

Proposition de corrigé

Concours : Concours Commun INP

Année : 2019

Filière : MP

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.

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

L'équipe UPSTI

Partie I – Validation des capacités de positionnement du système de déploiement

Q1. Établir la relation vectorielle entre X_P , Y_P , L et $\bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{x}_1, \bar{x}_2$

$$\overline{OP} = \overline{OQ} + \overline{QP} \Leftrightarrow X_P(t)\bar{x}_0 + Y_P(t)\bar{y}_0 = L\bar{x}_1 + L\bar{x}_2$$

Q2. Projeter la relation précédente selon \bar{x}_0 et \bar{y}_0 et donner les deux équations scalaires correspondantes.

$$X_P(t)\bar{x}_0 + Y_P(t)\bar{y}_0 = L(\cos(\theta_1)\bar{x}_0 + \sin(\theta_1)\bar{y}_0) + L(\cos(\theta_1 + \theta_2)\bar{x}_0 + \sin(\theta_1 + \theta_2)\bar{y}_0)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} X_P(t) = L.\cos(\theta_1) + L.\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ Y_P(t) = L.\sin(\theta_1) + L.\sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases}$$

Q3. Exprimer θ_1 et θ_2 en fonction de X_P , Y_P et L . Conclure quant au respect de « l'exigence 002 ».

En utilisant les relations trigonométriques :

$$\begin{cases} X_P(t) = 2L \cos\left(\frac{2\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \\ Y_P(t) = 2L \sin\left(\frac{2\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \end{cases}$$

Il vient : $X_P^2(t) + Y_P^2(t) = 4L^2 \cos^2\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \Leftrightarrow \theta_2 = \text{Arc cos}\left(\frac{X_P^2(t) + Y_P^2(t) - 2L^2}{2L^2}\right)$

Et : $\frac{Y_P(t)}{X_P(t)} = \tan\left(\frac{2\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \rightarrow \theta_1 = \text{Arc tan}\left(\frac{Y_P(t)}{X_P(t)}\right) - \frac{1}{2} \text{Arc cos}\left(\frac{X_P^2(t) + Y_P^2(t) - 2L^2}{2L^2}\right)$

Conformément à l'exigence « 002 », il la position de la pince peut être commandé par deux variables angulaires

Partie II - Validation du non-dépassement de la vitesse de la sphère SEIS

Q4. Déterminer l'expression de la vitesse du point P, appartenant à l'avant-bras 2, par rapport à R_0 en fonction de θ_1 , θ_2 et L .

$$\vec{V}_{P, / 0} = \frac{d}{dt} \overline{OP} \Big|_0 = \frac{d}{dt} L\bar{x}_1 \Big|_0 + \frac{d}{dt} L\bar{x}_2 \Big|_0 = \left[L \frac{d}{dt} \bar{x}_1 \Big|_1 + L\bar{\Omega}_{1/0} \wedge \bar{x}_1 \right] + \left[L \frac{d}{dt} \bar{x}_2 \Big|_2 + L\bar{\Omega}_{2/0} \wedge \bar{x}_2 \right]$$

$$\Leftrightarrow \vec{V}_{P, / 0} = L\dot{\theta}_1 \bar{y}_1 + L(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \bar{y}_2$$

Q5. Déterminer la valeur maximale du taux de rotation $\|\bar{\Omega}_{1/0}\|$ pour que l'avant-bras 2 suive un mouvement de translation circulaire par rapport à R_0 en respectant « l'exigence 003 ».

Pour que la pince suive un mouvement de translation autour de (O, \bar{z}_1) , il faut et il suffit que $\dot{\theta}_1 = -\dot{\theta}_2$.

Il vient alors : $\vec{V}_{P, / 0} = L\dot{\theta}_1 \bar{y}_1$ Soit : $\|\bar{\Omega}_{1/0}\| = \frac{\|\vec{V}_{P, / 0}\|}{L}$

Pour que la vitesse du point P ne dépasse pas 20 mm/s (Id='003'), il faut que, numériquement :

$$\|\bar{\Omega}_{1/0}\| < \frac{20.10^{-3}}{0,5} \rightarrow \|\bar{\Omega}_{1/0}\| < 0,04 \text{ rad/s}$$

Partie III - Validation de la capacité statique du système de déploiement

Q6. Exprimer puis calculer le couple statique, noté C_{01} , que doit exercer le moto-réducteur M_{01} dans la position du système de déploiement la plus défavorable. **Préciser** clairement le système isolé ainsi que le principe/théorème utilisé.

