

# EXERCICE 1 : ROBOT SPIRIT

## I Etude de la phase d'approche du robot Spirit

Le robot Spirit a été conçu par la NASA pour étudier la composition chimique de la surface de la planète Mars. Les principaux composants de ce robot sont :

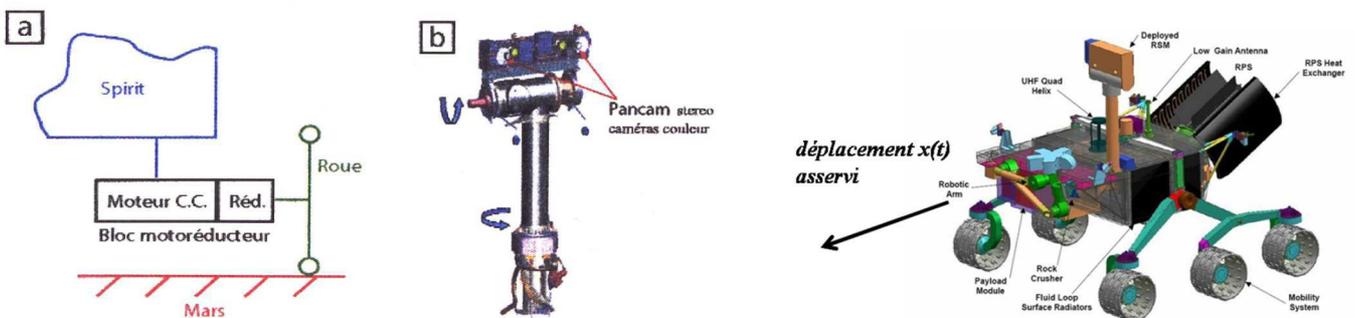


- un corps, appelé *Warm Electronic Box* qui supporte les batteries chargées par des capteurs solaires et qui protège l'électronique embarquée des agressions extérieures,
- une tête périscopique qui oriente le système appelé *PanCam* qui fournit une vue en 3D de l'environnement. Le traitement des images acquises par les caméras du système *PanCam* permet de réaliser une cartographie des terrains et donc de trouver de manière autonome son chemin en évitant les obstacles,
- un bras articulé dont la fonction est d'amener quatre outils (une foreuse, un microscope et deux spectromètres) à proximité d'une roche à étudier,
- six roues, animées chacune par un motoréducteur, les deux roues avant et arrière possèdent de plus un moteur permettant au robot d'effectuer des changements de direction,
- un système de communication et des antennes hautes et basses fréquences afin de communiquer avec la terre.

L'étude porte sur l'asservissement du robot Spirit de manière à répondre aux spécifications de la phase d'approche. Celle-ci consiste à amener le robot avec précision au voisinage d'une roche à étudier, et bien entendu sans dépassement (ce qui entraînerait la collision avec la cible) :

Désignation	Critère	Niveau
S'approcher de la cible	Erreur $\mathcal{E}_{pos}$ sur la position de la cible	$\mathcal{E}_{pos} < 10 \text{ mm}$
	Dépassement sur la réponse indicielle	aucun

L'asservissement de ce déplacement est indispensable du fait de l'existence de perturbations mal connues, qui sont principalement engendrées par les rafales de vent sur la surface de Mars. Pour effectuer cette approche, la motorisation est assurée par un bloc motoréducteur à courant continu dans chacune des six roues (fig. a). Le mouvement ainsi généré est observé de manière optique. En effet, les caméras situées sur la tête périscopique *PanCam* (fig. b) permettent à tout instant de connaître la position absolue du robot. Le traitement de cette information par l'électronique embarquée fournit donc une mesure de l'erreur par rapport à la position cible.



L'étude dynamique du robot en déplacement  $x(t)$  par rapport au sol, sous l'action mécanique  $C(t)$  des moteurs et de la perturbation  $F_v(t)$  due au vent, a permis d'établir les équations suivantes :

$$(1) M \cdot \ddot{x}(t) = 6 \cdot F_R(t) + F_V(t) ,$$

où  $M$  est la masse du robot sans les roues,  $F_R(t)$  l'action d'une roue sur le robot et  $F_V(t)$  l'action du vent,

$$(2) M_R \cdot \ddot{x}(t) = -F_R(t) + F_M(t) ,$$

où  $M_R$  est la masse d'une roue et  $F_M(t)$  l'effort de liaison entre la roue et le robot,

$$(3) I \cdot \ddot{\theta}(t) = C(t) - R \cdot F_M(t) ,$$

où  $I$  est l'inertie de la roue et du moteur ramenée sur l'arbre moteur,  $\theta(t)$  la rotation de la roue et  $C(t)$  le couple moteur. On note de plus  $R$  le rayon de la roue.

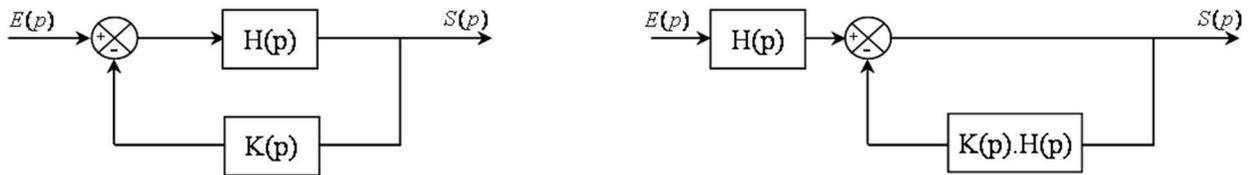
L'étude de la motorisation dans le cas d'un moteur à courant continu donne les équations suivantes (effet de l'inductance négligé) :

$$(4) u(t) = e(t) + r \cdot i(t) , \quad (5) C(t) = \eta \cdot K_t \cdot i(t) , \quad (6) e(t) = K_e \cdot \eta \cdot \dot{\theta}(t) ,$$

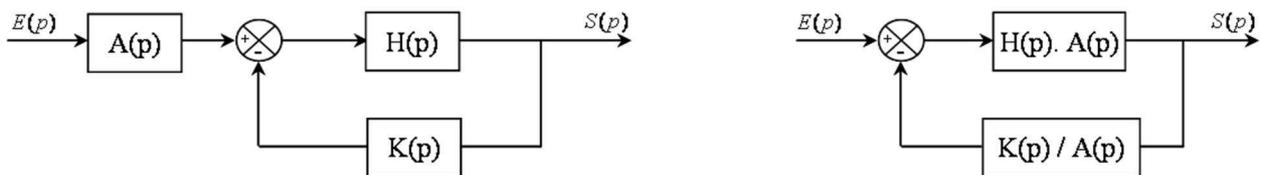
où  $u(t)$  est la tension d'alimentation,  $e(t)$  la force contre électromotrice,  $r$  la résistance aux bornes de l'induit,  $\eta$  le rapport de réduction du réducteur,  $K_t$  la constante de couple et  $K_e$  la constante de force contre électromotrice.

### Etude préliminaire – Algèbre des schémas blocs

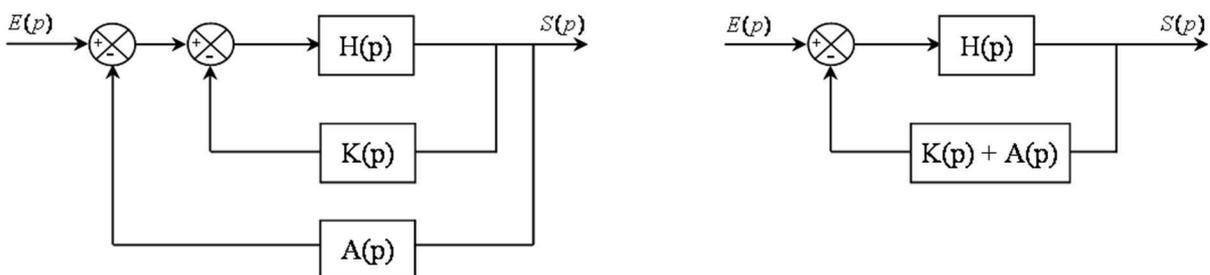
**Question 1 :** Montrer simplement que les deux schémas blocs suivants sont équivalents.



