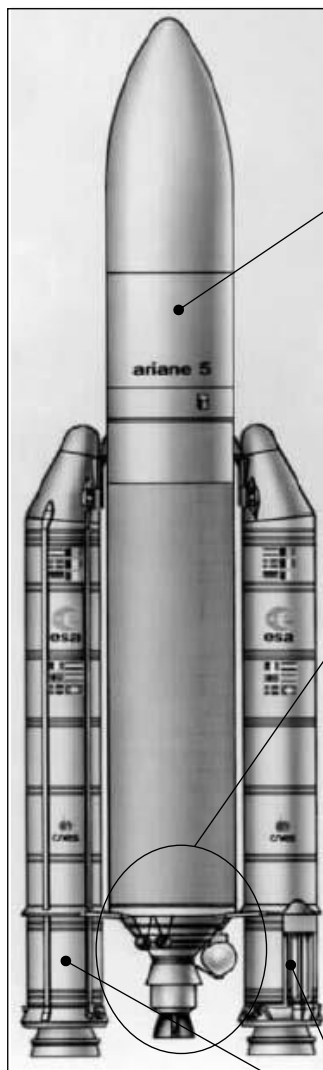


TD 2

Etude d'un servo-vérin de la fusée Ariane 5

Avec une technologie à corps central à deux étages et deux propulseurs latéraux, Ariane 5 a marqué une évolution notable dans la famille des lanceurs européens. Ce choix permet d'obtenir une grande source de puissance au décollage et une meilleure gestion de la position et de la répartition des masses. En revanche, il induit des problèmes de couplage importants qui nécessitent une orientation de l'axe des tuyères situées en extrémité du corps central et des deux propulseurs latéraux.



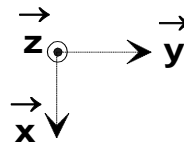
Corps central CC à deux étages

Le 1^{er} étage, ou EPC (Étage Principal Cryogénique), est situé dans la partie basse de ce corps central ; la tuyère de cet étage est allumée avant le décollage et le reste jusqu'à séparation des deux étages.

Le 2^{ème} étage, ou EPS (Ensemble Propulsif Stockable), est situé dans la partie haute de ce corps central ; la tuyère de cet étage est allumée au moment de la séparation des deux étages.

Moteur Vulcain et sa tuyère centrale TC

La tuyère centrale TC du moteur Vulcain du 1^{er} étage du corps central CC est située en extrémité basse de ce corps. Elle est orientable autour des directions \vec{y} et \vec{z} de $\pm 7^\circ$.

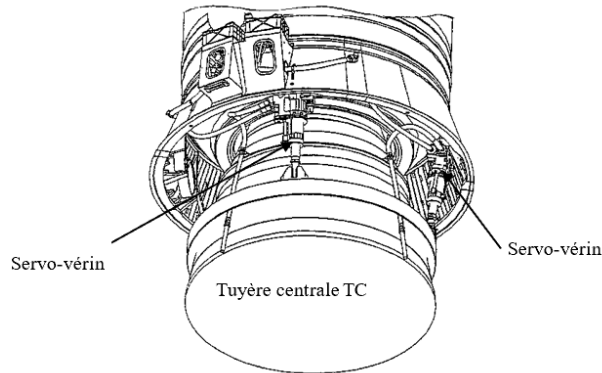


Propulseurs latéraux PG et PD

Les deux EAP (Étage Accélérateurs à Poudre) latéraux sont utilisés au décollage pour apporter de la puissance et sont ensuite largués.