On isole (1,2,3)

Bilan des efforts :

- Pesanteur $\rightarrow 1$
- Pesanteur $\rightarrow 2$
- Pesanteur $\rightarrow 3$
- Couple moteur $\rightarrow 1$

La position la plus défavorable est $\theta_1 = \theta_2 = 0$.

$$C_{01} = \frac{L}{2} m_1 g + \frac{3L}{2} m_2 g + 2L m_s g \Leftrightarrow C_{01} = L \left(\frac{m_1}{2} + \frac{3m_2}{2} + 2m_s \right) g$$

Numériquement :

$$C_{01} = 0,5 \left(\frac{0,352}{2} + \frac{3 \cdot 0,352}{2} + 2 \cdot 1,2 \right) \cdot 9,81 = 15,2 \text{ N.m}$$

Q7. En déduire la valeur minimale du couple de maintien, noté $C_{m1\min}$, dont doit disposer le moteur pas à pas.

$$C_{m1\min} = \frac{15,2}{82} = 0,18 \text{ N.m}$$

Partie IV - Validation des capacités dynamique du système de déploiement

Q8. Justifier que la matrice d'inertie du Bras 1, en son centre d'inertie G_1 , est de la forme :

$$J(G_1, 1) = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & J_1 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 \end{bmatrix}_{R_1}$$

On considère que l'opérateur d'inertie a pour forme initiale : $J(G_1, 1) = \begin{bmatrix} I_1 & -F & -E \\ -F & J_1 & -D \\ -E & -D & K_1 \end{bmatrix}_{R_1}$

Le plan $(\vec{x}_1, G_1, \vec{y}_1)$ est un plan de symétrie du bras 1 de normale \vec{z}_0 : Les termes non-diagonaux E et D sont identiquement nuls.

De même, le plan $(\vec{y}_1, G_1, \vec{z}_0)$ est un plan de symétrie du bras 1 de normale \vec{z}_0 : Les termes non-diagonaux E et F sont identiquement nuls.

Il ressort que : $J(G_1, 1) = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & J_1 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 \end{bmatrix}_{R_1}$

Q9. Exprimer le moment d'inertie K_{O1} du bras 1 au point O suivant \vec{z}_0 en fonction des paramètres cinétiques.

Application du théorème Huygens - Koenig $K_{O1} = K_1 + m_1 \cdot (\overline{OG.x_1})^2 = K_1 + m_1 \frac{L^2}{4}$

Q10. Exprimer le moment d'inertie $K_{O\Sigma}$ de l'ensemble Σ au point O autour de l'axe \vec{z}_0 en fonction des paramètres cinétiques.

Directement et sans anesthésie : $K_{O\Sigma} = \left(K_1 + m_1 \frac{L^2}{4} \right) + K_{O2} + K_{Os}$

Q11. Pour effectuer une modélisation dynamique du système, **établir** l'équation donnant le couple, noté C_{01} , du moteur M_{01} en fonction des paramètres cinétiques du système de déploiement. **Préciser** clairement le système isolé ainsi que le principe/théorème utilisé.

Isolons l'ensemble Σ .

Bilan des efforts :

- Pesanteur $\rightarrow 1$
- Pesanteur $\rightarrow 2$
- Pesanteur $\rightarrow 3$
- Couple moteur $\rightarrow 1$

Posons : $\vec{\delta}_{O,\Sigma/0,Z_0} = \vec{M}_{O,\Sigma \rightarrow \Sigma,Z_0}$

Avec : $\vec{\delta}_{O,\Sigma/0,Z_0} = \frac{d}{dt} \left(\vec{\sigma}_{O,\Sigma/0,Z_0} \right) \Big|_0 - \vec{\sigma}_{O,\Sigma/0,Z_0} \cdot \frac{d}{dt} \left(\vec{z}_0 \right) \Big|_0 = \frac{d}{dt} \left(\vec{I}(0,\Sigma) \vec{\Omega}_{\Sigma/0,Z_0} \right) \Big|_0 = K_{O\Sigma} \ddot{\theta}_1$

Et :

$$\begin{aligned} \vec{M}_{O,\Sigma \rightarrow \Sigma,Z_0} &= C_{01} \vec{z}_0 + \left(\vec{OG}_1 \wedge -m_1 g \vec{y}_{0,Z_0} \right) + \left(\vec{OG}_2 \wedge -m_2 g \vec{y}_{0,Z_0} \right) + \left(\vec{OG}_s \wedge -m_s g \vec{y}_{0,Z_0} \right) \\ &= C_{01} + \left(\frac{L}{2} \vec{x}_1 \wedge -m_1 g \vec{y}_{0,Z_0} \right) + \left(\frac{3}{2} L \vec{x}_1 \wedge -m_2 g \vec{y}_{0,Z_0} \right) + \left(\left(X_p(t) \vec{x}_0 + Y_p(t) \vec{y}_0 - R \vec{y}_0 \right) \wedge -m_s g \vec{y}_{0,Z_0} \right) \\ &= C_{01} - \frac{L}{2} \cos(\theta_1) m_1 g - \frac{3}{2} L \cos(\theta_1) m_2 g - X_p(t) m_s g \end{aligned}$$

Il vient donc : $C_{01} = K_{O\Sigma} \ddot{\theta}_1 + \left(\frac{L}{2} \cos(\theta_1) m_1 g + \frac{3}{2} L \cos(\theta_1) m_2 g + X_p(t) m_s g \right)$

Avec : $X_p(t) = 2L \cos(\theta_1)$

Donc : $C_{01} = K_{O\Sigma} \ddot{\theta}_1 + L \left(\frac{1}{2} m_1 g \cos(\theta_1) + \frac{3}{2} m_2 g \cos(\theta_1) + 2m_s g \cos(\theta_1) \right)$

Q12. Donner l'expression de l'équation précédente limitée au voisinage de la position du système de déploiement la plus défavorable.

