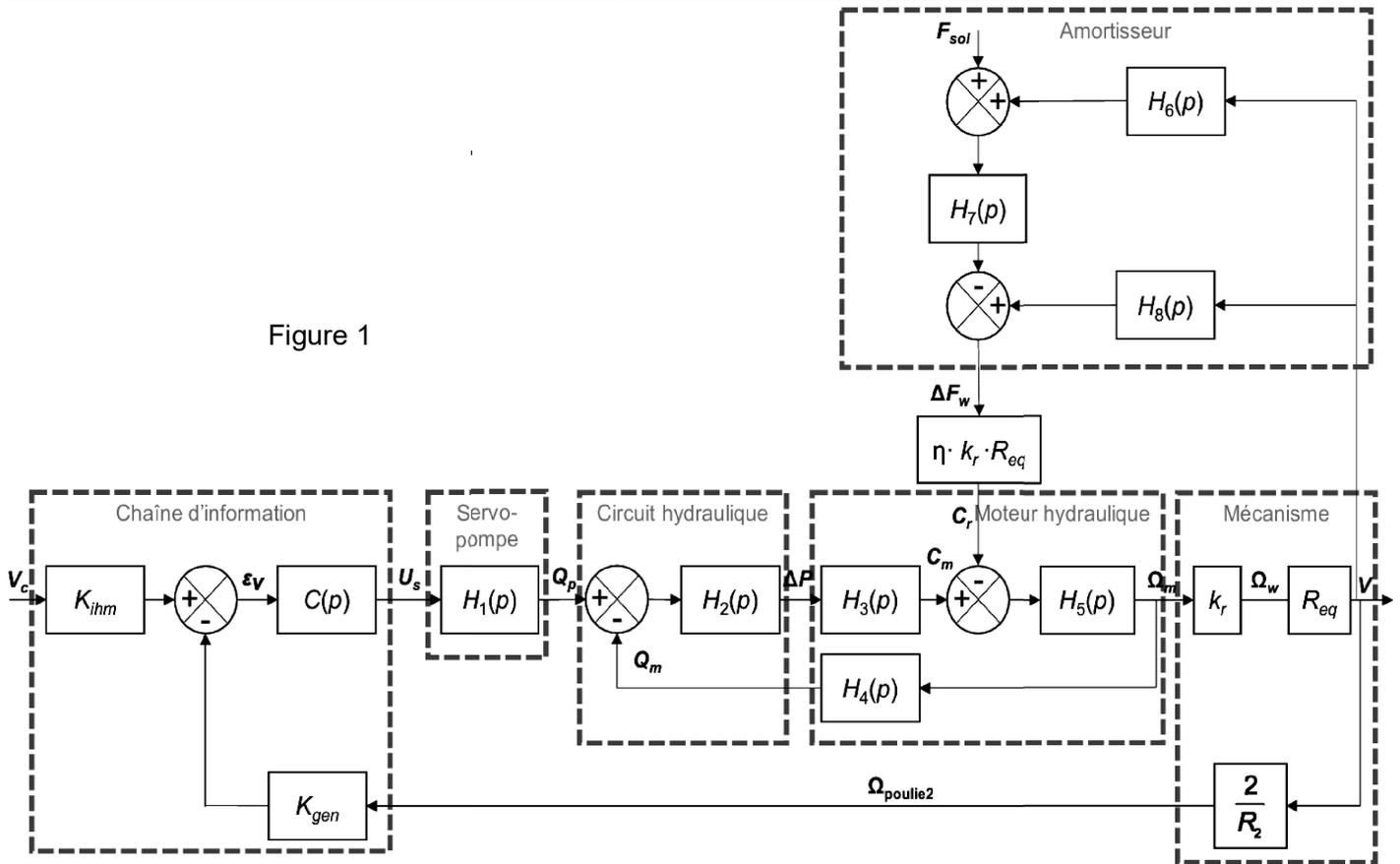


**PARTIE 1 ETUDE D'UN ACTIONNEUR HYDRAULIQUE (EXTRAIT D'UN SUJET CCINP MP)**

Figure 1



**Sous-systèmes Servo-pompe, Circuit hydraulique et Moteur hydraulique**

Ces sous-systèmes sont représentés sur le schéma-bloc de la figure 1. Le dispositif de positionnement de la table de forage et de son outil utilisent de l'énergie hydraulique. Les modèles de connaissance pour ces systèmes hydrauliques sont donnés ci-dessous :

