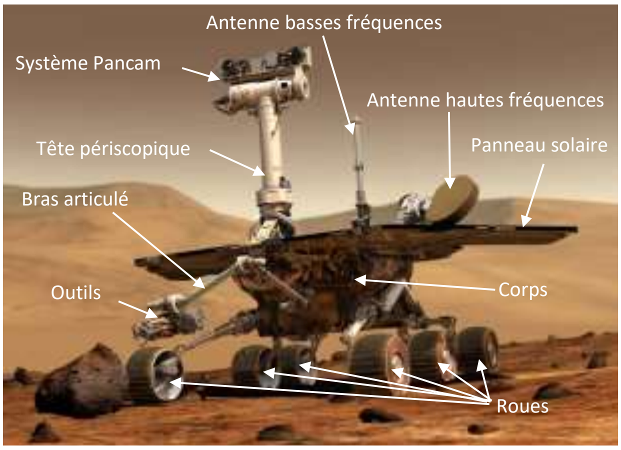
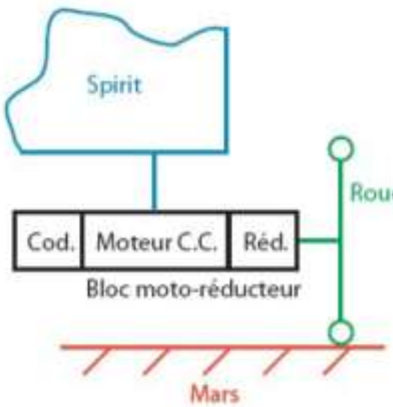
Etude des performances des motoréducteurs équipant les roues d'un robot Martien

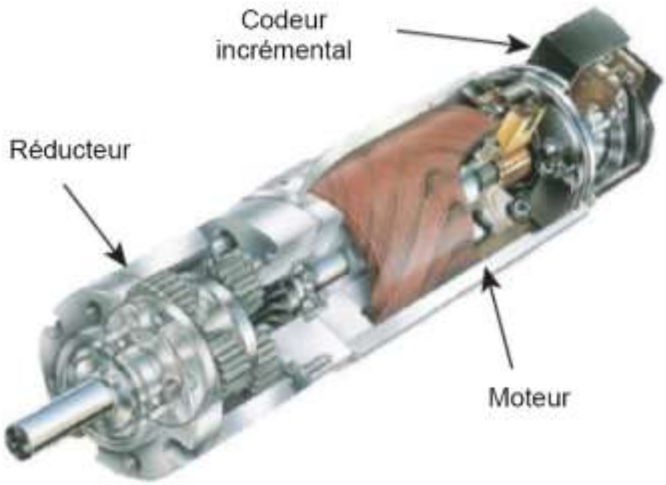
(Inspiré de X-ENS PSI 2005)

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.

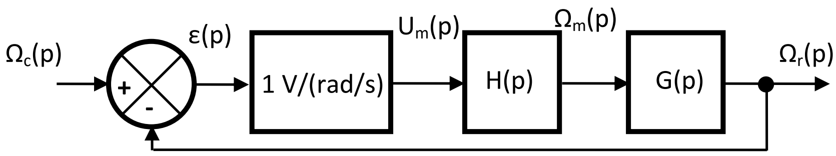




Les performances annoncées de la part du constructeur sont les suivantes :

Critère	Valeur
Vitesse de déplacement	1 km en moins de 2 heures
Pente du sol	+/- 30°
Temps de réponse à 5%	<200 ms

Le motoréducteur peut se représenter par le schéma bloc simplifié suivant :



Q.1. Déterminer le nom des composants qui réalisent les fonction H(p) et G(p).

Q.2. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du système : $\dfrac{\Omega_r(p)}{\Omega_c(p)}$.

Le modèle de connaissance du moteur utilisé (moteur à courant continu) est le suivant :

$u_m(t) = e(t) + R.i(t)$ $e(t) = k_e.\omega_m(t)$ $J.\dfrac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - f.\omega_m(t)$ $C_m(t) = k_t.i(t)$

Avec : $u_m(t)$ = 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_t sont des constantes.

Q.3. En supposant les conditions initiales nulles (ce qui sera également supposé dans tout le reste de l'exercice), exprimer ces équations dans le domaine de Laplace.