**Question 2 :** Montrer simplement que les deux schémas blocs suivants sont équivalents.



**Question 3 :** Montrer simplement que les deux schémas blocs suivants sont équivalents.



### Modèle de connaissance

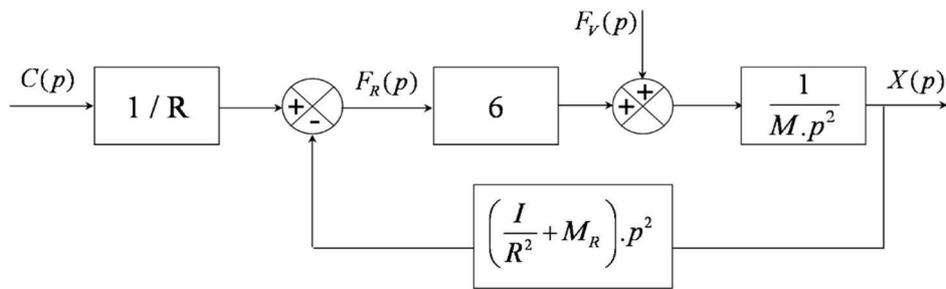
Les conditions initiales sont supposées nulles pour chacune des variables.

**Question 4 :** Donner la relation entre  $x(t)$ ,  $\theta(t)$  et  $R$  lors d'un déplacement du robot. Préciser l'hypothèse retenue.

**Question 5 :** Ecrire les transformées de Laplace des équations de la dynamiques notées (1) à (3).

**Question 6 :** A partir des équations précédentes dans le domaine Laplace, compléter le schéma bloc du Document Réponse 1.

**Question 7 :** A partir des résultats de l'étude préliminaire, montrer que le schéma bloc précédent peut être mis sous la forme de celle du schéma bloc ci-dessous. Préciser à chaque étape de votre raisonnement quel résultat (question 1, question 2 ou question 3) vous utilisez. Pour la suite le résultat est admis.



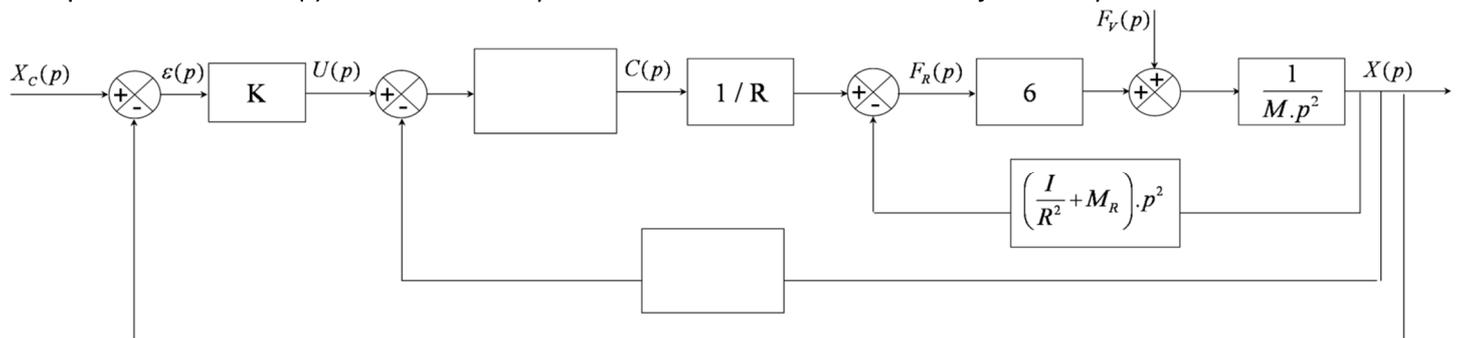
**Question 8 :** Ecrire les transformées de Laplace des équations du comportement du moteur à courant continu notées (4) à (6).

**Question 9 :** A partir des équations précédentes dans le domaine Laplace, compléter le schéma bloc du Document Réponse 1.

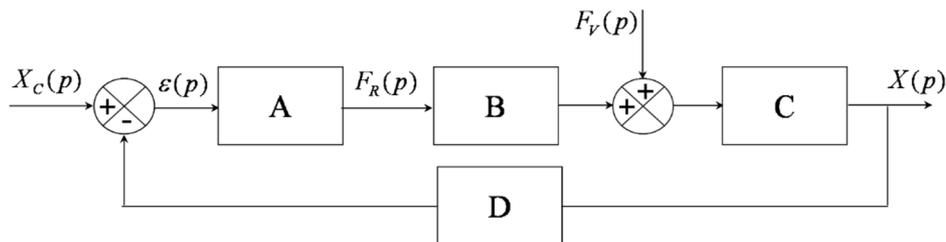
**Question 10 :** Cette représentation par schéma bloc correspond-elle à la schématisation d'un système asservi ?

**Modèle de commande du robot**

La tension de commande  $u(t)$  est déterminée à partir de l'écart  $\varepsilon(t)$  entre la position cible  $x_c(t)$  et la position courante  $x(t)$ , par l'intermédiaire d'une boucle de retour unitaire (correspondant au système PanCam). Le schéma bloc précédent vient donc s'insérer comme détaillé sur la représentation ci-dessous, pour constituer un système reliant la consigne  $x_c(t)$  et la position courante  $x(t)$  du robot. Remarque : les deux blocs vides sont ceux définis à la question 8.



Ce schéma bloc peut se réduire au schéma bloc suivant.



avec  $A = \frac{\eta.K_t.K}{r.R}$      $B = 6$      $C = \frac{1}{M.p^2}$     et     $D = \frac{(I + M_R.R^2).r.p^2 + \eta^2.K_t.K_e.p + \eta.R.K_t.K}{\eta.R.K_t.K}$

**Question 11 :** A partir des résultats de l'étude préliminaire, vérifier l'équivalence entre les deux schémas blocs. Préciser à chaque étape de votre raisonnement quel résultat (question 1, question 2 ou question 3) vous utilisez.

**Question 12 :** Exprimer alors  $X(p)$  en fonction de A, B, C, D,  $X_c(p)$  et  $F_V(p)$ . Préciser le théorème retenu.

**Vérification des performances du système**

L'étude des performances du robot est réalisée pour une consigne  $x_c(t)$  de type échelon d'amplitude constante  $x_{co}$ . Dans un premier temps on considère nulle la perturbation due au vent :  $F_V(p) = 0$ .

**Question 13 :** Exprimer  $X_c(p)$  en fonction de  $x_{co}$ .

**Question 14 :** Définir l'erreur statique  $e_s$  du système. En précisant le théorème utilisé, calculer cette erreur statique.

**Question 15 :** Le système est-il précis vis-à-vis de sa consigne d'entrée ?

On tient maintenant compte de l'entrée de perturbation  $F_V(t)$ , modélisée également par un échelon d'amplitude constante  $F_{V0}$ .

**Question 16 :** A partir de la même définition de l'erreur absolue  $e_s$ , déterminer l'expression de l'erreur supplémentaire apportée par la perturbation.

A partir des valeurs des constantes du moteur et des différentes données géométriques du robot, la valeur absolue de l'erreur statique est de 0,172 m pour un gain d'amplification  $K = 1 \text{ V.m}^{-1}$ .

