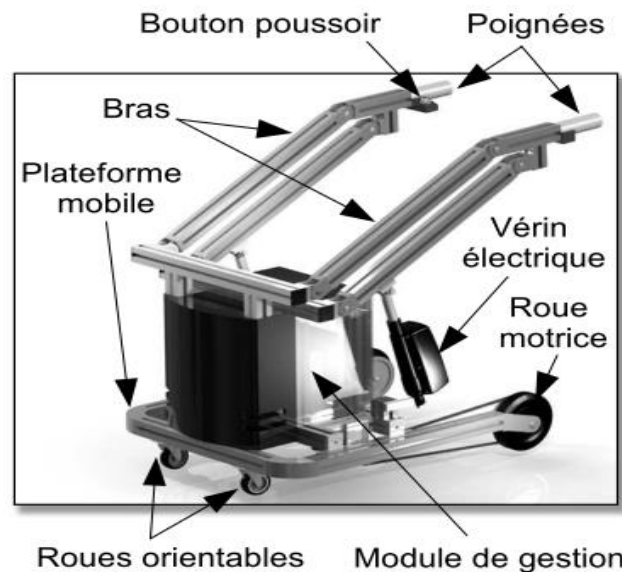
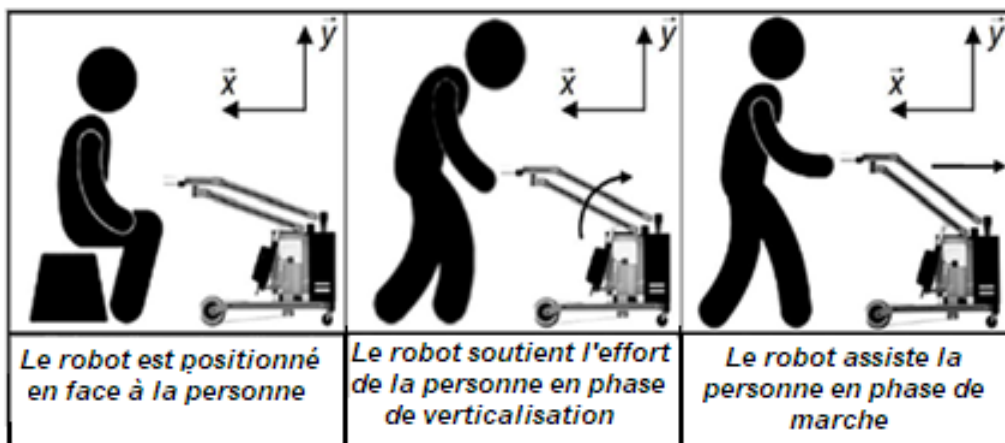


## Robot d'assistance aux personnes à mobilité réduite

Le système étudié est un robot d'assistance aux personnes âgées ou à mobilité restreinte. Il permet de soutenir une personne assise à se lever, marcher et s'asseoir. Il est alimenté par des batteries Lithium rechargeables assurant un mouvement asservi des bras grâce à des vérins électriques. Le déplacement est assuré par des moteurs synchrones Brushless.



L'électronique embarquée associée aux différents actionneurs permet un réglage facile des positions des bras ainsi que de la vitesse de déplacement.



L'étude est répartie en quatre parties indépendantes A, B, C et D en plus d'un exercice préliminaire noté 4 points sur vingt. **Il est vivement conseillé de commencer par cet exercice et mentionner en fin de résolution « fin de l'exercice préliminaire ».**