Il vient alors : $C_{01} = \underbrace{K_{O\Sigma}}_{\rightarrow 0} \ddot{\theta}_1 + L \left(\frac{m_1}{2} + \frac{3m_2}{2} + 2m_s \right) g$

L'utilisation du système de déploiement est essentiellement statique car les variations de quantité mouvement ne seront pas importantes

Partie V - Validation du positionnement du module SEIS

Q13. Effectuer un bilan des forces exercées sur l'écrou en équilibre statique afin **d'obtenir** l'expression liant F , la norme du vecteur \vec{F} , et la masse du système à déplacer, M . **Préciser** clairement le principe/théorème utilisé.

En effectuant un bilan des actions mécaniques en O pour l'écrou, on obtient

Bilan des actions mécaniques en O sur l'écrou :

- Pesanteur \rightarrow écrou : \vec{F}
- Effort développé par le vérin \rightarrow écrou : \vec{P}

Par application du PFS : $\|\vec{F}\| = \|\vec{P}\|$ soit $F = M \cdot g$.

Q14. Donner l'expression littérale de $C_r(t)$ et mettre celle-ci sous la forme ci-dessous. Calculer la valeur numérique de $C_r(t)$.

$$C_r(t) = \frac{M \cdot g \cdot p \cdot r}{2\pi \cdot \eta_v \cdot \eta_r}$$

Le couple en exercé par la vis, c_v , est lié à l'effort développé sur l'écrou par la relation suivante : $c_v(t) = F \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_v}$ où D représente le diamètre de l'écrou (application de la relation du rendement de la vis).

D'autre part D est lié au pas de la vis par la relation suivante : $\frac{D}{2} = \frac{p}{2\pi}$

d'où l'expression de $c_v(t)$: $c_v(t) = F \cdot \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{1}{\eta_v} = M \cdot g \cdot \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{1}{\eta_v}$

On remonte jusqu'au couple en entrée du réducteur à partir de l'expression du rendement : $\eta_v = \frac{c_v \cdot \omega_{vis}}{C_R \cdot \omega_m}$

et à partir de la connaissance du rapport de réduction : $r = \frac{\omega_{vis}}{\omega_m}$

On en déduit la relation finale : $C_r(t) = \frac{M \cdot g \cdot p \cdot r}{2\pi \cdot \eta_v \cdot \eta_r}$

A.N. $C_r(t) = \frac{M \cdot g \cdot p \cdot r}{2\pi \cdot \eta_v \cdot \eta_r} = \frac{1.9,81.0,012.1/100}{2\pi \cdot 0,95 \cdot 0,96} = 0,20 \text{mN.m}$

Q15. À partir des équations du moteur à courant continu (équations 1 à 3 page 11), compléter sous forme littérale les schémas bloc modélisant la MCC sur le document réponse 1.

On commence par l'écriture des équations (1) à (3) dans le domaine de Laplace :

(1) devient : $U(p) = E(p) + R \times I(p) + L \cdot p \times I(p)$

(2) devient : $E(p) = K_e \times \Omega(p)$

(3) devient : $C_m(p) = K_c \times I(p)$

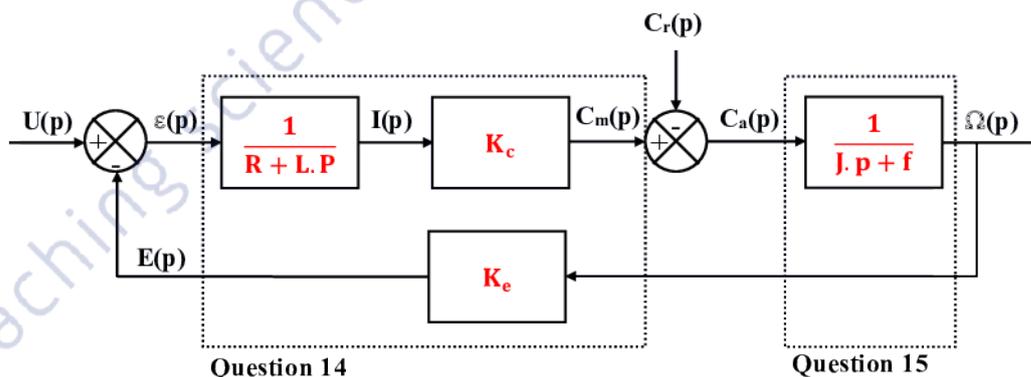
On identifie les variables d'entrée et de sortie de chaque bloc à compléter du document réponse et on cherche une équation liant ces deux variables à partir des trois équations précédentes :

(1) $U(p) - E(p) = R \times I(p) + L \cdot p \times I(p)$ soit $I(p) = (U(p) - E(p)) \times \frac{1}{R+L \cdot p}$

(2) $E(p) = K_e \times \Omega(p)$

(3) $C_m(p) = K_c \times I(p)$

On complète les trois blocs du document réponse



Q16. À partir de l'application d'un principe ou d'un théorème, donner l'expression littérale liant le couple moteur, J , f et $C_r(t)$. Compléter le schéma bloc sur le document réponse 1.