**Question 17 :** Le cahier des charges est-il respecté ? Quelle valeur faut-il donner à  $K$  pour assurer la contrainte de précision ?

En considérant cette dernière valeur pour  $K$ , on montre que la fonction de transfert de la commande du robot sans perturbation  $F_V(p) = 0$  se met sous la forme :

$$H(p) = \frac{X(p)}{X_c(p)} = \frac{1}{1 + 30.p + 0,3.p^2}.$$

**Question 18 :** Quel est l'ordre de cette fonction de transfert ?

**Question 19 :** A partir de l'étude des pôles, donner l'allure de la réponse  $x(t)$  en régime établi à une consigne en échelon.

**Question 20 :** Montrer que cette fonction de transfert  $H(p)$  peut se mettre sous la forme

$$H(p) = \frac{1}{(1 + T_1.p).(1 + T_2.p)}, \text{ avec } T_2 \ll T_1. \text{ Donner les valeurs approchées de } T_1 \text{ et } T_2.$$

Le système ainsi corrigé a été testé expérimentalement. L'allure de la réponse à une entrée échelon d'amplitude 1 a été enregistrée. Le relevé est donné par la courbe du **Document Réponse 1**. Cette courbe va permettre de comparer le comportement expérimental au modèle proposé précédemment. Pour la suite on note  $H_{exp}(p)$  la fonction de transfert identifiée à partir de la réponse expérimentale.

**Question 21 :** A partir de la courbe expérimentale, identifier l'ordre de  $H_{exp}(p)$ . Justifier votre modélisation.

**Question 22 :** Effectuer alors, sur la figure du Document Réponse 1, les tracés permettant de déterminer les valeurs numériques et les unités des paramètres caractéristiques de  $H_{exp}(p)$ .

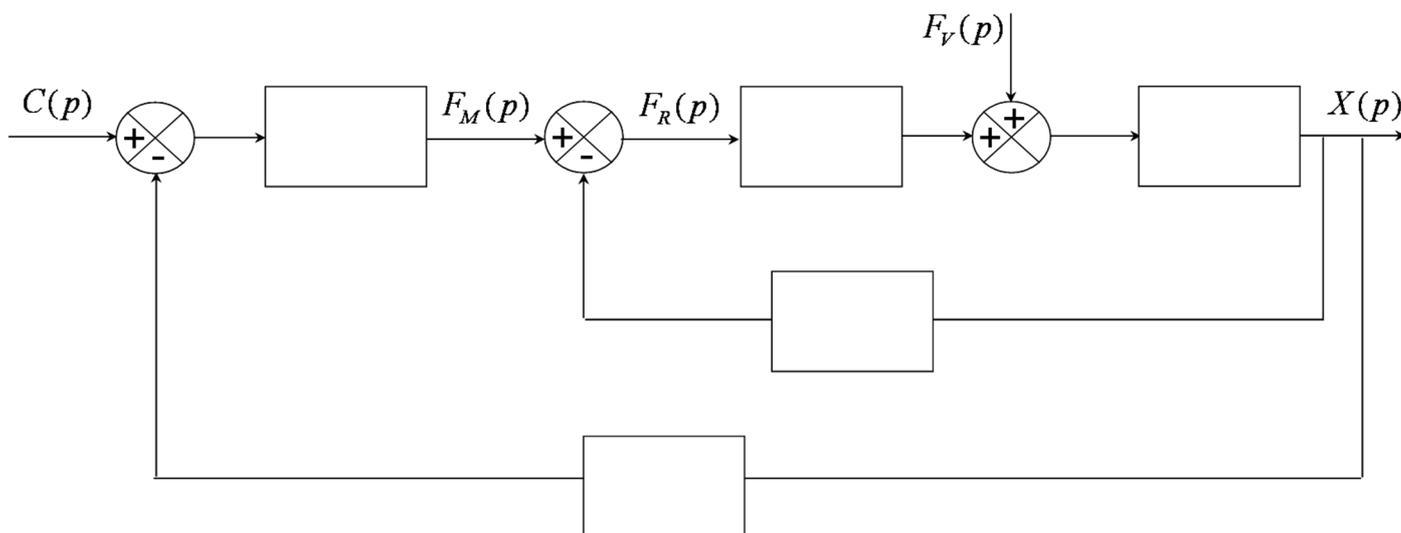
**Question 23 :** Déterminer la valeur numérique du temps de réponse à 5% du système réel.

**Question 24 :** Commenter le modèle de comportement  $H_{exp}(p)$  par rapport au modèle simulé  $H(p)$  obtenu à la question 20.

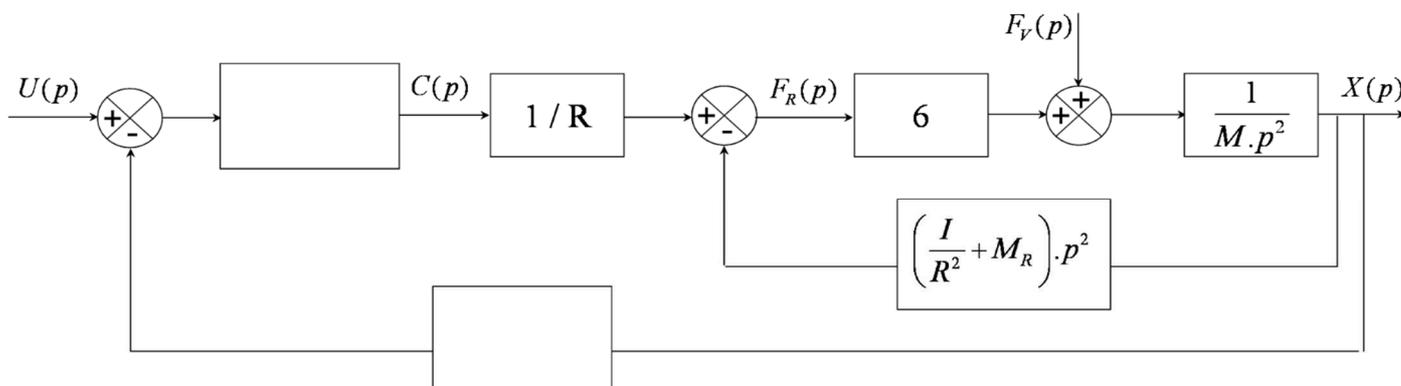
**Question 25 :** Quelle considération physique peut justifier la relation entre ces deux modèles ?

## Document Réponse 1

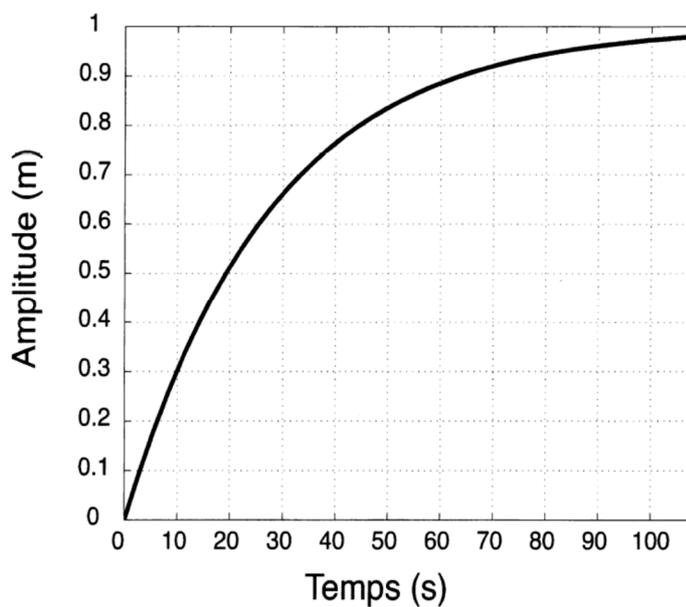
Q6 : schéma bloc des équations (1) à (3)