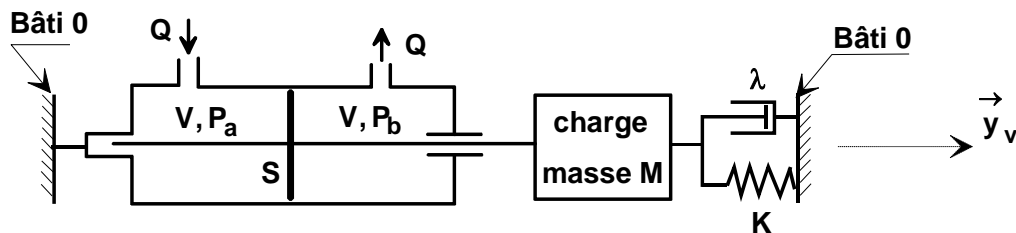
En extrémité du propulseur gauche ($y > 0$), noté PG, se trouve la tuyère gauche TG, orientable autour des directions \vec{y} et \vec{z} de $\pm 6^\circ$.

En extrémité du propulseur droit ($y < 0$), noté PD, se trouve la tuyère droite TD, orientable autour des directions \vec{y} et \vec{z} de $\pm 6^\circ$.



OBJECTIF : Mettre en évidence le risque de résonance à basse fréquence du système d'orientation d'une tuyère, analyser la solution retenue pour limiter l'amplitude de la résonance, tout en respectant les exigences de performance du cahier des charges initial.

Pour cette étude le modèle simplifié de comportement utilisé pour un servo-vérin déplaçant une charge de masse M est représenté sur la figure ci-dessous :



Les caractéristiques du servo-vérin et du fluide utilisé sont : S la surface utile du vérin et B le module de compressibilité du fluide.

Soit $y(t)$ la variation de déplacement de la charge par rapport à la position d'équilibre obtenue en l'absence de pression. La variation $y(t)$ étant petite, on peut faire les hypothèses suivantes :

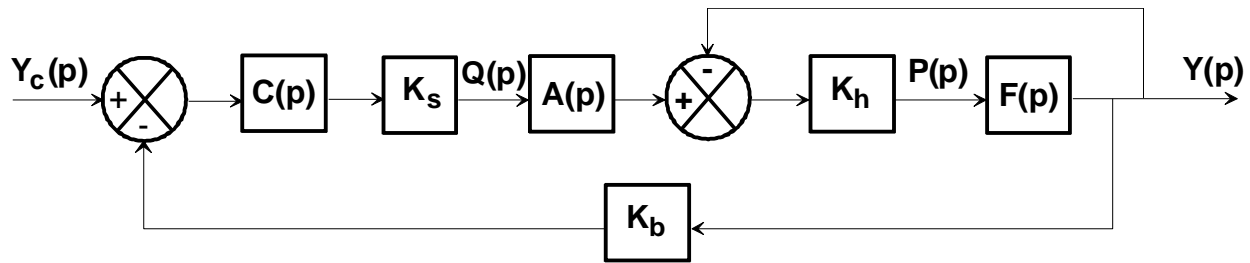
- les volumes des deux chambres du vérin sont identiques et égaux à V ;
- les débits entrant et sortant sont identiques et égaux à Q .

La charge de masse M est liée au bâti par un ressort de raideur K et un amortisseur de coefficient λ .

L'étude hydraulique du servo-vérin et notamment l'étude des débits de compressibilités et de déformations nous permet d'écrire : $Q = S \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{V}{2 \cdot B} \cdot \frac{dP}{dt}$ avec $P = P_a - P_b$.

L'étude mécanique de la charge nous permet d'écrire : $M \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = P \cdot S - K \cdot y(t) - \lambda \cdot \frac{dy}{dt}$ (1).

Le débit Q est commandé par un servo-distributeur (association d'une servovalve et d'un distributeur), non représenté ici et de fonction de transfert : K_s . La représentation sous forme de schéma-bloc du servo-vérin asservi en position est donnée sur la figure ci-après avec $K_b = 1$.



Dans ce schéma bloc, $Y_c(p)$ est la transformée de Laplace de la consigne de position $y_c(t)$ du servo-vérin.

En première approximation (hypothèse particulière sur le fluide utilisé), on suppose que l'asservissement en position est modélisé par une fonction de transfert de la forme :

$$H(p) = \frac{K}{1 + \frac{2\zeta}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

Où : $K = 1$, $\zeta = 0.16$ et $\omega_0 = 29.3 \text{ rad/s}$

Question 1 : Représenter les diagrammes asymptotiques et réels de Bode en Gain et en phase du système de servo-vérin représenté par la fonction de transfert ci-dessus. Quelles informations intéressantes nous donnent ces diagrammes ? Pour quel type de sollicitation le système est-il potentiellement en danger ?

