

TD 1

Mobilité assistée à l'aide d'une canne robotisée ★

Concours CCP – PSI 2018

Savoirs et compétences :

- Res1.C4.SF1 : Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel
- Con.C2 : Correction d'un système asservi
- Con.C2.SF1 : Choisir un type de correcteur adapté

Présentation du prototype de canne robotisée étudié

L'objectif de cette canne est de prendre en charge une partie des efforts normaux supportés par une jambe handicapée.

Le prototype de canne robotisée envisagé conserve une forme longiligne, un point d'appui au sol ainsi qu'un encombrement et un poids réduits. La canne robotisée, dont la structure mécanique est présentée en 1, se compose d'un axe linéaire motorisé et d'une roue motorisée située à son extrémité.

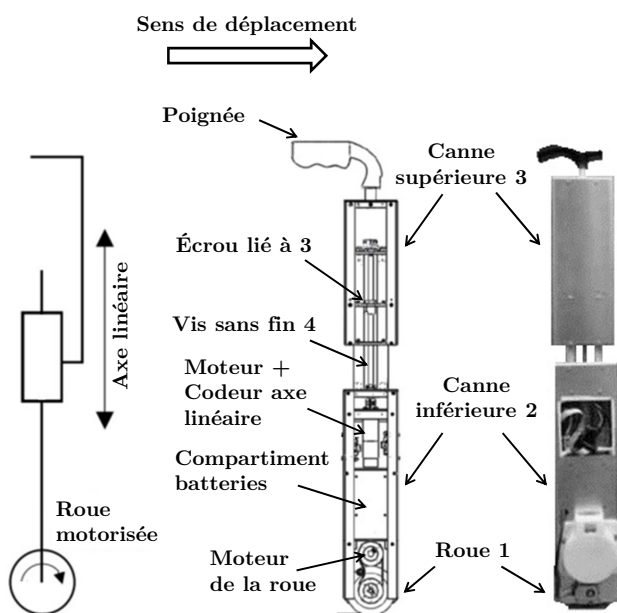


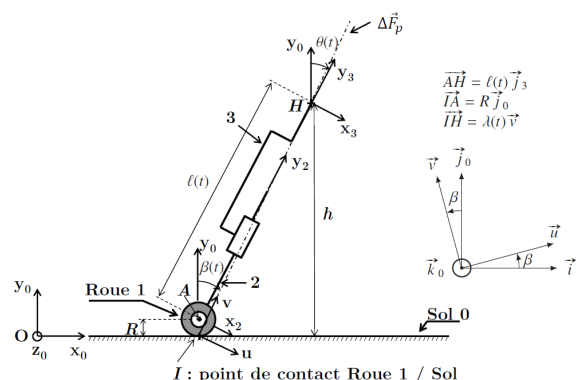
FIGURE 1 – Schéma cinématique et photographie du prototype de canne robotisée

Les deux degrés de mobilité, rendus possibles par cette structure, permettent de suivre la marche d'un sujet et lui offre un point d'appui. L'avantage est d'éviter aux utilisateurs la manipulation de la canne (levée et positionnement) pendant la marche, la roue restant toujours en contact avec le sol.

Étude de l'exigence 3.1.6.2 « Commande de l'axe linéaire »

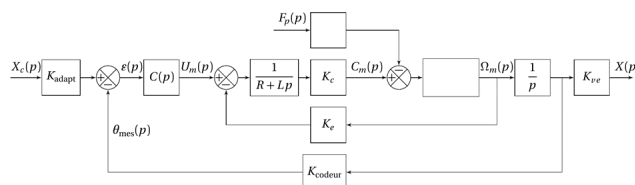
Le maintien d'une hauteur constante lors de la phase d'appui revient finalement à asservir en position le dé-

placement $x(t)$ de la canne supérieure 3 par rapport à la canne inférieure 2.



Le modèle causal retenu pour l'étude du comportement de l'axe linéaire perturbé est représenté par le schéma-blocs ci-dessous. Dans ce modèle, on note :

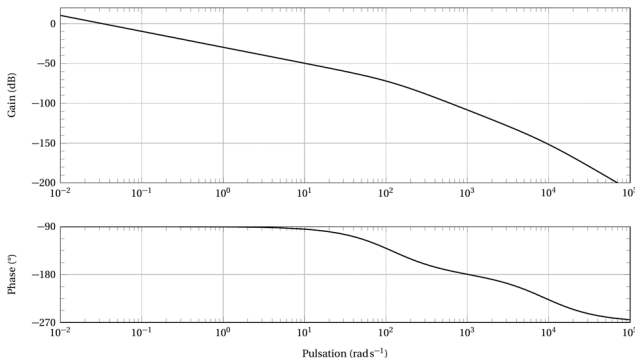
- $X_c(p)$ la transformée de Laplace de la consigne de déplacement $x_c(t)$ en mètre,
- $X(p)$ la transformée de Laplace du déplacement $x(t)$ en mètre,
- $F_p(p)$ la transformée de Laplace de l'effort exercé par le patient sur la canne $F_p(t)$ en N,
- $\Omega_m(p)$ la transformée de Laplace de la vitesse de rotation du moteur $\omega_m(t)$ en rad/s,
- $C_m(p)$ la transformée de Laplace du couple moteur $C_m(t)$ en N m,
- $C(p)$ la fonction de transfert du bloc correcteur.



Modèle comportemental

Afin de proposer une modélisation simplifiée de la chaîne d'énergie de l'axe linéaire, une simulation du modèle précédent en boucle ouverte, non perturbé, a été réalisée. Le document réponse présente la réponse fréquentielle du système en boucle ouverte à l'aide du diagramme de Bode (courbe de gain $G_{BO}(\omega)$ et courbe de phase $\varphi_{BO}(\omega)$).

Question 1 À partir du diagramme de Bode, proposer un modèle de comportement du système en boucle ouverte. Soit $H_{BO-1}(p)$ cette fonction de transfert, donner sa forme canonique factorisée. Soient T_1 et T_2 , telles que $T_1 < T_2$, les constantes de temps introduites et K_{BO} le gain de $H_{BO-1}(p)$, préciser les valeurs numériques et unités de T_1 , T_2 et K_{BO} . Vous laisserez apparaître les traits de construction nécessaires à l'identification du modèle sur le document réponse.