- Le dispositif est contrôlé par une électrovanne proportionnelle de gain  $K_s$ . Le débit disponible est noté  $q_p$ , la tension délivrée par la partie commande est notée  $U_s$  et on a :

$$q_p(t) = K_s \cdot u_s(t) \quad (i)$$

- Les équations de mécanique des fluides dans un circuit fermé permettent d'écrire :

$$\frac{V_0}{B} \cdot \frac{d\Delta p(t)}{dt} = q_p(t) - q_m(t) \quad (ii)$$

$V_0$  désigne le volume dans le circuit et  $B$  est le coefficient de compressibilité du fluide.  $\Delta p$  désigne une différence de pression dans le circuit et  $q_m$  un débit retour.

- Les lois de comportement hydromécanique permettent d'introduire le lien entre la vitesse de rotation du moteur hydraulique  $\omega_m$  et le débit  $q_m$  d'une part et entre le couple moteur et le différentiel de pression  $\Delta p$  d'autre part. On note  $C_\gamma$  la cylindrée du moteur et on a :

$$q_m(t) = C_\gamma \cdot \omega_m(t) \quad (iii)$$

$$C_m(t) = C_\gamma \cdot \Delta p(t) \quad (iv)$$

- L'équation du mouvement du mécanisme s'écrit :

$$J_{eq} \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} + a \cdot \omega_m(t) = C_m(t) - C_r(t) \quad (v)$$

**Q1.** Traduire les cinq équations (i), (ii), (iii), (iv) et (v) dans le domaine de Laplace.

**Q2.** Exprimer chacune des cinq fonctions de transfert  $H_1(p), H_2(p), H_3(p), H_4(p)$  et  $H_5(p)$ , sous la forme :

$H_i(p) = \frac{S_i(p)}{E_i(p)}$ . Les entrées  $E_i(p)$  et les sorties  $S_i(p)$   $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$  sont à trouver sur la figure 1.

**Q3.** Expliciter les cinq fonctions de transfert  $H_1(p), H_2(p), H_3(p), H_4(p)$  et  $H_5(p)$  en fonction de  $p$ , à partir des résultats de la question 1 et 2.

**Q4.** On montre que la fonction de transfert  $\frac{\Omega_m(p)}{Q_p(p)}$ , notée  $H(p)$  s'écrit :

$$H(p) = \frac{H_2(p) \cdot H_3(p) \cdot H_5(p)}{1 + H_4(p) \cdot H_2(p) \cdot H_3(p) \cdot H_5(p)}$$

Donner l'expression de  $H(p)$  en fonction des données du sujet et de  $p$ . Mettre l'expression sous forme canonique, déterminer l'ordre, la classe et le gain statique de la fonction.

Pour la suite on prendra  $H(p) = \frac{\frac{1}{C_Y}}{1 + \frac{a \cdot V_0}{B \cdot C_Y^2} \cdot p + \frac{J_{eq} \cdot V_0}{B \cdot C_Y^2} \cdot p^2}$  et on soumet cette fonction de transfert à une entrée en échelon  $u_{s0}(t)$ .

**Q5.** Dessiner l'évolution de la fonction temporelle  $q_{p0}(t)$ . Donner l'expression de l'échelon dans le domaine de Laplace, on supposera un temps initial égal à zéro.

**Q6.** Déterminer la valeur finale  $\omega_m(+\infty)$ , pour une entrée en échelon  $q_{p0}$ . Calculer l'erreur absolue, le système est-il précis ?

**Q7** Pour augmenter la précision de la fonction de transfert on utilise un correcteur  $C(p) = K_p \frac{(1 + \tau_i p)}{\tau_i p}$  placé après le correcteur. Cela donne une fonction de transfert corrigée

$$H_{corr}(p) = \frac{\frac{1}{C_Y} K_p (1 + \tau_i p)}{\tau_i p \left( 1 + \frac{a \cdot V_0}{B \cdot C_Y^2} \cdot p + \frac{J_{eq} \cdot V_0}{B \cdot C_Y^2} \cdot p^2 \right) + \frac{1}{C_Y} K_p (1 + \tau_i p)}$$

Déterminer la valeur finale  $\omega_m(+\infty)$ , pour une entrée en échelon  $q_{p0}$ . Calculer l'erreur absolue, le système est-il précis ?

