

## Proposition de corrigé

Concours : Concours Commun Mines-Ponts

Année : 2015

Filière : PSI

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

## LE ROBOT HUMANOÏDE LOLA

## Stabilité du robot

Question 1. Montrer que  $\{T_{sol \rightarrow pied}\}$  est un glisseur.

On cherche P tel que  $\vec{M}(P, sol \rightarrow pied) = \vec{0}$

Soit  $\vec{PO}_S \wedge \int p \vec{z}_0 dy + \int O_S \vec{M} \wedge p \vec{z}_0 dy = \vec{0}$

$\Leftrightarrow \vec{PO}_S \cdot \int p dy + \int O_S \vec{M} \wedge p dy = \vec{0}$  d'où  $\vec{O}_S P = \frac{\int O_S \vec{M} \wedge p dy}{\int p dy}$  donc P existe et  $\{T_{sol \rightarrow pied}\}$  est un

glisseur.

Ou plus simplement : un glisseur a sa résultante non nulle  $\vec{R}$  et orthogonale au moment  $\forall P, \vec{R} \cdot \vec{M}(P) = 0$ . Or  $\forall P, \vec{R}(P, sol \rightarrow pied) \cdot \vec{M}(P, sol \rightarrow pied) = F \vec{z}_0 \cdot \int PM \wedge p \vec{z}_0 dy = 0$  donc  $\{T_{sol \rightarrow pied}\}$  est un glisseur.

Question 2. Montrer que  $H_S \in [O_S ; C_S]$ , c'est-à-dire qu'il est situé sous le pied du robot.

D'après 1 on a :  $O_S \vec{H}_S = \frac{\int p y dy}{\int p dy} \vec{y}_0 > \vec{0}$

de même  $C_S \vec{H}_S = \frac{\int C_S \vec{M} \wedge p dy}{\int p dy} = -\frac{\int p y dy}{\int p dy} \vec{y}_0 < \vec{0}$

Donc  $H_S \in [O_S, C_S]$

Question 3. Donner la forme du torseur  $\{T_{sol \rightarrow pied}\}$  dans le cas d'un contact avec frottement dans le plan sagittal (c'est-à-dire que la densité d'efforts de contact est  $p(M) \vec{z}_0 + t(M) \vec{y}_0$ ). Montrer que les résultats des questions 1 et 2 sont inchangés.

$$\{T_{sol \rightarrow pied}\}_{O_S} = \begin{cases} b \int (p \vec{z}_0 + t \vec{y}_0) dy \\ b \int O_S \vec{M} \wedge p \vec{z}_0 dy \end{cases} \text{ car } O_S \vec{M} // \vec{y}_0$$

$$\{T_{sol \rightarrow pied}\}_{O_S} = \underbrace{\begin{cases} b \int p \vec{z}_0 dy \\ b \int O_S \vec{M} \wedge p \vec{z}_0 dy \end{cases}}_{\text{glisseur en } H_S \text{ trouvé en 1}} + \underbrace{\begin{cases} b \int t \vec{y}_0 dy \\ \vec{0} \end{cases}}_{\text{glisseur suivant } (O_S, \vec{y}_0)} \text{ est un glisseur en } H_S.$$

Question 4. En appliquant le théorème du moment dynamique, puis le théorème de la résultante

dynamique au système {1+2}, montrer que la condition de stabilité (non basculement)

s'écrit :  $y_{H_S} = y_G - \frac{z_G}{g} \frac{d^2 y_G}{dt^2}$ .

Moment dynamique en  $H_S$  :

$$\vec{M}(H_S, sol \rightarrow pied) \cdot \vec{x}_0 + \vec{M}(H_S, pes \rightarrow 1) \cdot \vec{x}_0 = \vec{\delta}(H_S, 1 \cup 2/0) \cdot \vec{x}_0$$

- $\vec{M}(H_s, pes \rightarrow 1).x_0 = (\vec{H}_s G \wedge -m_1 g z_0).x_0 = ((y_G \vec{y}_0 + z_G \vec{z}_0 - y_{H_s} \vec{y}_0) \wedge -m_1 g \vec{z}_0).x_0 = -(y_G - y_{H_s})m_1 g$
- $\vec{\delta}(H_s, 1 \cup 2/0).x_0 = (\vec{H}_s G \wedge m_1 \frac{d^2 y_G}{dt^2} \vec{y}_0).x_0 = -m_1 z_G \frac{d^2 y_G}{dt^2}$

