

Machine de rééducation **SYS-REEDUC** D'après PSI CCP 2013

A – Contexte et présentation du système

La machine de rééducation SYS-REEDUC est issue d'un projet régional entre différents laboratoires de recherche. L'objectif de ce projet était de réaliser un système capable d'évaluer et d'aider à la rééducation des membres inférieurs (figure 1).

Le principe de la rééducation est de solliciter les différents muscles de la jambe afin de récupérer un maximum de mobilité suite à un accident. On distingue deux types de rééducation :

- rééducation passive, qui vise à récupérer la mobilité en terme d'amplitude du mouvement. Elle est réalisée à l'aide de mouvement en chaîne ouverte où les membres sont pilotés par une machine ou un kinésithérapeute ;
- rééducation active, qui vise à renforcer les muscles et la coordination musculaire. Elle est réalisée en chaîne fermée : le patient ne se laisse pas conduire, il doit résister au mouvement proposé par la machine ou le kinésithérapeute. Ces exercices permettent au patient de récupérer plus rapidement.



Figure 1 : système SYS-REEDUC

Les machines existantes ne permettent pas de reproduire l'ensemble des mouvements souhaités. La caractéristique du système SYS-REEDUC est qu'il permet de proposer des exercices combinant la flexion de la jambe à la rotation du pied de manière à solliciter parfaitement les muscles souhaités.

Fonctions	Critères	Niveaux
FS1 : permettre au kinésithérapeute de rééduquer les membres inférieurs du patient	angle de rotation de la cuisse effort du patient pilotage asservi du mouvement : <ul style="list-style-type: none"> • écart de position • marge de gain • marge de phase • rapidité • pulsation au gain unité 	variant de 0 à 150° jusqu'à 20 N <ul style="list-style-type: none"> • nul • 7dB minimum • 45° • $t_{5\%} < 0,2 \text{ s}$ • 50 rad/s
FS2 : s'adapter à la morphologie des patients	longueur de cuisse + jambe écartement du bassin	variant de 0,6 m à 1,2 m 370 mm à 600 mm
FS3 : ne pas blesser le patient	sécurité	bloquer le fonctionnement en fonction de la taille du patient

Tableau 1 : Cahier des charges partiel

DM préparation à l'épreuve SiA en SLCI

B - Description du système

Sur la machine SYS-REEDUC la hanche est supposée fixe par rapport au bâti et le mouvement est engendré par un support mobile sur lequel repose le pied. Afin de pouvoir développer une chaîne cinématique permettant la réalisation de mouvement en chaîne musculaire fermée, l'ensemble mécanique constitué du membre inférieur et du dispositif de rééducation, doit former une **chaîne cinématique fermée**.

