






SCIENCES DE L'INGENIEUR

SUJET « A »

Qui peut utiliser ce sujet de SCIENCES DE L'INGENIEUR ?

- Profil Violet **OUI** 
- Profil Jaune **OUI** 
- Profil Vert **NON** 

Etude n°1

Cette étude s'intéresse à un **actionneur linéaire** qui réalise l'**ouverture et la fermeture de la porte cargo de l'avion ATR72**. La zone d'implantation de ce convertisseur de puissance est illustrée par la **figure 1**.



Figure 1

La **figure 2** donne un aperçu de cet **actionneur linéaire** dans son environnement. Le corps **3** et la tige **4** de l'**actionneur linéaire**, sont en liaison pivot, respectivement de centre (A, \vec{z}_0) par rapport au fuselage **5** et de centre (B, \vec{z}_0) par rapport au levier **2**. Lorsque le moteur électrique de l'actionneur est alimenté, la tige **4** effectue un mouvement de translation d'axe (AB) qui entraîne le levier **2** en mouvement de rotation de centre (D, \vec{z}_0) par rapport au fuselage **5**. Ce levier **2** transmet la puissance à la porte **1** via une liaison linéaire rectiligne de normale (C, \vec{u}) .

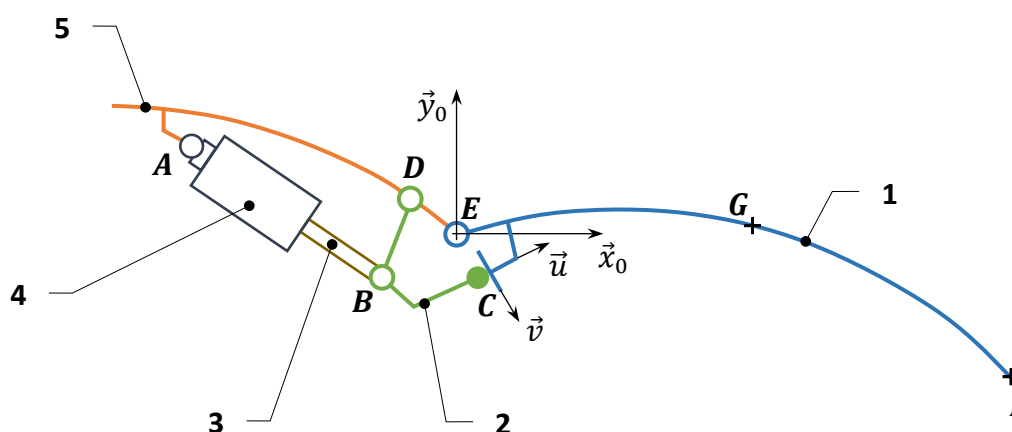


Figure 2 (source Ingénierie Mécanique Tome 2 éditions DunodSup)

1. La liaison mécanique entre 1 et 5 est constituée de :

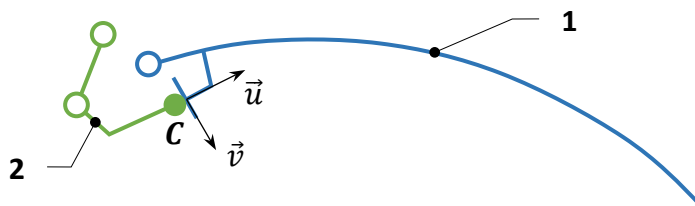
- A. 1 composante de vitesse linéaire et une composante de vitesse angulaire
- B. 1 composante de vitesse linéaire d'axe (O, \vec{x}_0)
- C. 1 composante de vitesse angulaire d'axe (E, \vec{z}_0)
- D. 3 degrés de liberté

2. La trajectoire du point I appartenant au solide 1 par rapport à 5 est :

- A. l'arc de cercle de centre D et de rayon $[DI]$
- B. la droite (EI)
- C. une trajectoire quelconque
- D. l'arc de cercle de centre E et de rayon $[EI]$

3. La liaison linéaire rectiligne de normale (C, \vec{u}) , entre les solides 1 et 2, est composée de :

- A. 2 rotations et 2 translations
- B. 3 rotations et translations
- C. 2 degrés de liberté
- D. 1 degré de liberté



4. Pour la liaison pivot en B, supposée parfaite et sans jeu entre les solides 3 et 2 :

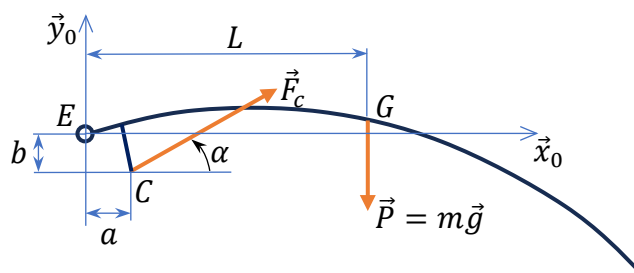
- A. $\vec{V}_{B \in 3/2} = [AB]. \omega_{4/5}. \vec{Z}_0$
- B. $\vec{V}_{B \in 3/2} = \vec{0}$
- C. $\vec{V}_{B \in 3/2} = [AC]. \omega_{3/2}. \vec{Z}_0$
- D. $\vec{V}_{B \in 3/2} = [AB]. \omega_{3/2}. \vec{Z}_0$