Finalement :  $(y_G - y_{H_s})m_1 g = m_1 z_G \frac{d^2 y_G}{dt^2}$  d'où la condition de stabilité :  $y_{H_s} = y_G - \frac{z_G}{g} \frac{d^2 y_G}{dt^2}$

**Question 5. Sachant que la longueur de la semelle du robot  $[O_s ; C_s]$  est  $L=300$  mm, déterminez la**

longueur maximale de la première foulée du robot qui garantit la condition de non-basculement. Est-ce compatible avec le cahier des charges ?

Le cas limite est pour  $y_{H_s} = L$

$$y_G = y_{H_s} + \frac{z_G}{g} \frac{d^2 y_G}{dt^2} = 0,3 + \frac{1,05}{9,81} \times 1,39 = 0,449 \text{ m}$$

Foulée =  $4.y_G = 1,795 \text{ m} > 1,5 \text{ m}$  donc le CdCf n'est pas respecté.

**Question 6. Dans le cas d'un sol relativement glissant, avec un facteur de frottement du contact sol /**

semelle  $\mu=0,1$  quelle accélération maximale  $\left\{ \frac{d^2 y_G}{dt^2} \right\}_{MAX}$  le robot peut-il avoir ? Est-ce compatible avec le cahier des charges pour la phase de démarrage ?

On isole 1 $\cup$ 2 et on applique le théorème de la résultante en projection sur  $\vec{y}_0$  puis sur  $\vec{z}_0$  :

$$\underbrace{\vec{R}(sol \rightarrow 2).y_0}_{T_{sol \rightarrow 2}} + \underbrace{\vec{R}(pes \rightarrow 1).y_0}_0 = \vec{R}_d(1 \cup 2/0).y_0 = m_1 \frac{d^2 y_G}{dt^2}$$

$$\underbrace{\vec{R}(sol \rightarrow 2).z_0}_{N_{sol \rightarrow 2}} + \underbrace{\vec{R}(pes \rightarrow 1).z_0}_{-m_1 g} = \vec{R}_d(1 \cup 2/0).z_0 = 0$$

Condition d'adhérence  $T_{sol \rightarrow 2} \leq \mu.N_{sol \rightarrow 2}$  soit :  $\frac{d^2 y_G}{dt^2} \leq \mu.g = 0,981 \text{ m.s}^{-2} < 1,39 \text{ m.s}^{-2}$

Le cahier des charges n'est pas satisfait.

## Contrôle de la posture de LOLA

**Question 7.** Proposer une démarche de résolution afin d'obtenir l'équation différentielle du mouvement reliant  $\alpha$  et ses dérivées successives aux données du problème. Effectuer un bilan des actions mécaniques extérieures au système matériel isolé.

Application du théorème du moment dynamique au tronc 1 dans le repère galiléen lié au sol

(0) en  $O_T$  en projection sur  $\vec{x}_0$  :

$$\vec{M}(O_T, pes \rightarrow 1) \cdot \vec{x}_0 + \underbrace{\vec{M}(O_T, hd \rightarrow 1) \cdot \vec{x}_0}_{C_R} + \underbrace{\vec{M}(O_T, 2 \rightarrow 1) \cdot \vec{x}_0}_0 = \vec{\delta}(O_T, 1/0) \cdot \vec{x}_0$$

Cette équation n'introduit pas d'inconnues de liaison ; on obtient bien l'équation de mouvement.