Lors d'une marche saine à allure rapide la cadence moyenne est de 113 pas par minute.

Question 2 Déterminer la fréquence moyenne en Hz de la marche saine à allure rapide.

Pour la suite, on considérera que la fréquence maximale de déplacement de l'axe linéaire de la canne (liée au mouvement de la marche) est fixée à $F_{MAX} = 4$ Hz. On propose alors en première approximation une modélisation du comportement du système en boucle ouverte par une fonction de transfert $H_{BO}(p)$ de la forme $H_{BO}(p) = K_{BO}/p$ avec $K_{BO} = 1/30$.

Question 3 Justifier, à l'aide de la réponse fréquentielle du système en boucle ouverte, la validité de cette modélisation approchée.

Correction proportionnelle

Pour la suite, on modélise le comportement du système en boucle ouverte par $H_{BO}(p) = K_{BO}/p$ avec $K_{BO} = 1/30$. On considère un correcteur à action proportionnelle tel que $C(p) = K_{corr} = 1$. Le schéma-blocs du système non perturbé correspond alors à celui de la figure 2.

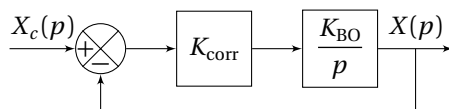


FIGURE 2 – Schéma-bloc simplifié du système non perturbé avec $C(p) = K_{corr}$

Question 4 Déterminer l'expression de $H_{BF}(p) = X(p)/X_c(p)$, la fonction de transfert en boucle fermée de la modélisation de la 2. Déterminer les paramètres caractéristiques de $H_{BF}(p)$ et en déduire les performances de cette modélisation pour $C(p) = K_{corr} = 1$. Conclure vis-à-vis des performances d'asservissement de l'axe linéaire.

On se propose de modifier la valeur de K_{corr} de manière à vérifier l'exigence de rapidité de l'asservissement.

Question 5 Déterminer la valeur numérique à donner à K_{corr} pour assurer le temps de réponse à 5 % lié à l'exigence de rapidité de l'asservissement de l'axe linéaire.

La 3 donne l'évolution de la réponse temporelle $x(t)$ du système réel non perturbé à un échelon en déplacement de valeur finale $X_c = 10$ mm, pour une correction proportionnelle $K_{corr} = 1500$.

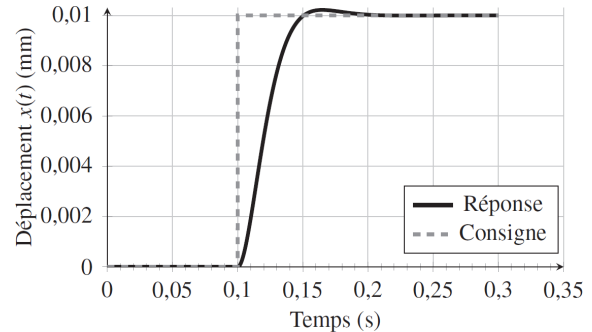


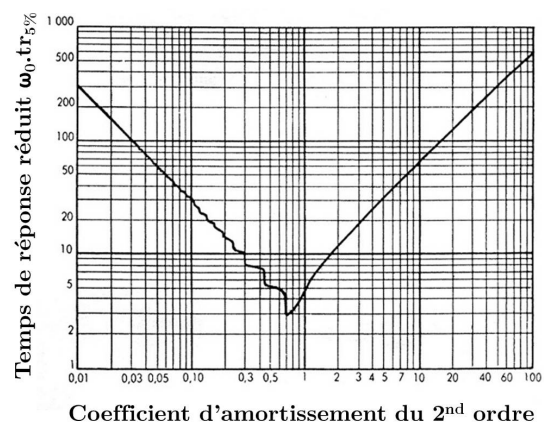
FIGURE 3 – Évolution de la réponse temporelle $x(t)$ du système réel non perturbé à un échelon de valeur $X_c = 10$ mm, pour $K_{corr} = 1500$

Question 6 L'évolution de la réponse du système est-elle cohérente avec le comportement du modèle retenu? Justifier. Quelle modification faudrait-il apporter au modèle approché pour retrouver cette forme de réponse temporelle?

Pour la suite, on modélise la fonction de transfert en boucle ouverte du système par $H_{BO}(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{K_{BO}}{1 + \tau_{BO}p}$ avec $K_{BO} = 1/30$ (unité en s^{-1}) et $\tau_{BO} = 9$ ms.

Question 7 Quelle valeur maximale de K_{corr} , notée K_{corr}^{MAX} , permet de vérifier les critères de précision et de dépassement de l'asservissement de l'axe linéaire?

Question 8 Déterminer la valeur du temps de réponse à 5 %, $t_{r5\%}$ de ce modèle pour $K_{corr} = K_{corr}^{MAX}$ à partir de l'abaque du temps de réponse réduit donné ci-dessous.



La figure 4 donne les évolutions des réponses temporelles $x(t)$ du système réel avec prise en compte de la perturbation (F_p constante et égale à 175 N) à un échelon en déplacement de valeur finale $X_c = 10$ mm, pour une correction proportionnelle $K_{corr} = 1500$ et pour $K = K_{corr}^{MAX}$.

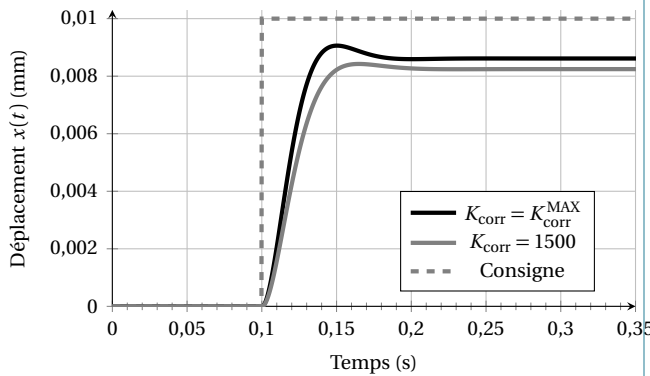


FIGURE 4 – Réponses temporelles $x(t)$ du système réel perturbé à un échelon en déplacement de valeur finale $X_c = 10$ mm, pour une correction proportionnelle $K_{\text{corr}} = 1500$ et pour $K = K_{\text{corr}}^{\text{MAX}}$

Question 9 Conclure sur les capacités de la correction à action proportionnelle pure vis-à-vis des performances à atteindre.