Plusieurs possibilités pour obtenir cette relation. Par exemple utilisation du principe fondamental de la dynamique :

$$J \times \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f \times \omega(t)$$

Soit dans le domaine de Laplace : $Jp \times \Omega(p) = C_m(p) - C_r(p) - f \times \Omega(p)$

D'où l'obtention de la fonction de transfert du bloc à compléter : $\frac{\Omega(p)}{C_m(p) - C_r(p)} = \frac{1}{J \cdot p + f}$

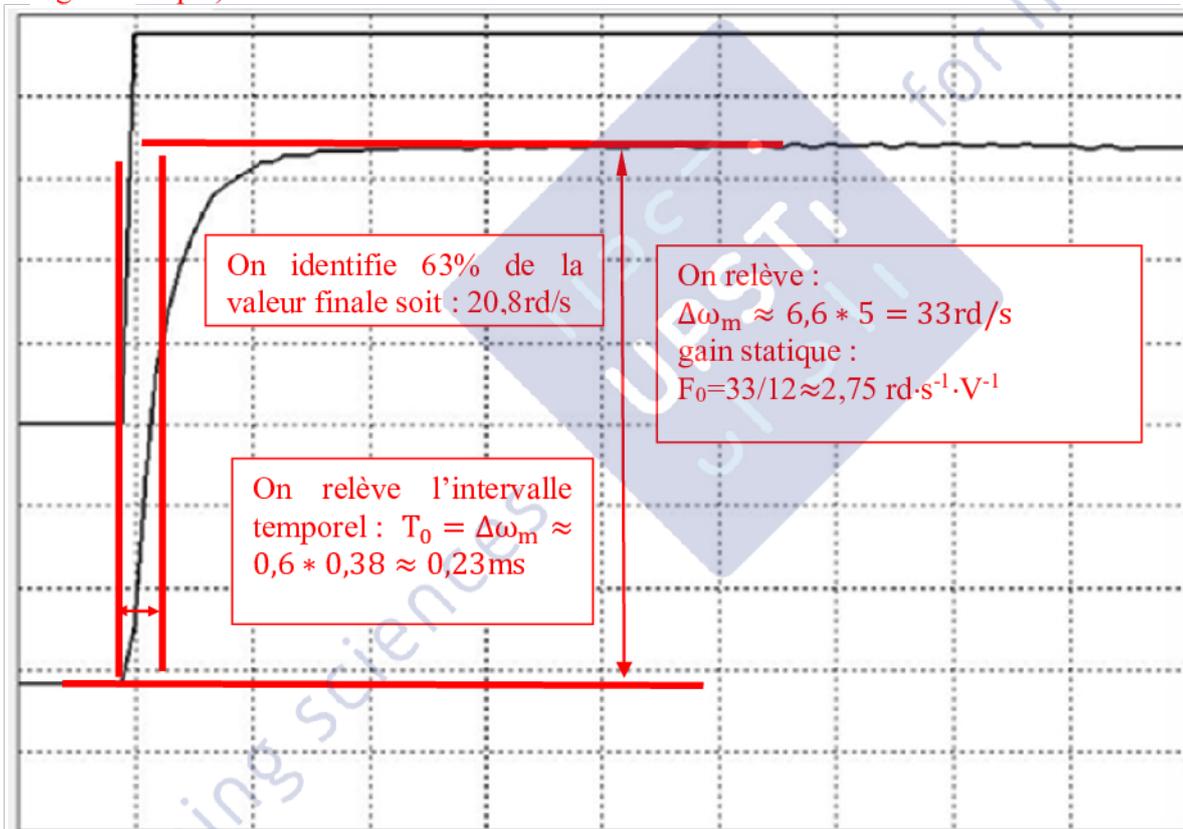
Q17. Donner l'expression, sous sa forme canonique, de la fonction de transfert en boucle fermée $F_{m1}(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$.

L'expression de $F_{m1}(p)$ est obtenue à l'aide de la formule de Black :

$$F_{m1}(p) = \frac{\frac{K_C}{(R+Lp).(f+J.p)}}{1 + \frac{K_C.K_E}{(R+Lp).(f+J.p)}} = \frac{K_C}{(R + L.p).(f + J.p) + K_C.K_E} = \frac{\frac{K_C}{Rf+K_C.K_E}}{1 + \frac{RJ+Lf}{Rf+K_C.K_E} \cdot p + \frac{LJ}{Rf+K_C.K_E} p^2}$$

Q18. Justifier le choix d'une fonction de transfert d'ordre 1 pour modéliser le comportement de la MCC à partir des essais expérimentaux. **Effectuer** les constructions graphiques nécessaires sur le **document réponse 2** afin de **déterminer** la valeur du gain statique, F_0 , et de la constante de temps, T_0 , de $F_{m2}(p)$. **Proposer** une hypothèse simplificatrice permettant de justifier le passage à l'ordre 1 de $F_{m2}(p)$ par rapport à $F_{m1}(p)$.