**Question 8.** Développer l'ensemble des calculs pour déterminer l'équation différentielle reliant  $\alpha$  et ses dérivées successives aux données du problème.

$$\vec{M}(O_T, pes \rightarrow 1) \cdot \vec{x}_0 = (O_T G_T \wedge -m_1 g \vec{z}_0) \cdot \vec{x}_0 = -m_1 g O_T G_T \cdot \vec{y}_0 = m_1 g z_G \cdot \sin(\alpha)$$

$$\vec{\delta}(O_T, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = \frac{d}{dt} (\vec{\sigma}(O_T, 1/0) \cdot \vec{x}_0) + (\vec{V}(O_T/0) \wedge m_1 \cdot \vec{V}(G_T, 1/0)) \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\sigma}(O_T, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = (I(O_T, 1) \cdot \vec{\Omega}(1/0)) \cdot \vec{x}_0 + (O_T G_T \wedge m_1 \cdot \vec{V}(O_T, 1/0)) \cdot \vec{x}_0 = A_1 \cdot \dot{\alpha} - m_1 z_G \cdot v \cdot \cos(\alpha)$$

$$(\vec{V}(O_T/0) \wedge m_1 \cdot \vec{V}(G_T, 1/0)) \cdot \vec{x}_0 = m_1 v \cdot z_0 \cdot \vec{V}(G_T, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = -m_1 v \cdot z_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot y_1 = -m_1 z_G \cdot v \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha)$$

Soit  $\vec{\delta}(O_T, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = A_1 \cdot \ddot{\alpha} - m_1 z_G \cdot \dot{v} \cdot \cos(\alpha)$

D'où :  $m_1 g z_G \cdot \sin(\alpha) + C_R = A_1 \cdot \ddot{\alpha} - m_1 z_G \cdot \dot{v} \cdot \cos(\alpha)$

**Question 9.** Indiquer les fonctions de transfert des blocs  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$  et  $B_7$  ainsi que l'expression de la fonction de transfert  $H_1(p)$ .

$B_1$	$m_1 z_G$
$B_2$	$m_1 g z_G$
$B_3$	$1/r$
$B_4$	$1/r$
$B_5$	$k_c$
$B_6$	$k_c$
$B_7$	$1/J_{eq}$
$H_1(p)$	$\frac{1}{R + L \cdot p}$

**Question 10.** Déterminer la fonction de transfert de la boucle dynamique  $H_{dyn}(p) = \frac{\alpha(p)}{C_m(p)}$

en supposant la perturbation nulle.

Si  $\Gamma(p) = 0$

$$H_{dyn}(p) = \frac{\alpha(p)}{C_m(p)} = \frac{B_3 \cdot B_7}{p^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{B_2 \cdot B_7}{p^2}} = \frac{B_3 \cdot B_7}{p^2 - B_2 \cdot B_7} = \frac{1}{r \cdot J_{eq}} = \frac{1}{J_{eq} p^2 - m_1 g z_G}$$

Question 11. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée de

l'asservissement  $F(p) = \frac{\alpha(p)}{U_c(p)}$ . Indiquer son ordre, sa classe et donner son gain statique

K en fonction des données.

$$F(p) = \frac{H_1 \cdot B_5 \cdot H_{dyn}}{1 + H_1 \cdot B_5 \cdot H_{dyn} \cdot B_6 \cdot B_4 \cdot p} = \frac{\frac{k_c}{r}}{(R + Lp)(J_{eq} p^2 - m_1 \cdot g \cdot z_G) + \frac{k_c \cdot k_c}{r^2} p}$$

$$F(p) = \frac{-\frac{k_c}{r \cdot R \cdot m_1 \cdot g \cdot z_G}}{1 + \frac{r^2 \cdot L \cdot m_1 \cdot g \cdot z_G - k_c \cdot k_c}{r^2 \cdot R \cdot m_1 \cdot g \cdot z_G} p - \frac{J_{eq}}{m_1 \cdot g \cdot z_G} p^2 - \frac{L \cdot J_{eq}}{R \cdot m_1 \cdot g \cdot z_G} p^3}$$

