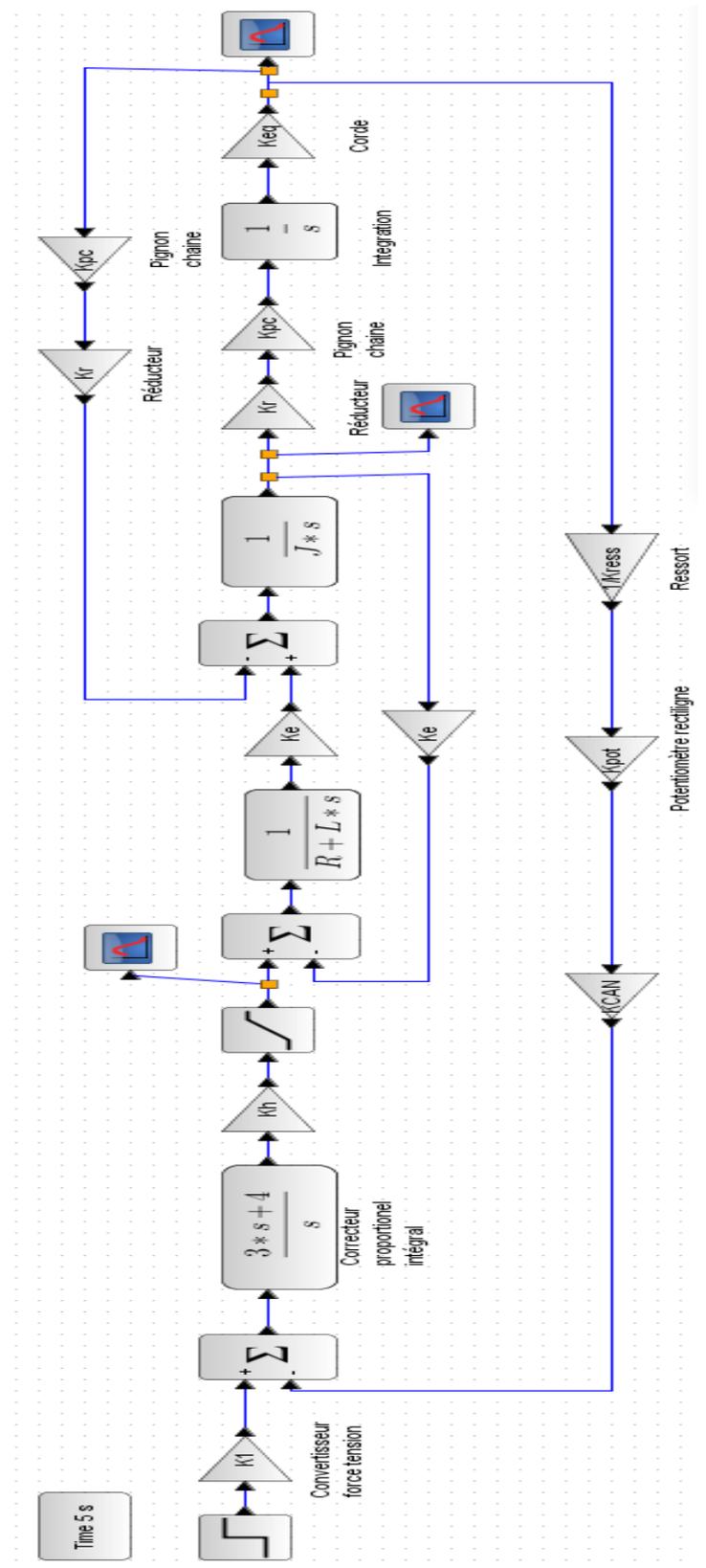
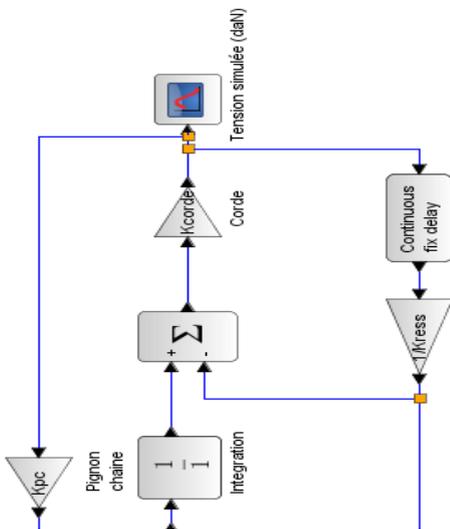
Schéma-bloc à compléter de la cordeuse de raquette

```
// MOTEUR
Ke=1 // couplage magnétique
R= 1 // résistance moteur
L=1 // inductance moteur
J=1 // Inertie moteur
Vsat=1 //tension d'alimentation
// PARTIE OPERATIVE
Kr=1; // Gain reducteur
Kpc=1; // Gain pignon chaine rayon 10mm

// PARTIE COMMANDE
Kress=1 // Gain ressort (mesuré sur courbes)
Kpot=1; // gain potentiometre
KCAN=1 // Gain convertisseur AN
K1=1;
Kh=1 // Gain hacheur sur 8 bit
Kcorde=1; // Gain corde
Keq=1
```