5. Pour les solides 2, 3, 4 et 5, la loi de composition de la vitesse au point B s'écrit :

- A. $\vec{V}_{B \in 2/5} = \vec{V}_{B \in 5/2} + \vec{V}_{B \in 5/3} + \vec{V}_{B \in 3/4}$
- B. $\vec{V}_{B \in 2/5} = \vec{V}_{C \in 2/4} - \vec{V}_{C \in 4/3} + \vec{V}_{B \in 3/5}$
- C. $\vec{V}_{B \in 2/5} = \vec{V}_{B \in 2/4} + \vec{V}_{B \in 4/3} + \vec{V}_{B \in 3/5}$
- D. $\vec{V}_{B \in 2/5} = \vec{V}_{B \in 4/2} + \vec{V}_{B \in 4/3} + \vec{V}_{B \in 5/2}$

6. Pour la mise en position d'équilibre de la porte 1, le théorème du moment statique au point E s'écrit :

- A. $mgL = b.F_c.\cos\alpha + a.F_c.\sin\alpha$
- B. $mgL + a.F_c.\cos\alpha + b.F_c.\sin\alpha = 0$
- C. $mgL - a.F_c.\cos\alpha - b.F_c.\sin\alpha = 0$
- D. $mgL + a.F_c.\cos\alpha - b.F_c.\sin\alpha = 0$



La **figure 3** illustre le schéma du modèle cinématique de l'**actionneur linéaire**. La roue dentée Z_J est solidaire de l'arbre moteur **8**. Le réducteur est composé de 4 engrenages. La liaison entre **5** et **6**, réalisée par un système vis/écrou à billes, est définie par son pas p .

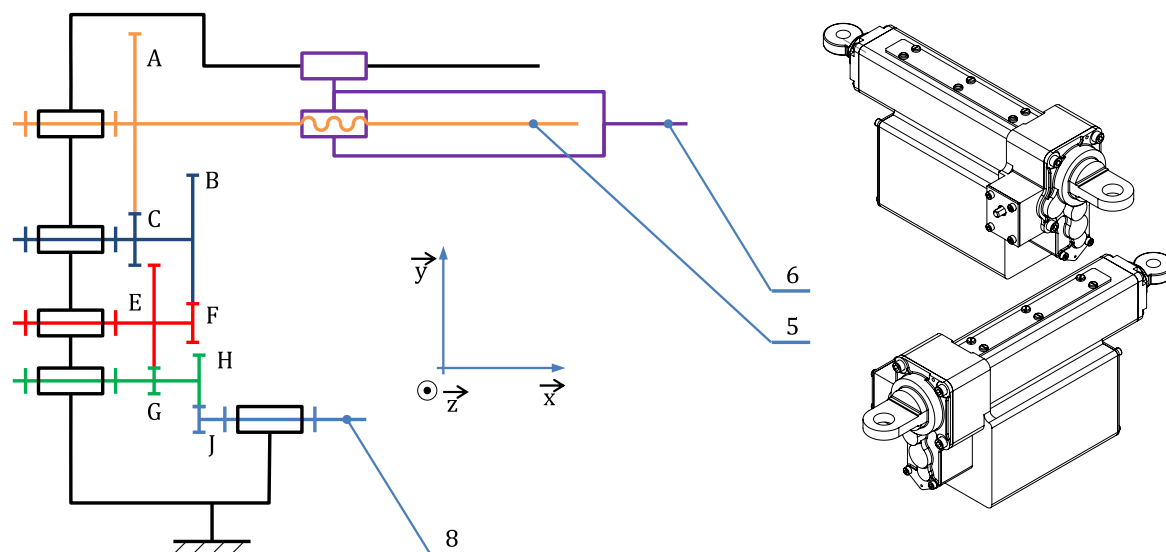


Figure 3 (source Ingénierie Mécanique Tome 2 éditions DunodSup)

7. L'expression du rapport de réduction $r = \omega_5 / \omega_8$ s'écrit :

- A. $(Z_J + Z_G + Z_F + Z_C) / (Z_H + Z_E + Z_B + Z_A)$
- B. $(Z_H + Z_E + Z_B + Z_A) / (Z_J + Z_G + Z_F + Z_C)$
- C. $(Z_H \cdot Z_E \cdot Z_B \cdot Z_A) / (Z_J \cdot Z_G \cdot Z_F \cdot Z_C)$
- D. $(Z_J \cdot Z_G \cdot Z_F \cdot Z_C) / (Z_H \cdot Z_E \cdot Z_B \cdot Z_A)$