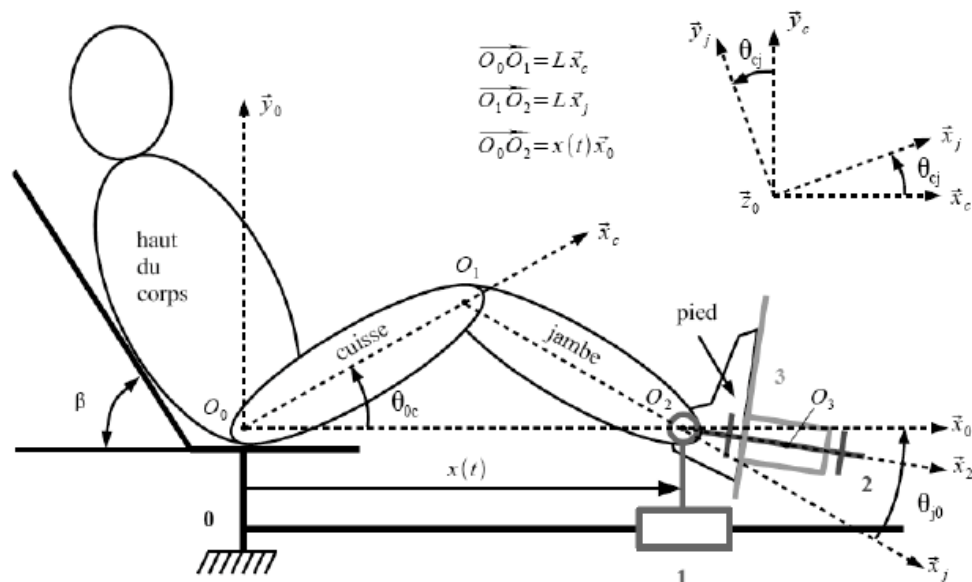


Figure 3 : modélisation cinématique du système SYS-REEDUC

La chaîne cinématique, présentée sur la figure 3, se compose du bâti 0 (le haut du corps du patient est supposé lié au dossier du bâti), du support mobile 1, du support intermédiaire 2, du support de pied 3, de la cuisse, de la jambe et du pied. Un seul côté est représenté mais la machine réelle permet de travailler sur les deux jambes en même temps si cela est nécessaire.

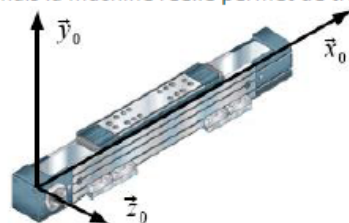


Figure 4 : liaison glissière

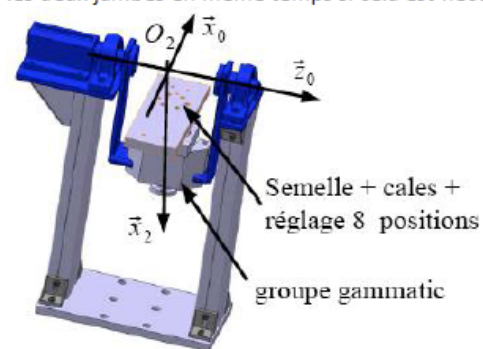


Figure 5 : support de pied

- La **liaison glissière** de la figure 4 est réalisée par un axe linéaire, sensiblement équivalent à celui équipant le CoMax. Sa course utile est de 1,3 m. On lui associe un moteur et un réducteur permettant de supporter un effort de 1 500 N suivant la direction de translation pour une vitesse maximale de 2 m/s. Ces valeurs permettent de travailler avec un profil de rééducation à faible charge ou avec un profil de rééducation sportif. Le dispositif **poulie-courroie** de l'axe linéaire permet de transformer la **rotation en sortie du réducteur en translation du plateau supérieur**.
- La rotation de chaque **moteur** est mesurée à l'aide de **codeurs incrémentaux** permettant ainsi la mesure du déplacement $x(t)$ et de la rotation $\theta_{23}(t)$. De plus, des **capteurs de fin de course** situés sur les axes permettent d'arrêter l'exercice en cas de problèmes liés à la commande (la position de ces capteurs est réglable pour s'adapter à la taille et aux besoins du patient).
- Deux **capteurs d'efforts** permettent de mesurer les forces et couples appliqués par le patient sur la machine, CÂD :
 - d'évaluer l'efficacité, la performance et l'amélioration des aptitudes motrices ;
 - de mesurer l'effort que le patient oppose au mouvement afin d'imposer un couple adapté sur les axes moteur.
- Enfin, les moteurs sont alimentés par des **variateurs électroniques** pilotés par une **carte de commande** qui génère les lois de commande en fonction du retour des capteurs.



DM préparation à l'épreuve SiA en SLCI

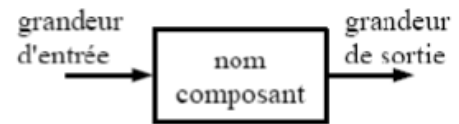
C – Pilotage du SYS-REEDUC

L'objectif de cette partie est de paramétrer le correcteur pour répondre aux exigences de la fonction FS1 du cahier des charges (Table 1).