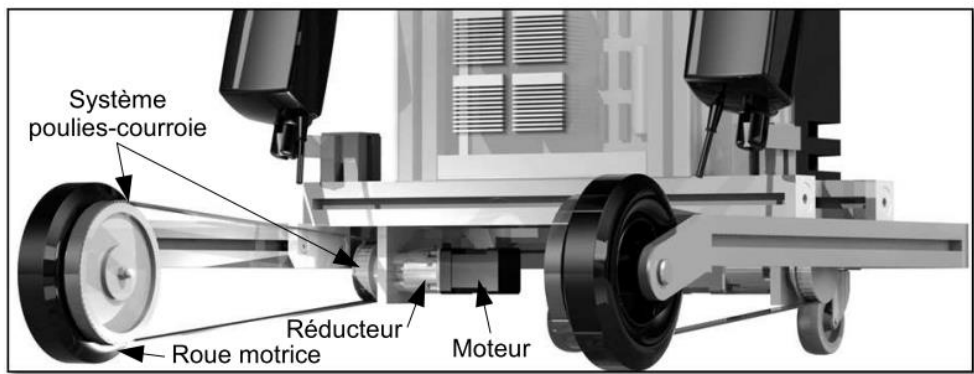
## Partie D. Asservissement de la vitesse de déplacement du Robot

Dans cette partie du sujet, on s'intéresse au déplacement du robot vers l'avant sur un sol horizontal. Dans ce cas, le cahier des charges spécifie deux niveaux de vitesses :  $V_{\text{RobotMin}} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $1,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) et  $V_{\text{RobotMax}} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $3,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Cette vitesse doit être indépendante de la variation de la charge.

La poignée droite du robot déambulateur est équipée d'un bouton poussoir à bascule qui commande le déplacement en marche avant et arrière, ainsi que la rotation vers la gauche et la droite. L'appui sur le bouton se fait sur deux niveaux :

- 1<sup>er</sup> niveau : se déplacer ou tourner à vitesse lente  $V=V_{\text{RobotMin}}$  ;
- 2<sup>ème</sup> niveau : se déplacer ou tourner à vitesse rapide  $V=V_{\text{RobotMax}}$ .

La figure 7 présente les principaux constituants de la chaîne fonctionnelle étudiée.



**Figure 7 : Chaîne gauche de l'entraînement du robot**

On admettra que l'autopilotage du moteur brushless (B4240-24) conduit du point de vue comportemental à un modèle équivalent à celui d'un moteur à courant continu (MCC).

Les équations du modèle équivalent sont *rappelées ci-dessous*.

**Notations :**

- $J_{\text{eq}} = 0,25 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  : moment d'inertie de toutes les parties en mouvement, majoré et ramené à l'arbre du moteur.
- $\Omega_m(t)$  : vitesse de rotation du moteur, exprimée en rad/s. (vitesse nominale = 4000 tr/min).
- $C_m(t)$  : couple moteur.
- $U_m(t)$  : tension aux bornes du moteur
- $e(t)$  : force contre électromotrice.
- $i(t)$  : intensité du courant d'induit
- $C_{\text{req}}$  : couple résistant équivalent à la résistance au roulement ramené sur l'arbre moteur. ( $C_{\text{req}} = 27,5 \text{ mN}\cdot\text{m}$ );

- $K_E = 0.0234 \text{ V.s/rad}$  : constante de la f.e.m. ;
- $K_T = 0.0355 \text{ N.m/A}$  : constante du couple ;
- $R = 1.5 \Omega$  : résistance d'induit.
- $L = 2.1 \text{ mH}$  : inductance d'induit.

**Equations :**

Equation électrique :  $U_m(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t);$

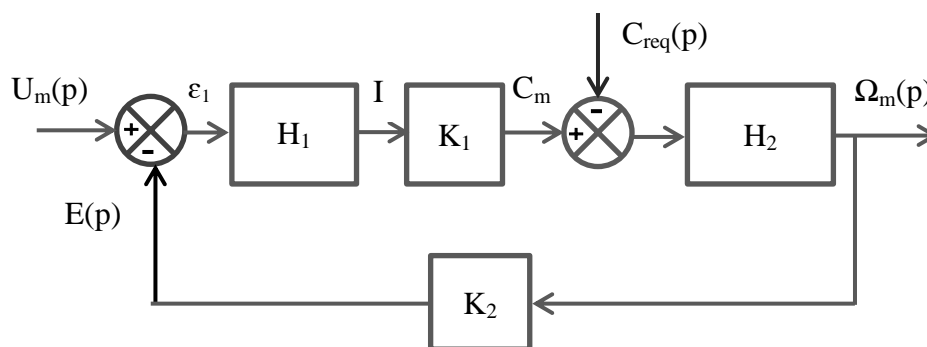
Equation mécanique :  $J_{eq} \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_{req}(t);$