Travail personnel : analyser cette autre réalisation de la transmission d'effort.

NB : le retard pur (fix delay) est nécessaire pour éviter une boucle dite algébrique que le logiciel ne peut initialiser car le présent ne dépend que du présent... Le retard induit un décalage temporel, donc une dynamique avec des CI implicitement à 0. Cf poly de réalisation des boucles pas par pas avec scilab.



TP2: Identification indicielle des paramètres physiques d'une machine à courant continu

Préliminaires

Rappeler les équations temporelles usuelles du MCC en indiquant le nom et l'unité de toutes les grandeurs et de tous les paramètres.

Il s'agit d'identifier, par des mesures et/ou des calculs, autant de paramètres physiques que possible. Il faut pour cela avoir une démarche logique reposant sur l'analyse des équations et sur l'usage de moyens de mesure adaptés.

Démarche générale

Questions théoriques préalables

Pour chaque paramètre du modèle du MCC :

- le paramètre recherché intervient-il en régime transitoire, en régime établi, à l'arrêt ? *cela guide sur les zones des réponses indicielles où chercher l'influence du paramètre visé.*
- le paramètre recherché dépend-il directement de mesures de grandeurs physiques ou également d'autres paramètres ? *Cela détermine l'ordre dans lequel les paramètres pourront ou devront être identifiés.*

Questions pratiques préalables

- quels sont les instruments disponibles de mesure de grandeurs physiques variables ?
- quels sont les moyens de mesure nécessaires aux grandeurs physiques constantes ?
- quelles sont les mesures de grandeur disponibles sur le logiciel de pilotage ou de mesure (*s'il existe, ce qui n'est pas le cas des bancs de mesure mais ce qui est le cas sur Maxpid, Emericc, etc.*)?

Recenser les signaux du modèle à identifier :

Quels moyens de mesure sont indispensables ? (*et donc, quels sont les moyens de mesure optionnels ?...*)

Ces moyens de mesure sont-ils disponibles ? Les analyser précisément (gain, conversion, limites de fonctionnement, etc.)

Démarche spécifique au MCC

Première option : ohmmètre disponible

Recenser les paramètres n'intervenant qu'en transitoire :

Remarque : les grandeurs influençant uniquement le transitoire sont à identifier en dernier, en fonction de celles déjà identifiées en régime permanent. Inconvénient incontournable : les incertitudes se propagent.

Faire les impressions d'écran ou les photos nécessaires pour rédiger un document synthétique d'exploitation de courbes.

Identifier successivement, en précisant les équations utilisées, le régime exploité, les hypothèses :

- R
- k_e
- k_t
- C_r
- f

Remarque : la résistance interne au moteur est identifiée directement aux bornes du moteur, tout le dispositif étant éteint pour ne pas tenir compte des résistances propres au hacheur ou à la carte de commande.