Le relevé de l'évolution de $\omega_m(t)$ correspond à une évolution exponentielle d'ordre 1 (tangente à l'origine oblique).



On en déduit l'expression de $F_{m2}(p)$:

$$F_{m2}(p) = \frac{2,75}{(1 + 0,00023.p)}$$

Pour obtenir $F_{m2}(p)$ à partir de $F_{m1}(p)$, il est nécessaire de réduire l'ordre de la fonction de transfert ce qui implique de négliger un pôle de $F_{m1}(p)$ (notion de pôle dominant).

Q19. Donner l'expression littérale de $M(p)$ et, pour garantir un bon asservissement, l'expression littérale de K_{adapt} .

On choisit $K_{adapt} = K_{capt}$ afin d'interpréter la vitesse de rotation du moteur comme une tension avec le même gain que celui de la chaîne de retour.

Dans le domaine temporel la vitesse linéaire et le déplacement sont liés par l'équation suivante :

$v(t) = \frac{d(t)}{dt}$ soit dans le domaine de Laplace : $V(p) = p \cdot D(p)$.

On en déduit la fonction de transfert de $M(p)$: $M(p) = \frac{D(p)}{V(p)} = \frac{1}{p}$

Q20. Déterminer l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte $G_{BO}(p)$ et **mettre celle-ci** sous forme canonique. **Évaluer** la classe de cette fonction de transfert. **En déduire** la précision du système.

L'expression de la FTBO de ce système asservi est donnée par :

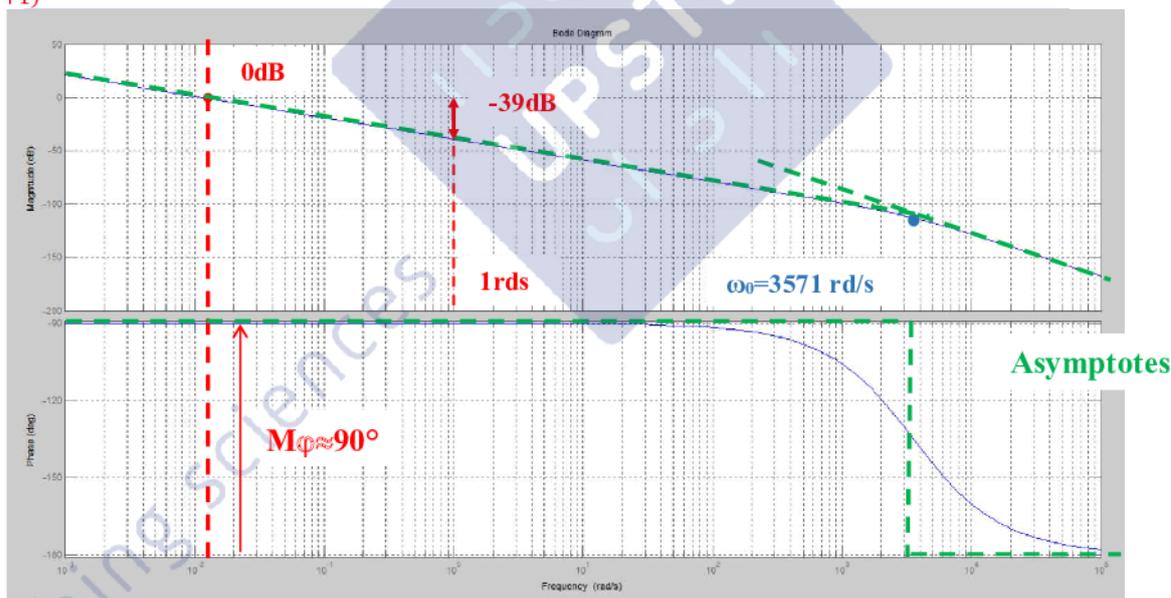
$$G_{BO}(p) = M(p) \times K_{red} \times K_{capt} \times C_0(p) \times K_p \times \frac{\frac{K_C \cdot K_E}{R \cdot f + K_C \cdot K_E}}{\frac{J \cdot R}{R \cdot f + K_C \cdot K_E} \cdot p + 1} = \frac{K_C \cdot K_E \cdot K_p \cdot K_{capt} \cdot K_{red}}{R \cdot f + K_C \cdot K_E} \cdot \frac{1}{p \cdot \left(\frac{J \cdot R}{R \cdot f + K_C \cdot K_E} \cdot p + 1 \right)}$$

Ou $G_{BO}(p) = \frac{F_0 \cdot K_H \cdot K_{capt} \cdot K_{red}}{p \cdot (T_0 \cdot p + 1)}$

Cette fonction de transfert d'ordre 2 présente un terme p en facteur au dénominateur, donc de classe 1. Pour un système asservi, si la classe de la FTBO est 1, le système présente une erreur statique, ou de position, nulle. Le système est donc précis et répond à une exigence du cahier des charges fonctionnel.

