

## Avance de Phase – Train d’atterrissage d’hélicoptère ★ – Sujet

Banque PT – SIA 2014.

### Mise en situation

Lors d’atterrissages d’hélicoptères à grande, les oscillations induites par l’impact au sol du train d’atterrissage principal génèrent des contraintes mécaniques importantes à la liaison du pylône de queue avec la cabine. Les oscillations du pylône de queue de l’appareil ne sont pas négligeables. Lors de ces atterrissages, les vitesses verticales minimales sont de l’ordre de  $2 \text{ m s}^{-1}$  mais peuvent atteindre des valeurs plus importantes lors d’appontage sur un bateau à cause des mouvements du bateau dus à la houle. La résistance aux crashes correspond à la possibilité de garder opérationnel un appareil qui aurait atterri avec une vitesse d’impact pouvant atteindre  $4 \text{ m s}^{-1}$ .

C1-02

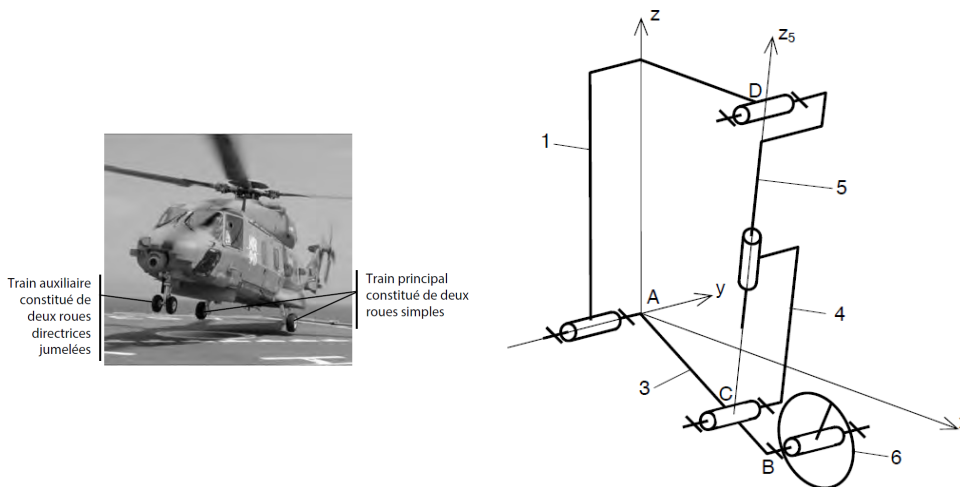
C2-04

### Objectif

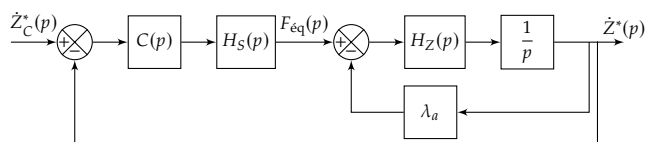
Pour une vitesse d’impact de  $4 \text{ m s}^{-1}$  l’accélération de la queue doit rester inférieure à  $3 \text{ rad s}^{-2}$ .



On donne une modélisation cinématique du train principal.



La vitesse d’impact lors de l’atterrissage de l’hélicoptère correspond alors à la vitesse de la tige 5 de l’amortisseur par rapport au cylindre 4. Cette vitesse est notée  $\dot{Z}^*$ . On se propose d’étudier la stabilité vis-à-vis de la seule consigne  $\dot{Z}_c^*(p)$ . On adoptera pour le réglage de la correction le schéma suivant.