Seconde option : ohmmètre non disponible

Pour deux valeurs $u_1(t)$ et $u_2(t)$ de la tension imposée, établir un système de deux équations linéaires faisant intervenir R , k_e . *Se placer en régime permanent et l'écrire matriciellement.*

Quels moyens de mesure sont nécessaires pour résoudre ce système ?

Si ce moyen de mesure est disponible, résoudre ; sinon, retour à l'option 1.

Identification des paramètres en régime transitoire

Les moyens de mesure logiciels sont-ils assez rapides pour observer finement les transitoires :

- Mécaniques :
- Électriques :

Préciser l'intérêt de disposer d'un oscilloscope et de sondes adaptées.

Quel type de modèle proposer pour modéliser le transitoire indiciel tension \rightarrow vitesse? Argumenter.

Passer en Laplace et faire les hypothèses simplificatrices ad-hoc pour accéder aux constantes de temps électriques et (électro-)mécaniques.

Estimer autant que possible les constantes de temps électrique et électro-mécanique. En déduire L et $J_{\text{éq}}$.

Remarque : 1- prendre garde au retards purs, 2- déclenchement du trigger de l'oscilloscope sur tension ou intensité, après première mesure test.

Comparaison aux données constructeur

Vérifier l'ordre de grandeurs de vos valeurs ainsi que leur unité. *Attention à k_e !*

Simulation : à la toute fin du TP ou par vous-même

Réaliser la simulation du MCC sur les modèles de connaissance

- données constructeur
- paramètres identifiés dans le TP

Quantification et analyse des écarts entre modèles.

Observation et dimensionnement du hacheur

Fonctionnement général du hacheur

Ordre de grandeur de la fréquence d'un hacheur :
Travail personnel : savoir tracer l'allure de la tension d'alimentation du moteur et expliciter le fonctionnement du hacheur 1 quadrant et 2 quadrants.
Quelles caractéristiques physiques filtrent ces oscillations et explique la rotation visiblement constante du MCC ?

Observation et élaboration du rapport cyclique

Régler la base de temps pour visualiser à l'oscilloscope la tension périodique du hacheur :
Identifier la fréquence réelle du hacheur pour plusieurs tensions imposées.
Imposer une perturbation sur la sortie moteur, ou sur l'effecteur. Qu'observe-t-on ? Expliquer cette observation avec le schéma d'asservissement en position.

Dimensionnement du hacheur

Quelle condition doit vérifier le hacheur pour que la moyennisation électrique soit effective.
Vérifier cette propriété.

Synthèse générale : écarts entre modèle et mesures

--

TP3 : Modélisation cinématique d'un mécanisme 2D et 3D

Vous référer au poly de la série 1.

TP4 : influence des correcteurs sur le comportement d'un système

Réglage de correcteurs aidé par ordinateur

Système de dépose de gel

Une entreprise qui fabrique des vêtements de sport haut de gamme a développé des produits sur lesquels elle dépose un gel qui permet d'améliorer leur confort d'usage. Sur chaque article, elle dépose une ou deux empreintes sous forme d'un rectangle. Pour le moment, l'opération de dépose du gel se fait d'une manière manuelle. L'entreprise désire automatiser cette opération de dépose afin d'augmenter les cadences de production, d'améliorer la qualité de dépose et d'optimiser la consommation de gel.

La figure 1 donne une vue générale de la machine développée. Pour faciliter l'opération de dépose, les articles sont disposés sur des formes en métal appelées palettes. Le gel se présente sous forme liquide et est déposé par gravitation. Après la dépose, il faut maintenir les articles sur leur forme pendant 4 minutes, avant de les manipuler, pour laisser le temps au gel de se solidifier. Ensuite, les articles peuvent être retirés de leur forme et empilés les uns sur les autres sans risquer de détériorer l'empreinte de gel.