Q21. Tracer les diagrammes de Bode asymptotique et réel de la fonction de transfert $G_{BO}(p)$ sur le **document réponse 3**. **En déduire** la marge de phase de l'asservissement en effectuant toute les constructions graphiques nécessaires. **Conclure** sur le respect de « l'exigence 006 ».

On détermine la pulsation correspondant au premier ordre : $\omega_0 = \frac{1}{\tau} \approx 3571 \text{rd/s}$ ainsi que le gain statique en dB : $20 \log(0.0112) \approx -39 \text{dB}$. On trace le diagramme de bode du premier ordre $\frac{0.0112}{(0.00028 \cdot p + 1)}$ puis on rajoute le diagramme de bode de l'intégrateur pur.



Le système respecte le critère de stabilité imposé par le cahier des charges (« Id006 ») : marge de phase supérieure à 70° .

Q22. Déterminer et calculer les paramètres caractéristiques de la forme canonique de la fonction de transfert en boucle fermée $G_{BF}(p) = \frac{D(p)}{D_c(p)}$. **En déduire**, le temps de réponse de l'asservissement en vitesse. **Conclure** sur le respect de « l'exigence 004 ».

Détermination de $G_{BF}(p)$ à partir de $G_{BO}(p) = \frac{0,0112}{p \cdot (0,00028 \cdot p + 1)}$:

$$G_{BF}(p) = \frac{G_{BO}(p)}{1 + G_{BO}(p)} = \frac{\frac{0,0112}{p \cdot (0,00028 \cdot p + 1)}}{1 + \frac{0,0112}{p \cdot (0,00028 \cdot p + 1)}} = \frac{1}{1 + \frac{p \cdot (0,00028 \cdot p + 1)}{0,0112}}$$

$$G_{BF}(p) = \frac{1}{1 + 89 \cdot p + 0,025 \cdot p^2}$$

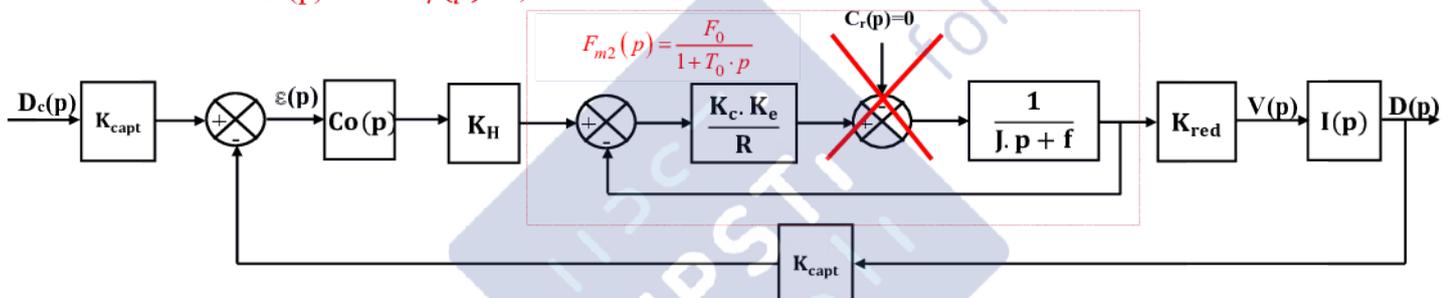
On en déduit les expressions de la pulsation propre et du facteur d'amortissement par identification :

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 = 0,025 \\ \zeta = \frac{1}{2} \cdot \omega_0 \cdot 89 \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} \omega_0 \approx 6,3 \text{ rd/s} \\ \zeta \approx 281 \end{cases}$$

D'après les relations donnant l'expression du temps de réponse, (4), pour $\xi > \frac{1}{\sqrt{2}}$: $t_{r5\%} \approx \frac{6 \cdot \xi}{\omega_0} \approx 268s$

Le système est donc beaucoup trop lent au regard de l'exigence en rapidité (« Id 004 ») : $t_{r5\%} < 5s$.

Détermination de $G_{BF}(p)$ avec $C_r(p)=0$, le schéma bloc devient :



On obtient donc pour la fonction de transfert $G_{BF}(p)$: ($C_0(p) = 1$)

$$G_{BF}(p) = \frac{F_{m2}(p) \cdot \frac{K_{red}}{p} \cdot K_{capt} \cdot K_H}{1 + F_{m2}(p) \cdot \frac{K_{red}}{p} \cdot K_{capt} \cdot K_H} = \frac{\frac{F_0}{p \cdot (1 + T_0 p)} \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H}{1 + \frac{F_0}{p \cdot (1 + T_0 p)} \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H}$$

$$G_{BF}(p) = \frac{1}{\frac{T_0}{F_0 \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H} p^2 + \frac{1}{F_0 \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H} p + 1} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \frac{\zeta}{\omega_0} p + 1}$$

On en déduit les expressions de la pulsation propre et du facteur d'amortissement par identification :