Q9 : schéma bloc des équations (1) à (6) – modèle de connaissance

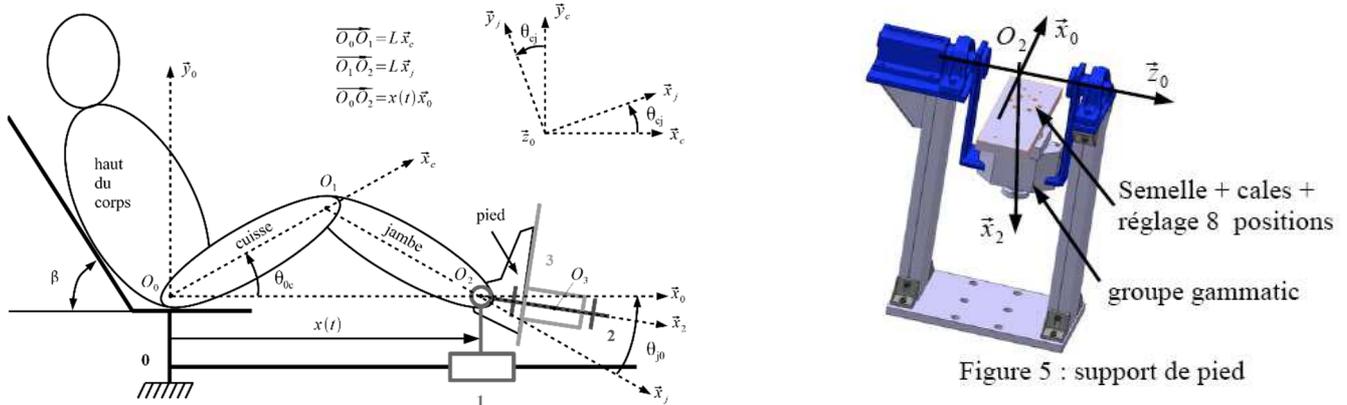


Q21-22 : allure de la réponse expérimentale à un échelon de position d'amplitude 1.



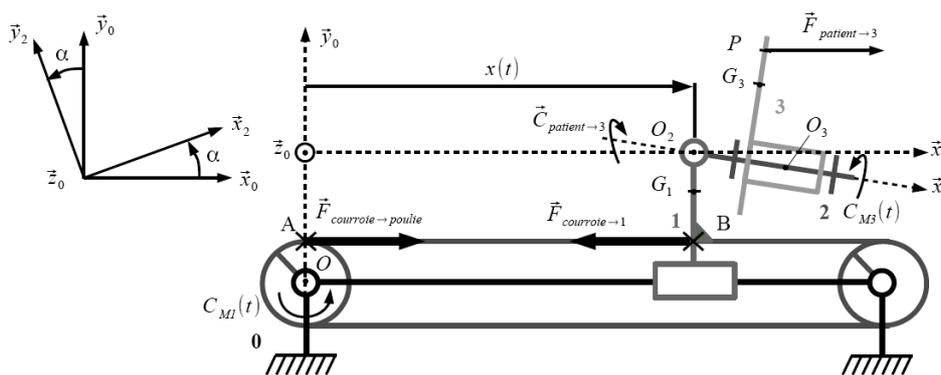
# EX2 - Machine de rééducation SYS-REEDUC CCP-PSI

L'objectif de la machine de rééducation SYS-REEDUC est de réaliser un système capable d'évaluer et d'aider à la rééducation des membres inférieurs.

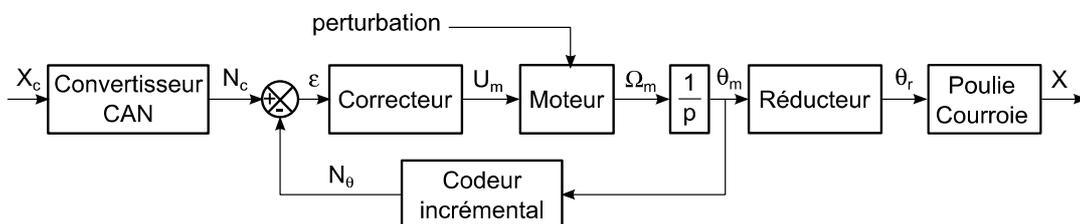


Afin de réaliser le mouvement en chaîne fermée souhaité, le choix effectué du mécanisme de la machine SYS-REEDUC suppose que la hanche est fixe par rapport au bâti et que le mouvement est engendré par un support mobile sur lequel repose le pied.

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"> <li>écart de position</li> <li>marge de gain</li> <li>marge de phase</li> <li>rapidité</li> <li>pulsation au gain unité</li> </ul>	variant de 0 à 150° jusqu'à 20 N <ul style="list-style-type: none"> <li>nul</li> <li>7dB minimum</li> <li>45°</li> <li><math>t_{5\%} &lt; 0,2</math> s</li> <li>50 rad/s</li> </ul>



On s'intéresse ici la chaîne de transmission actionnée par le moteur M1.



Les caractéristiques sont les suivantes :

- Le correcteur C(p)
- Les équations du moteur M1 à courant continu :

$$u_m(t) = e(t) + R i(t) \tag{1}$$

$$e(t) = k_e \omega_m(t) \tag{2}$$

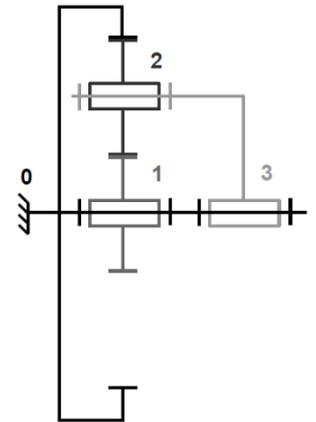
$$C_{MI}(t) = k_i i(t) \tag{3}$$

- Le système poulie courroie a un rayon  $r = 46,1 \text{ mm}$  avec deux poulies identiques
- Le réducteur à train épicycloïdale :

On note :

- $Z_0$  le nombre de dents de la couronne 0, liée au bâti ;
- $\omega_{1/0}$  la vitesse de rotation du pignon 1 par rapport à 0 ;  $Z_1$  le nombre de dents du pignon ;
- $\omega_{2/0}$  la vitesse de rotation du pignon 2 par rapport à 0 ;  $Z_2$  le nombre de dents du pignon ;
- $\omega_{3/0}$  la vitesse de rotation du solide 3 par rapport au bâti 0.

Avec  $Z_1=10$  dents.