Correction avec action proportionnelle et intégrale généralisée – correcteur PI généralisé

Le correcteur finalement retenu est un correcteur avec action proportionnelle et intégrale généralisée. La fonction de transfert $C(p)$ prend alors la forme suivante :

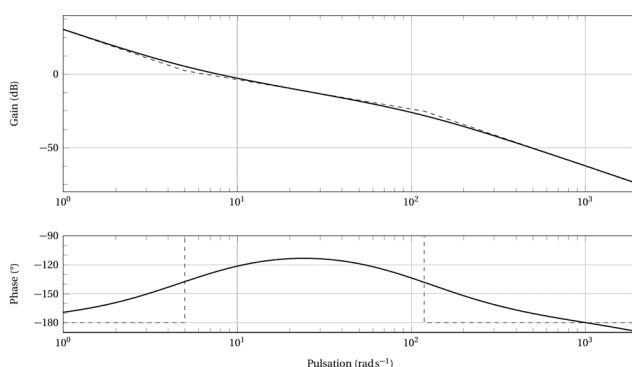
$$C(p) = K_{\text{corr}} \cdot \frac{1 + T_d p}{p} \text{ avec } K_{\text{corr}} \gg 1 \text{ et } T_d < 1 \text{ s.}$$

On donne dans le document réponse le diagramme de Bode (courbe de Gain et de Phase) du système en boucle ouverte avec correcteur PI Généralisé pour $K_{\text{corr}} = 1000$ et $T_d = 0,2$ s.

Question 10 Représenter sur le document réponse les marges de Gain M_G et de Phase M_ϕ du système corrigé.

Avec cette correction, le système est précis mais les valeurs des marges de gain et de phase sont telles que le système n'est pas assez rapide. Il est donc nécessaire d'augmenter la valeur de K_{corr} , tout en conservant $T_d = 0,2$ s, de manière à augmenter la bande passante du système et ainsi se rapprocher des valeurs limites de marge de Gain et de Phase autorisées.

Question 11 En déduire la valeur maximale à donner au gain K_{corr} , en conservant $T_d = 0,2$ s, afin de respecter les performances en stabilité de l'asservissement de l'axe linéaire tout en augmentant au maximum la bande passante du système.



Les figures 5 donnent la réponse temporelle à un échelon de consigne $X_c = 10$ mm du système simulé, perturbé et corrigé du déplacement $x(t)$ (en mm) ainsi que l'évolution de l'intensité simulée (en Ampères) circulant au sein du moteur.

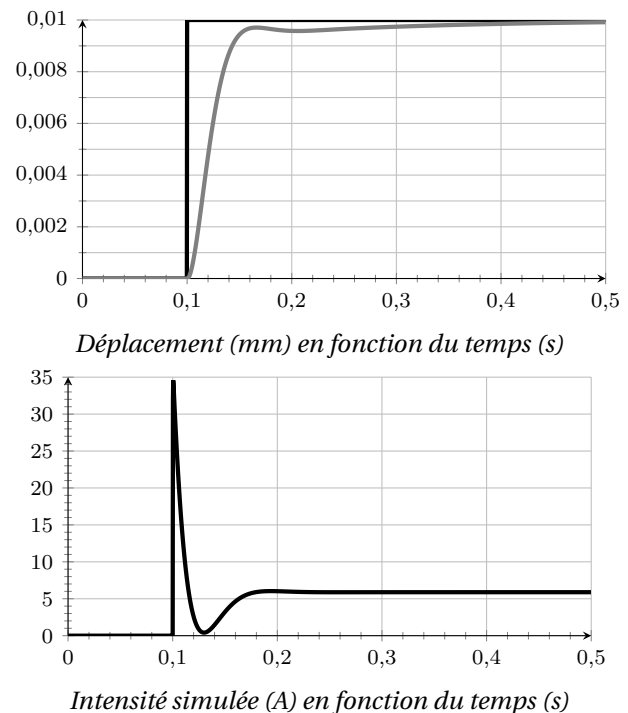


FIGURE 5 – Réponses temporelles à un échelon d'amplitude $X_c = 10$ mm du système simulé, perturbé et corrigé

Question 12 Conclure sur les performances du système perturbé vis-à-vis des exigences de l'asservissement de l'axe linéaire. Commenter l'évolution de l'intensité simulée avec les caractéristiques de la carte de commande du moteur.

Synthèse – Étude de l'exigence 3.1 « Assistance de la marche »

L'objectif de cette synthèse est de vérifier que les paramètres d'asservissement mis finalement en place sur la commande de l'axe linéaire et sur la commande de la roue permettent d'atteindre les performances de l'exigence 3.1 « Assistance de la marche ».

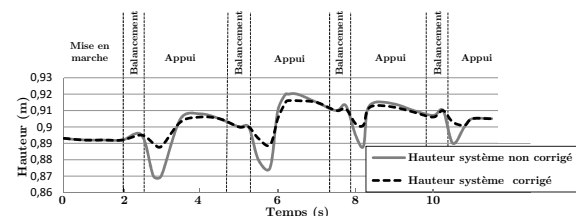


FIGURE 6 – Hauteur de la main au cours de la marche pour $V = 0,22$ m/s

La 6 donne les évolutions de la hauteur de main mesurées lors d'une marche assistée avec le prototype de canne à la vitesse $V = 0,22$ m/s.

La courbe grise en trait continu correspond au cas où l'axe linéaire est sans correction ($C(p) = 1$).

La courbe noire en trait pointillé correspond au cas où

l'axe linéaire est corrigé (correction PI généralisée avec paramètres optimisés).

Il est à remarquer que lors de cet essai, le patient avait pour consigne de conserver sa main immobile lors du déplacement. Cette condition est difficilement vérifiable en pratique car le patient ne peut pas vraiment se concentrer sur la position de sa main pendant la marche.