8. Pour $N_8 = 2800 \text{ tr/min}$, $p = 8 \text{ mm}$ et $r = 1/140$, la vitesse de translation du solide 6, notée V_6 , est égale à :

- A. $2,7 \text{ mm/s}$
- B. 150 mm/s
- C. $1,25 \text{ m/s}$
- D. $1,5 \text{ m/s}$

9. Pour un couple moteur de 1 N.m , avec un rendement de 80% du réducteur et un rapport de réduction de $1/140$, le couple sur 5 (en N.m) est égal à :

- A. $0,8 \cdot (1/140)$
- B. 112
- C. $140/0,8$
- D. $11,2$

Etude n°2

L'étude proposée s'appuie sur le rover **Curiosity** illustré en **figure 4**. Ce véhicule robotisé, développé par la NASA, a été mis en service sur la planète Mars le 6 août 2012. Sa mission consiste à déterminer si la planète rouge a été occupée par une forme de vie. Prévu initialement pour une mission de 22 mois, ce rover est toujours en activité.



Figure 4 (source NASA)

La **modélisation cinématique 3D** du rover **Curiosity** est illustrée par le schéma cinématique de la **figure 5**. Par souci de clarté, les roues et les liaisons de la partie droite du rover n'ont pas été schématisées.

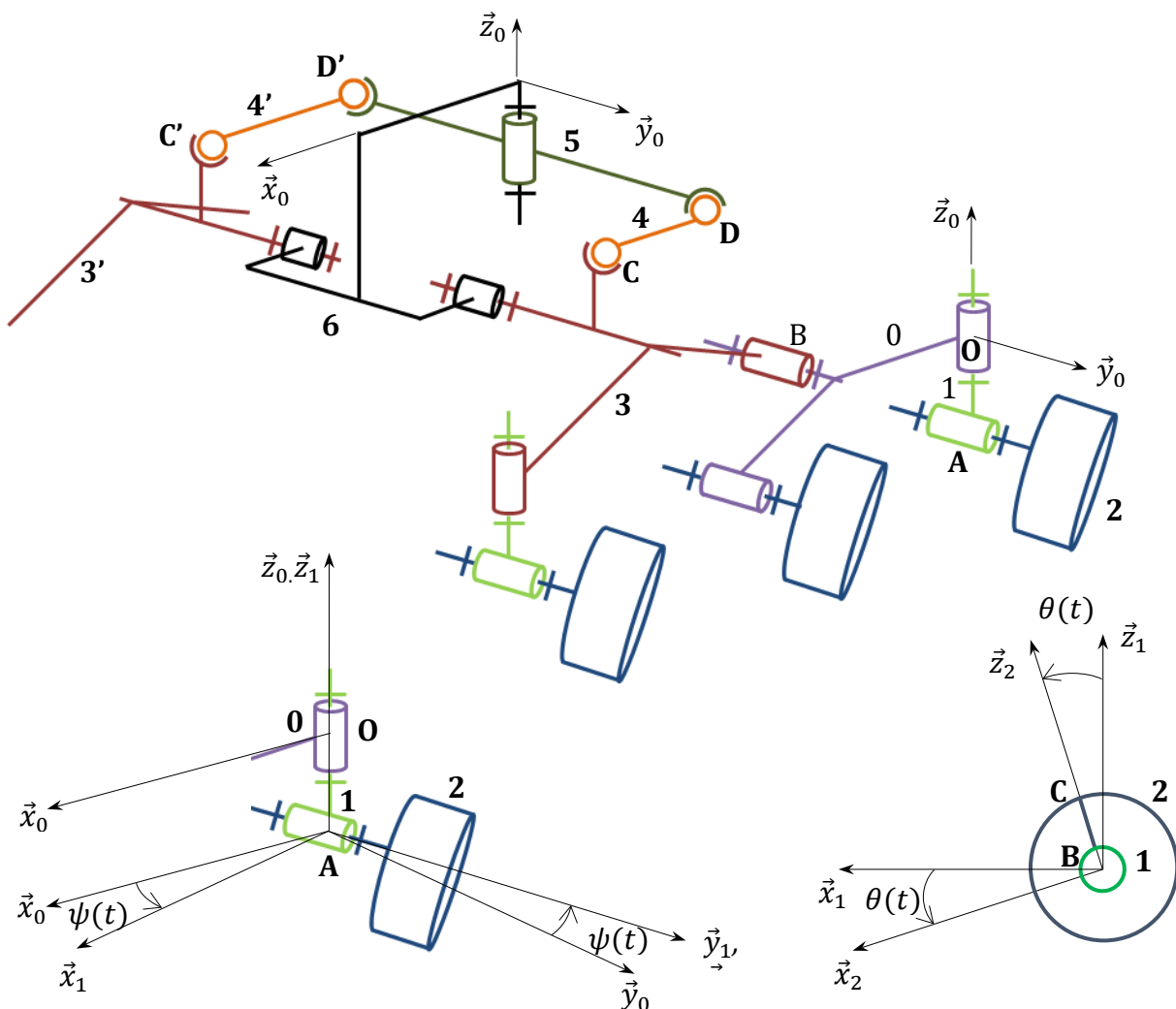


Figure 5 (source Mécatronique pour l'Ingénieur éditions Ellipses)