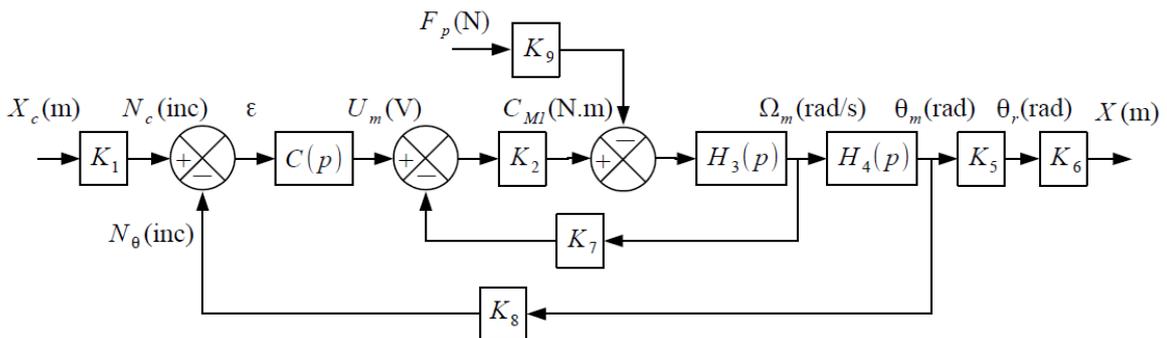


- Le codeur incrémental utilisé possède 2 pistes et 500 fentes par pistes équiréparties. Les deux pistes sont déphasées d'un quart de fente. Une mesure sur chaque front montant et front descendant des deux voies est réalisée

Une étude dynamique sur le système a permis de donner la relation suivante :  $\frac{C_{M1}}{r \cdot \rho_1} - F_p = (m + M) \cdot r \cdot \rho_1 \cdot \dot{\omega}_m$  . [4]

**Q0.** Donner le rapport de réduction  $\frac{\omega_{3/0}}{\omega_{1/0}}$

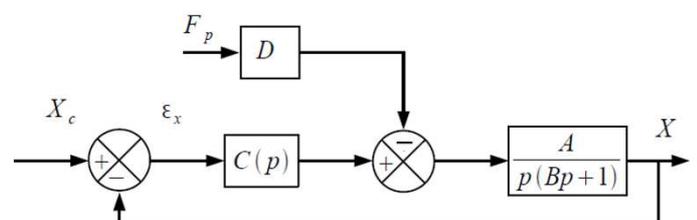
**Q1.** Déterminer toutes les fonctions de transfert du schéma bloc suivant de ce système.



**Q2.** Que doit valoir K1 afin d'avoir un asservissement convenable ; soit en régime permanent on veut que  $\epsilon=0$  quand  $X_c=X$  ?

**Q3.** Montrer que le schéma-bloc peut être mis sous la forme suivante :

Exprimer A, B et D (constants) en fonction des paramètres du système :  $r, \rho_1, k_i, k_e, R, M, m$  et  $K_8$ .



Pour la suite du sujet, on gardera les constantes  $A$ ,  $B$  et  $D$ , avec :

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

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

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

**Correction proportionnelle** On suppose que  $C(p) = K_c$ .

**Q4.** Exprimer  $\varepsilon_x(p)$  en fonction des deux entrées  $F_p(p)$  et  $X_c(p)$  et des constantes  $A$ ,  $B$ ,  $D$  et  $K_c$ .

**Q5.** Déterminer l'écart de position  $\varepsilon_x$  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.

**Correction proportionnelle intégrale**

On suppose maintenant que  $C(p) = K_i \left( 1 + \frac{1}{T_i p} \right)$

**Q6.** Exprimer  $\varepsilon_x(p)$  en fonction des deux entrées  $F_p(p)$  et  $X_c(p)$  et des constantes  $A$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $K_i$  et  $T_i$ .

**Q7.** Déterminer l'écart de position  $\varepsilon_x$  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.

**Q8.** Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte du système  $FTBO(p)$  en supposant que  $F_p=0$ .

**Q9.** 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).

**Q10.** Déterminer  $K_i$  permettant d'assurer la pulsation au gain unité souhaitée.

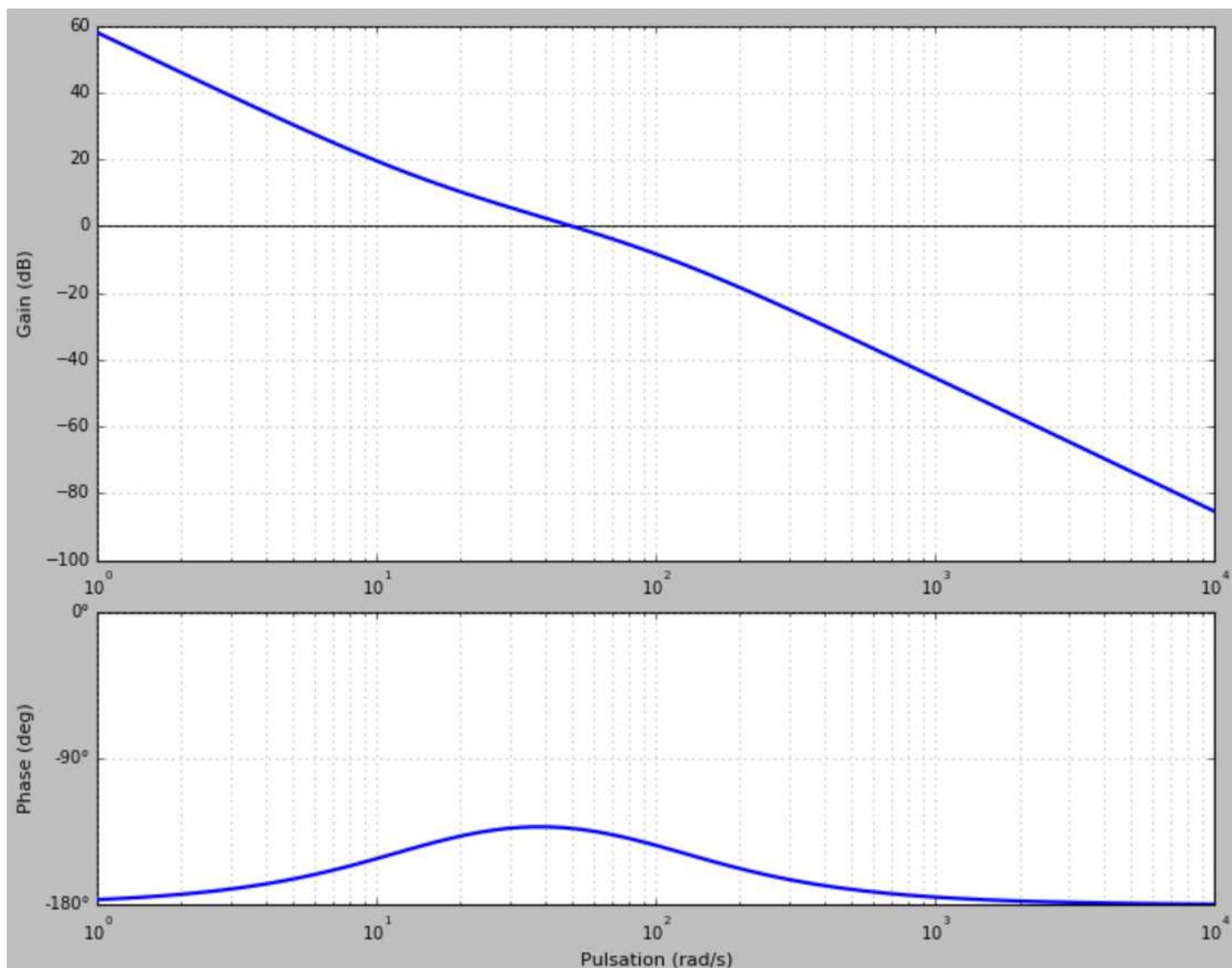
On donne sur le document réponse la réponse temporelle du système à une entrée de type échelon unitaire sur le déplacement ( $F_p=0$ ) ainsi que le diagramme de Bode de la FTBO corrigée.

**Q11.** Conclure quant au respect du cahier des charges sur le reste des critères énoncés. Faire apparaître sur le document réponse les grandeurs mesurées.