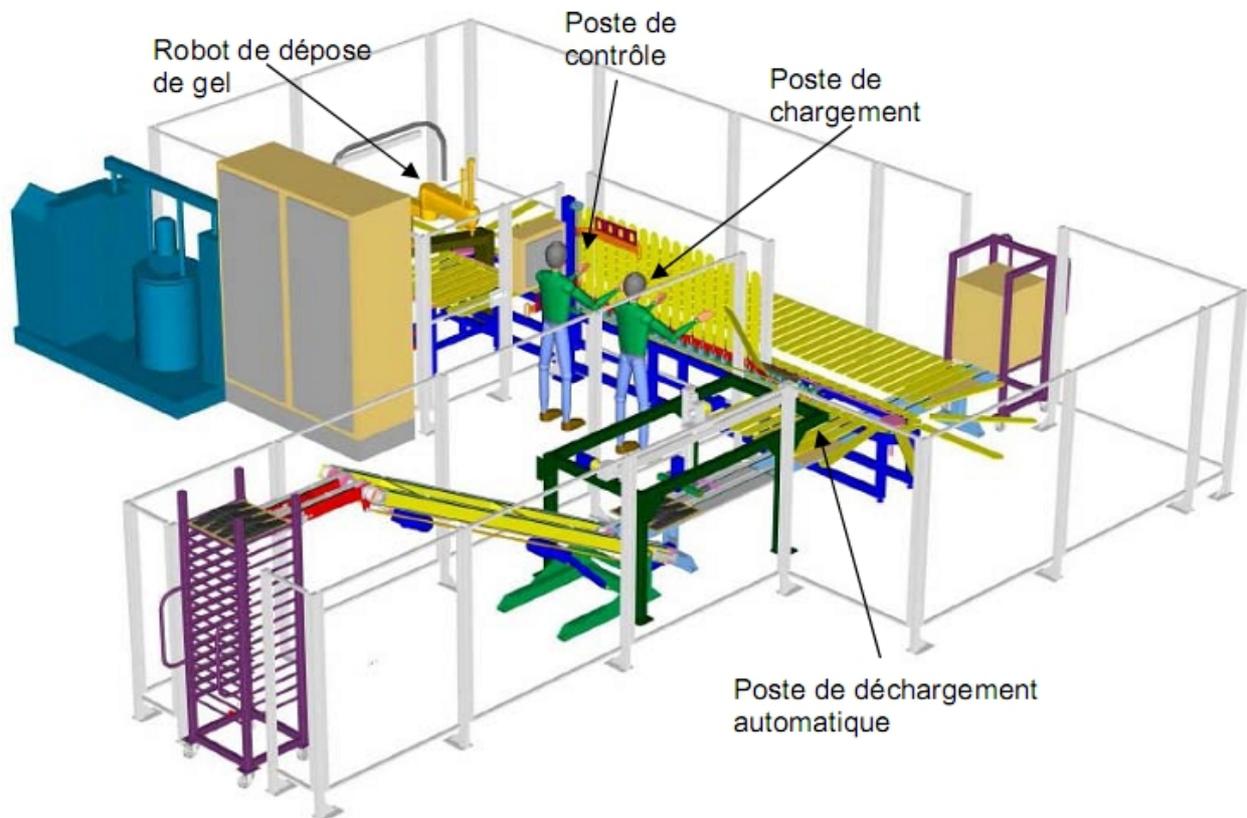


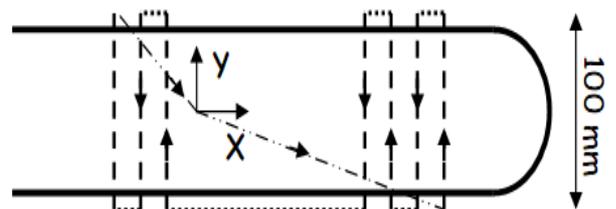
Fig.1 : Schéma général de l'installation

L'étude suivante porte sur le robot asservi de dépose de gel.