On note dans ce schéma :

- $\dot{Z}^*(p)$  la transformée de  $\dot{z}^*(t) = \dot{z}(t) + V_0$  avec  $V_0$  la vitesse d’impact et  $\dot{z}(t)$  la vitesse absolue de la cabine par rapport au sol ;

- $F_{\text{eq}}(p)$  l'effort équivalent ramené au déplacement de la cabine et fourni par la partie active de l'amortisseur;
- $\lambda_a$  le coefficient d'amortissement passif équivalent ramené au déplacement de la cabine;
- $H_S(p) = \frac{K_S}{1 + T_S p}$  la fonction de transfert de la partie active de l'amortisseur. On prendra :  $K_S = 12 \times 10^4 \text{ N A}^{-1}$  et  $T_S = 5 \times 10^{-3} \text{ s}$ ;
- $H_Z(p) = \frac{K_Z p^2}{1 + \frac{2\xi_Z}{\omega_Z} p + \frac{p^2}{\omega_Z^2}}$  la fonction de transfert traduisant le comportement dynamique du train.
- $C(p)$  la fonction de transfert du correcteur dont le réglage fait l'objet de cette partie.

## Fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée

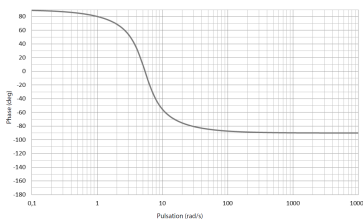
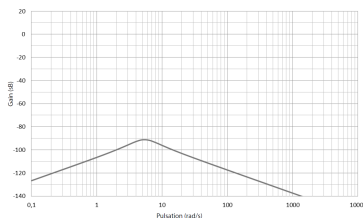
### Objectif

Il s'agit dans un premier temps d'analyser la forme de la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée de la chaîne de commande semi-active.

**Question 1** Déterminer littéralement et sous forme canonique la fonction de transfert  $H_F(p) = \frac{\dot{Z}^*(p)}{F_{\text{eq}}(p)}$ .

**Question 2** Déterminer littéralement la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée  $H_{\text{BONC}}(p)$ .

On donne le diagramme de Bode de  $H_F(p)$ .



**Question 3** Justifier la forme de ce diagramme en traçant les asymptotes et en indiquant comment retrouver sur le tracé les valeurs de  $K_Z$  et  $\omega_Z$ . Tracer en rouge les diagrammes de la fonction  $H_{\text{BONC}}(p)$ . On prendra pour cela  $20 \log K_S \approx 100 \text{ dB}$ .

## Choix et réglage de la correction

### Objectif

Il s'agit à présent de définir la structure du correcteur et de proposer un réglage permettant de satisfaire les critères du cahier des charges.

Afin de satisfaire les exigences, une étude complémentaire non abordée dans ce sujet montre que la boucle d'asservissement doit posséder les performances suivantes :

- erreur statique nulle;
- pulsation de coupure à 0 dB et  $\omega_{0 \text{ dB}} = 6 \text{ rad s}^{-1}$ ;
- marge de phase  $M\varphi = 45^\circ$ ;
- marge de gain  $MG > 6 \text{ dB}$ .