PARTIE 2 ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT EN DEPLACEMENT DU ROBOT SPIRIT

Le robot Spirit a été conçu par la NASA pour étudier la composition chimique de la surface de la planète Mars. Pour satisfaire ce cas d'utilisation, le robot doit respecter plusieurs exigences grâce en partie aux solutions techniques listées ci-dessous :

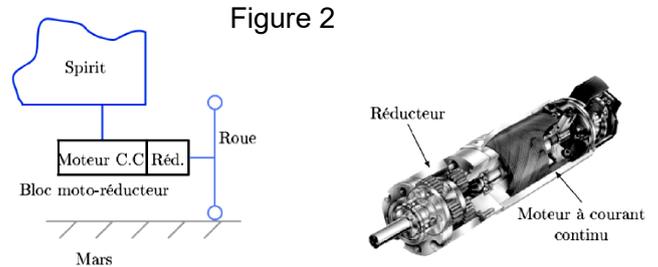


- Un corps, appelé Warm Electronic Box , dont la fonction est d'assurer la liaison entre les divers composants. Il supporte les batteries qui sont chargées par des capteurs solaires. Il protège également l'électronique embarquée des agressions extérieures.
- Une tête périscopique orientable dont la fonction est d'orienter le système appelé Pancam (Panoramic Camera) qui se trouve à 14m de hauteur. Ce dernier fournit une vue en 3 dimensions de l'environnement. Le traitement des images acquises par les caméras du système Pancam permet à Spirit de réaliser une cartographie des terrains et donc de trouver de manière autonome son chemin en évitant les obstacles. Cette autonomie de déplacement est renforcée par l'utilisation de quatre caméras de direction situées sur le corps.
- 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. L'étude de la roche par ces quatre outils se fait par des carottages horizontaux.

- Six roues, animées chacune par un motoréducteur, dont la fonction est d'assurer le déplacement de Spirit sur un sol caillouteux. Les deux roues avant et arrière possèdent de plus un moteur permettant au robot de pivoter sur lui-même (jusqu'à un demi tour).
- Un système de communication et des antennes hautes et basses fréquences, dont la fonction est de permettre à Spirit de communiquer avec la terre.

On va s'intéresser à la motorisation d'une roue du robot ainsi qu'à l'asservissement en position du robot.

Sur la figure 2 on voit que la motorisation d'une roue est assurée par un moto-réducteur constitué d'un moteur à courant continu et d'un réducteur à train épicycloïdal de rapport de réduction  $r=50$ . On suppose que la roue (de diamètre  $D_{roue}=400$  mm) est couplée sur l'arbre de sortie du réducteur. L'énergie électrique continue est fournie par une batterie, l'énergie est distribuée au moteur électrique par un circuit de puissance (hacheur).



On note :

- $u_B$  la tension à la sortie de la batterie
- $u_m$  la tension à l'entrée du moteur
- $\omega_m$  la vitesse angulaire à la sortie du moteur
- $\omega_r$  la vitesse angulaire à la sortie du réducteur
- $x_s$  le déplacement rectiligne du robot en supposant un déplacement rectiligne
- $V_s$  la vitesse linéaire du robot

**Q8** Compléter la chaîne de puissance figure 3, noter les fonctions assurées par les composants ainsi que leur nom, noter également les grandeurs physiques de potentiel et de flux échangées entre les composants.