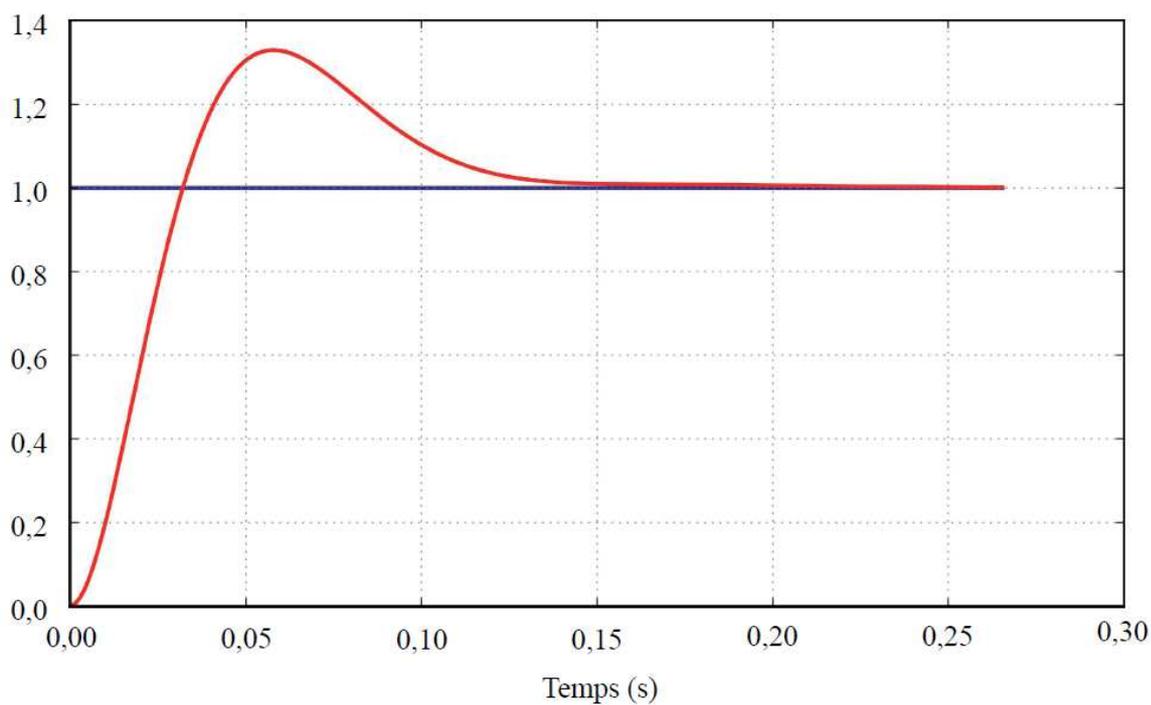
On prendra  $\rightarrow T_i = 0,068 \text{ (s)}$  et  $\rightarrow K_i = 0,008$

**Q12.** Justifier et tracer la forme des diagrammes asymptotiques de Bode de la FTBO corrigée fournie

FTBO corrigée avec la correction proportionnelle intégrale calculée



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



## EXERCICE 3 : SYSTEME DE DEPOSE DE PATE A CHOUX

### 1 - Objectif

L'objet de cette étude est la validation partielle de solutions constructives d'un système automatisé de dépose de pâte à choux sur le tapis roulant d'une ligne de production de gâteaux.

Cette ligne, réalisée et commercialisée par la société AERA (Atelier d'Etude et de Réalisation d'Automatismes), permet de fabriquer et d'emballer jusqu'à **29000 choux à l'heure**.

Elle est constituée d'un **tapis roulant** qui achemine la pâte successivement à chacun des postes : dépose de la pâte, cuisson, injection de crème, nappage, décoration, conditionnement et emballage.

La vitesse linéaire du tapis, imposée par le temps de cuisson et la longueur du four est constante. Pour assurer les cadences attendues, 25 rangées de gâteaux sont confectionnées parallèlement sur le tapis.

Sur la figure page suivante, le tapis avance manifestement de la gauche vers la droite puisque, après son passage sous la doseuse, on y distingue les rangées de gâteaux. La quantité de pâte nécessaire pour un gâteau est extraite de la trémie de stockage, puis expulsée par le mécanisme de dosage, au travers d'une buse située au-dessus du tapis.



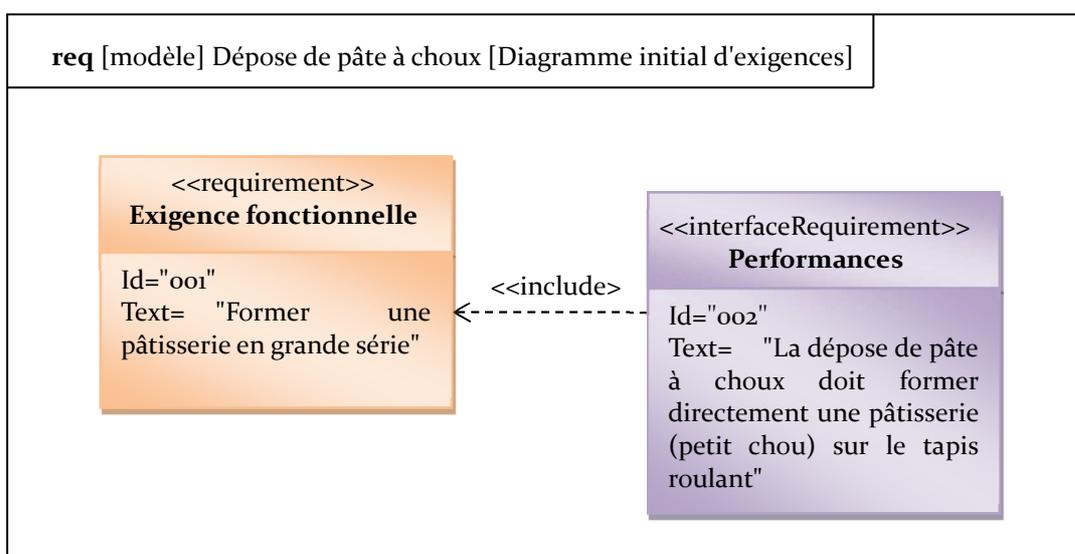
Choux à la crème



Eclair au café et Paris-Brest

### 2 - Présentation succincte des exigences

Le diagramme des exigences partiel est donné ci-dessous :



### 3 - Présentation de la structure du système

La ligne de production permet de réaliser des gâteaux de formes différentes telles que des choux et des éclairs. Ces différentes formes sont obtenues par la gestion de la position relative de la buse de la doseuse par rapport au tapis pendant la dépose de la pâte.

Dans ce sujet, on se propose de valider les performances des solutions constructives retenues pour la réalisation des choux.

La doseuse est installée sur un chariot qui se déplace en translation dans la direction du tapis  $\vec{x}_0$ . Le schéma ci-contre décrit partiellement le dispositif de mise en mouvement de cet ensemble dit « mobile ».

Un **moteur électrique** associé à un **réducteur** est embarqué sur l'ensemble mobile (comprenant donc la doseuse, le chariot et la buse).

Ce motoréducteur assure l'entraînement en translation de l'ensemble mobile grâce à une **courroie crantée** et un ensemble de trois **poulies** dont l'une (poulie motrice) est liée au mouvement de rotation du motoréducteur (cf figure ci-dessus).

