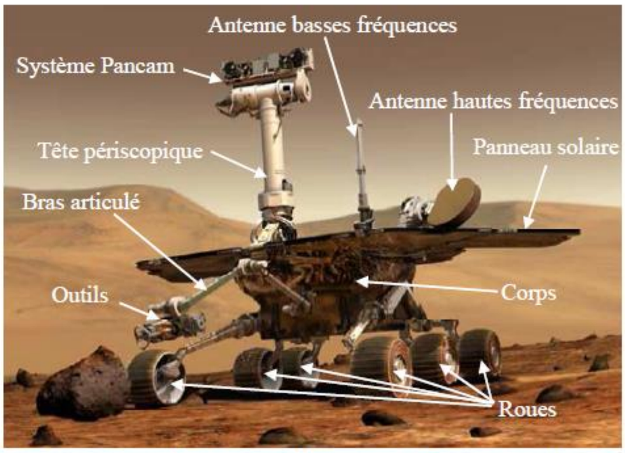
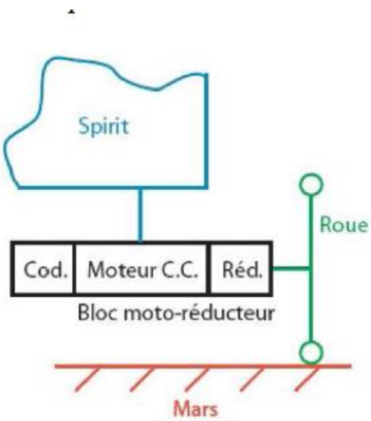
Etude des performances des motoréducteurs équipant les roues du robot Martien Spirit

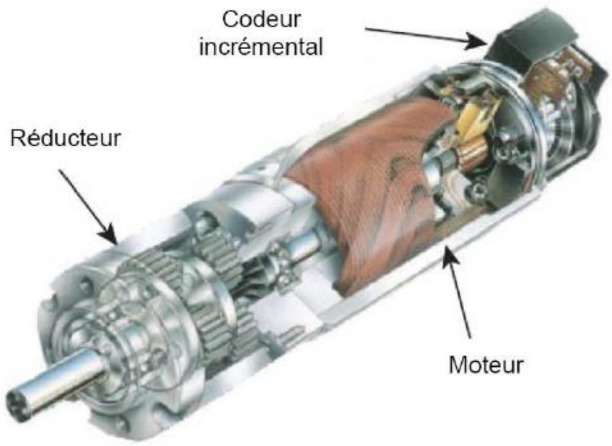
(Inspiré de X-ENS PSI 2005)

La mission Mars Exploration Rover (MER) est une mission spatiale confiée à la NASA. Elle a pour but d'explorer les sols de la planète Mars pour y rechercher la présence ancienne et prolongée d'eau. Cette exploration est réalisée grâce à deux rovers automatiques lancées depuis Cap Canaveral. Le premier rover se nomme robot Spirit. Il a été lancé le 10 juin 2003 et s'est posé le 3 janvier 2004 dans le cratère Gusev. Le second rover se nomme robot Opportunity, il a été lancé le 8 juillet 2003 et s'est posé le 24 janvier 2004 sur Meridiani Planum.



Pour faire avancer le robot, les six roues de Spirit sont équipées de motoréducteurs (le motoréducteur est un composant constitué d'un moteur, qui génère un mouvement de rotation, et d'un réducteur, qui réduit la vitesse de rotation du moteur par des engrenages) afin de faire tourner les roues. Le codeur incrémental permet de mesurer la rotation du moteur.



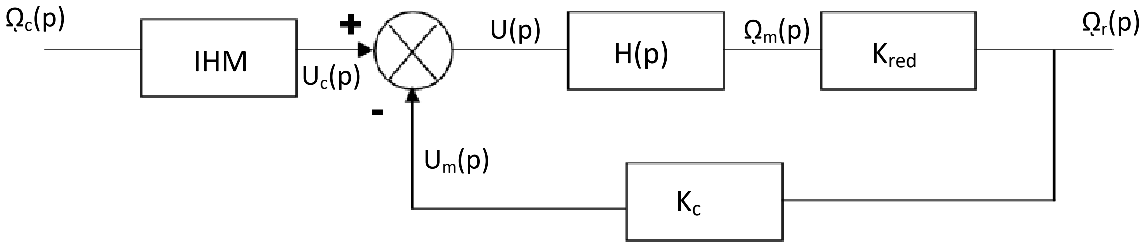


Les performances annoncées de la part du constructeur sont les suivantes :