Question 13 Conclure sur l'influence de la correction de l'axe linéaire sur le respect de l'exigence de maintien de la hauteur de main.

Les figures 7 et 8 donnent pour $V = 0,22$ m/s (allure normale), respectivement pour $V = 0,29$ m/s (allure rapide), le suivi du pied de la jambe gauche par la canne observé au niveau du sol et le suivi de l'orientation de la cuisse gauche (angle θ_g) par la canne (angle θ).

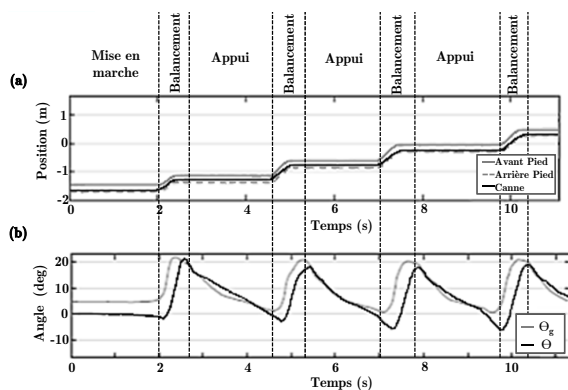


FIGURE 7 – $V = 0,22$ m/s, allure normale – (a) : suivi du pied de la jambe gauche par la canne observé au niveau du sol – (b) : suivi de l'orientation de la cuisse gauche (angle θ_g) par la canne (angle θ)

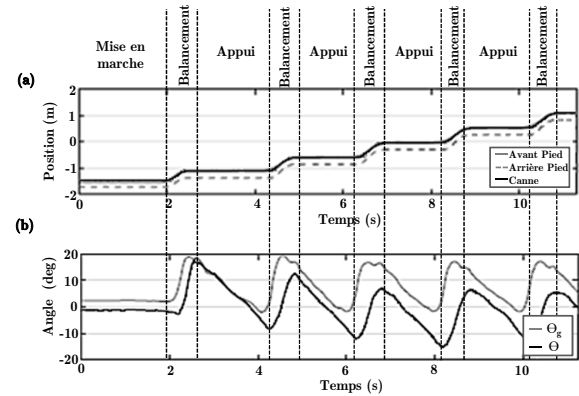
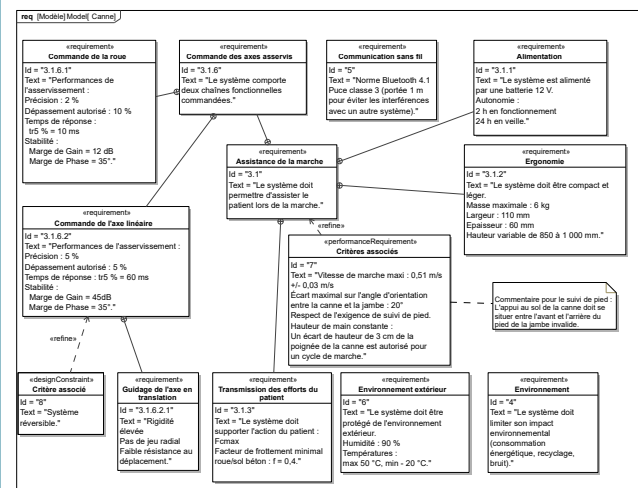


FIGURE 8 – $V = 0,29$ m/s, allure rapide – (a) : suivi du pied de la jambe gauche par la canne observé au niveau du sol – (b) : suivi de l'orientation de la cuisse gauche (angle θ_g) par la canne (angle θ)

Question 14 Conclure sur le réglage des paramètres d'asservissement mis en place vis-à-vis des performances liées à la synchronisation de la canne avec le cycle locomoteur à différentes allures.

Annexes – Diagramme partiel des exigences



TD 1 – Corrigé

Mobilité assistée à l'aide d'une canne robotisée *

Concours CCP – PSI 2018

Savoirs et compétences :

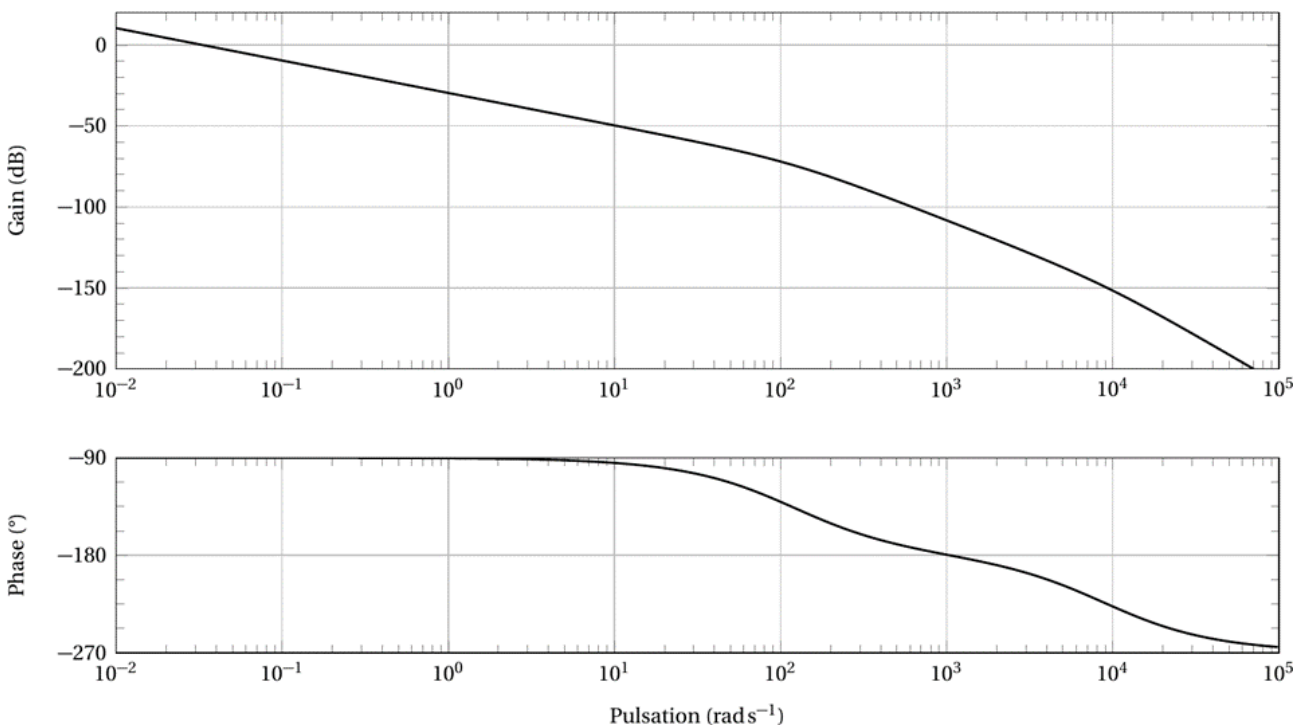
- ☐ Res1.C4.SF1 : Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel
- ☐ Con.C2 : Correction d'un système asservi
- ☐ Con.C2.SF1 : Choisir un type de correcteur adapté