Gain statique K :  $-\frac{k_c}{r \cdot R \cdot m_1 \cdot g \cdot z_G}$

Ordre : 3

Classe : 0

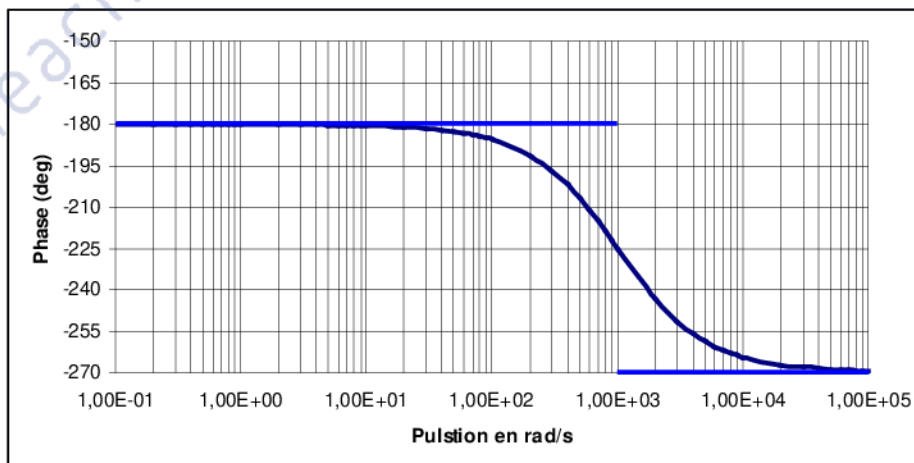
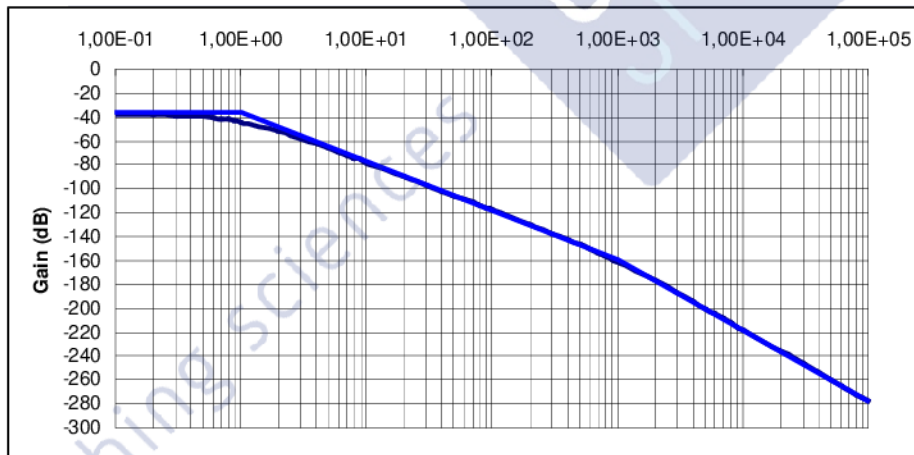
Question 12. En analysant les diagrammes de Bode ci-après, déterminer les valeurs de  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  et K. Justifier en complétant les diagrammes ci-après par les diagrammes asymptotiques de gain et de phase.

$$G = 20 \log(K) - 20 \log(1 + \omega^2 \cdot \tau_1^2) - 10 \log(1 + \omega^2 \cdot \tau_2^2)$$

$$\varphi = -\text{Arc tan}(\tau_1 \cdot \omega) - \pi + \text{Arc tan}(\tau_1 \cdot \omega) - \text{Arc tan}(\tau_2 \cdot \omega)$$

$$20 \log(K) = -37,5 \text{ dB soit } K = 10^{\frac{-37,5}{20}} = 0,013 \text{ rad} \cdot \text{V}^{-1} \text{ (pas d'unité si BO ; } F(p) \neq \text{FTBO)}$$

$$\tau_1 = 1 \text{ s et } \tau_2 = 10^{-3} \text{ s}$$



**Question 13. Justifier le choix de cette simplification.**

$\tau_2 \ll \tau_1$  donc l'effet de  $1 + \tau_2 \cdot p$  est négligeable sur la réponse. La forme simplifiée est justifiée.

Sur le Bode on remarque que le modèle simplifié est satisfaisant jusqu'à  $100 \text{ rad/s} > 50 \text{ rad/s}$  (bande passante visée en BO)

**Question 14. Expliquer pourquoi le critère du revers ne peut être appliqué pour étudier la stabilité en boucle fermée.**

La fonction de transfert en BO a un pôle à partie réelle positive. Le système est donc instable en BO. Le critère du Revers stipule que le système en BO ne doit pas comporter de pôle à partie réelle strictement positive pour qu'il ait un sens.