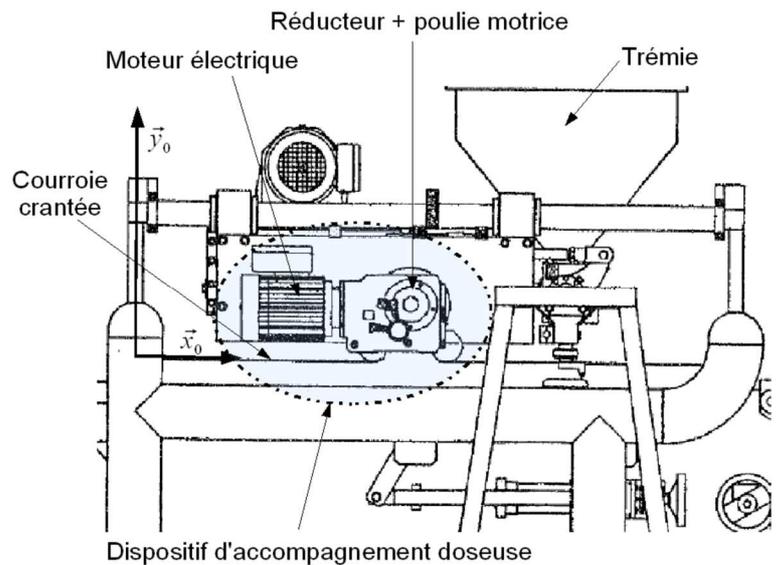
Grâce à cela, l'ensemble mobile (sur lequel est fixé le stator du moteur) peut se déplacer en translation comme le tapis roulant.

Dans ce sens, la vitesse relative des buses par rapport au tapis doit être nulle pendant le temps de dépose afin de réaliser des choux.

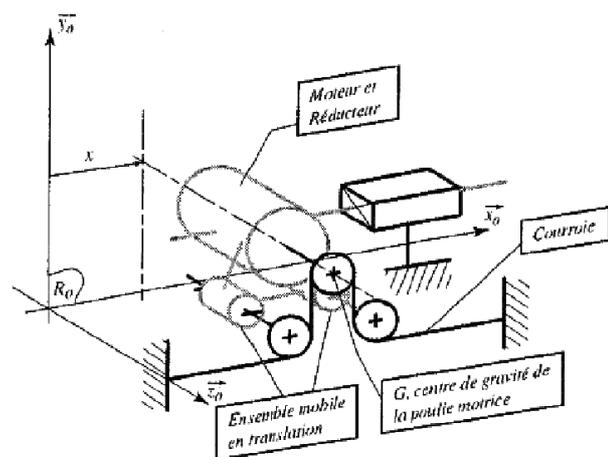
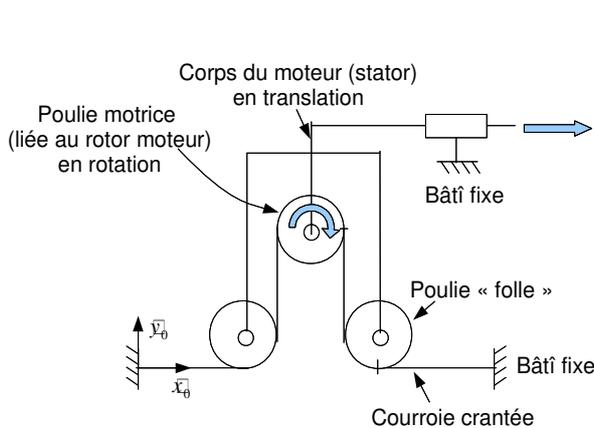
On suppose dans cette étude que la courroie est inextensible et que la poulie, liée au motoréducteur, entraîne sans glissement la courroie. On repère la position du chariot par le paramètre  $x$  et par sa vitesse  $v$  par rapport au référentiel fixe  $R_0$ .

On appelle  $\vec{\Omega}_r = \omega_r \vec{z}_0$  le vecteur vitesse de rotation de la poulie motrice, dont le rayon est  $R_P = 20 \text{ mm}$ . On appelle  $\vec{\Omega}_m = \omega_m \vec{z}_0$  le vecteur vitesse de rotation du moteur et  $\rho = \frac{1}{80}$  le rapport de réduction du réducteur.

On appelle  $J_{eq}$  le moment d'inertie équivalent par rapport à l'axe  $(G, \vec{z}_0)$ , ramené à l'arbre du moteur, de toutes les parties mobiles concourant au mouvement de translation.



Dispositif d'accompagnement doseuse



### 4 - Extrait du cahier des charges

On s'intéresse ici à l'exigence de performances pour laquelle on précise le cahier des charges suivant:

Exigence	Critère	Niveau
Performances	Précision du positionnement de la buse par rapport au tapis	Erreur en régime permanent nulle
	Temps de réponse à 5%	< 0,45s
	Marge de phase	45°

## 5 - Modèle de connaissance de la motorisation

Le moteur utilisé pour animer l'ensemble mobile est un moteur électrique à courant continu. Les équations régissant son fonctionnement sont:

$$u_m(t) = e(t) + R.i(t) + L \frac{d}{dt} i(t) \quad (\text{éq. 1})$$

$$C_m(t) = K_t.i(t) \text{ et } e(t) = K_e.\omega_m(t) \quad (\text{éq. 2}) \ \& \ (\text{éq. 3})$$

$$J_{eq}.\dot{\omega}_m = C_m - \mu.\omega_m \quad (\text{éq. 4})$$

### Définitions et notations :

$i(t)$  représente le courant d'alimentation du moteur, transformée de Laplace notée  $I(p)$ .

$u_m(t)$  représente la tension d'alimentation du moteur, transformée de Laplace notée  $U_m(p)$ .

$e(t)$  est la force contre électro motrice, transformée de Laplace notée  $E(p)$ .

$\omega_m(t)$  représente la vitesse de rotation du moteur, transformée de Laplace notée  $\Omega_m(t)$ .

$c_m(t)$  représente le couple moteur, transformée de Laplace notée  $C_m(p)$ .

$R = 0,25 \ \Omega$  est la résistance d'induit.

$L = 5 \text{ mH}$  est l'inductance.

$K_e$  est la constante électrique du moteur.

$K_t$  est la constante de couple du moteur.

$$J_{eq} = 120.10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

$\mu = 0,02 \text{ N.m.s/rad}$  coefficient de frottement visqueux

**Remarque : toutes les applications numériques demandées dans le sujet se feront sans l'aide de la calculatrice.**

**Question 1:** À partir de ces 4 équations, remplir le schéma bloc du document en fin de sujet. S'agit-il d'un système asservi? Justifier la réponse.

**Question 2:** Calculer la fonction de transfert du moteur :  $\frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = G(p)$

On prend et on note à présent  $K_t=K_e=K= 0,5 \text{ N.m/A}$ .

**Question 3:** Mettre  $G(p)$  sous la forme canonique d'un système du second ordre de gain statique noté  $K_s$ , de coefficient d'amortissement noté  $\xi$  et de pulsation propre notée  $\omega_0$ :

$$G(p) = \frac{K_s}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

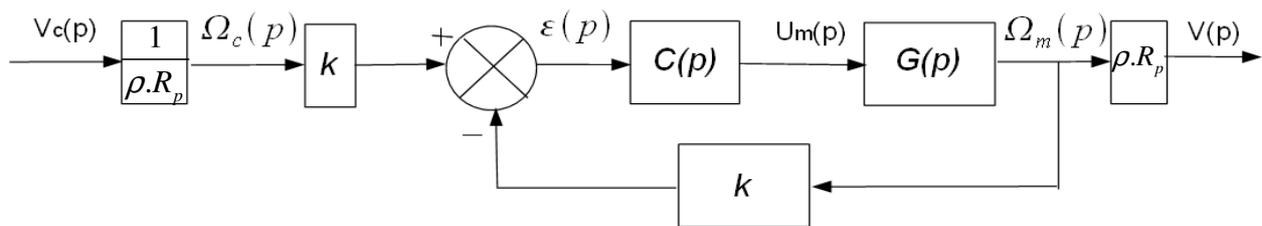
Déterminer l'expression de ses paramètres caractéristiques en fonction des constantes du modèle.