10. En considérant une masse de 900 kg du Rover et une vitesse de déplacement maximale de 5 cm/s, l'énergie cinétique est égale à :

- A. 6250 J
- B. 12,5 J
- C. 9 J
- D. 1,125 J

11. Pour un mouvement rectiligne uniforme de 5 cm/s du Rover, avec une diamètre des roues de 500 mm, la fréquence de rotation des roues motrices est d'environ :

- A. 0,5 tr/min
- B. 0,96 tr/min
- C. 1,91 tr/min
- D. 15,5 tr/min

12. Pour la figure 5, le torseur de l'action transmissible au point C, entre les solides 3 et 4, possède :

- A. 2 composantes de résultante force et 2 composantes de moment
- B. 3 composantes de résultante force et 0 composante de moment
- C. 0 composante de résultante force et 3 composantes de moment
- D. 1 composante de résultante force et 1 composante de moment

13. Pour la figure 5, le vecteur de vitesse angulaire du solide 2 par rapport au solide 0 s'écrit :

- A. $\dot{\psi}(t) \cdot \vec{z}_1 + \dot{\theta}(t) \cdot \vec{y}_2$
- B. $\dot{\theta}(t) \cdot \vec{y}_2 + \sin\theta \cdot \dot{\psi}(t) \cdot \vec{z}_1$
- C. $\dot{\psi}(t) \cdot \vec{z}_1 - \dot{\theta}(t) \cdot \vec{y}_2$
- D. $\dot{\psi}(t) \cdot \vec{z}_1 + \cos\psi \cdot \dot{\theta}(t) \cdot \vec{y}_2$

14. Pour un mouvement circulaire uniformément varié du solide 1 par rapport au solide 0, avec $\dot{\psi}(t) = \ddot{\psi}(t) \cdot t + \dot{\psi}_0$, l'expression de $\psi(t)$ est de la forme :

- A. $\psi(t) = 0,5\ddot{\psi} \cdot t^2$
- B. $\psi(t) = 0,5\ddot{\psi} \cdot t^2 + \dot{\psi}_0 \cdot t + \psi_0$
- C. $\psi(t) = 0$
- D. $\psi(t) = \psi_0$

15. Pour la liaison pivot en O entre le solide 1 et le solide 0, le torseur de l'action mécanique transmissible a pour expression :

A. $\left\{ \begin{matrix} X & L \\ Y & M \\ Z & 0 \end{matrix} \right\}_{R_0}$

B. $\left\{ \begin{matrix} X & L \\ Y & M \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\}_{R_0}$

C. $\left\{ \begin{matrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{matrix} \right\}_{R_0}$

D. $\left\{ \begin{matrix} X & L \\ Y & M \\ Z & N \end{matrix} \right\}_{R_0}$

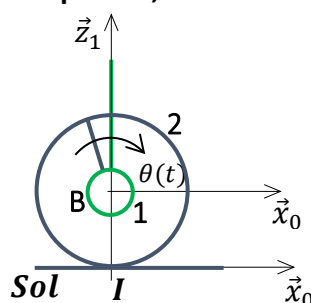
16. La condition de roulement sans glissement au point I , entre le solide 2 et le sol, s'écrit

A. $\vec{0} = \vec{V}_{I \in 2/1} + \vec{V}_{I \in 1/sol}$

B. $\vec{V}_{I \in 2/1} = \vec{V}_{I \in 1/sol}$

C. $\vec{V}_{I \in 2/1} = \vec{V}_{B \in 2/1}$

D. $\vec{V}_{I \in 2/sol} = \vec{V}_{B \in 2/1} + \vec{V}_{I \in 1/sol}$



La **figure 6a** donne un aperçu du bras robotisé qui équipe le Rover Curiosity. La **figure 6b** modélise le paramétrage du bras **1** (masse m et longueur a) et de l'avant-bras **2** (masse m et longueur b). L'action mécanique en P a pour expression $\vec{F} = -F\vec{y}$. Le couple moteur en O a pour expression $\vec{C}_m = C_m \cdot \vec{z}$. L'accélération de pesanteur sur Mars est notée \vec{g} . La résultante d'action de liaison en O a pour expression : $\vec{R}_O = X_O\vec{x} + Y_O\vec{y}$.