C.1/ Structure complète de l'asservissement

Le système est composé d'un générateur de consigne, qui à partir de la mesure de l'action du patient et de la mesure des paramètres du système, va générer la consigne adéquate pour piloter le système. L'asservissement en déplacement longitudinal a pour consigne de déplacement Xc (en mètres). Ce déplacement est transformé en un nombre d'incrément de consigne Nc à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique. Ce nombre d'incrément de consigne Nc est comparé à l'image Nθ du déplacement angulaire du moteur θm, obtenu avec le codeur incrémental, pour former un écart noté ε. Cet écart est ensuite adapté à l'aide d'un correcteur pour former la tension moteur Um (en volts). Le moteur tourne ensuite à une vitesse Ωm (en radians par seconde), la position angulaire est notée θm (en radians). Cette position angulaire est réduite à l'aide d'un réducteur et on note θr l'angle de l'axe de sortie du réducteur, qui est lié à un dispositif poulie-courroie entraînant le support, dont on note le déplacement X.

Question 1. Réaliser un schéma bloc fonctionnel (avec le nom des composants dans les blocs à la place des fonctions de transfert) de cet asservissement.



C.2/ Codeur incrémental 2 pistes

Le codeur incrémental utilisé possède 2 pistes et 500 fentes équiréparties (voir figure 13) : la taille des blancs et des noirs est la même. Les deux pistes sont déphasées d'un quart de fente. Les signaux renvoyés par le codeur sont donnés ci-dessous.

Comptage des incréments :

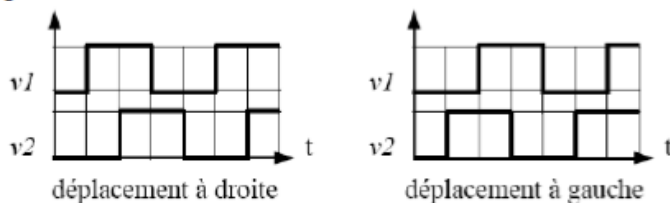


Figure 12 : signaux du codeur incrémental en fonction du sens de rotation

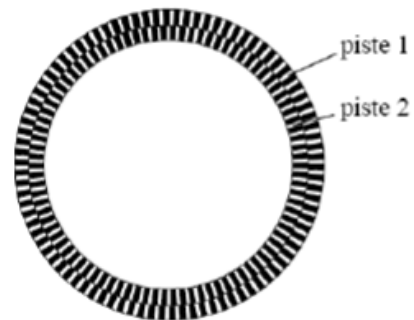


Figure 13 : codeur incrémental

Le codeur incrémental est composé de deux pistes, dont les signaux sont renvoyés par les variables v1 et v2, qui permettent de détecter le sens de rotation. Il y a un incrément à chaque front (montant ou descendant) de signal.

Question 2. Expliquer à l'oral comment fonctionne le codeur et quel est l'intérêt d'avoir deux pistes.

Question 3. Déterminer la valeur du gain du codeur K = Nθ/θm.



DM préparation à l'épreuve SiA en SLCI

C.3/ Vérification des performances de l'asservissement

Nous avons modélisé l'ensemble des fonctions de transfert du système et nous nous proposons maintenant de vérifier les performances du cahier des charges.

Après modélisation et simplification du schéma bloc obtenu en question 1, le comportement du système peut être décrit par le schéma-bloc suivant (figure 11) :

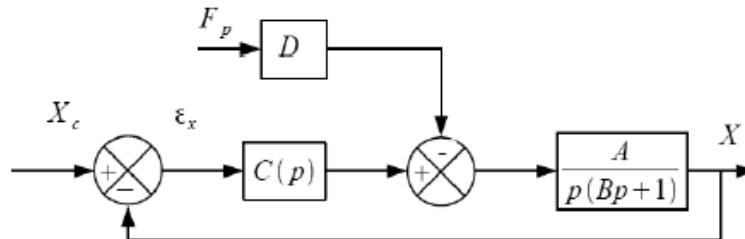


Figure 11 : modélisation par schéma-bloc simplifiée

Avec les constantes A, B et D :

$$A = 6\,700 \text{ m/V}$$

$$B = 0,01 \text{ s}$$

$$D = -6 \text{ N/V}$$

Le correcteur choisi est un correcteur de fonction de transfert $C(p) = K_i(1 + 1/T_i p)$.

