

## Stabilité du robot

Question 1. Montrer que  $\{T_{\text{sol} \rightarrow \text{pied}}\}$  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.

Question 3. Donner la forme du torseur  $\{T_{\text{sol} \rightarrow \text{pied}}\}$  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.

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 :

$$Y_{H_s} = Y_G - \frac{Z_G}{g} \frac{d^2 Y_G}{dt^2}.$$

*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 ?

*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 ?

## Déterminer la position du Zero Moment Point

**Question 7.** Pour les 2 cas ci-dessous, indiquer la forme des torseurs des efforts mesurés dans les 3 liaisons sphère-cylindre en suivant l'exemple de la dernière colonne. Indiquer les composantes non nulles ainsi que leurs signes par un + ou un -. Indiquer par un 0 les composantes nulles. Les torseurs seront exprimés dans les bases locales. Les composantes des torseurs seront indicées par  $A_0$ ,  $A_1$  ou  $A_2$ .

	Cas n°1	Cas n°2	Exemple
Action mécanique du sol sur le pied	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & N_{SP} \end{Bmatrix}_{O_P, B_0}$	$\begin{Bmatrix} X_{SP} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{O_P, B_0}$	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{SP} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{O_P, B_0}$
Action mécanique de la cheville sur le pied dans la liaison en $A_0$			$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{A_0, B_0}$
Action mécanique de la cheville sur le pied dans la liaison en $A_1$			$\begin{Bmatrix} +X_B & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{A_1, B_1}$
Action mécanique de la cheville sur le pied dans la liaison en $A_2$			$\begin{Bmatrix} -X_C & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{A_2, B_2}$

**Question 8.** Déterminer l'abscisse  $y_{ZMP}$  du point  $H_S$  en fonction de  $L_{SP}$ ,  $Y_{SP}$ ,  $Z_{SP}$  et  $h$ . Vérifier que le critère de stabilité du robot sur ses deux pieds est assuré.

*Question 9.* On cherche à relier l'effort du sol (S) sur le pied (P) en fonction des composantes mesurées dans le module de mesure d'efforts. Déterminer à l'équilibre les composantes d'efforts dans les 3 capteurs  $X_0$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Z_0$ ,  $Z_1$  et  $Z_2$  en fonction de  $r$ ,  $L_{SP}$ ,  $Y_{SP}$  et  $Z_{SP}$ .

*Question 10.* Vérifier que le module de mesure d'effort permet de déterminer la position du "Zero Moment Point" ZMP en restant dans le domaine de linéarité préconisé par le constructeur.

## Contrôle de la posture de LOLA

*Question 11.* 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.

*Question 12.* Développer l'ensemble des calculs pour déterminer l'équation différentielle reliant  $\alpha$  et ses dérivées successives aux données du problème.

Question 13. 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  $H_1(p)$ .

$B_1$	
$B_2$	
$B_3$	
$B_4$	
$B_5$	
$B_6$	
$B_7$	
$H_1(p)$	

Question 14. Déterminer la fonction de transfert de la boucle dynamique  $H_{\text{dyn}}(p) = \frac{\alpha(p)}{C_m(p)}$  en supposant la perturbation nulle.

Question 15. 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.

$F(p) =$

Gain statique  $K$  :

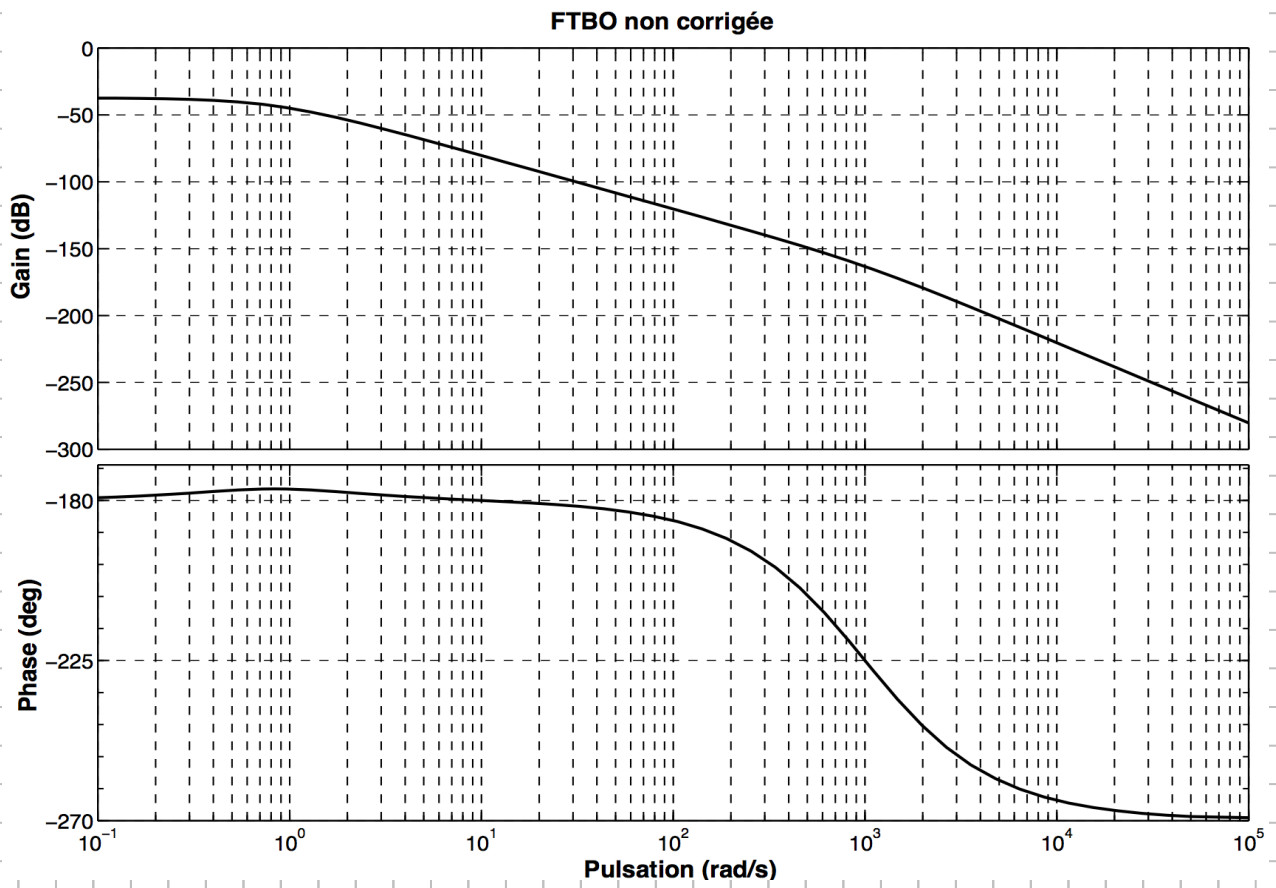
Ordre :

Classe :

Question 16. 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.





Question 17. Justifier le choix de cette simplification.

Question 18. Expliquer pourquoi le critère du revers ne peut être appliqué pour étudier la stabilité en boucle fermée.

Question 19. 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  $K_1$ .

Question 20. 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  $\omega_o$  et du gain statique de la boucle ouverte  $K_{BO}$ .

Question 21. Nommer ce correcteur.

Question 22. 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  $T_d$ .

Question 23. Déterminer le gain  $K_p$  pour que le critère de bande passante du cahier des charges soit bien vérifié.

Question 24. 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.