Présentation du prototype de canne robotisée étudié

Étude de l'exigence 3.1.6.2 « Commande de l'axe linéaire »

Modèle comportemental

Question 1 À partir du diagramme de Bode, proposer un modèle de comportement du système en boucle ouverte. Soit $H_{BO,1}(p)$ cette fonction de transfert, donner sa forme canonique factorisée. Soient T_1 et T_2 , telles que $T_1 < T_2$, les constantes de temps introduites et K_{BO} le gain de $H_{BO,1}(p)$, préciser les valeurs numériques et unités de T_1 , T_2 et K_{BO} . Vous laisserez apparaître les traits de construction nécessaires à l'identification du modèle sur le document réponse.



Correction L'allure des courbes de gain et de phase de la réponse fréquentielle du système en boucle ouverte montre clairement que le comportement est équivalent à celui d'un système du second ordre (avec coefficient d'amortissement $z > 1$, car les courbes présentent deux cassures nettes en $\omega_{c1} = 1/T_1$ et $\omega_{c2} = 1/T_2$) associé à un intégrateur pur (pente de -20 dB/dec quand $\omega \rightarrow 0$ pour la courbe de gain et asymptote à -90° quand $\omega \rightarrow 0$ pour la courbe de phase). La forme canonique factorisée peut donc se mettre sous la forme :

$$H_{BO,1}(p) = K_{BO} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1+T_1 p} \cdot \frac{1}{1+T_2 p}$$

On relève sur les courbes :

$$\omega_{c1} \simeq 10^4 \text{ rad/s, donc } T_1 = 10^{-4} \text{ s} = 0,1 \text{ ms,}$$

$$\omega_{c2} \simeq 10^2 \text{ rad/s, donc } T_2 = 10^{-2} \text{ s} = 10 \text{ ms,}$$

et en remarquant que pour $\omega = 10^0 = 1 \text{ rad/s}$, $G_{BO} = 20 \cdot \log(K_{BO}) = -30 \text{ dB}$, on obtient $K_{BO} = 10^{-30/20} \simeq 0,032 \text{ s}^{-1}$.

Question 2 Déterminer la fréquence moyenne en Hz de la marche saine à allure rapide.

Correction Une cadence de 113 pas par minute correspond à une fréquence de marche de l'ordre de $\frac{113}{60} \simeq 1,88$ Hz.

Question 3 Justifier, à l'aide de la réponse fréquentielle du système en boucle ouverte, la validité de cette modélisation approchée.

Correction $F_{\text{MAX}} = 4$ Hz correspond à une sollicitation de pulsation $\omega_{\text{MAX}} = 4 \times 2\pi \simeq 25$ rad/s. On constate que $\omega_{\text{MAX}} < \omega_{c2} = 100$ rad/s $\ll \omega_{c1} = 10^4$ rad/s. Pour $\omega < \omega_{\text{MAX}}$, le système se comporte donc comme un intégrateur pur de gain égal à K_{BO} . L'approximation de $H_{\text{BO}}(p)$ par K_{BO}/p avec $K_{\text{BO}} = 1/30 \simeq 0,032$ est donc acceptable.

Question 4 Déterminer l'expression de $H_{\text{BF}}(p) = X(p)/X_c(p)$, la fonction de transfert en boucle fermée de la modélisation de la 2. Déterminer les paramètres caractéristiques de $H_{\text{BF}}(p)$ et en déduire les performances de cette modélisation pour $C(p) = K_{\text{corr}} = 1$. Conclure vis-à-vis des performances d'asservissement de l'axe linéaire.

Correction En appliquant la formule de Black, il vient $H_{\text{BF}}(p) = \frac{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}/p}{1 + K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}/p}$, avec $K_{\text{corr}} = 1$, on obtient : $H_{\text{BF}}(p) = \frac{K_{\text{BO}}}{p + K_{\text{BO}}}$, soit sous forme canonique : $H_{\text{BF}}(p) = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{\text{BO}}} \cdot p}$. La fonction de transfert est donc celle d'un système du 1er ordre, de gain unitaire $K_{\text{BF}} = 1$ et de constante de temps $1/K_{\text{BO}} = 30$ s. Les performances de ce système sont donc :

- système stable car système du 1er ordre \Rightarrow cdcf vérifié,
- système précis car de gain unitaire \Rightarrow cdcf vérifié,
- système ne présente pas de dépassement car système du 1er ordre \Rightarrow cdcf vérifié,
- $\text{tr}5\% = 3 \times 30 = 90$ s \Rightarrow cdcf non vérifié car le temps de réponse attendu est de 60 ms.

Le système avec $K_{\text{corr}} = 1$ est donc trop lent.

Question 5 Déterminer la valeur numérique à donner à K_{corr} pour assurer le temps de réponse à 5 % lié à l'exigence de rapidité de l'asservissement de l'axe linéaire.

Correction Il faut alors augmenter K_{corr} , tel que $\text{tr}5\% = 3 \times \frac{1}{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}} \leq 60$ ms. Donc $K_{\text{corr}} \geq \frac{3}{60 \cdot 10^{-3} \cdot K_{\text{BO}}}$. L'application numérique donne $K_{\text{corr}} \geq 1500$.