Ce critère n'est donc pas adapté pour vérifier la stabilité du système en BF.

**Question 15. Déterminer deux conditions sur  $K_1$  pour que la nouvelle fonction de transfert**

**en boucle ouverte non-corrigée  $\frac{\alpha(p)}{U_c(p)}$  soit stable. En déduire la valeur minimale de  $K_1$ .**

Je pose  $H_{ci}(p) = K_1(1+T \cdot p)$  avec  $T = 1 \text{ s}$ .

$$\begin{aligned} \frac{\alpha(p)}{U_c(p)} &= \frac{K}{(1+\tau_1 \cdot p)(-1+\tau_1 \cdot p)} \frac{1}{1 + \frac{K \cdot K_1(1+T \cdot p)}{(1+\tau_1 \cdot p)(-1+\tau_1 \cdot p)}} = \frac{K}{(1+\tau_1 \cdot p)(-1+\tau_1 \cdot p) + K \cdot K_1(1+T \cdot p)} \\ &= \frac{K}{K \cdot K_1 - 1 + K \cdot K_1 \cdot T \cdot p + \tau_1^2 \cdot p^2} \end{aligned}$$

Pour que tous les termes du dénominateur soient positifs il faut  $K \cdot K_1 - 1 > 0$  et  $K \cdot K_1 \cdot T > 0$

donc  $K_1 > \frac{1}{K}$  car  $K > 0$ .

A.N.  $K_1 > 75 \text{ V/rad}$ .

**Question 16. Déterminer  $K_1$  pour que la fonction de transfert  $\frac{\alpha(p)}{U_c(p)}$  ait un facteur**

**d'amortissement  $\xi = 1,7$ . Vérifier que cette valeur est compatible avec les conditions obtenues précédemment. En déduire les valeurs de la pulsation propre  $\omega_0$  et du gain statique de la boucle ouverte  $K_{BO}$ .**

$$\frac{2\xi}{\omega_0} = \frac{K \cdot K_1 \cdot T}{K \cdot K_1 - 1} \text{ et } \omega_0^2 = \frac{K \cdot K_1 - 1}{\tau_1^2} \text{ soit } \xi = \frac{1}{2} \frac{K \cdot K_1 \cdot T}{\tau_1 \cdot \sqrt{K \cdot K_1 - 1}} \text{ d'où l'équation}$$

$$K^2 \cdot T^2 \cdot K_1^2 - 4\xi^2 \tau_1^2 K \cdot K_1 + 4\xi^2 \tau_1^2 = 0$$

$$\Delta = 16 \cdot \xi^2 \tau_1^2 \cdot K^2 (\xi^2 \tau_1^2 - T^2) > 0 \text{ et } K_{1i} = \frac{4\xi^2 \tau_1^2 K \pm 4 \cdot \xi \cdot \tau_1 \cdot K \sqrt{\xi^2 \tau_1^2 - T^2}}{2K^2 \cdot T^2}$$

$$K_{1i} = \frac{2 \cdot \xi \cdot \tau_1}{K \cdot T^2} \left( \xi \tau_1 \pm \sqrt{\xi^2 \tau_1^2 - T^2} \right) \text{ A.N. : } K_{11} = 83 \text{ V/rad ou } K_{12} = 784 \text{ V/rad}$$

Les 2 valeurs vérifient la condition de la question 19.

$$K_{BO} = \frac{K}{K \cdot K_1 - 1} \text{ et } \omega_0 = \frac{\sqrt{K \cdot K_1 - 1}}{\tau_1}$$

$K_1$ (V/rad)	$K_{BO}$	$\omega_0$ (rad/s)
784,0	0,0014	3,07
82,9	0,126	0,33

**Question 17. Nommer ce correcteur.**

Correcteur proportionnel et à avance de phase

**Question 18. Déterminer la valeur du paramètre  $a$  pour que le correcteur permette d'assurer la marge**

de phase du cahier des charges. En déduire la valeur de  $T_d$ .