Une pompe assure l'alimentation en gel, mais seule la maîtrise des mouvements de la buse de dépose du gel permet de garantir la quantité de gel attendue sur les articles.

Le cahier des charges spécifie les contraintes suivantes pour les déplacements du robot :

- Durée de l'opération de dépose de gel sur 4 articles : 15 s
- Géométrie de la dépose du gel :
 - zone rectangulaire de dimensions 100 mm x 300 mm au maximum
 - dépose en bande de 2 cm de large et au maximum 100 mm de long. (voir figure ci-contre).
 - 5 bandes au maximum sont déposées sur chaque article.



- Le gel se répand autour du point de dépose selon un disque d'environ 1 cm de rayon.
- Le robot dépose le gel lors de déplacements suivant l'axe Y
- Vitesse de dépose optimale de 0,2 m/s
- Vitesse maximale dans dépose de gel : 0,5 m/s
- Précision des déplacements selon X (< 0.2 mm)
- Rapidité optimal pour les déplacements selon X sans sollicitations inutiles de la structure

Pour des raisons économiques, le concepteur a choisi d'effectuer les déplacements de la buse de dépose du gel à partir de deux systèmes vis-écrou à bille motorisés par deux moteurs à courant continu asservis. (voir fig.2 & 3)

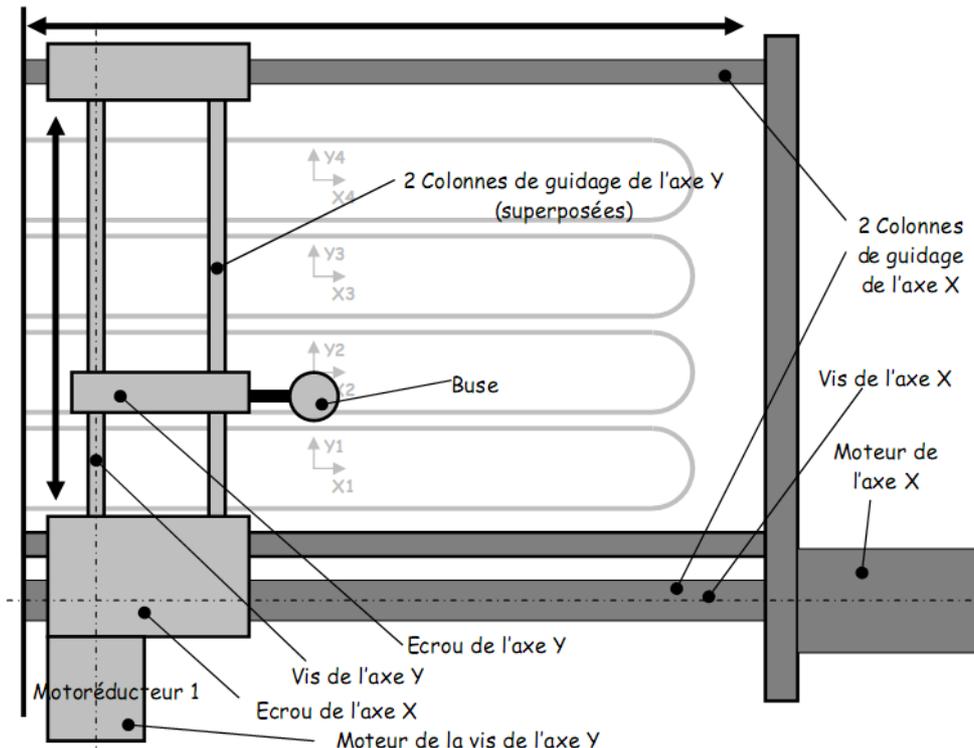


Fig. 2 : Schéma de principe du robot

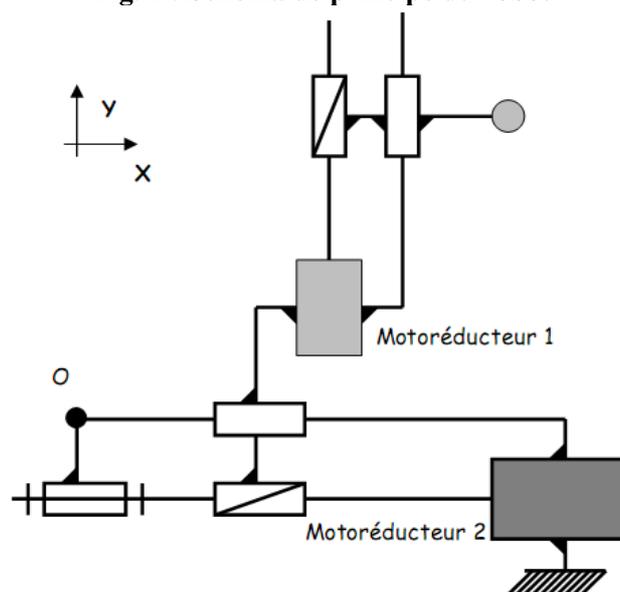


Fig. 3 : Schéma cinématique du robot

Caractéristiques de l'axe X

m_1 : Masse de l'écrou et de la vis d'axe Y ;
 M_1 : Masse de la buse (avec l'ensemble de son système d'alimentation) ;
 m_2 : Masse de l'écrou d'axe X, des 2 colonnes d'axe Y et du motoréducteur 1 ;