Figure 6a (source NASA)

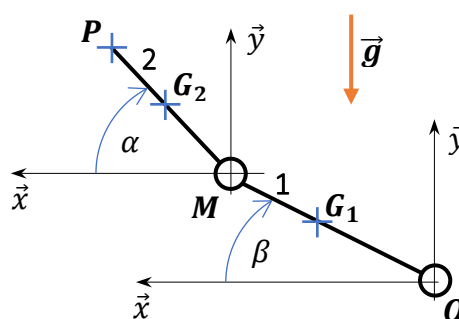


Figure 6b

17. Pour l'ensemble $S = \{1 + 2\}$, le théorème de la résultante statique en projection sur \vec{y} s'écrit :

- A. $-F - 2mg = 0$
- B. $-F - 2mg - C_m = 0$
- C. $-F - 2mg - C_m + Y_O = 0$
- D. $-F - 2mg + Y_O = 0$

18. Le théorème du moment statique au point O , en projection sur \vec{z} , s'écrit :

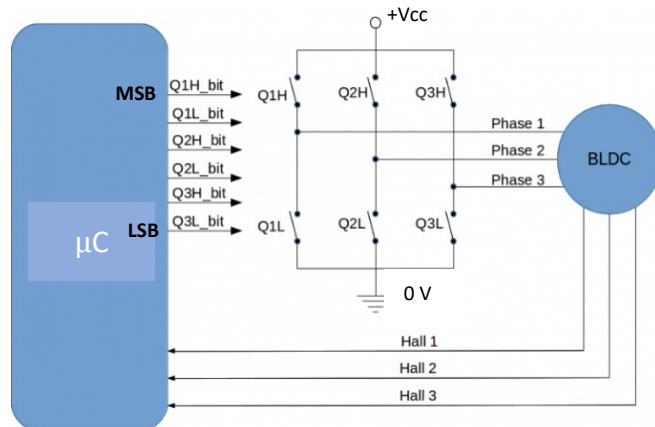
- A. $-F.(a\cos\alpha + b\sin\beta) - mg.(a\sin\alpha + b\cos\beta) - mg(b\cos\beta) - C_m = 0$
- B. $F.(a\cos\alpha + b\sin\beta) - mg.(a\sin\alpha + b\cos\beta) - mg(b\cos\beta) - C_m = 0$
- C. $F.(a + b) + mg.(0,5.a\cos\alpha + b\cos\beta) + mg(0,5.b\cos\beta) + C_m = 0$
- D. $-F.(a\cos\alpha + b\cos\beta) - mg.(0,5b\cos\alpha + a\cos\beta) - mg(0,5a\cos\beta) + C_m = 0$

19. Pour $\beta = 0$, la valeur de α qui donne une valeur maximale de C_m est

- A. $\alpha = 0$ ou $\alpha = \pi$
- B. $\alpha = 0$
- C. $\alpha = \pi/2$
- D. $\alpha = \pi/4$

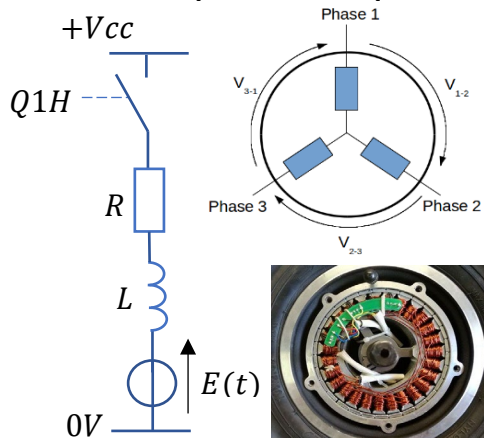
20. Pour le schéma de principe de la variation de vitesse du moteur Brushless (BLDC) du bras 1, et pour l'alimentation de la bobine de la phase 2 en série avec la bobine de la phase 3, le mot binaire pour les interrupteurs Q est égal à :

- A. 010101
- B. 101010
- C. 011010
- D. 001001



21. Pour le modèle électrique proposé de l'enroulement de la phase 1, lorsque Q1H est fermé, la Loi des Mailles s'écrit :

- A. $V_{cc} = Ri(t) + Ldi(t)/dt - E(t)$
- B. $V_{cc} = Ri(t) + E(t)$
- C. $V_{cc} = Ri(t) + Ldi(t)/dt + E(t)$
- D. $V_{cc} = Ri(t) - E(t)$



La **figure 7a** donne un aperçu de deux modules batteries Li-Ion montés en parallèle. Un générateur thermoélectrique à radioisotope (uranium 238) permet d'effectuer la recharge par conversion de la chaleur en énergie électrique. La **figure 7b** illustre le schéma de principe électrique. Chaque batterie est équipée de **8 cellules « Cell »** modélisées par **8 générateurs de tension**. L'ensemble des deux batteries fournit une tension nominale de **30 V** et une charge de **10 Ah**.