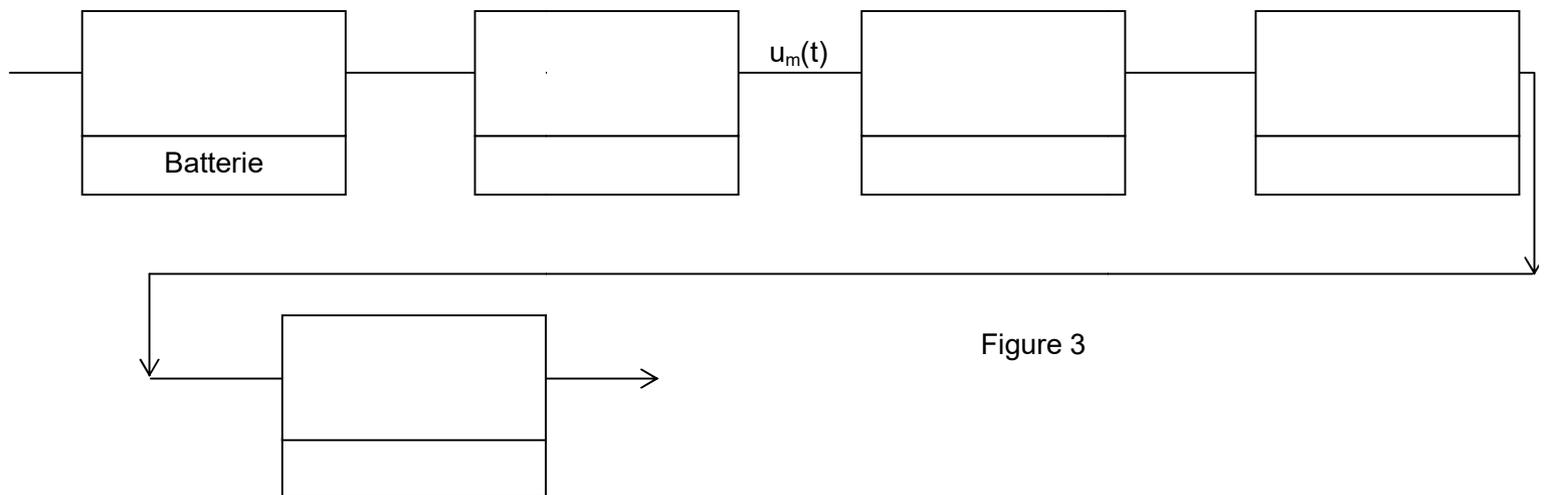
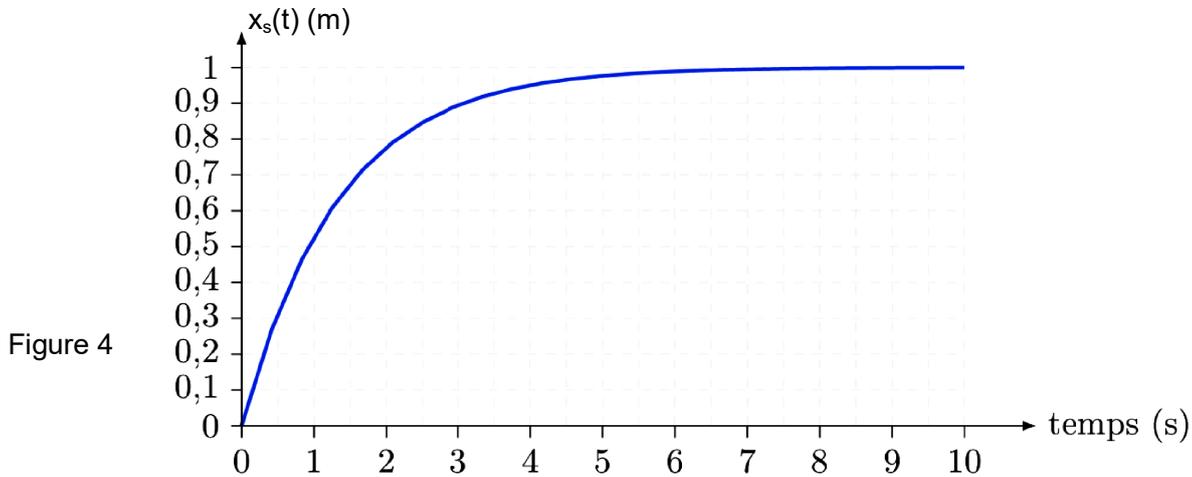


Figure 3

- Q9** Déterminer les rapports de transmission  $\frac{\omega_r}{\omega_m}$  et  $\frac{V_s}{\omega_r}$ . En déduire le rapport  $\frac{V_s}{\omega_m}$ . Donner une réponse littérale puis faire l'application numérique.
- Q10** On souhaite que le robot se déplace à la vitesse de 5km/h, déterminer littéralement  $N_m$  la fréquence de rotation du moteur en tr/min à imposer, puis faire l'application numérique
- Q11** Donner la relation temporelle entre  $x_s$  et  $V_s$ . En déduire dans le domaine de Laplace la fonction de transfert  $\frac{X_s(p)}{U_m(p)}$

On effectue une expérimentation sur le robot en imposant une consigne de déplacement en échelon de  $x_{s0}=1$  m. La figure 4 donne la réponse du déplacement du robot en fonction du temps.