$$\varphi(\omega_c) = -\pi - \text{Arc tan} \left( \frac{2\xi \frac{\omega_c}{\omega_0}}{1 - \frac{\omega_c^2}{\omega_0^2}} \right) = -168,43^\circ$$

$$\varphi_m = MP - (180 + \varphi(\omega_c)) = 50 - (180 - 168,43) = 38,43^\circ$$

$$a = \frac{1 + \sin(\varphi_m)}{1 - \sin(\varphi_m)} = 4,28 \quad T_d = \frac{1}{\sqrt{a} \cdot \omega_c} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

**Question 19. Déterminer le gain  $K_p$  pour que le critère de bande passante du cahier des charges soit bien vérifié.**

$$G = 20 \log(K_{BO}) - 10 \log \left( \left( 1 - \frac{\omega_c^2}{\omega_0^2} \right)^2 + 4\xi^2 \left( \frac{\omega_c}{\omega_0} \right)^2 \right) + 10 \log(a) + 20 \log(K_p)$$

$$\text{Soit : } K_p = \frac{\sqrt{\left( 1 - \frac{\omega_c^2}{\omega_0^2} \right)^2 + 4\xi^2 \left( \frac{\omega_c}{\omega_0} \right)^2}}{K_{BO} \cdot \sqrt{a}} = 1,24 \cdot 10^5 \text{ (unité inverse de celle de } K_{BO} : \text{V/rad)}$$

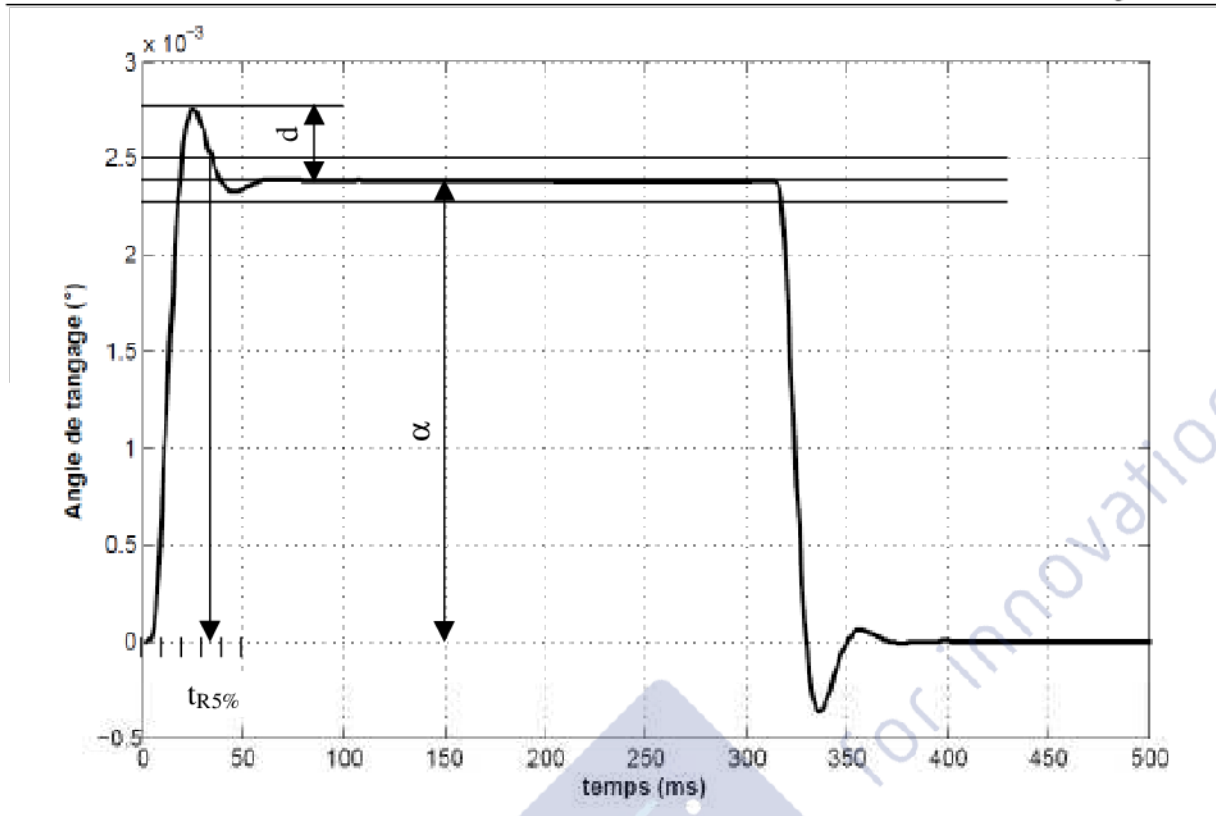
Remarque : pour une erreur de  $2,7 \cdot 10^{-3}$  rad on a une tension de 335 V certainement trop grande pour le moteur.