Question 4. Rappeler très rapidement le nom et le diagramme de Bode (gain et phase) asymptotique de ce correcteur.

Question 5. Exprimer ϵ_x en fonction des deux entrées F_p et X_c et des constantes A, B, D, K_i et T_i .

Question 6. Déterminer l'écart de position ϵ_x en réponse à deux échelons d'intensité F_0 pour la force du patient et X_0 pour le déplacement. Conclure quant au respect du cahier des charges.

Question 7. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte du système $FTBO(p) = \frac{X}{\epsilon_x}$ en supposant $F_p = 0$.

Question 8. Déterminer la valeur T_i permettant d'assurer la marge de phase pour la pulsation au gain unité souhaitée (pulsation pour laquelle le gain en décibel est nul).

Question 9. Déterminer K_i permettant d'assurer la pulsation au gain unité souhaitée.

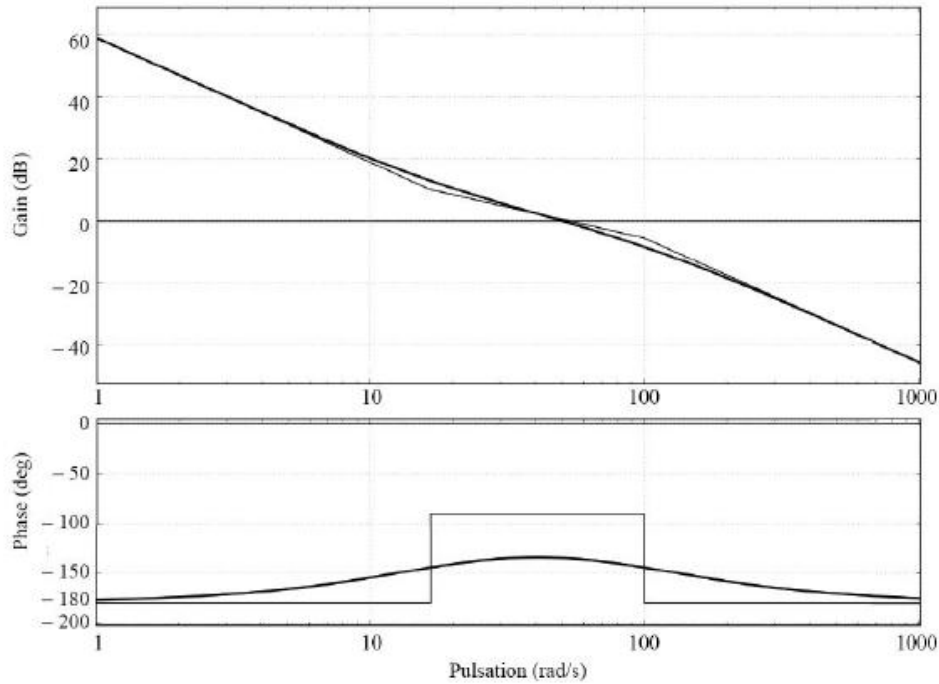


DM préparation à l'épreuve SiA en SLCI

On donne sur le document réponse la réponse temporelle du système à une entrée de type échelon unitaire sur le déplacement ($F_p = 0$) ainsi que le diagramme de Bode de la FTBO.

Question 10. Conclure quant au respect du cahier des charges sur le reste des critères énoncés. Faire apparaître sur le document réponse les grandeurs mesurées.

Diagramme de Bode de la FTBO :



Réponse indicielle unitaire sur le déplacement / $F_p = 0$. Unité en mètre pour l'axe des ordonnées.