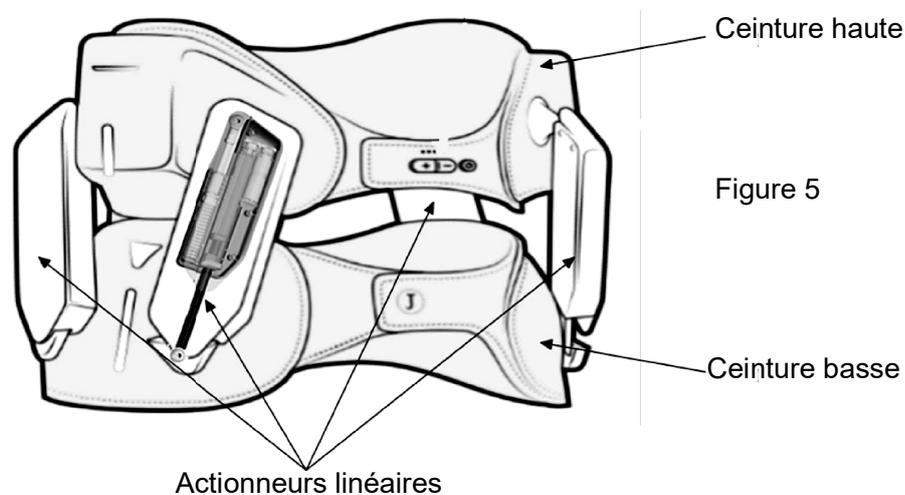
**Q12** Indiquer les arguments qui justifient que la réponse est du premier ordre.



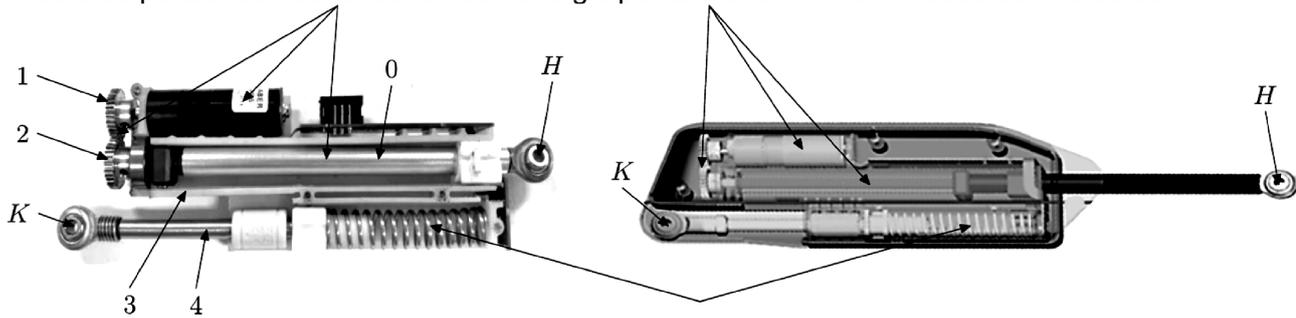
**Q13** Déterminer en faisant des tracés clairs et précis les constantes de la fonction de transfert de cette réponse, donner le nom des grandeurs déterminées et écrire la fonction de transfert  $\frac{X_s(p)}{X_{s0}(p)}$ .

PARTIE 3 ÉTUDE D'UN ACTIONNEUR LINEAIRE ELECTRIQUE D'UN EXOSQUELETTE LOMBAIRE

Les exosquelettes sont des solutions biomécaniques destinées à apporter une assistance ou un soutien physique à ceux qui les utilisent. La figure 5 représente l'exosquelette lombaire conçu par la société Japet. Il se présente sous la forme de deux ceintures (basse et haute) reliées par quatre actionneurs linéaires qui accompagnent les mouvements du patient tout en permettant un soutien de la colonne vertébrale.



Chaine de puissance : transmission de l'énergie par une chaine moteur-réducteur-vis-écrou



Capteur d'effort de l'actionneur linéaire : mesure de l'effort par déformation du ressort

Figure 6 Actionneur linéaire

Dans la configuration spécifique retenue, les points K et H sont immobiles par rapport au châssis du banc d'essai.