Désormais, on supposera que le système est représenté par le schéma-bloc présenté ci-dessus.

La première étude est menée avec $C(p)=1$.

Question 2 : Déterminer les fonctions de transfert $A(p)$, $F(p)$ et le gain K_h .

Sur le document **ANNEXE 1**, sont tracés différents diagrammes du servo-vérin asservi en position :

- Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée ;
- Réponse indicielle (entrée échelon unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée.

On donne les informations suivantes sur la fonction de transfert en boucle fermée :

- le numérateur est un gain pur ;
- le déphasage tend vers -270° pour les hautes fréquences.

Question 3 : Identifier l'ordre du système en boucle fermée, donner la valeur de son gain statique et déterminer sa fréquence de résonance. Préciser le nombre d'intégrateurs dans la fonction de transfert en boucle fermée. Justifier vos réponses et comparer avec le modèle précédent.

Le cahier des charges du servo-vérin définit certains critères :

- Écart nul en régime permanent en réponse à un échelon de position ;
- Temps de réponse à 5% = 0,15 s.

Question 4 : Vérifier si les critères ci-dessus sont respectés si $C(p) = 1$. Justifier vos réponses.

Le système est corrigé par un dispositif appelé filtre réjecteur. La pulsation propre du filtre réjecteur a été calée sur la pulsation de résonance ω_r du système non corrigé.

La fonction de transfert du correcteur est $C(p) = \frac{p^2 + 2z_1\omega_r p + \omega_r^2}{p^2 + 2z_2\omega_r p + \omega_r^2}$

z_1 et z_2 sont des coefficients d'amortissement positifs et inférieurs à $\frac{\sqrt{2}}{2}$ et $z_1 < z_2$.

Question 5 : Donner l'allure du diagramme de Bode réel, en gain, du correcteur.

Sur le document **ANNEXE 2** sont tracés différents diagrammes du système corrigé :

- Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé ;
- Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé.

Question 6 : Conclure quant au respect des critères du cahier des charges **ET** quant à l'objectif du TD. En fonction des diagrammes de Bode fournis dans l'**ANNEXE 2** et de celui obtenu à la **Question 4**, préciser l'apport de ce correcteur.