 J_2 : Inertie équivalente du rotor, du réducteur et de la vis ramenée sur l'axe moteur 2 ;
 K_2 : Gain de la roue codeuse de l'arbre moteur 2 associé à un compteur d'incrément (on considérera ce système comme continu) ;
 L_2 : Inductance des bobines du moteur 2 ;
 R_2 : Résistance du moteur 2 ;
 Cm_2 : Couple du moteur 2 ;
 ω_2 : Vitesse de rotation de l'arbre moteur 2 ;
 e_2 : Forces contre-électromotrices dans le moteur 2 ;
 Ke_2 : Constante de force contre-électromotrice du moteur 2 ;
 Kc_2 : Constante de couple du moteur 2 ;
 u_2 : Tension aux bornes du moteur 2 ;
 i_2 : Intensité dans le moteur 2 ;
 r_2 : Rapport de réduction du réducteur 2 ;
 p_2 : Pas de la vis 2 ;
 ω_{r2} : Vitesse de rotation de la vis 2.

Equations du moteur 2 :

$$u_{L2}(t) = L_2 \cdot \frac{di_2(t)}{dt}$$

$$u_{R2}(t) = R_2 \cdot i_2(t)$$

$$u_2(t) = u_{R2}(t) + u_{L2}(t) + e_2(t)$$

$$e_2(t) = Ke_2 \cdot \omega_2(t)$$

$$Cm_2(t) = Kc_2 \cdot i_2(t)$$

AN : $p_2=20$ mm/tr, $L_2=2.5$ mH, $R_2=2.65$ Ω , $Ke_2=1.1$ V/(rad/s), $r_2=1$, $Kc_2=1.1$ N.m/A, $M_1=50$ kg, $m_1=10$ kg, $m_2=20$ kg, $J_2=0,015$ kg.m².

La première partie de ce travail va permettre d'établir un modèle de connaissance de l'axe X.

La seconde partie traitera du choix d'un correcteur de manière à répondre aux critères définis dans le cahier des charges.

Partie I : Modélisation de l'axe X (40')

On suppose que l'axe Y n'est pas actif (pas de couple exercé par le moteur 1 et pas de déplacement selon l'axe Y).

Question 1: Calculer l'inertie équivalente J_{eq} au niveau de l'arbre moteur 2 en utilisant les informations précédentes. En déduire une relation entre Cm_2 et ω_2 .