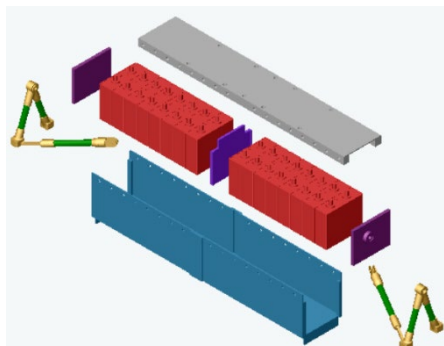


Figure 7a (source NASA)

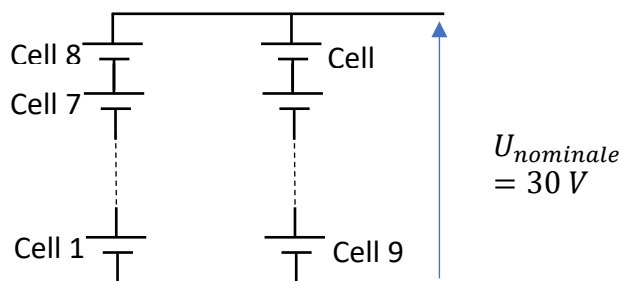


Figure 7b

22. L'énergie embarquée par les deux batteries chargées vaut :

- A. 300 J
- B. 300 kJ
- C. 1080 J
- D. 1080 kJ

23. La tension nominale aux bornes d'une cellule « Cell » vaut :

- A. 15 V
- B. 1,875 V
- C. 3,75 V
- D. 30 V

24. La charge nominale d'une cellule « Cell » est égale à :

- A. 0,625 Ah
- B. 1,25 Ah
- C. 5 Ah
- D. 10 Ah

La **figure 8** illustre la courbe de décharge d'une cellule « Cell ». L'équation de la tension aux bornes d'une cellule a pour expression :

$$U_{cell}(t) = e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} + U_{min}$$

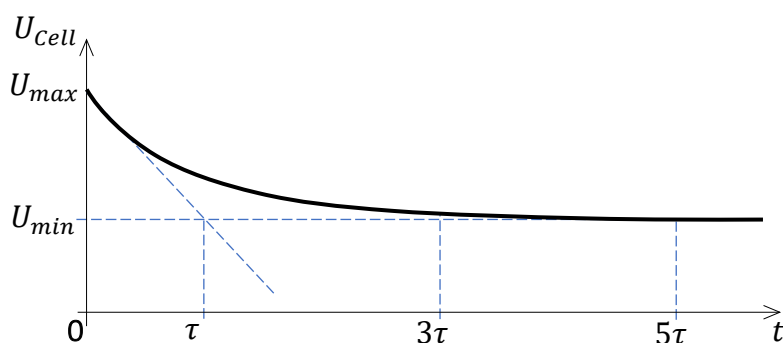


Figure 8

25. En considérant la courbe de décharge d'une cellule de la figure 8, et pour $U_{min} = 3,75 \text{ V}$, la valeur de U_{max} est égale à :

- A. $3,75 \text{ V}$
- B. $4,75 \text{ V}$
- C. 5 V
- D. $5,25 \text{ V}$

26. Pour $t = 5\tau$, la valeur de U_{cell} est égale à :

- A. $1,05. U_{min}$
- B. $0,95. U_{min}$
- C. $0,95. U_{max}$
- D. $0,63. U_{max}$

Le capteur de température du Rover est relié à un microcontrôleur via un **bus I2C**. Ce capteur de douze bits de résolution (4096 combinaisons) a une plage de mesure comprise entre -200°C et 200°C . L'envoi de la trame commence par les bits de poids faible (B7 à B0) puis par ceux de poids plus forts (B11 à B8). La **liaison I2C** est classique avec un **adressage sur 7 bits**. L'enregistrement de la trame étudiée est donné en **figure 9**.

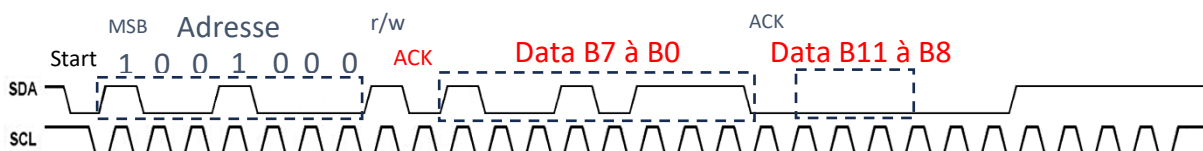


Figure 9

27. L'adresse du capteur de température, exprimée en Hexadécimale, est égale à :

- A. 48
- B. 4A
- C. A8
- D. F4

28. La valeur décimale de Data est égale à

- A. 309
- B. 307
- C. 151
- D. 156

29. Pour une plage de mesure comprise entre -200°C et 200°C avec une résolution de $0,1^{\circ}\text{C/bit}$, la température correspondant à $\text{Data} = 1000000$ est égale à :

- A. -64°C
- B. 64°C
- C. $-193,6^{\circ}\text{C}$
- D. $-52,6^{\circ}\text{C}$

Etude n°3

L'airbus A380, illustré en **figure 8**, est équipé de quatre gouvernes de profondeur disposées symétriquement sur le **Plan Horizontal Réglable (PHR)** de l'avion.

Chaque gouverne de profondeur est mise en rotation par une unité de commande constituée d'un **actionneur linéaire hydraulique** qui fait l'objet d'une étude. Cette description est illustrée par la **figure 9**.