Q.4. Montrer que, dans le domaine de Laplace, la relation entre $\Omega_m(p)$ et $U_m(p)$ peut s'écrire sous la forme : $\frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = \frac{K_m}{1+T_m.p}$ où K_m et T_m sont deux constantes à déterminer.

L'application numérique des grandeurs physiques permet de trouver la fonction suivante :
$\frac{\Omega_r(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K}{1+T.p}$, avec K=1 et T=0,05s.

Q.5. Déterminer $\omega_r(t)$ lorsque l'ordinateur du robot demande un échelon de rotation $\omega_c(t) = \omega_{c0}.u(t)$. Exprimer le résultat en fonction de K et T.

Q.6. Déterminer le temps de réponse à 5% du système et effectuer l'application numérique. Conclure quant à la capacité du robot à satisfaire la performance de temps de réponse.

Q.7. Le robot, initialement immobile, bouge selon le déplacement $x_r(t)$ tel que $\frac{d}{dt}x_r(t) = R.\omega_r(t)$ où R est rayon de la roue (R=constante). Déterminer $X_r(p)$ en fonction de $\Omega_r(p)$.

Q.8. Toujours dans le cas où l'ordinateur du robot demande un échelon de rotation $\omega_c(t) = \omega_{c0}.u(t)$, déterminer la transformée de Laplace de $X_r(p)$ et en déduire $x_r(t)$.

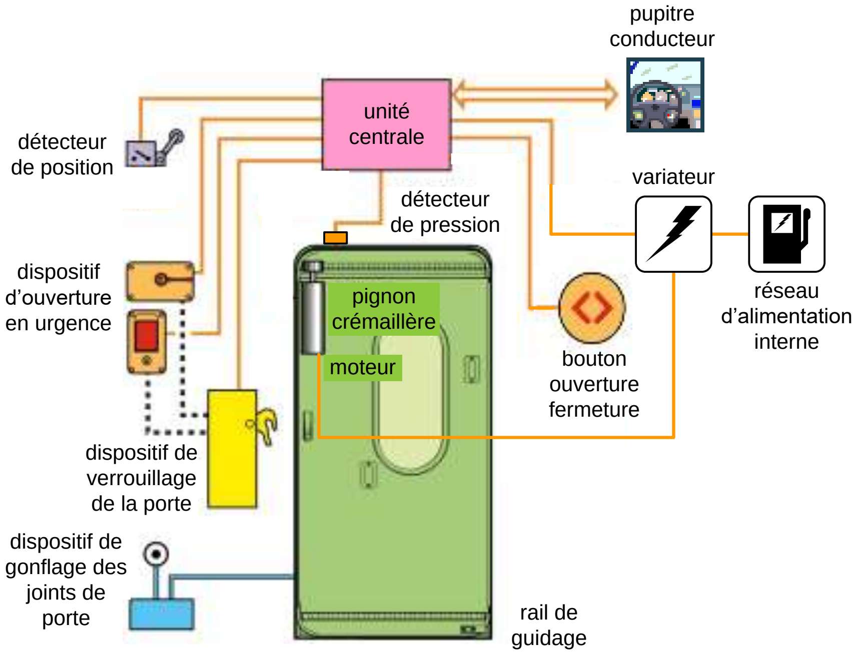
La vitesse angulaire que l'ordinateur du robot impose est ω_{c0}=2rad.s^{-1}. Le rayon de la roue est R=10cm.

Q.9. Déterminer le temps que met le robot à parcourir 1 km, en négligeant la fonction exponentielle présente dans $x_r(t)$. Justifier a posteriori que la fonction exponentielle était bien négligeable. Conclure quant à la capacité du robot à satisfaire la performance de vitesse de déplacement.

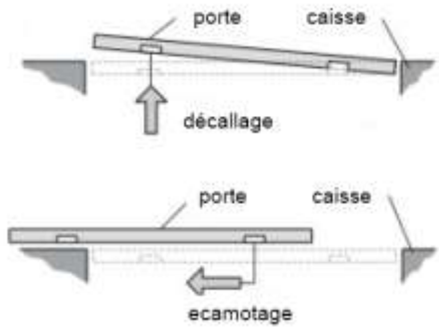
Etude des performances du système d'ouverture de porte automatique de TGV

(Inspiré de Centrale-Supelec MP 2008)

La figure de droite montre l'interface assurant, à partir des informations délivrées par l'unité centrale de commande, la fermeture hermétique et le verrouillage d'une porte de TGV.