Question 2: A l'aide des équations caractéristiques du moteur 2 et de l'équation précédente, déterminer la fonction de transfert $H_{mot2}(p) = \frac{\Omega_2(p)}{U_2(p)}$

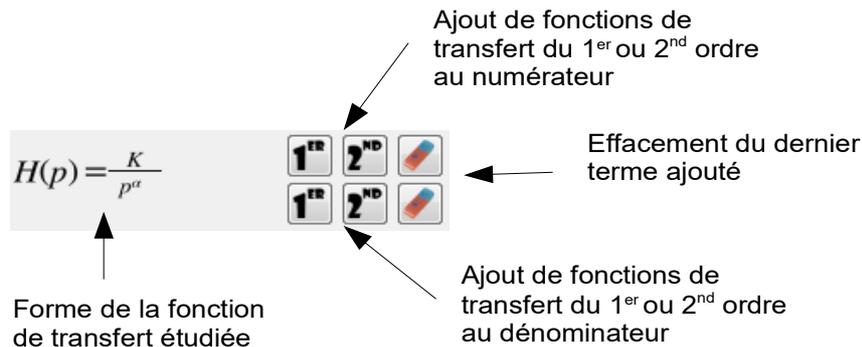
Question 3: En déduire les paramètres K_2 gain, ξ_2 coefficient d'amortissement et ω_{02} pulsation propre non amortie. Faire l'application numérique. Conclure sur les racines de cette fonction de transfert.

Question 4: En négligeant l'inductance L_2 , montrer que la fonction de transfert $H_{mot2}(p)$ peut être approchée par une fonction de transfert du premier ordre dont on donnera les constantes caractéristiques. Faire l'application numérique.

Partie II : Analyse des performances de l'asservissement (1h)

Nous allons utiliser un logiciel de tracé de fonction de transfert pour étudier l'asservissement et valider les choix effectués. Si le travail est fait sur votre ordinateur, téléchargez Pysylic 0.37 (recherche internet) et installez-le.

→ Lancer le logiciel Pysylic situé sur le bureau. La partie gauche permet d'entrer une fonction de transfert en chaîne directe ou la fonction de transfert d'un système bouclé. La prise en main est immédiate. Vous pouvez changer les paramètres en entrant les valeurs dans les cases correspondantes.



La fonction de transfert initiale du moteur (avant simplification) est donnée par

$$H_{mot2} = \frac{0,91}{1 + 2 \frac{2,96}{179} p + \frac{p^2}{(179)^2}}$$

Question 5: Entrer cette fonction de transfert dans le logiciel et commenter l'allure des diagrammes de Bode.

→ Le bouton  dans la barre d'outil supérieure permet de donner les pôles de la fonction de transfert.

Question 6: Relever la valeur de ces pôles et noter alors la forme factorisée de la fonction de transfert. Fermer cette fenêtre.

→ Cliquer sur l'icône représentant la réponse temporelle  et observer les réponses à une impulsion de Dirac et à un échelon unitaire .

Question 7: Proposer alors par identification un modèle d'ordre 1 pour la fonction de transfert du moteur 2.

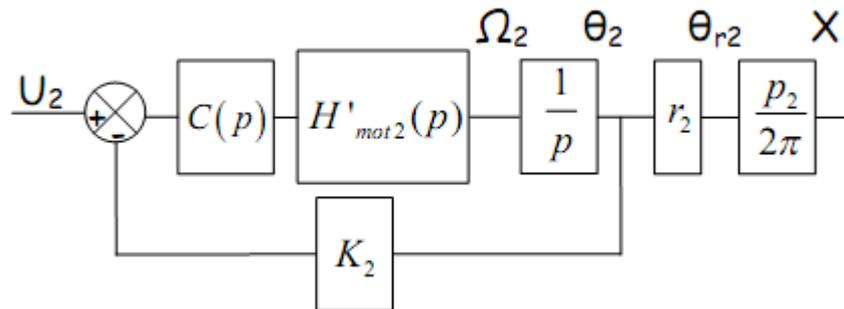
Question 8: En utilisant les icônes de la fenêtre temporelle , en déduire l'expression de cette fonction de transfert simplifiée. Comparer avec la forme factorisée de la fonction de transfert. Conclure sur la simplification d'une fonction de transfert à partir du placement de ces pôles.