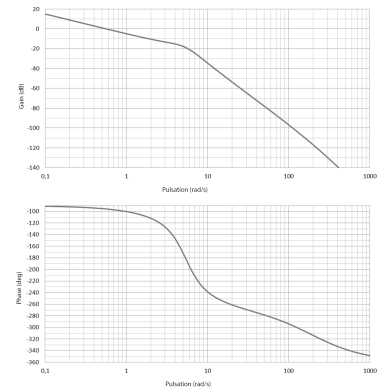
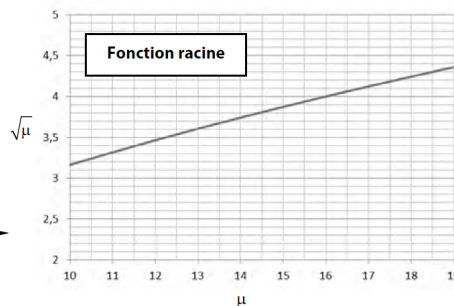
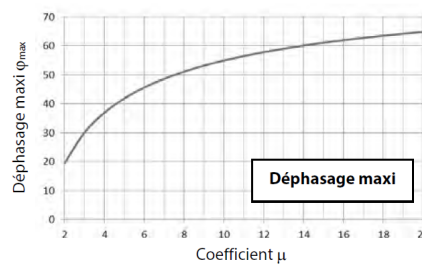
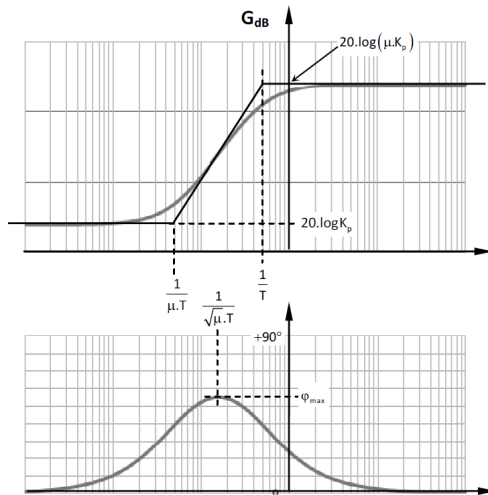
**Question 4** Quelle doit être la classe minimale du correcteur afin de garantir le critère de précision ?

On choisit dans un premier temps un correcteur de la forme  $C(p) = \frac{K_p}{p^2}$ . On donne les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte du système ainsi corrigé pour  $K_p = 1$ .

**Question 5** Évaluer les marges de stabilité pour ce réglage. Déterminer la valeur de  $K_p$  garantissant le critère de pulsation de coupure à 0 dB. Ce correcteur peut-il permettre de répondre aux critères de performances énoncés en début de partie? Justifier la réponse

On choisit finalement un correcteur de la forme  $C(p) = \frac{K_p}{p^2} \frac{1 + \mu T p}{1 + T p}$  avec  $\mu > 1$ . Les caractéristiques du terme en  $K_p \frac{1 + \mu T p}{1 + T p}$  ainsi que des abaques de calcul sont donnés ci-dessous.

Caractéristiques du terme  $K_p \cdot \left( \frac{1 + \mu \cdot T \cdot p}{1 + T \cdot p} \right)$



**Question 6** Comment se nomme l'action de correction obtenue avec ce terme?

**Question 7** Quelle valeur doit-on donner à  $\mu$  pour garantir le critère de marge de phase?

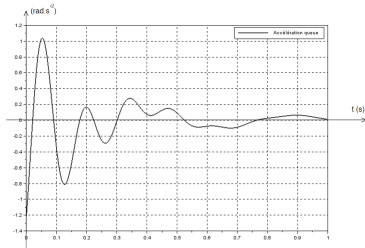
**Question 8** En déduire les valeurs de  $T$  et de  $K_p$  permettant d'assurer les critères de stabilité et de bande passante énoncés au début de partie. Le critère de précision est-il validé?

## Validation des performances

### Objectif

Il s'agit dans cette dernière partie de vérifier les performances globales de la boucle d'asservissement.

On donne le résultat d'une simulation du système complet piloté à l'aide du correcteur précédemment dimensionné pour une vitesse d'impact de  $4 \text{ m s}^{-1}$ .



**Question 9** En analysant cette courbe, conclure quant à la validité du cahier des charges.

#### Éléments de correction

1.  $H_F(p) = \frac{K_Z p}{1 + \left( \frac{2\xi_Z}{\omega_Z} + \lambda_a K_Z \right) p + \frac{p^2}{\omega_Z^2}}$
2.  $H_{BONC}(p) = \frac{K_Z p}{1 + \left( \frac{2\xi_Z}{\omega_Z} + \lambda_a K_Z \right) p + \frac{p^2}{\omega_Z^2}} \cdot \frac{K_S}{1 + T_S p}$
3.  $\omega_Z = 5,5 \text{ rad s}^{-1}$  et  $K_Z = 5 \times 10^{-6}$ .
4. 2.
- 5.