Equation électromécanique 1:  $e(t) = K_E \Omega_m(t) ;$

Equation électromécanique 2 :  $C_m(t) = K_T i(t)$

- il y a roulement sans glissement au contact des roues motrices sur le sol ;
- l'utilisateur exerce un effort purement vertical de 60 N sur chacune des poignées ;
- la résistance au roulement des roues sur le sol induit un effort résistant de 25 N ;
- le diamètre des deux roues motrices est  $D_{roue} = 150 \text{ mm}$  ;
- les ensembles {réducteur + dispositif poulies-courroie} ont un rapport de réduction :

Le moteur est représenté par le schéma-blocs suivant :



**Figure 8 : Schéma-bloc modélisant le moteur d'entraînement du robot**

**Q19.** Ecrire les quatre équations du moteur dans le domaine de Laplace.

**Q20.** A partir des données et des équations du modèle équivalent, donner les expressions littérales des transmittances  $H_1$ ,  $K_1$ ,  $H_2$  et  $K_2$  ?

**Q21.** En déduire l'expression de  $\Omega_m$  en fonction de  $U_m$  et  $C_{req}$  et mettre le résultat sous la forme :

$$\Omega_m = H_a \cdot U_m + H_b \cdot C_{req}$$

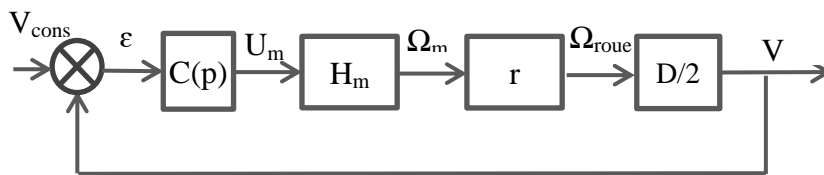
**Q22.** Montrer qu'en régime permanent ( $t \rightarrow \infty$ ) on peut écrire :  $\Omega_m = \frac{U_m}{K_E} - \frac{R}{K_E K_T} C_{req}$

Q23. Le système est-il insensible aux perturbations (variations de la charge)?

Q24. Que doit-être la valeur de  $U_m$  pour avoir  $\Omega_m = 514,53 \text{ rad/s}$  ? (équivalent à  $V=1 \text{ m/s}$ )

Q25. Que doit-être la valeur de  $U_m$  pour avoir  $\Omega_m = 257,27 \text{ rad/s}$  ? (équivalent à  $V=0.5 \text{ m/s}$ )

Pour améliorer les performances du système, on introduit alors un asservissement de vitesse qu'on peut modéliser par le schéma-bloc de la **figure 9**.



**Figure 9 : Schéma-bloc de la chaîne d'entraînement du robot**

Dans ce schéma :

- Pour la suite on adopte la fonction de transfert du moteur  $H_m$  du moteur

$$(P) \frac{1}{(1 + P)(1 + P)}$$

Avec :  $km=28 \text{ rad.s}^{-1}.V^{-1}$  ;

et

- $(P)$   $(1 + \frac{P}{T_i})$  désigne la fonction de transfert du correcteur proportionnel intégral.

Q26. Montrer sans calcul que ce correcteur annule l'erreur statique (2 lignes maximum)

Q27. On choisit  $T_i$  égale à la constante de temps dominante . Déterminer la nouvelle

fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO}(P)=V(P)/V_{cons}(P)$ .

Et mettre le résultat sous la forme :  $H_{BO}(P)=K_c.R(P)$

Q28. Le diagramme de Bode  $R(P)$  est donné sur le **Document annexe 2 page 13**.

Déterminer la valeur du correcteur proportionnel  $K_c$  pour que le système ait une marge de phase de  $45^\circ$ .

Annexe 2 : Diagrammes de Bode de R(P)