Question 6 L'évolution de la réponse du système est-elle cohérente avec le comportement du modèle retenu ? Justifier. Quelle modification faudrait-il apporter au modèle approché pour retrouver cette forme de réponse temporelle ?

Correction L'allure de la réponse ne correspond pas à celle d'un système du 1er ordre car un dépassement est observé. Avec $K_{\text{corr}} = 1500$, le système en boucle ouverte ne peut plus être modélisé par un intégrateur pur de gain K_{BO} , en effet cette valeur élevée de K_{corr} fait monter la courbe de gain, le système a une bande passante plus élevée et l'action du terme $\frac{1}{1 + T_2 \cdot p}$ ne peut plus être négligée. Le comportement du système doit donc être modélisé par celui d'un système du second ordre pour se rapprocher du comportement observé.

Question 7 Quelle valeur maximale de K_{corr} , notée $K_{\text{corr}}^{\text{MAX}}$, permet de vérifier les critères de précision et de dépassement de l'asservissement de l'axe linéaire ?

Correction Le critère de précision est satisfait du fait de la présence du terme intégrateur en $\frac{1}{p}$ dans la fonction de transfert en boucle ouverte du système. Pour assurer un 1er dépassement $D1\% \leq 5\%$, il faut que le système du second ordre ait un coefficient d'amortissement z , tel que $z \geq 0,7$. On détermine l'expression de $H_{\text{BF}}(p)$, la fonction de transfert en boucle fermée, afin d'identifier z . D'après la formule de Black, $H_{\text{BF}}(p) = \frac{K_{\text{corr}} \cdot H_{\text{BO}}(p)}{1 + K_{\text{corr}} \cdot H_{\text{BO}}(p)} = \frac{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}}{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}} + p \cdot (1 + \tau_{\text{BO}} \cdot p)}$. La forme canonique de $H_{\text{BF}}(p)$ est donc : $H_{\text{BF}}(p) = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}} \cdot p + \frac{\tau_{\text{BO}}}{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}} \cdot p^2}$. Par identification, $\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}}{\tau_{\text{BO}}}}$ et $z = \frac{1}{2} \cdot \omega_0 \cdot \frac{1}{K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}}$, donc, $z = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau_{\text{BO}} \cdot K_{\text{corr}} \cdot K_{\text{BO}}}}$. La condition $z \geq 0,7$ implique donc $K_{\text{corr}} \leq \frac{1}{(2 \times 0,7)^2 \cdot \tau_{\text{BO}} \cdot K_{\text{BO}}}$. L'application numérique donne $K_{\text{corr}} \leq 1700$. On prend donc $K_{\text{corr}}^{\text{MAX}} = 1700$.

Question 8 Déterminer la valeur du temps de réponse à 5 %, $t_{r5\%}$ de ce modèle pour $K_{\text{corr}} = K_{\text{corr}}^{\text{MAX}}$ à partir de l'abaque du temps de réponse réduit donné ci-dessous.

Correction D'après l'abaque du temps de réponse réduit donné en ??, pour $z = 0,7$ on relève $t_{r_{5\%}} \cdot \omega_0 \approx 3$. Or

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{\text{corr}}^{\text{MAX}} \cdot K_{\text{BO}}}{\tau_{\text{BO}}}}, \text{ donc } t_{r_{5\%}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{\tau_{\text{BO}}}{K_{\text{corr}}^{\text{MAX}} \cdot K_{\text{BO}}}}.$$

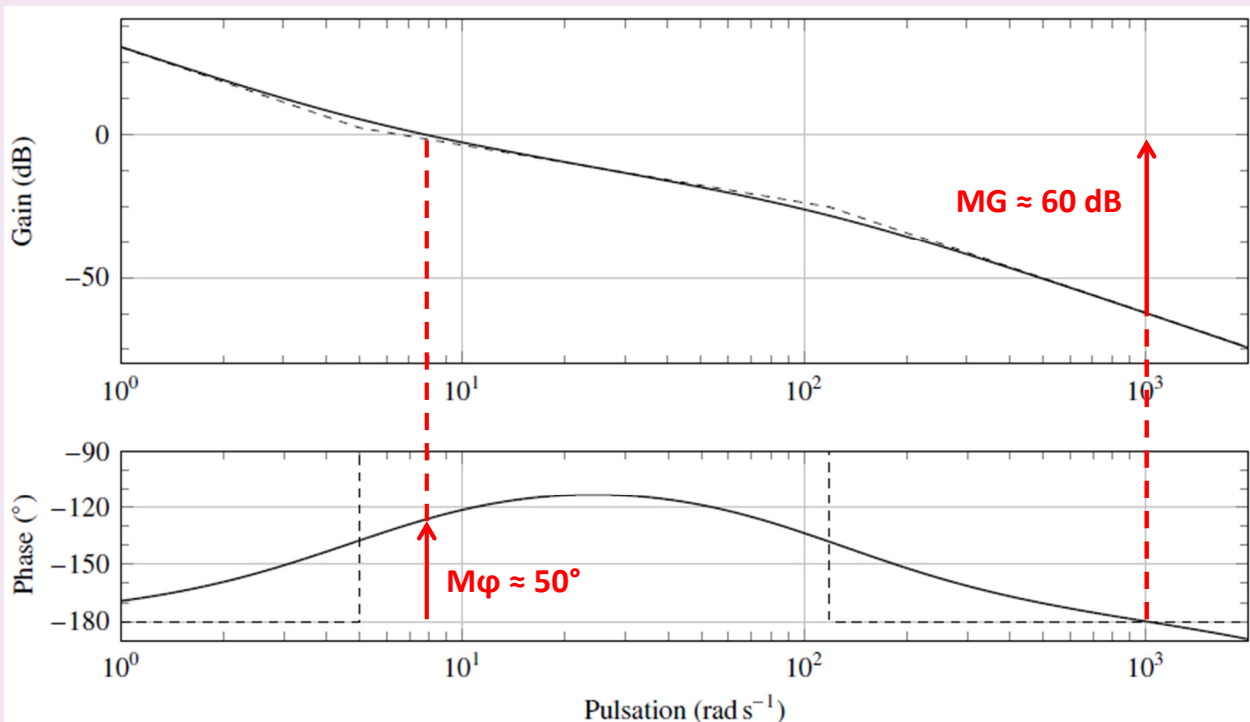
L'application numérique donne : $t_{r_{5\%}} \approx 38 \text{ ms} < 60 \text{ ms} \Rightarrow$ cdcf vérifié!