Figure 8

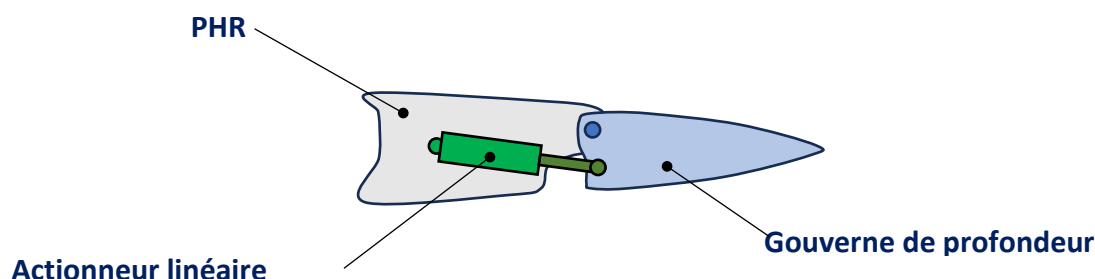


Figure 9 (source Mécatronique pour l'Ingénieur éditions Ellipses)

La **figure 10** donne un aperçu de l'asservissement en position de l'**actionneur linéaire hydraulique**. Celui-ci est composé d'un comparateur de type amplificateur différentiel, d'un servo-distributeur hydraulique, d'un vérin hydraulique et d'un capteur de position. La consigne de position (tension) est notée $u_c(t)$. Le capteur de position renvoie une tension notée $u_s(t)$ qui est l'image de la position $x(t)$. Le débit d'huile $q(t)$ est proportionnel au courant $i(t)$ délivré par l'amplificateur différentiel.

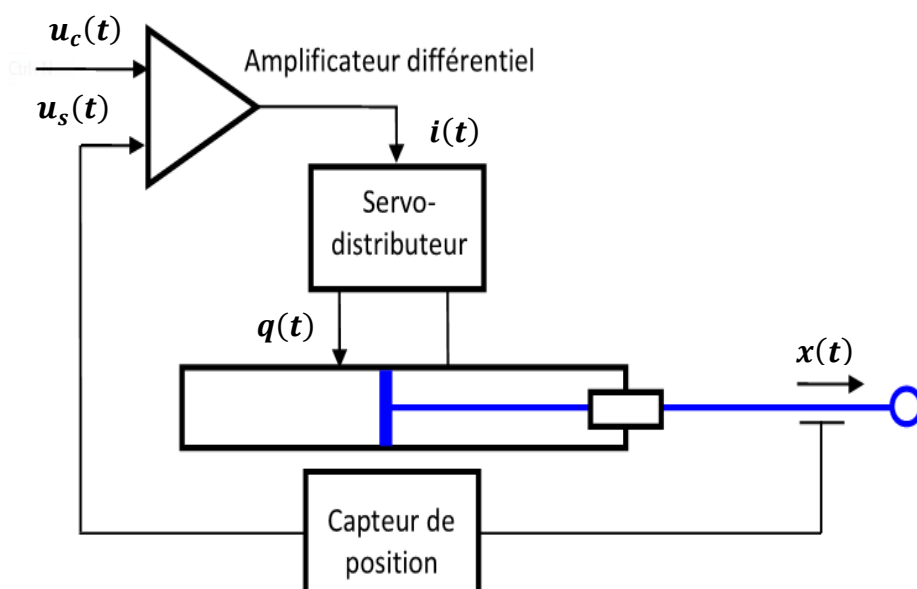


Figure 10 (source Mécatronique pour l'Ingénieur éditions Ellipses)

30. La valeur du gain du capteur de position est exprimée en :

- A. m^{-1}
- B. $m.V^{-1}$
- C. $V.m^{-1}$
- D. V^{-1}

31. Pour une pression maximale de 80 bars et un diamètre du piston de 80 mm, l'effort maximal développé par l'actionneur (exprimé en N) est égal à :

- A. 320π
- B. 640π
- C. 6400π
- D. 12800π

Considérons à présent la modélisation du servo-distributeur de la forme :

$$i(t).K_d = T.\frac{dq(t)}{dt} + q(t) \text{ avec } K_d = 2 \text{ et } T = 0,2$$

32. La valeur de K_d est exprimée en :

- A. seconde (s)
- B. Ampère (A)
- C. Ampère par mètre cube ($A.m^{-3}$)
- D. mètre cube par seconde par Ampère ($m^3.s^{-1}.A^{-1}$)