Pour réaliser l'asservissement en position, une roue codeuse est placée sur l'arbre moteur. Elle a une résolution importante qui permet de déterminer la position et la vitesse de la buse avec une bonne précision. La période d'échantillonnage étant très petite devant les constantes de temps du système, l'étude est réalisée avec une modélisation continue. La roue codeuse est représentée par un simple gain $K_2=121$ V/rad

Pour la pré-étude, un cahier des charges réduit est fixé :

- Temps de réponse à 5% du déplacement du robot suivant X : 0.2 s maxi
- Marge de phase mini : 45°

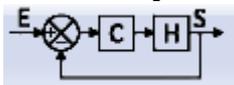
La modélisation retenue est la suivante :



Le modèle pour la fonction de transfert du moteur 2 notée $H'_{mot2}(p)$ sera celui déterminée à la question précédente c'est à dire d'ordre 1.

Question 9: Calculer la FTBO pour un correcteur $C(p)=1$.

➔ Entrer la FTBO par le logiciel et cliquer sur l'icône représentant le système



bouclé . L'onglet H permet de définir la fonction de transfert en boucle ouverte pour un correcteur unitaire. L'onglet HxC permet d'étudier l'influence de différents correcteurs en spécifiant le correcteur $C(p)$.

Influence d'un correcteur proportionnel

Question 10: A l'aide du logiciel, pour un correcteur proportionnel  de gain $K=1$ unitaire, quantifier les performances (stabilité, rapidité, précision) du système asservi. Justifier la validation de chaque critère.

Question 11: Modifier la valeur du correcteur proportionnel pour respecter les performances définies dans le cahier des charges. Retrouver cette valeur analytiquement. Commenter l'influence de K sur la rapidité.

Influence d'un correcteur proportionnel intégral PI

On cherche à tester l'influence d'autres correcteurs. On sélectionne dans un premier temps un correcteur proportionnel intégral de la forme : $C(p) = K \frac{1+T p}{T p}$ (deuxième icône ).

Question 12: Justifier la forme des diagrammes de Bode.

Question 13: Quelle est l'influence de ce correcteur sur la précision, la stabilité et la rapidité ? Quel problème pose-t-il ? Est-il intéressant dans notre cas et dans quelle situation peut-il être intéressant ? Quel compromis permet de proposer une valeur de réglage de T ?

Influence d'un correcteur à action dérivée

Pour conserver la rapidité ou l'améliorer, on cherche à augmenter la bande passante à 0dB de la FTBO. On utilise ainsi un correcteur à action dérivée.

Le correcteur proportionnel dérivé est de la forme $C(p) = K(1 + T p)$. Celui-ci n'étant pas réalisable en pratique, on lui préfère le correcteur à avance de phase de la forme $C(p) = K \frac{1 + a T p}{1 + T p}$ avec $a \geq 1$ (



dans le logiciel).

Question 14: Rappeler les propriétés de ce correcteur.

On souhaite conserver une bande passante à 0 dB égale à celle du système non corrigé.

Question 15: Déterminer la valeur de cette pulsation à 0 dB à l'aide du logiciel.

On rappelle la démarche de réglage du correcteur :

- déterminer la valeur du paramètre a de telle sorte que la phase φ_c du correcteur respecte la marge de phase imposée pour la pulsation retenue s . On rappelle que $a = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$
- placer le maximum de phase apporté par le correcteur au niveau de la bande passante à 0dB. On montre que cette pulsation correspond à $\frac{1}{\sqrt{a} T}$.
- en déduire la valeur de T
- déterminer K pour obtenir un gain nul pour la pulsation $\frac{1}{\sqrt{a} T}$

Question 16: Procéder au réglage du correcteur et vérifier que le temps de réponse est meilleur qu'avec un correcteur proportionnel seul.