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 = \frac{T_0}{F_0 \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H} \\ \zeta = \frac{1}{2} \cdot \omega_0 \cdot \frac{1}{F_0 \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H} \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} \omega_0 = \sqrt{\frac{F_0 \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H}{T_0}} \approx 6,3 \text{ rd/s} \\ \zeta = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_0 \cdot F_0 \cdot K_{red} \cdot K_{capt} \cdot K_H}} \approx 281 \end{cases}$$

D'après les relations donnant l'expression du temps de réponse, (4), pour $\xi > \frac{1}{\sqrt{2}}$: $t_{r5\%} \approx \frac{6 \cdot \xi}{\omega_0} \approx 268s$

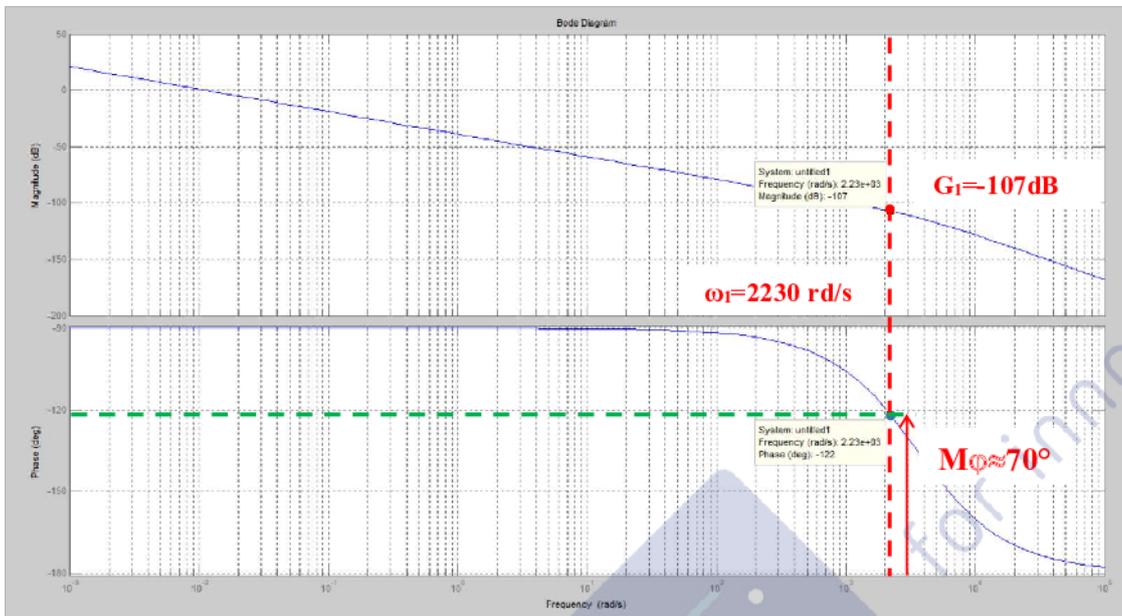
Q23. À partir de constructions graphiques sur le **document réponse 3**, donner la valeur du gain du correcteur, K_{D1} , permettant de garantir une marge de phase supérieure à 70° . La valeur de K_{D1} vous paraît-elle pertinente et réaliste ?

On relève sur la phase du diagramme de bode la pulsation ω_1 correspondant à une marge de phase de 70° (la phase de la fibo est alors de -120°) : $\omega_1 \approx 0,02 \text{ rd/s}$. Pour cette même pulsation on relève le gain sur l'évolution du gain du diagramme de bode $G_1 \approx -107 \text{ dB}$.

On en déduit le gain K_{D1} permettant de garantir une marge de phase supérieure à 70° :

$$20 \cdot \log_{10}(K_{D1}) \approx 107 \text{ dB} \text{ soit } K_{D1} \approx 10^{\frac{107}{20}} \approx 223000 !!$$

Cette valeur permet d'obtenir un système avec peu de dépassement et beaucoup plus rapide en théorie. Bien évidemment cette valeur n'est pas du tout réaliste puisqu'il faut tenir compte des saturations présentes sur le système réel (le hacheur en particulier) limitant la valeur du gain proportionnel que l'on peut mettre en œuvre dans le domaine linéaire.



Q24. À partir des équations (4) liant le temps de réponse, le facteur d'amortissement et la pulsation propre, ainsi que de l'expression numérique de $G_{BF}(p)$, **donner** une expression liant $t_{r5\%}$ et K_{D2} . **En déduire** la valeur de K_{D2} permettant de respecter la contrainte imposée en termes de rapidité.

On se place dans le cas particulier où $\xi > \frac{1}{\sqrt{2}}$ avec $t_{r5\%} \approx \frac{6 \cdot \xi}{\omega_0}$. On extrait les valeurs de ξ et ω_0 à partir de l'expression de $G_{BF}(p)$ (5) :

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 = \frac{0,025}{K_D} \\ \zeta = \frac{1}{2} \cdot \omega_0 \cdot \frac{89}{K_D} \end{cases} \text{ soit } \frac{\zeta}{\omega_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{89}{K_D} \text{ d'où } t_{r5\%} \approx \frac{6 \cdot \xi}{\omega_0} \approx 3 \cdot \frac{89}{K_D} \approx \frac{267}{K_D}$$

Si on impose un temps de réponse à 5% de 5s il faut choisir comme gain : $K_{D2} \approx \frac{267}{t_{r5\%}} \approx 53,4$.