Afin de satisfaire les contraintes d'encombrement, l'ouverture de la porte s'effectue selon l'enchaînement temporel de trois phases distinctes décrites à partir de la position « porte fermée » pour laquelle la face extérieure de la porte est alignée avec la face extérieure de la caisse : une phase de décalage puis une phase de louvoiement et enfin une phase d'escamotage. La phase primaire (décalage) puis la phase terminale (escamotage) sont définies par les figures ci-contre.



Les performances annoncées de la part du constructeur, dans la phase d'escamotage, sont les suivantes :

Critère	Valeur
Accès suffisant du wagon	850 mm
Temps d'ouverture de la porte en phase d'escamotage	t≤4s
Vitesse d'accostage de la porte en fin de phase d'escamotage	V≤0,09m/s

Pour ouvrir la porte, on utilise un moteur, dont la rotation est transformée en translation par l'intermédiaire d'un système pignon crémaillère. La translation de la porte est notée y(t). L'angle de rotation du moteur est noté $\theta_m(t)$. Le lien entre y(t) et $\theta_m(t)$ est $y(t) = R.\theta_m(t)$ où R est le rayon du pignon (R=37 mm).

On fait l'hypothèse qu'à l'instant initial, correspondant au début de la translation de la porte, la porte est immobile, avec $y(t=0)=0$ et $\theta_m(t=0)=0$ (toutes les autres conditions initiales seront également nulles, par conséquent).

Grâce à une redéfinition du paramétrage et dans un souci de simplification, on considère qu'au cours de cette phase la vitesse angulaire du moteur vérifie $\omega_m(t) = \frac{d}{dt}\theta_m(t) \geq 0$ et la position de la porte vérifie $y(t) \geq 0$.

On donne le modèle de connaissance du moteur courant continu du système :

$u_m(t) = e(t) + R_m.i(t)$ $\qquad e(t) = k_e.\omega_m(t)$ $\qquad J.\dfrac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t)$ $\qquad C_m(t) = k_m.i(t)$

Avec : $u_m(t)$ = 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.

Q.1. Exprimer ces équations dans le domaine de Laplace.

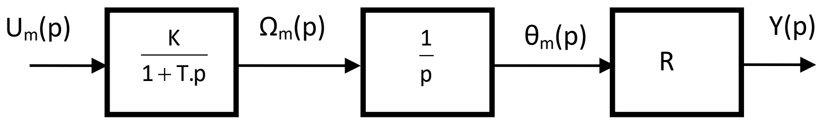
Q.2. Schématiser le schéma-bloc du moteur en s'aidant des équations de la question 1.

Q.3. Montrer que, dans le domaine de Laplace, la relation entre $\Omega_m(p)$ et $U_m(p)$ peut s'écrire sous la forme : $\dfrac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = \dfrac{K}{1+T.p}$ où K et T sont deux constantes à déterminer.

Q.4. Déterminer $\omega_m(t)$ lorsque le moteur est soumis à un échelon de tension d'amplitude u_0 tel que : $u_m(t)= u_0.u(t)$. Exprimer et justifier le résultat en fonction de K et T.

Q.5. L'application numérique fournit $K=1{,}2s^{-1}.V^{-1}$ et $T=0{,}16s$. Déterminer le temps de réponse à 5% du moteur.

Le schéma bloc du système peut se mettre sous la forme suivante :



Q.6. Justifier la fonction de transfert entre $\Omega_m(p)$ et $\theta_m(p)$.

Q.7. Déterminer l'expression analytique de $\dfrac{Y(p)}{U_m(p)}$.

Q.8. Déterminer l'expression analytique de y(t) lorsque le moteur est soumis à un échelon de tension d'amplitude u_0.

Q.9. Déterminer la valeur numérique du déplacement de la porte au bout de 4 s (u_0=5V), et conclure quant à la capacité du système à satisfaire le critère d'accès au wagon du cahier des charges.

Q.10. Déterminer la vitesse de la porte à la fin de la translation ($v(t=4s)= \dfrac{d}{dt}y(t=4s)$). Conclure quant à la capacité du système à satisfaire le critère de vitesse finale de translation de la porte du cahier des charges.