Les solides (0) et (4) sont immobiles par rapport au châssis du banc d'essai ;

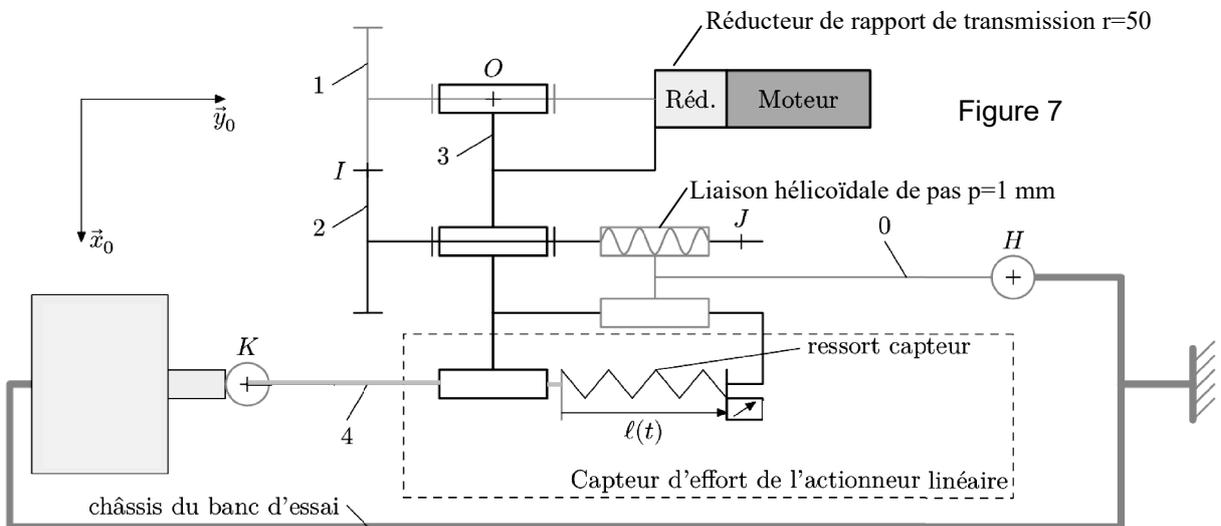
Le solide (1) est constitué de l'arbre de sortie du réducteur et d'une roue dentée de  $Z_1$  dents ( $Z_1=30$ );

Le solide (2) est constitué de la vis et d'une roue dentée de  $Z_2$  dents ( $Z_2=30$ );

L'ensemble (3) est mobile en translation d'axe  $\vec{y}_0$ , le moteur et le réducteur font partis de l'ensemble (3).

La vitesse de rotation du moteur est notée  $\omega_m$ , la vitesse de sortie du réducteur est notée  $\omega_r$ , la vitesse de déplacement de l'ensemble (3) est notée  $V_{3/0}$

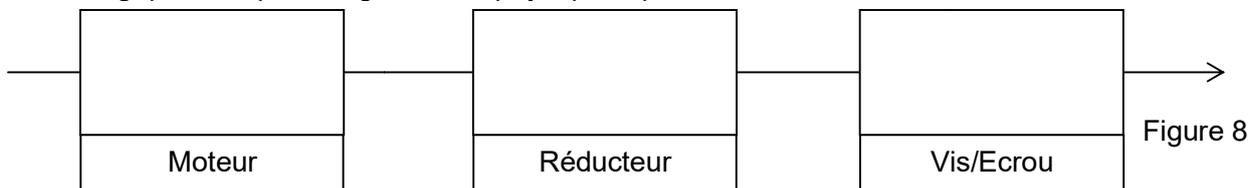
**Q14** Repasser le plus proprement possibles avec des couleurs différentes chacun des solides 0, 1, 2, 3 et 4 sur la figure 7.



**Q15** Tracer le graphe des liaisons du mécanisme.

**Q16** Nommer la transmission de puissance mécanique entre (1) et (2). Nommer la transmission entre (3) et (0).

**Q17** Compléter la figure 8 en notant dans chaque bloc la fonction assurée par chaque système technologique, indiquer les grandeurs physiques qui entrent et sortent des blocs.



- Q18** Déterminer littéralement les rapports de transmission  $i_1 = \frac{\omega_r}{\omega_m}$  et  $i_2 = \frac{V_{3/0}}{\omega_r}$ . En déduire le rapport global  $i = \frac{V_{3/0}}{N_m}$  avec  $N_m$  la fréquence de rotation.
- Q19** Déterminer numériquement la fréquence de rotation  $N_m$  pour une vitesse imposée de  $V_{3/0} = 1 \text{ mm.s}^{-1}$ . Prendre  $r = 50$  et  $p = 1 \text{ mm}$ .
- Q20** Le couple moteur est égal à  $2 \text{ N.m}$  et le capteur de force mesure une valeur de force de sortie égale à  $500 \text{ N}$ . Déterminer le rendement de l'actionneur. Quel nom technologique pourrait-on donner à cet actionneur.