Question 9 Conclure sur les capacités de la correction à action proportionnelle pure vis-à-vis des performances à atteindre.

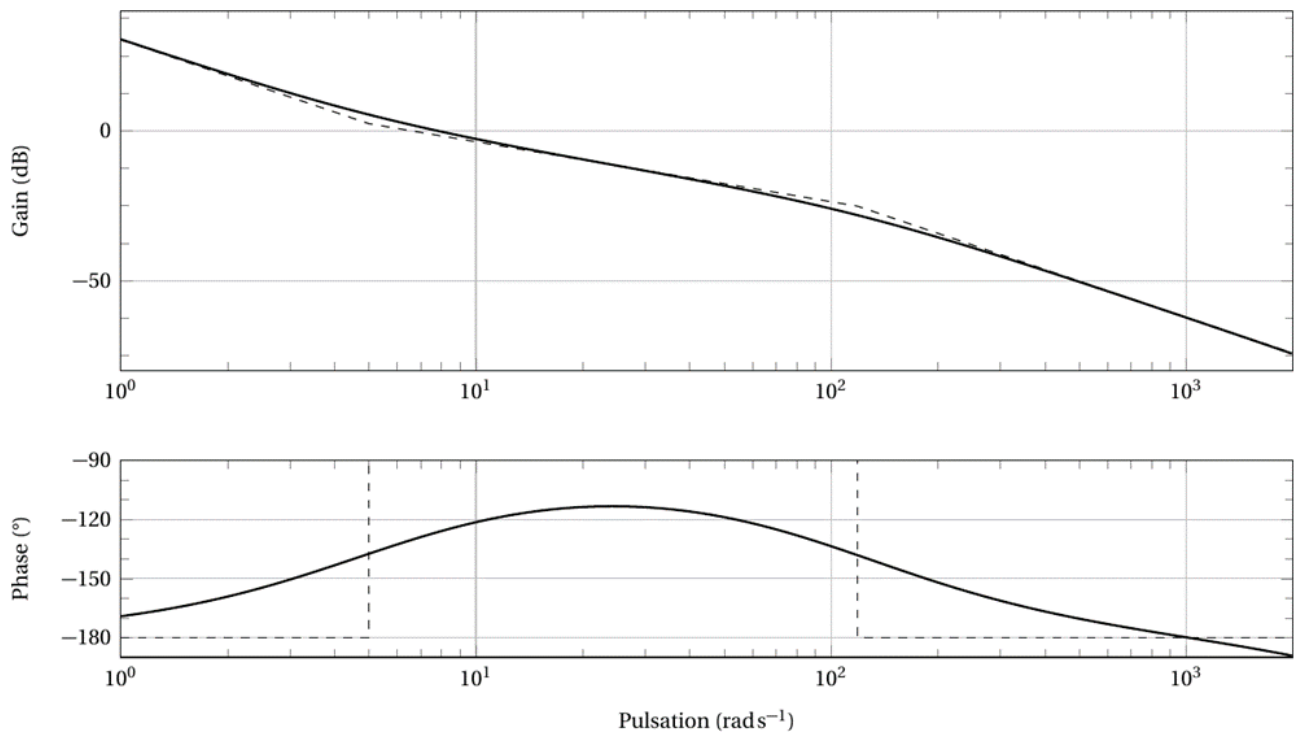
Correction Les performances de stabilité, rapidité et de 1er dépassement sont vérifiées. Cependant, le système avec correction proportionnelle n'arrive pas à atténuer suffisamment la perturbation (l'erreur est de l'ordre de 15 à 20% bien supérieure au 5% du cahier des charges). Un autre type de correction doit donc être envisagé pour satisfaire l'ensemble des critères.

Question 10 Représenter sur le document réponse les marges de Gain M_G et de Phase M_ϕ du système corrigé.

Correction D'après la figure ci-dessous, on relève une marge de Gain $M_G \approx 60 \text{ dB}$ et une marge de Phase $M_\phi \approx 50^\circ$. Avec ces valeurs le cahier des charges ($M_G = 45 \text{ dB}$ et $M_\phi = 35^\circ$) est vérifié.



Question 11 En déduire la valeur maximale à donner au gain K_{corr} , en conservant $T_d = 0,2 \text{ s}$, afin de respecter les performances en stabilité de l'asservissement de l'axe linéaire tout en augmentant au maximum la bande passante du système.