33. Pour le régime permanent, $q(t)$ a pour expression :

- A. $q(t) = 5.i(t)$
- B. $q(t) = 2.i(t)$
- C. $q(t) = 0,5.i(t)$
- D. $q(t) = 0$

Le schéma blocs de l'asservissement est donné en **figure 11**. La modélisation du comparateur est de la forme :

$$u_c(t) = \frac{i(t)}{K_a} + u_s(t)$$

Avec $K_a = 0,5$

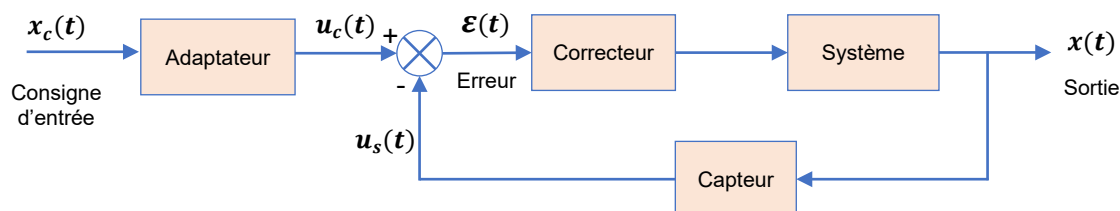
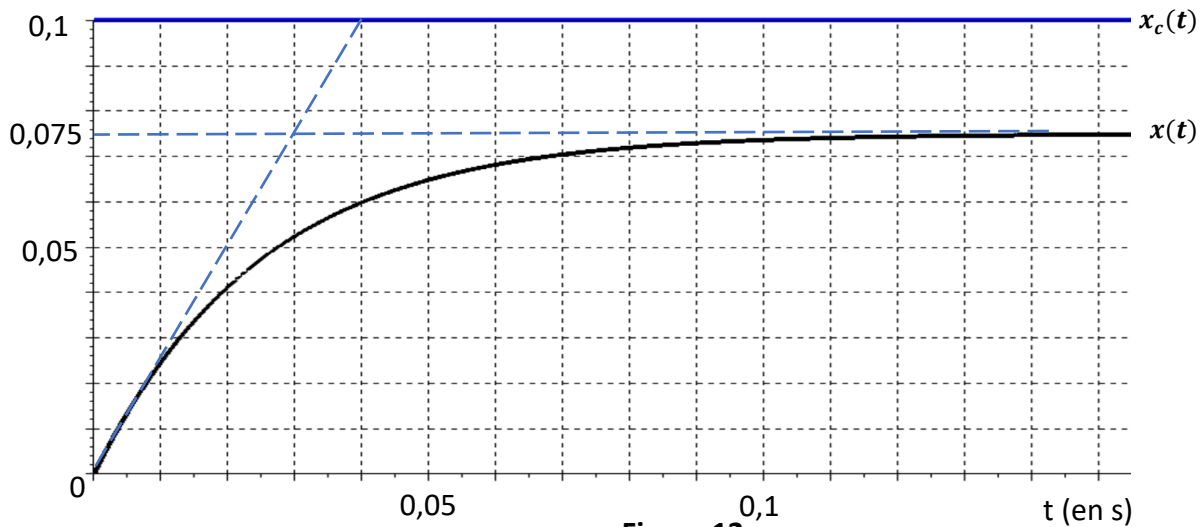


Figure 11

34. L'erreur $\varepsilon(t)$ a pour expression :

- A. $u_c(t) - x(t)$
- B. $u_c(t).K_a$
- C. $u_c(t) - u_s(t)$
- D. $u_c(t) - x(t).K_a$

Pour une consigne en échelon $x_c(t) = 0,1 \text{ m}$, l'évolution de la position $x(t)$ est donnée en **figure 12**.



35. Pour la figure 12, le gain statique vaut :

- A. 0,1
- B. 0,1/0,075
- C. 0,075
- D. 0,75

36. Pour la figure 12, la constante de temps est égale à :

- A. 0,03 s
- B. 0,05 s
- C. 0,07 s
- D. 0,1 s

37. Pour la figure 12, l'erreur statique vaut :

- A. 0 m
- B. 0,1 m
- C. 0,025 m
- D. 0,2 m

38. Pour une simulation avec Matlab ou Scilab, avec la variable p de Laplace, l'expression de la fonction de transfert $S(p)/U(p)$ est de la forme :

- A. $3,75/(1 - p)$
- B. $0,75/(1 + 0,03p)$
- C. $0,75/(1 - 0,03p)$
- D. $3,75/0,03p$

39. Pour $u(t) = 0,2$, l'expression de $s(t)$ est de la forme :

- A. $0,2 \cdot (1 - e^{-t/0,03})$
- B. $1 - 2e^{-t/0,03}$
- C. $0,2 \cdot e^{-t/0,03}$
- D. $0,15 \cdot (1 - e^{-t/0,03})$

40. Pour annuler l'erreur statique, le correcteur est de la forme

- A. Proportionnel
- B. Proportionnel et Intégral
- C. Proportionnel et Dérivé
- D. Minimum de phase

• • • FIN • • •

Ce sujet est la propriété intellectuelle exclusive du Concours Avenir. Il ne doit en aucun cas être emporté par les candidats à la fin de l'épreuve. Il doit être rendu à l'équipe surveillante en même temps que sa grille réponse associée.