Cette valeur semble plus raisonnable....

Q25. Commenter les courbes (respect des exigences) et **choisir** le correcteur qui vous parait le plus pertinent.

Pour les deux correcteurs l'erreur statique est nulle, le système est donc précis.

On observe un dépassement d'environ 10% pour le premier correcteur et aucun pour le deuxième qui convient mieux vis-à-vis de ce critère (stabilité).

En terme de rapidité le premier correcteur est bien plus performant ($t_{r5\%}=0.0018\text{s}$ pour le premier et $t_{r5\%}=5\text{s}$ pour le second) mais le second correcteur, bien que moins rapide, respecte le cahier des charges...

Le correcteur le plus approprié est bien évidemment le second car il répond en tout point au cahier des charges et présente un gain de valeur numérique raisonnable.

Partie VI - Analyse de la loi de commande (partie informatique)

Q26. Écrire une fonction consigne(distance, distance_verin) qui calcule l'écart entre la tige du vérin et le sol et qui retourne la consigne **rapide** si cet écart est supérieur à 10 mm ou la consigne **lente** sinon.

```
def consigne(distance,distance_verin):
    ecart=distance-distance_verin
    if ecart>1:
        consigne=rapide
    else:
        consigne=lente
    return(consigne)
```

Q27. À partir des informations données en annexe (page 16), **écrire la fonction setup()** qui permet d'initialiser l'entrée et la sortie de la carte Arduino connectée au capteur 1 et de générer un signal niveau bas sur la sortie connectée au capteur 1.

```
def setup():
    pinMode(2,OUTPUT)
    digitalWrite(2,LOW)
    pinMode(4,INPUT)
```

Q28. À partir des informations données en annexe, **écrire la fonction impulsion(S)** qui permet de générer une impulsion de niveau haut d'une durée de 20 µs sur la sortie S.

```
def impulsion (S):
    digitalWrite(S,HIGH)
    time.sleep(0.00002)
    digitalWrite(S,LOW)
```

Q29. **Commenter** le plus précisément possible, les deux boucles ainsi que les deux dernières lignes de cette fonction. **Que doit-on choisir** pour **E** si l'on veut utiliser cette fonction pour obtenir la mesure de distance pour notre capteur 1 ?

```
def calcul_distance(E):
    while (digitalRead(E) == 0):
        pulse_start = time.time()
    while (digitalRead(E) == 1):
        pulse_end = time.time()
    pulse_duration = pulse_end - pulse_start
    distance = pulse_duration * 17150
    return (distance)
```

Boucle tant que, condition sur la lecture sur l'entrée E à 0
Initialise la variable pulse_start avec l'heure courante
Boucle tant que, condition sur la lecture sur l'entrée E à 1
Initialise la variable pulse_end avec l'heure courante
Calcule la durée de l'impulsion
Calcul de la distance
Retourne la valeur calculée

E correspond à a sortie echo du capteur et donc à l'entrée de la carte Arduino (broche 4).

Q30. À partir des fonctions **calcul_distance(E)** et **impulsions (S)**, **écrire la fonction mesure ()** qui retourne la valeur numérique correspondant à une mesure de position en cm dans une variable **mes**. **Préciser** le type de la variable **mes**.

```
def mesure():
    impulsion(trig)
    mes=calcul_distance(echo)
    return(mes)
```

mes : variable de type float.

Partie VII – Exploitation de la base de données du système de mesure (partie informatique)

Q31. Indiquer quel champ joue le rôle de clé primaire pour chaque table de la base de données.

Les clés primaires sont : **Mesure, Id_LB, Id_CB**

Q32. Donner le résultat de la requête suivante : **SELECT Date FROM CourteBande ORDER BY MCBx.**

On obtient:

18.02.2017_9H52

15.02.2017_04H02

16.02.2017_15H15

16.02.2017_22H47

Q33. Donner la requête SQL pour obtenir les valeurs de MCBz classées par ordre croissant suivant la date des événements et dont les valeurs sont supérieures à 0,2.

SELECT MCBz FROM CourteBande ORDER ASC BY Date WHERE MCBz >0,2

Q34. Donner la requête SQL pour afficher les champs MLBx, MLBy, MLBz lorsque la température est supérieure à -30°C.

SELECT LargeBande.MLBx, LargeBande.MLBy, LargeBande.MLBz FROM LargeBande JOIN Sismique ON LargeBande.Date = Sismique.Date WHERE Sismique.Température>-30

On peut trouver aussi **ON using Date**

Q35. Compléter le tableau du **document réponse 5** en indiquant les parties de l'étude permettant de valider les exigences indiquées (validée, non validée, partiellement validée).

	Id 02	Id 03	Id 04	Id 05	Id 06	Id 07	Id 08
Partie 1	Validée						
Partie 2		Validée					
Partie 3							
Partie 4							
Partie 5			Validée	Validée	Validée		
Partie 6						Partiellement validée	
Partie 7							Partiellement validée