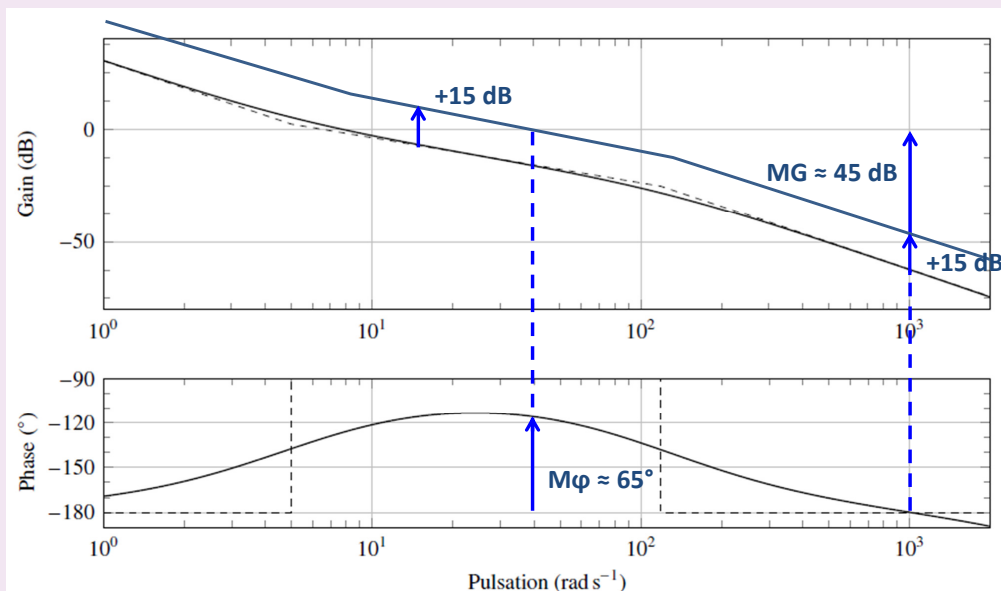


Correction La modification de la valeur du gain K_{corr} n'affecte que la courbe de gain. L'augmentation de K_{corr} va faire remonter la courbe de gain du système en boucle ouverte. Graphiquement, on observe que c'est le critère sur la marge de Gain qui limite la remontée de la courbe de gain (voir figure ci-dessous). La courbe de gain peut donc être remontée de +15 dB, on relève alors une marge de Gain $M_G \approx 45$ dB et une marge de Phase $M_\phi \approx 65^\circ$. Initialement on avait $K_{\text{corr}}^{\text{init}} = 1000$, pour remonter la courbe de gain de +15 dB, il faudra prendre $K_{\text{corr}}^{\text{new}}$ tel que :

$$20 \times \log(K_{\text{corr}}^{\text{new}}) = 20 \times \log(K_{\text{corr}}^{\text{init}}) + 15$$

$$\Leftrightarrow K_{\text{corr}}^{\text{new}} = K_{\text{corr}}^{\text{init}} \times 10^{15/20}$$

L'application numérique donne $K_{\text{corr}}^{\text{new}} \approx 5620$.



Question 12 Conclure sur les performances du système perturbé vis-à-vis des exigences de l'asservissement de l'axe linéaire. Commenter l'évolution de l'intensité simulée avec les caractéristiques de la carte de commande du moteur.

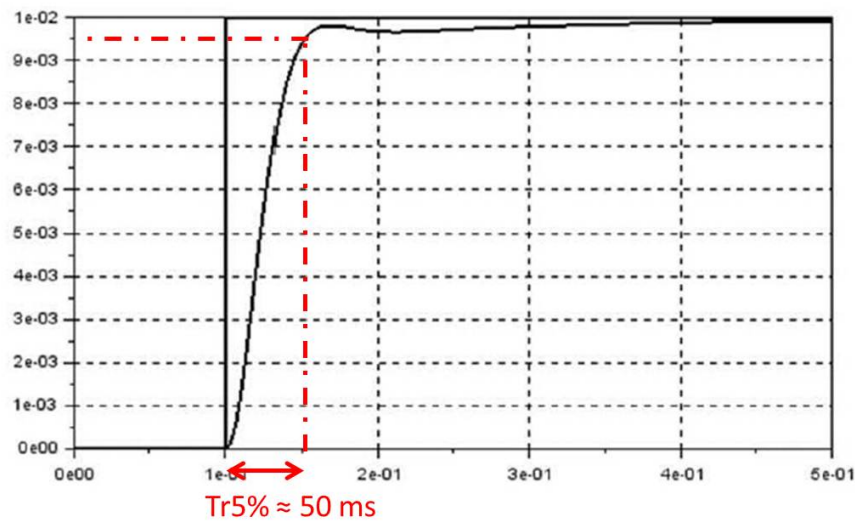
Correction Avec cette correction la réponse temporelle respecte l'ensemble des critères du cahier des charges :

- le système est stable et $M_G \approx 45$ dB et $M_\phi \approx 65^\circ \Rightarrow$ cdcf vérifié,
- le système est précis \Rightarrow cdcf vérifié,
- système ne présente pas de dépassement \Rightarrow cdcf vérifié,

- $tr_{5\%} \simeq 50 \text{ ms} \Rightarrow$ cdcf vérifié ($< 60 \text{ ms}$).

Par contre, on relève un courant $I_{mot}^{MAX} \simeq 35 \text{ A}$. Or la carte ELMO ne supporte qu'un courant maximal de 20 A. Le contrôleur ELMO ne permet donc pas de réaliser cette commande.

(a) Réponse temporelle



Synthèse – Étude de l'exigence 3.1 « Assistance de la marche »

Question 13 Conclure sur l'influence de la correction de l'axe linéaire sur le respect de l'exigence de maintien de la hauteur de main.

Correction Le cahier des charges (performance Id 7) impose un écart de hauteur de main de 3 cm pour un cycle de marche. Sans correction, l'écart peut atteindre jusqu'à 4,5 cm, avec correction l'écart est limité à 2,5 cm maxi ce qui vérifie le cdcf.

Avec correction les variations de hauteur de la main sont donc moins importantes au commencement de la phase d'appui. Ceci apporte un confort dans l'utilisation avec le sentiment d'avoir une canne plus rigide (moins d'affaissement) lors de l'appui.

Question 14 Conclure sur le réglage des paramètres d'asservissement mis en place vis-à-vis des performances liées à la synchronisation de la canne avec le cycle locomoteur à différentes allures.

Correction Le cahier des charges stipule comme performance à atteindre pour l'assistance de la marche (cadre Id 7) :

- un écart maximal sur l'angle d'orientation entre la canne et la jambe de 20° ,
- le respect de l'exigence de suivi du pied, l'appui au sol de la canne doit se situer entre l'avant et l'arrière du pied de la jambe invalide.

Pour les deux allures de marche, l'exigence de suivi de pied est respectée car la courbe de position de la canne reste comprise entre les courbes de position de l'avant du pied et de l'arrière du pied (c'est à la limite de l'avant du pied pour le cas de la marche rapide).

Pour ce qui concerne l'exigence sur l'angle d'orientation, pour les deux allures l'exigence est respectée car les écarts restent inférieurs à 20° . Mise à part la phase d'appui en allure normale, l'orientation de la canne est en retard par rapport à l'orientation de la jambe, et ce retard est d'autant plus important que l'allure de la marche est élevée. On peut donc conclure que ce réglage des paramètres d'asservissement permet de satisfaire les performances liées à la synchronisation de la canne avec le cycle locomoteur à différentes allures.