**Question 20. Justifier l'allure de la réponse temporelle. Déterminer graphiquement sur le tracé ci-dessous le temps de réponse à 5%, le dépassement maximal et l'erreur statique. Conclure sur la capacité du correcteur à vérifier l'ensemble des critères du cahier des charges.**

Il y a un problème de correspondance entre l'évolution de la vitesse (figure 9) avec une accélération constante pendant 1s et la réponse ci-dessous.

En supposant que le passage d'accélération constante à vitesse constante se fait pour 0,32s on distingue :

- 1<sup>ère</sup> phase (accélération constante entre 0 et 320 ms) : l'angle  $\alpha$  est perturbé mais maintenu proche de 0 par l'asservissement.
- 2<sup>ème</sup> phase (vitesse constante à partir de 320 ms) : l'angle  $\alpha$  est ramené à 0 par l'asservissement.



Temps de réponse :  $t_{R5\%} = 35 \text{ ms} < 200 \text{ ms}$

Erreur statique due à la perturbation :  $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ < 1 \text{ }^\circ$

Dépassement de la valeur finale :  $4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ < 0,5 \text{ }^\circ$  (dépassement de la valeur visée :  $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ$ )

Le cahier des charges est respecté.

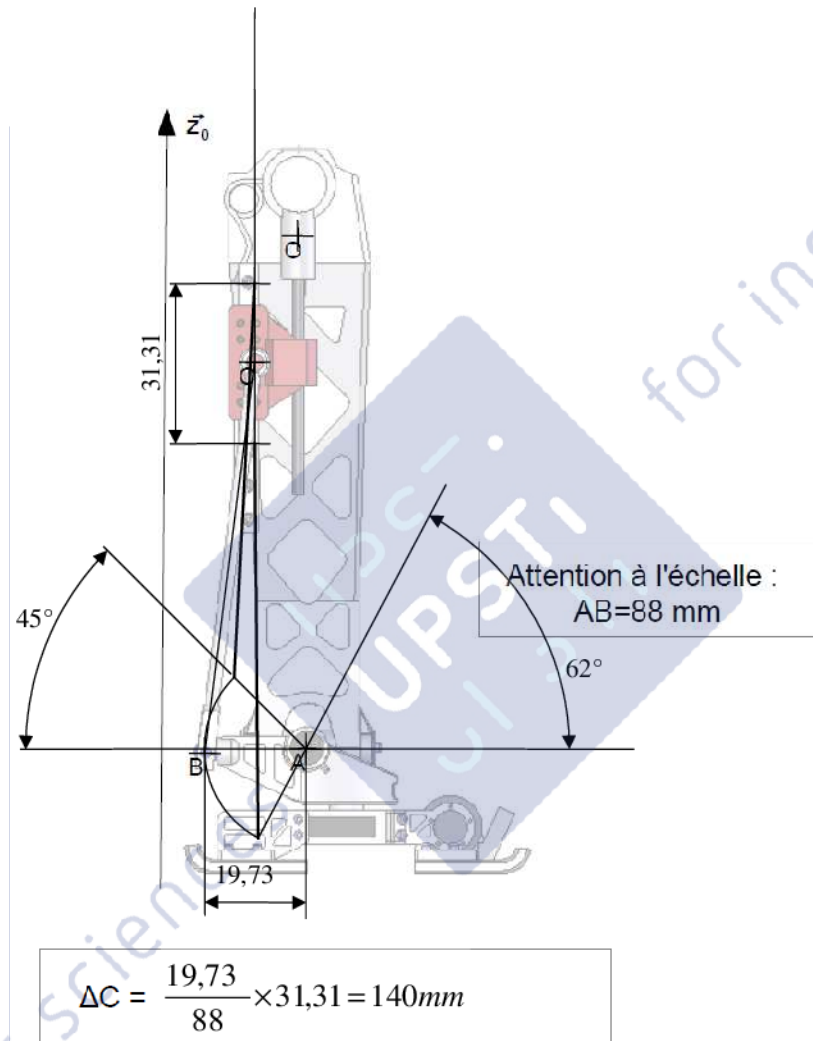


## Alterner les phases d'appui sur les deux pieds (marche du robot)

Question 21. Le critère de vitesse de déplacement de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  est-il cohérent avec ceux de longueur de foulée et de temps de cycle ? Justifier.

$$t = \frac{L}{V} = \frac{1,5}{5} \times 3,6 = 1,08 \text{ s} > 1 \text{ s} \text{ donc compatible avec le CdCf.}$$

Question 22. Déterminer graphiquement sur le dessin ci-dessous la course  $\Delta C$  du chariot permettant d'obtenir le débattement angulaire spécifié en annexe 5.



Sur la copie de concours, on trouve 16mm pour AB et 25mm pour la course, ce qui conduit à 135mm en taille réelle.

Question 23. En supposant la vitesse de rotation du moteur constante, déterminer le pas  $P_v$  en mm de la vis à billes pour obtenir le temps d'inclinaison en tangage de la cheville spécifié par le cahier des charges.

$$V = \frac{p_v}{2\pi} \omega = p_v \cdot N = \frac{\Delta_c}{t_c} \text{ soit } p_v = \frac{\Delta_c}{t_c \cdot N} = \frac{140 \times 60}{0,8 \times 2200} = 4,8 \text{ mm (minimum)}$$

Question 24. Quels mouvements particuliers doit-on imposer simultanément aux « vis droite » et « vis gauche » pour obtenir une rotation uniquement en roulis de la cheville ? Pour une rotation uniquement en tangage ?

Roulis si  $\omega_d = -\omega_g$

Tangage si  $\omega_d = \omega_g$

Question 25. Dénombrer et décrire les mobilités (internes et utiles) du modèle de mécanisme présenté annexe 7. En déduire le degré d'hyperstatisme.

$$m_c = m_u + m_i = 2 + 2 = 4$$

$m_u$  : rotation des vis par rapport au carter entraîne le mouvement du pied par rapport au tibia.

$m_i$  : rotation des bielles autour de leur axe.

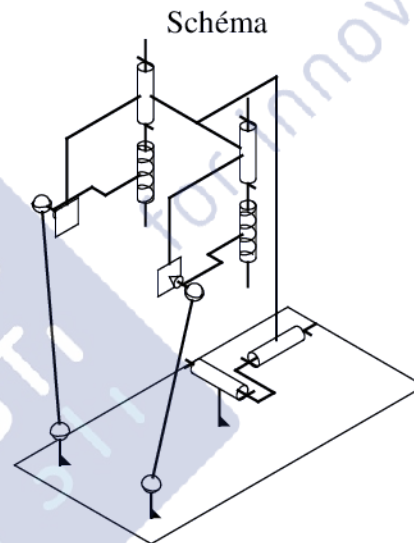
Nombre de degré de liberté :  $I_c = 8 \times 1 + 4 \times 3 = 20$

Nombre de boucles indépendantes  $\gamma = L - N + 1 = 12 - 9 + 1 = 4$

Degré d'hyperstatisme (ou de surabondance) :  $h = 6\gamma - r_c = 24 - 16 = 8$

Question 26. Comment réduire ce degré d'hyperstatisme en remplaçant les liaisons glissière par d'autres liaisons ? Présenter la solution envisagée sous forme de schéma cinématique.

Pour une boucle Tibia - chariot - vis le degré de surabondance est de 4. Il faut donc rajouter 4 degrés de liberté à la glissière sans rajouter de mobilité interne pour rendre le système isostatique. Soit remplacer les glissières par des ponctuelles.



Remarque :

*Ce n'est pas une bonne solution de conception car la liaison vis -écrou va supporter une charge radiale et un moment. On préférera une solution basée sur un modèle hyperstatistique ou une solution à écrou flottant.*