ANNEXE 1

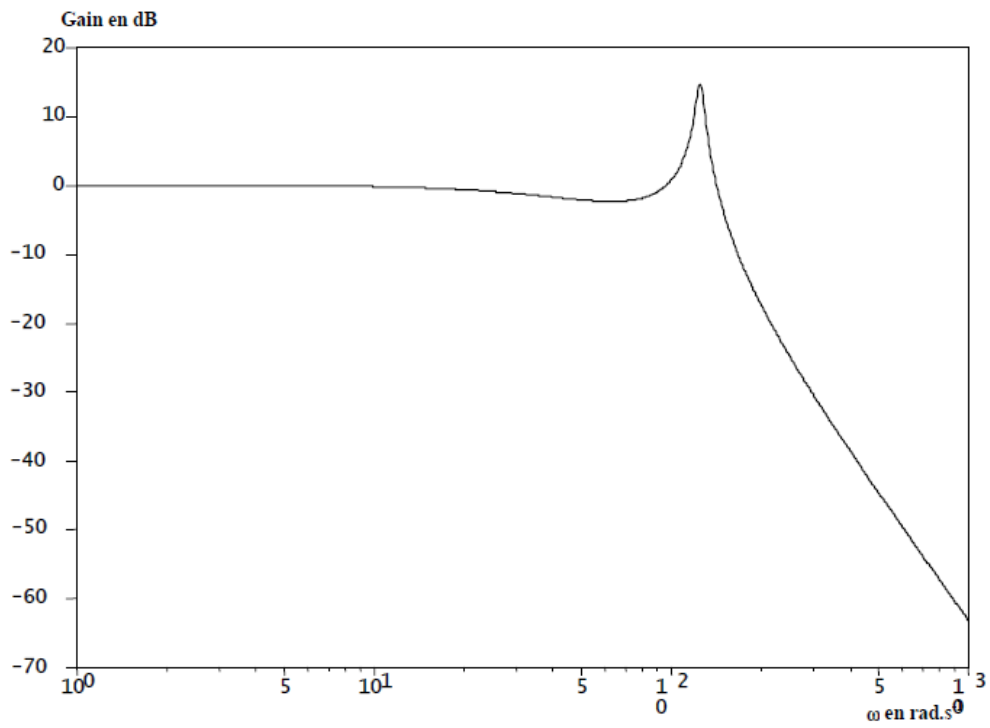
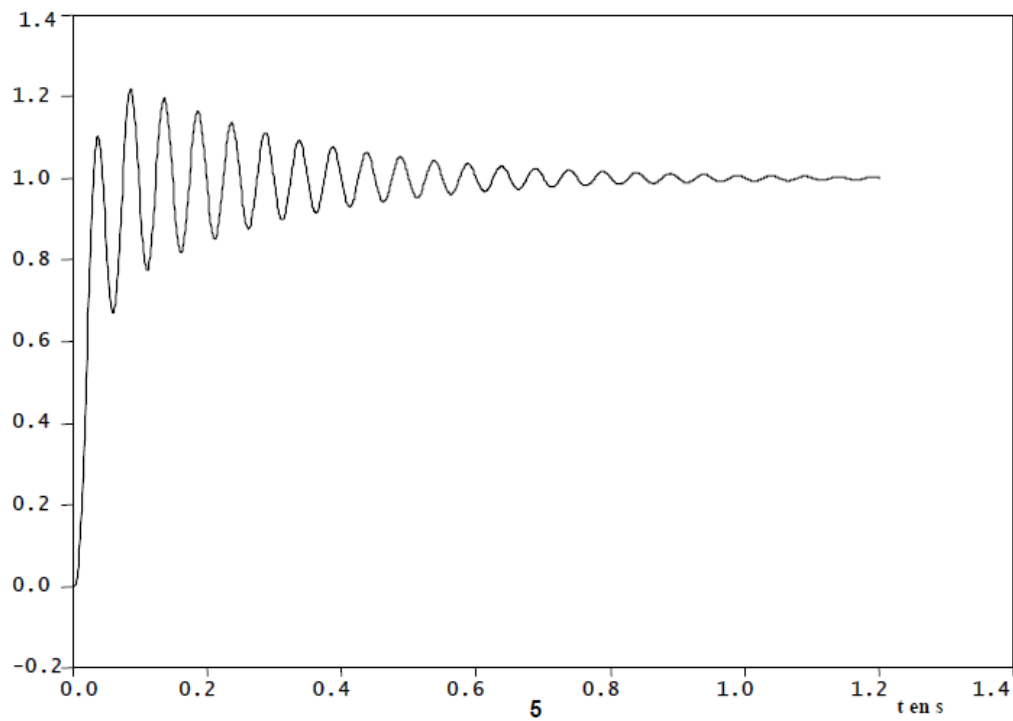


Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée si $C(p)=1$



Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée si $C(p)=1$

ANNEXE 2

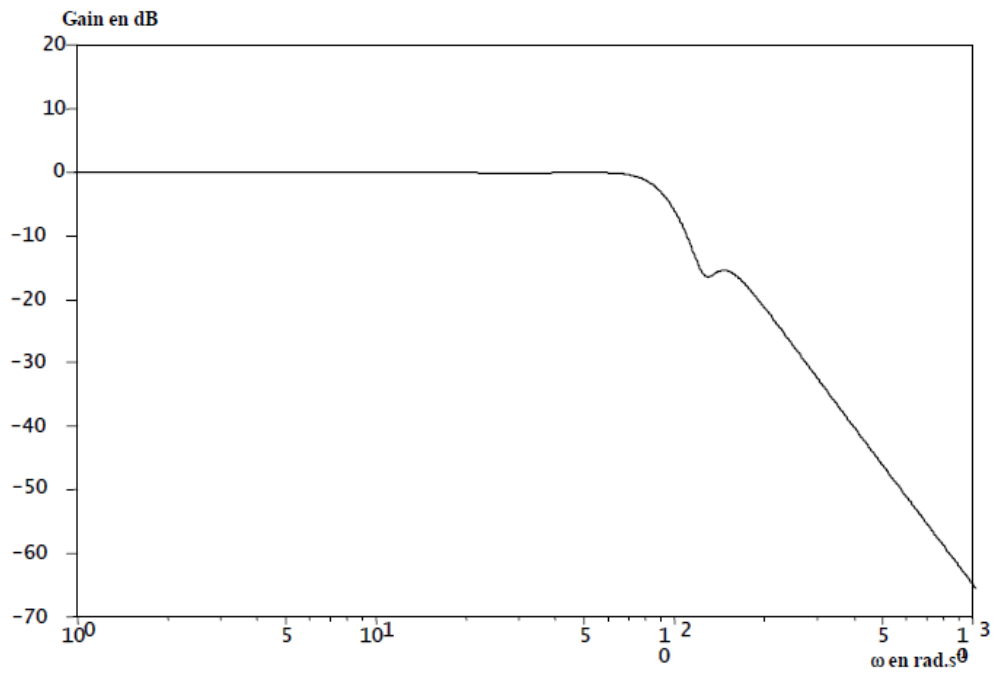
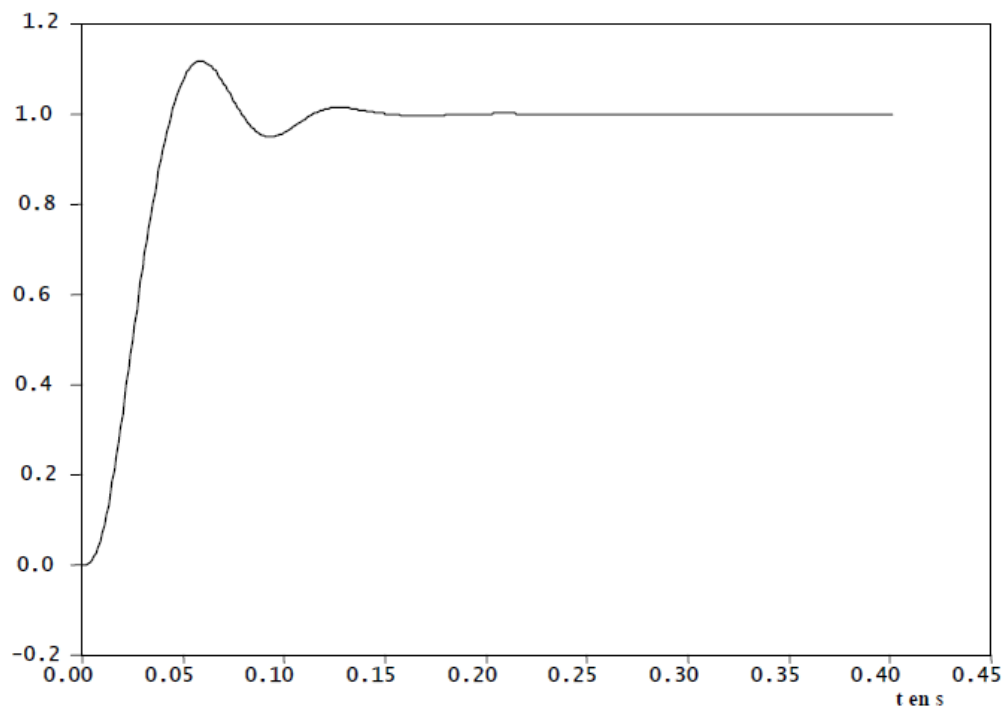


Diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé



Réponse indicielle (entrée unitaire) de la fonction de transfert en boucle fermée du système corrigé