**Question 4:** Effectuer les applications numériques. À quel type de régime a-t-on affaire?

On donne les approximations numériques suivantes :  $\sqrt{0,1} \approx 0,3$  et  $1/\sqrt{6} \approx 0,4$ .

## 6 - Asservissement en vitesse du moteur – Choix du correcteur proportionnel

On associe au moteur précédent un asservissement en vitesse de manière à assurer une consigne de type échelon en entrée. Le schéma bloc de cet asservissement est donné ci-dessous:



On note  $V(p)$  la transformée de Laplace de la vitesse de l'ensemble en translation. On note  $V_c(p)$  la transformée de Laplace de la vitesse de consigne de l'ensemble en translation. On notera donc  $\Omega_c(p)$  la transformée de Laplace de la consigne de vitesse de rotation de l'arbre moteur. Le capteur permettant de réaliser la mesure est placé sur le moteur. Il en mesure sa vitesse de rotation avec un gain  $k = 1 \text{ V.s/rad}$ . Le correcteur est de fonction de transfert  $C(p)$ .

**Dans un premier temps, on utilise un correcteur proportionnel unitaire, de fonction de transfert  $C(p) = 1$ . Cela revient donc à ne pas corriger le système bouclé.**

**Question 5:** Donner l'expression de l'erreur en régime statique  $e_v = v_c(\infty) - v(\infty)$  résultant d'une consigne de vitesse chariot en échelon d'amplitude constante  $V_{co}$ . On prendra soin de détailler la totalité du raisonnement.

**Question 6:** Effectuer l'application numérique et conclure quant au respect du cahier des charges. Le gâteau réalisé avec ce type de correcteur sera alors de quelle nature? De quelle nature doit donc être le correcteur à insérer dans l'asservissement? Justifier la réponse.

## 7 - Amélioration des performances – choix du correcteur PI

On décide à présent d'avoir recours à un correcteur proportionnel intégral PI tel que :

$$u_m(t) = K_c \cdot \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau} \cdot \int \varepsilon(t) dt$$

**Question 7:** En déduire la fonction de transfert  $C(p)$  de ce nouveau correcteur.

On considère ici qu'au voisinage des pulsations définies dans les calculs de marges, un correcteur de ce type n'a qu'un effet proportionnel  $\tau\omega \gg 1$  car  $\tau$  est choisi suffisamment grand.

On donne également en page suivante le relevé dans Bode de la fonction de transfert  $G(p)$ .

**Question 8:** En déduire la valeur de  $K_c$  assurant la marge de phase de  $45^\circ$ .

**Question 9:** La valeur de  $K_c$  ayant été fixée à la question précédente, déterminer une valeur de  $\tau$  permettant de conserver une marge de phase d'environ  $40^\circ$ .

## 8 - Validation des performances de l'asservissement en vitesse du moteur

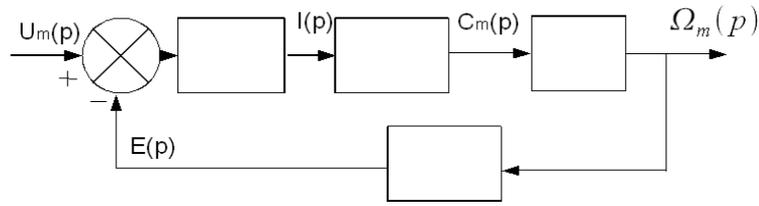
Après calculs, on obtient les valeurs du couple  $(K_c, \tau)$ . Une simulation numérique, pour une vitesse de consigne de  $1 \text{ cm/s}$ , donne la réponse tracée en document réponse.

**Question 10:** À partir du tracé du document réponse, définir le temps de réponse à 5% et la précision de cet asservissement. On précisera le raisonnement mis en place.

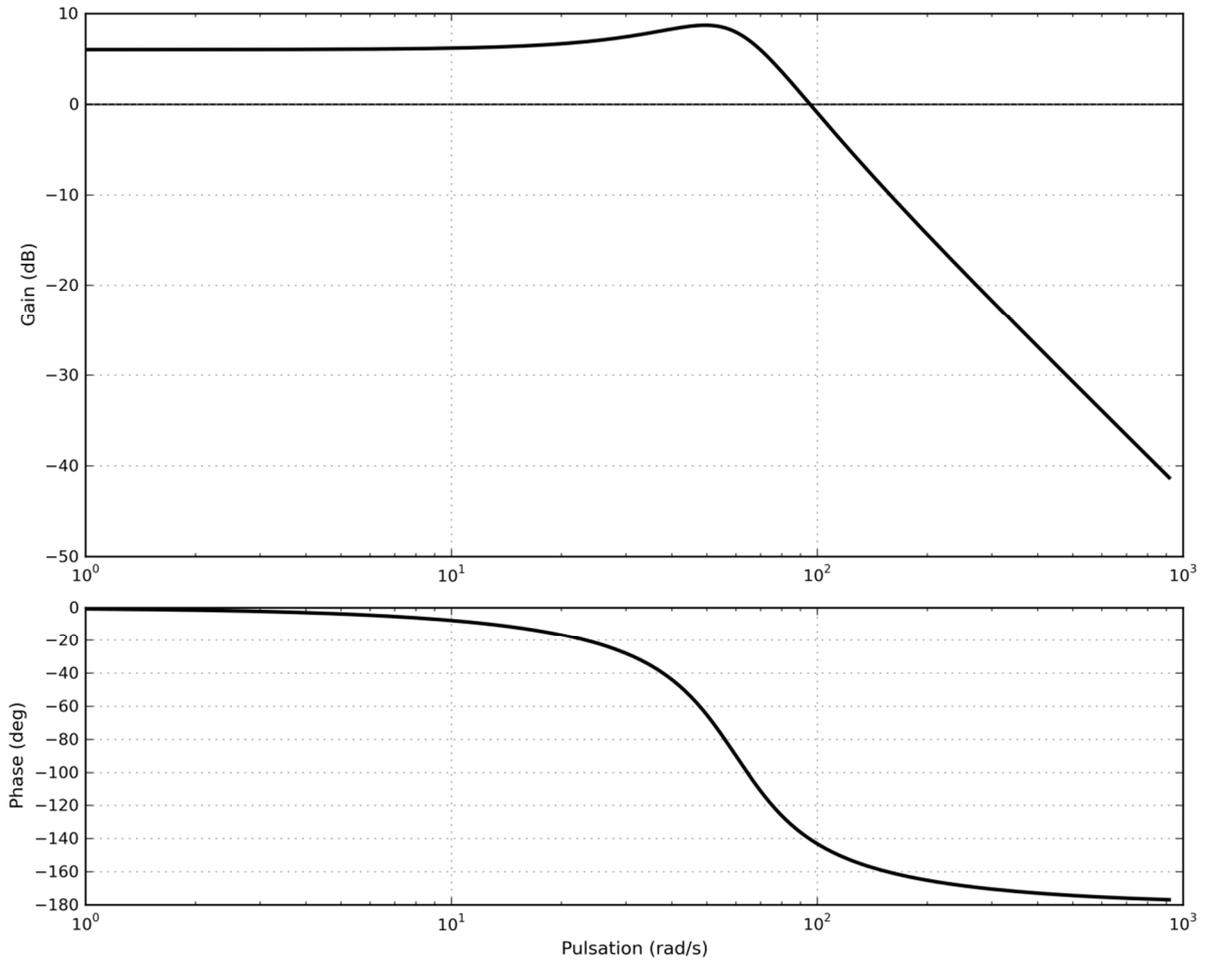
**Question 11:** Conclure quant au respect du cahier des charges.

## Document Réponse

### Question 1



### Question 8



### Question 10

Explications:

