

## Proposition de corrigé

Concours : Concours Centrale-Supélec

Année : 2017

Filière : TSI

Épreuve : Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](http://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

### A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

### Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : [corrigesconcours@upsti.fr](mailto:corrigesconcours@upsti.fr).

### Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : [www.upsti.fr](http://www.upsti.fr)

L'équipe UPSTI

**II. Exigence fonctionnelle : « assurer le mouvement vertical »**

**a. Élaboration du modèle géométrique direct et du modèle articulaire inverse**

**Q 1. Détermination des coordonnées opérationnelles  $l_4$  et  $h(t)$ .**

Écriture de la fermeture géométrique :

$$\vec{O_0A} + \vec{AO_1} + \vec{O_1O_2} + \vec{O_2O_0} = \vec{0} \rightarrow l_4 \cdot \vec{y_0} + L \cdot \vec{y_1} + l_1 \cdot \vec{y_2} - h(t) \cdot \vec{z_0} = \vec{0}$$

En projetant sur  $\vec{y_0}$  et  $\vec{z_0}$  :

- Sur  $\vec{y_0}$  :  $l_4 + L \cdot \cos \theta_{10} + l_1 \cdot \cos(\theta_{10} + \theta_{21}) = 0$
- Sur  $\vec{z_0}$  :  $L \cdot \sin \theta_{10} + l_1 \cdot \sin(\theta_{10} + \theta_{21}) - h(t) = 0$

On en déduit :

$$l_4 = -L \cdot \cos \theta_{10} - l_1 \cdot \cos(\theta_{10} + \theta_{21}) \quad (1)$$

$$h(t) = L \cdot \sin \theta_{10} + l_1 \cdot \sin(\theta_{10} + \theta_{21}) \quad (2)$$

**Q 2. Détermination du modèle articulaire inverse en suivant les conseils du sujet.**

- Recherche de  $\theta_{21}$  :

En élevant au carré les équations (1) et (2) et en les additionnant, on obtient :

$$l_4^2 + h(t)^2 = L^2 + 2L \cdot l_1 [\cos(\theta_{10} + \theta_{21}) \cdot \cos(\theta_{10}) + \sin(\theta_{10} + \theta_{21}) \cdot \sin(\theta_{10})] + l_1^2$$

On identifie la forme  $\cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b = \cos(a - b)$

$$\Rightarrow \cos(\theta_{21}) = \frac{l_4^2 + h(t)^2 - L^2 - l_1^2}{2L \cdot l_1} \quad \text{d'où} \quad \theta_{21} = \arccos\left(\frac{l_4^2 + h(t)^2 - L^2 - l_1^2}{2L \cdot l_1}\right)$$

- Recherche de  $\theta_{10}$  :

On utilise le modèle géométrique direct avec les équations proposées dans le sujet :

$$l_1 \cdot \cos(\theta_{10} + \theta_{21}) = l_4 + L \cdot \cos \theta_{10} \quad (3)$$

$$l_1 \cdot \sin(\theta_{10} + \theta_{21}) = h(t) - L \cdot \sin \theta_{10} \quad (4)$$

En élevant au carré les équations (3) et (4) et en les additionnant, on obtient :

$$2 \cdot L \cdot l_4 \cdot \cos \theta_{10} - 2L \cdot h(t) \cdot \sin \theta_{10} = l_1^2 - h(t)^2 - L^2 - l_4^2$$

On pose  $\cos(\varphi) = \frac{l_4}{\sqrt{l_4^2 + h(t)^2}}$  et  $\sin(\varphi) = \frac{-h(t)}{\sqrt{l_4^2 + h(t)^2}}$

On en déduit alors :

$$\cos(\theta_{10} - \varphi) = \frac{l_1^2 - h(t)^2 - L^2 - l_4^2}{2 \cdot L \cdot \sqrt{l_4^2 + h(t)^2}} \quad \text{et} \quad \varphi = \text{Arctan}\left(-\frac{h(t)}{l_4}\right)$$

Enfinement :  $\theta_{10} = \arccos\left(\frac{l_1^2 - h(t)^2 - L^2 - l_4^2}{2 \cdot L \cdot \sqrt{l_4^2 + h(t)^2}}\right) + \text{Arctan}\left(-\frac{h(t)}{l_4}\right)$

**b. Élaboration du modèle cinématique**

**Q 3. Détermination de la vitesse angulaire  $\dot{\theta}_{21}$**

En dérivant l'expression de  $\cos(\theta_{21})$ , on obtient :

$$-\dot{\theta}_{21} \cdot \sin(\theta_{21}) = \frac{\dot{h}(t) \cdot h(t)}{L \cdot l_1} \Rightarrow \dot{\theta}_{21} = -\frac{\dot{h}(t) \cdot h(t)}{L \cdot l_1 \cdot \sin(\theta_{21})}$$

**Q 4. Vitesse maximale du moteur articulaire du genou.**

La vitesse est maximale pour  $t = 1,5s$ . On a alors  $h = 0,826 m$  ;  $\dot{h} = \frac{0,422 m}{s}$  ; et  $\theta_{21} = 55,9^\circ$

$$\dot{\theta}_{21}(t = 1,5) = -\frac{0,422 \cdot 0,829}{43,1 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot \sin(55,9)} = -1,89 \text{ rad/s}$$

$$\dot{\theta}_{mot} = \frac{\dot{\theta}_{21}}{r} = \frac{-1,89}{1/120} = -227 \text{ rad/s} \Rightarrow N_{mot} = \frac{30}{\pi} \dot{\theta}_{mot} = -2168,5 \text{ tr/min}$$

**c. Élaboration du modèle dynamique**

On considère l'ensemble  $E = \{\text{cuisse (2) + charge transportée (4)}\}$  dans son mouvement par rapport à  $R_0$ .

**Q 5. Calcul de la projection du moment cinétique  $\vec{\sigma}_{O_1, E/0} \cdot \vec{x}_0$**

$$\vec{\sigma}_{O_1, E/0} = \vec{\sigma}_{G_4, E/0} + \overrightarrow{O_1 G_4} \wedge \vec{R}_{C, E/0}$$

$\vec{\sigma}_{G_4, E/0} = \vec{0}$  car 4 est en translation / 0, la masse et l'inertie de 2 sont négligées.

$$\vec{R}_{C, E/0} = \vec{R}_{G_4, E/0} = m_4 \cdot \vec{V}_{G_4, E/0} = m_4 \cdot \dot{h}(t) \cdot \vec{z}_0$$

D'où :

$$\vec{\sigma}_{O_1, E/0} = (\lambda(t) \cdot \vec{z}_0 - L \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot \vec{y}_0) \wedge m_4 \cdot \dot{h}(t) \cdot \vec{z}_0 = -m_4 \cdot \dot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\sigma}_{O_1, E/0} \cdot \vec{x}_0 = -m_4 \cdot \dot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10})$$

**Q 6. Calcul de la projection du moment dynamique  $\vec{\delta}_{O_1, E/0} \cdot \vec{x}_0$**

Le sujet propose de déduire le résultat à partir du moment cinétique :

$$\vec{\delta}_{O_1, E/0} = \left( \frac{d}{dt} \vec{\sigma}_{O_1, E/0} \right)_0 + m_4 \cdot \vec{V}_{O_1/0} \wedge \vec{V}_{G_4, E/0}$$

$$= (-m_4 \cdot \ddot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) + m_4 \cdot \dot{h}(t) \cdot L \cdot \dot{\theta}_{10} \cdot \cos(\theta_{10})) \vec{x}_0 + m_4 \cdot L \cdot \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_1 \wedge \dot{h}(t) \cdot \vec{z}_0$$

$$= -m_4 \cdot \ddot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\delta}_{O_1, E/0} \cdot \vec{x}_0 = -m_4 \cdot \ddot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10})$$

Remarque : En faisant le calcul direct du moment dynamique en  $G_4$  puis le transport en  $O_1$ , le calcul est plus rapide

$$\vec{\delta}_{O_1, E/0} = \vec{\delta}_{G_4, E/0} + \overrightarrow{O_1 G_4} \wedge \vec{R}_{D, E/0} = (\lambda(t) \cdot \vec{z}_0 - L \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot \vec{y}_0) \wedge m_4 \cdot \ddot{h}(t) \cdot \vec{z}_0$$

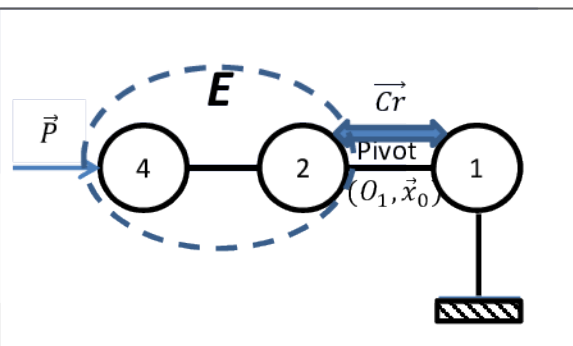
$$= -m_4 \cdot \ddot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot \vec{x}_0$$

**Q 7. Expression du couple Cr**

On isole l'ensemble  $E = \{4 + 2\}$  et on applique le théorème du moment dynamique en  $O_1$  en projection sur  $\vec{x}_0$ .

Inventaire des actions mécaniques extérieures :

- Le poids  $\vec{P}$
- Le couple appliqué par le réducteur  $\overrightarrow{Cr}$
- L'action de la liaison pivot en  $O_1$



Le théorème du moment dynamique en  $O_1$  en projection sur  $\vec{x}_0$  :

$$(\overrightarrow{O_1 G_4} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{Cr}) \cdot \vec{x}_0 = \vec{\delta}_{O_1, E/0} \cdot \vec{x}_0$$

$$Cr = -m_4 \cdot \ddot{h}(t) \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) - m_4 \cdot g \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) \text{ ou } Cr = -m_4 \cdot L \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot [\ddot{h}(t) + g]$$

Application numérique :  $m_4 = 60 \text{ kg}$  ;  $L = 0,518 \text{ m}$  ;  $\theta_{10} = 54,5^\circ$  ;  $\ddot{h}(t) = \frac{0,42}{0,5} \text{ m/s}^2$

$$Cr = -60 \cdot 0,518 \cdot \cos(54,5^\circ) \cdot [0,84 + 9,81] = 192,2 \text{ Nm}$$

### Q 8. Calcul du couple moteur

Compte tenu du rendement et du réducteur, le couple moteur s'exprime :  $C_m = \frac{r}{\eta} \cdot Cr$

Application numérique :  $C_m = \frac{1}{120 \cdot 0,75} \cdot 192,2 = 2,136 \text{ Nm}$

### d. Validation du dimensionnement du moteur :

### Q 9. Mouvements associés aux 4 phases du cycle

Phase 1 : Descente – Passage de la position jambe verticale à jambe fléchie

Phase 2 : Maintien en position jambe fléchie (pas d'évolution de l'angle  $\theta_{10}$ )

Phase 3 : Remontée - Passage de la position jambe fléchie à jambe verticale

Phase 4 : Maintien jambe verticale (moment du poids nul)

### Q 10. Calcul du couple efficace

La relation du sujet  $C_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T c(t)^2 dt}$ , est équivalente à la relation plus classique pour ce calcul

$C_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (C_{i\text{eff}}^2 \cdot T_i)}$  en considérant les valeurs efficaces du couple pour chaque phase du cycle.

Les phases 1 et 3 étant de formes complexes, les valeurs numériques  $C_{1\text{eff}}$ ,  $C_{2\text{eff}}$  sont probablement issues de la simulation numérique.

Il suffit de tirer celles des phases 2 et 3 où le couple est constant donc les valeurs efficaces égales à ces constantes :  $C_{2\text{eff}} = 0,9 \text{ Nm}$  et  $C_{4\text{eff}} = 0$ .

Finalement :  $C_{eff} = \sqrt{\frac{1}{15} (0,838^2 \cdot 2 + 0,9^2 \cdot 2 + 0,838^2 \cdot 2 + 0^2 \cdot 9)} = 0,543 \text{ Nm}$

### Q 11. Conclusion sur le choix du moteur

Les caractéristiques du moteur et les données de dimensionnement issues de l'étude sont :

- vitesse à vide =  $3120 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  sous  $U_n = 36 \text{ V} > N_{\text{max}} = 2168 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  (Q4)
- couple permanent admissible =  $0,56 \text{ Nm} > C_{\text{eff}} = 0,543 \text{ Nm}$  (Q10)

**Le moteur convient sur ces 2 critères.**

On vérifie aussi qu'à couple maximum de  $1,156 \text{ N} \cdot \text{m}$ , la fréquence de rotation du moteur sera :

$$N_{\text{mot}} = 3120 - 423 \cdot 1,156 = 2631 \text{ tr/min}$$

**Ce qui est également satisfaisant.**

## III. Gérer le mouvement vertical

### Q 12. Grandeurs physiques contrôlées :

D'après le modèle multiphysique de la figure 3 :

- la mesure est la « coordonnée verticale de l'articulation de la hanche » donc en mètres (m),
- la « consigne » est en entrée d'un intégrateur avant d'être comparée à la hauteur, il s'agit donc de la vitesse de déplacement vertical de la hanche (m/s).

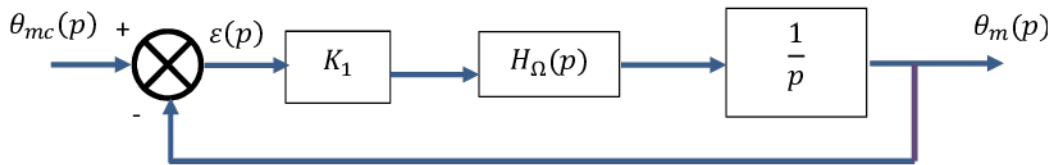
### Q 13. Expression de la fonction de transfert en en vitesse $H_{\Omega}(p)$ :

Avec perturbation nulle et retour unitaire, on écrit directement :

$$H_{\Omega}(p) = \frac{\Omega_m(p)}{\Omega_{mc}(p)} = \frac{C_{\Omega}(p) \cdot M_c(p) \cdot \frac{1}{Jp + f}}{1 + C_{\Omega}(p) \cdot M_c(p) \cdot \frac{1}{Jp + f}} = \frac{\frac{K_2}{Jp}}{1 + \frac{K_2}{Jp}} = \frac{1}{1 + \frac{J}{K_2} p}$$

**Q 14. Expression de  $\varepsilon(p)$  écart ou erreur de position :**

On remplace la boucle de vitesse réduite à  $H_{\Omega}(p)$  dans la question Q13, dans le schéma bloc de la figure 11 et on obtient la structure suivante :



$$\varepsilon(p) = \theta_{mc}(p) - \theta_m(p) = \theta_{mc}(p) - K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p} \cdot \varepsilon(p)$$

On en déduit alors l'expression de  $\varepsilon(p)$  :  $\varepsilon(p) = \frac{1}{1 + K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p}} \cdot \theta_{mc}(p)$

**Q 15. Erreur de position :** L'entrée est un échelon unitaire (1 rad) soit  $\theta_{mc}(p) = \frac{1}{p}$

$$\varepsilon_p = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{1 + K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p}} = 0$$

Résultat logique avec l'intégrateur (classe 1) et l'absence de perturbation de couple.

**Erreur de traînage :** L'entrée est une rampe unitaire (1rad.s<sup>-1</sup>) soit  $\theta_{mc}(p) = \frac{1}{p^2}$

$$\varepsilon_v = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{1 + K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p}} \cdot \frac{1}{p} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{p + K_1 \cdot H_{\Omega}(p)} = \frac{1}{K_1}$$

Système de classe 1, erreur de traînage finie, inversement proportionnelle à l'action proportionnelle de  $K_1$ .

**CONCLUSION :** Pour satisfaire la condition « erreur de traînage < 1% » imposée par le cahier des charges, il faut fixer  $K_1$  tel que  $K_1 = \frac{1}{\varepsilon_v} = \frac{1}{0.01} = 100$

**Q 16. Erreur en accélération :** L'entrée est une parabole (rad.s<sup>-2</sup>) soit  $\theta_{mc}(p) = \frac{1}{p^3}$

$$\varepsilon_a = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{1 + K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p}} \cdot \frac{1}{p^2} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{p^2 + K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot p} = +\infty$$

Résultat attendu pour un système de classe 1, le cahier des charges n'est pas respecté sur ce critère.

**Q 17. Mise en place d'un correcteur par anticipation :**

Pour l'expression de  $\varepsilon(p)$ , on utilise le modèle fourni figure 12 et  $H_{\Omega}(p) = \frac{1}{1+Tp}$

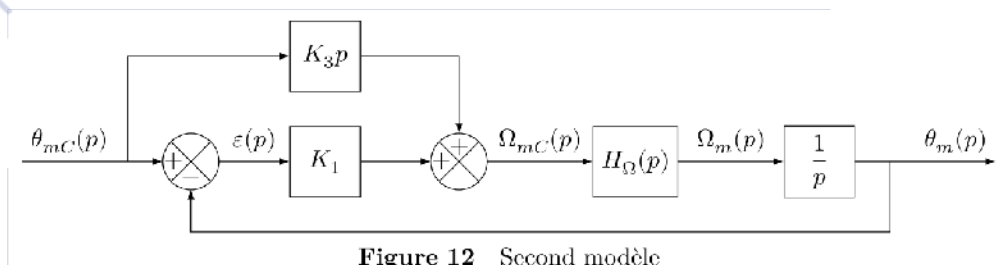


Figure 12 Second modèle

$$\varepsilon(p) = \theta_{mc}(p) - \theta_m(p) = \theta_{mc}(p) - (K_1 \cdot \varepsilon(p) + K_3 \cdot p \cdot \theta_{mc}(p)) \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p}$$

$$\varepsilon(p) = \frac{1 - K_3 \cdot H_{\Omega}(p)}{1 + K_1 \cdot H_{\Omega}(p) \cdot \frac{1}{p}} \cdot \theta_{mc}(p) = \frac{1 - \frac{K_3}{1+Tp}}{1 + \frac{K_1}{(1+Tp) \cdot p}} \cdot \theta_{mc}(p) = \frac{(1+Tp - K_3)}{Tp^2 + p + K_1} \cdot p \cdot \theta_{mc}(p)$$

**Q 18. Calcul de l'erreur de traînage :**  $\theta_{mc}(p) = \frac{1}{p^2}$

$$\varepsilon_v = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{(1 + Tp - K_3)}{Tp^2 + p + K_1} = \frac{1 - K_3}{K_1}$$

On souhaite une erreur de traînage nulle donc  $1 - K_3 = 0$  d'où  $K_3 = 1$

**Q 19. Calcul de l'erreur en accélération :**  $\theta_{mc}(p) = \frac{1}{p^3}$

On remplace  $K_1$  et  $K_3$  par leurs valeurs numériques, respectivement 100 et 1, l'erreur est alors :

$$\varepsilon(p) = \frac{Tp}{Tp^2 + p + 100} \cdot p \cdot \theta_{mc}(p)$$

$$\varepsilon_a = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{T}{Tp^2 + p + 100} = \frac{T}{100} = 33 \cdot 10^{-5}$$

Les erreurs de traînage et en accélération sont désormais compatibles avec le cahier des charges.

#### IV. Acquérir l'intention de la mise en mouvement

**Q 20. Fréquence d'échantillonnage théorique :**

Le signal utile après filtrage anti repliement a une bande passante comprise entre 10Hz et 500Hz.

En respectant la limite stricte de Shannon, la fréquence d'échantillonnage théorique minimale doit donc être telle que  $f_e = 2 \cdot f_{\max \text{ utile}} = 2 \cdot 500 = 1000\text{Hz}$

**Q 21. Filtre passif, expression de  $\underline{V}_a$  :**

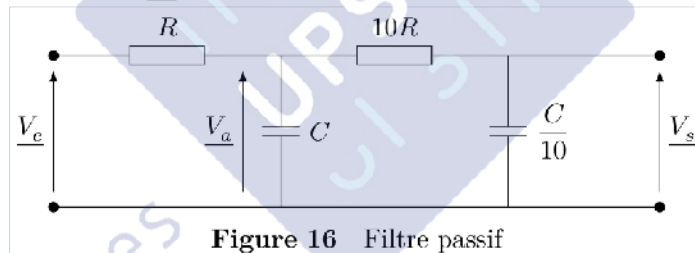


Figure 16 Filtre passif

En appliquant le théorème de Millman :  $\underline{V}_a = \frac{\frac{V_e}{R} + \frac{V_s}{10R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{10R} + Cj\omega} = \frac{10\underline{V}_e + \underline{V}_s}{11 + 10RCj\omega}$

**Q 22. Filtre passif, relation entre  $\underline{V}_s$  et  $\underline{V}_a$  :**

En appliquant un pont diviseur de tension :  $\underline{V}_s = \frac{\frac{10}{Cj\omega}}{10R + \frac{10}{Cj\omega}} \cdot \underline{V}_a = \frac{1}{1 + RCj\omega} \cdot \underline{V}_a$

Soit  $\underline{V}_a = (1 + RCj\omega) \cdot \underline{V}_s$

**Q 23. Filtre passif, fonction de transfert  $\frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e}$  :**

$$(1 + RCj\omega) \cdot \underline{V}_s = \frac{10\underline{V}_e + \underline{V}_s}{11 + 10RCj\omega}$$

D'où on tire :  $\frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e} = \frac{10}{10 + 21RCj\omega + 10(RCj\omega)^2} = \frac{1}{1 + 2,1RCj\omega + (RCj\omega)^2}$

**Q 24. Filtre passif, pulsation de coupure :**

En posant  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ , on obtient le résultat proposé dans le sujet. La bande passante du signal est comprise entre 10Hz et 500Hz.  $\Rightarrow \omega_0 = 2\pi \cdot f_{\max} = 1000 \cdot \pi \text{ rad/s}$

**Q 25. Résolution et fréquence d'échantillonnage du CAN 12 bits :**

Si la plage d'entrée analogique est  $\Delta V_{CAN} = 3V$ , la résolution ou quantum est :

$$q = \frac{\Delta V_{CAN}}{2^N - 1} \sim \frac{3}{2^{12}} = 7,32 \cdot 10^{-4}V$$

La fréquence d'échantillonnage  $f_e$  doit être telle que :  $\left| \frac{V_s}{V_e} \right| < \frac{q}{\Delta V_{CAN}} \sim \frac{1}{2^N}$  pour  $\omega > \pi \cdot f_e$

Soit l'inégalité :

$$\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f_e}{1000}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{2,1 \cdot f_e}{1000}\right)^2}} < \frac{1}{2^{12}}$$

Si on pose  $x = f_e/1000$  réel positif il faut résoudre :

$$\begin{aligned} (1 - (x)^2)^2 + (2,1 \cdot x)^2 &> 2^{24} \\ 1 + x^4 - 2 \cdot x^2 + 4,41 \cdot x^2 &> 2^{24} \end{aligned}$$

On pose  $X = x^2$  :

$$1 + X^2 + 2,41 \cdot X > 2^{24}$$

On trouve  $X = 4094,8$  pour la solution physique à retenir soit  $x \sim 64$  et  $f_e = 64000$  Hz

Vérification dans l'expression du module de la fonction de transfert.

$$\frac{1}{\sqrt{(1 - (64)^2)^2 + (2,1 \cdot 64)^2}} = 2,44 \cdot 10^{-4} \sim \frac{1}{2^{12}}$$

**On retient  $f_e \geq 64kHz$  :**

**Q 26. Equation du filtre discrétisé :**

L'équation discrète s'écrit :

$$\begin{aligned} \frac{\tau}{T_c} (s_n - s_{n-1}) + s_n &= e_n \\ \left(\frac{\tau}{T_c} + 1\right) s_n - \frac{\tau}{T_c} s_{n-1} &= e_n \\ s_n &= \frac{\tau}{\tau + T_c} s_{n-1} + \frac{T_c}{\tau + T_c} e_n \end{aligned}$$

On en déduit les valeurs de A et B :

$$A = \frac{\tau}{\tau + T_c}; B = \frac{T_c}{\tau + T_c}$$

**Q 27. Compléter l'algorithme proposé :**

Les conditions sont décrites en haut de la page 9/10 du sujet.

Le signal, une fois converti en numérique, subit un décalage négatif de valeur 2048 suivi, dans l'ordre, d'un redressement, d'une multiplication par 2 et d'un filtrage numérique passe-bas de fréquence de coupure égale à 6 Hz (figure 14). Le calcul de la valeur efficace de ce signal filtré est une image de l'intention de contraction du muscle. Un réglage à la première mise en service est nécessaire car le niveau du signal dépend de la pose des électrodes. Il consiste à mémoriser la valeur efficace obtenue lors d'une contraction maximale du muscle. Trois étapes du traitement du signal EMG sont représentées figure 15.

```

# Initialisation des variables

t = 0

Tn = 0

Dt = 0

Tc = 1000

Tc_réel = float(Tc)

tau = 37.7

A = tau/(tau+Tc_réel)
B = Tc_réel/(tau+Tc_réel)

# Programme principal

while True :

    NEMG = Acquérir_entrée_analogique()

    t = Acquérir_temps()

    Dt = t - Tn

    while Dt < Tc :

        t = Acquérir_temps()

        Dt = t - Tn

    Tn = t

    NEMG = NEMG - 2048

    E = abs(NEMG)

    E_réel = float(E)

    s = A*S+B*(2*E_réel)

    ...

    # suite du traitement non abordée ici

    ...

```

Coefficients du filtre établis en Q26

Décalage de la valeur 2048 négatif

« Redressement » numérique...

Multiplication par 2 du signal redressé  $E_{réel}$  et fonction de transfert du filtre demandé :  $s_n = As_{n-1} + Be_n$

## V. Évolution du produit

**Q 28.** Pour détecter « l'intention » du mouvement, on peut :

Détecter la variation de pression au sol > capteur de pression piézoélectrique sous les semelles, détecter la déformation de la structure de l'exosquelette > cellule de force, jauge piézorésistive... ?

**Q 29.** Structure de transmission du mouvement entre moteurs et genou :

Il faut prévoir une transmission de puissance entre 2 axes parallèles. Une solution envisageable serait une transmission par poulies – courroies crantées.