Performances	Valeur
Vitesse de déplacement	1 km en moins de 5 heures
Pente du sol	+/- 30°
Temps de réponse à 5%	<200 ms

TD – SLCI : étude des systèmes fondamentaux du 1er ordre

La boucle d'asservissement en vitesse du motoréducteur se représente par le schéma bloc suivant :



Q1. *Déterminer le nom des composants de chaque bloc. Déterminer le gain de l'IHM.*

Q2. *Déterminer l'expression de la FTBF du système $\Omega_r(p) / \Omega_c(p)$.*

Nous allons maintenant détailler l'expression de H(p) du moteur seul.
Les équations du moteur utilisé (courant continu) sont les suivantes (inductance L négligée) :

$u(t) = e(t) + R.i(t)$ $\quad$ $e(t) = k_e.\omega_m(t)$ $\quad$ $J.\dfrac{d\,\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - f.\omega_m(t)$ $\quad$ $C_m(t) = k_m.i(t)$

Avec : u(t) = tension du moteur ; e(t) = force contre électromotrice du moteur ; i(t) = intensité dans le moteur $C_m(t)$ = couple exercé par le moteur ; $\omega_m(t)$ = vitesse angulaire du moteur. Les grandeurs physiques R, L, k_e, f et k_m sont des constantes.

Q3. *En supposant les conditions initiales nulles (ce qui sera également supposé dans tout le sujet), exprimer ces équations dans le domaine de Laplace et tracer le schéma bloc du moteur avec grandeurs et unités.*

Q4. *Montrer que la FTBF du moteur, notée $H(p)= \Omega_m(p) / U(p)$ peut s'écrire sous la forme d'un système du premier ordre dont vous déterminerez l'expression littérales de ses paramètres que l'on notera $\boldsymbol{K_m}$ et $\boldsymbol{\tau_m}$.*

Pour la suite, on considère $H(p) = \dfrac{K_m}{1+\tau_m p}$

Q5. *Remplacer H(p) dans l'expression de la FTBF du système (Q2) et montrer que la FTBF du système peut aussi se mettre sous la forme d'un 1er ordre dont vous donnerez l'expression de $\boldsymbol{K_{BF}}$ et $\boldsymbol{\tau_{BF}}$ en fonction de K_m, τ_m, K_c, K_{red}.*

L'ordinateur du robot demande maintenant un échelon de vitesse angulaire $w_c(t) = w_{c0}.u(t)$.

Q6. *Déterminer, en détaillant les étapes de votre raisonnement, l'expression de la réponse temporelle du système $w_r(t)$ à cet échelon en fonction de K_{BF} et τ_{BF}. Tracer l'allure de $w_r(t)$ en plaçant les points caractéristiques (sans valeurs).*

<u>Application numérique :</u>

On donne : K_{red}=0.5, K_c=3V/rad.s^{-1} et $H(p) = \dfrac{K_m}{1+\tau_m p} = \dfrac{1}{1+0.05p}$

Q7. *Déterminer l'expression numérique de la FTBF du système $\Omega_r(p)$ / $\Omega_c(p)$.*

Q8. *En déduire le temps de réponse à 5% du système. Conclure quant à la capacité du robot à satisfaire la performance de temps de réponse.*

Q9. *En supposant que l'on applique un échelon unitaire de vitesse angulaire w_{c0}=1 rad/s, déterminer l'erreur statique du système. Qu'en concluez-vous ? Quelle solution industrielle proposez-vous pour améliorer cette performance ?*

Le robot initialement immobile va bouger selon le déplacement $x_r(t)$ tel que $\frac{d\,x_r(t)}{dt} = R.w_r(t)$ où R est le rayon de la roue du robot (constante).

Q10. *Déterminer $X_r(p)$ en fonction de $\Omega_r(p)$ et compléter le schéma bloc en rajoutant ce dernier élément.*

L'ordinateur conserve cette consigne de vitesse angulaire à w_{c0}=1 rad/s-1. Le rayon de la roue est de 10cm.

Q11. *Déterminer le temps que met le robot à parcourir 1km, en négligeant la fonction exponentielle présente dans $x_r(t)$. Conclure quant à la capacité du robot à satisfaire la performance de vitesse de déplacement et de distance parcourue.*