

TD3 - Précision et Stabilité : Aileron de Boeing 787

Sur les anciens Boeing 737, la chaîne de commande des ailerons était activée par les pilotes qui actionnaient des câbles. Ces câbles commandaient des servovalves, alimentant ainsi les vérins actionneurs des ailerons.

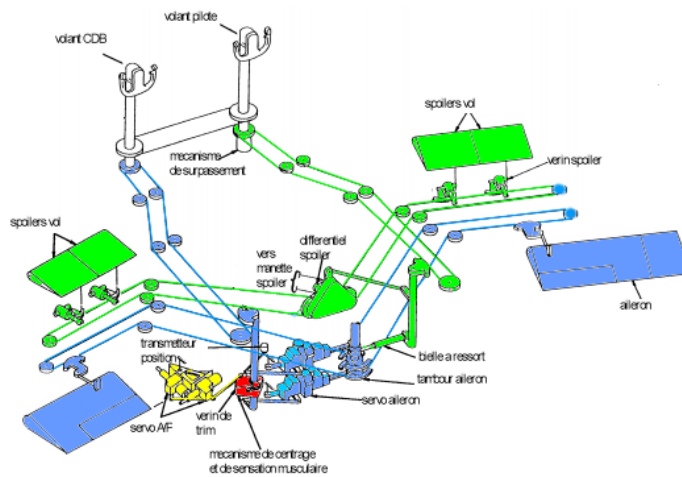


Figure 1 : Système de commande de l'aileron de l'aile pour les avions Boeing 737 (ancienne génération)

Sur les avions actuels, la commande par câble est remplacée par une commande électrique, mais la partie hydraulique reste inchangée. Ce nombre d'actionneurs (pour une aile) est très important pour les nouveaux avions dont le Boeing 787 qui fait l'objet de cette étude.

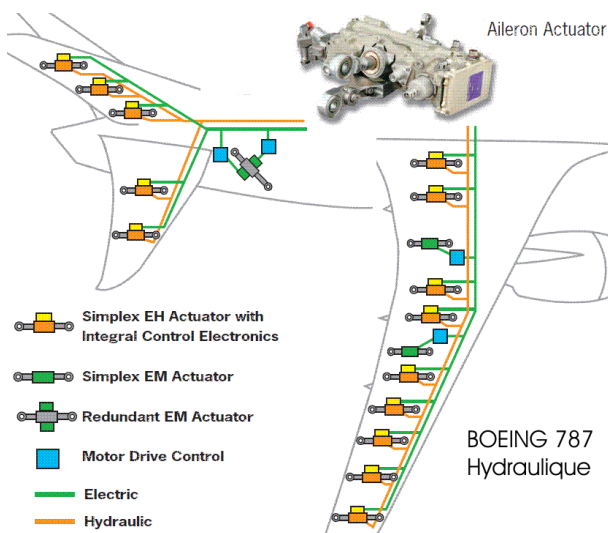


Figure 2 : Système de commande de l'aileron de l'aile pour les avions Boeing 787 (nouvelle génération)

Un des principaux intérêts des actionneurs hydrauliques est leur rapport poids/puissance très faible et cela, pour des efforts (couples) délivrés très importants.

Le système étudié comprend une servovalve (ou servocommande), commandée en tension, qui alimente le vérin en débit. Celui-ci fournit une vitesse de déplacement de tige provoquant la rotation angulaire de la gouverne.

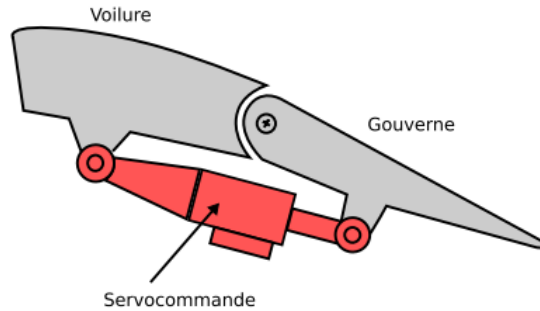


Figure 3 : Implantation des différents éléments (voilure, gouverne, servocommande, vérin)

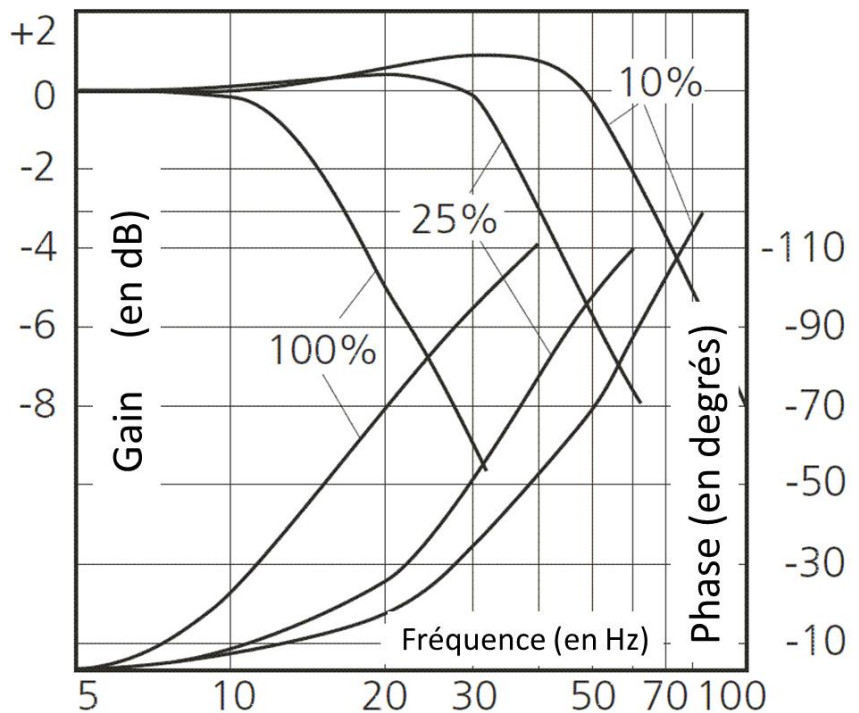
La transformation de mouvement entre le déplacement de la tige du vérin et la rotation de l'aileron est approximée linéaire sur la plage de fonctionnement : $\theta_{aileron} = 0.4 X_{tige}$

La position angulaire de la gouverne est mesurée par un capteur de position de gain $G = \frac{2}{\pi}$.

La servovalve

On donne ci-contre les réponses fréquentielles d'une famille de servovalves (réponse indépendante du gain propre de chaque modèle).

La servovalve exploitée travaille sur plus de 50 % de sa plage de fonctionnement et délivre un débit de 60 L/min sous une tension de commande de 10 V.



Le vérin hydraulique

Les actionneurs hydrauliques sont souvent assimilés à des seconds ordres. Pour un vérin on estime que :

$$V(p) = \frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2}$$

B : coefficient de compressibilité du fluide (14000 bars)

M : masse rapportée à la tige (25 kg)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{R_h}{M}} \text{ et } \xi = \frac{f \cdot \omega_0}{2 \cdot R_h}$$

C : course totale (120 mm)

S : surface active du piston (130 cm²)

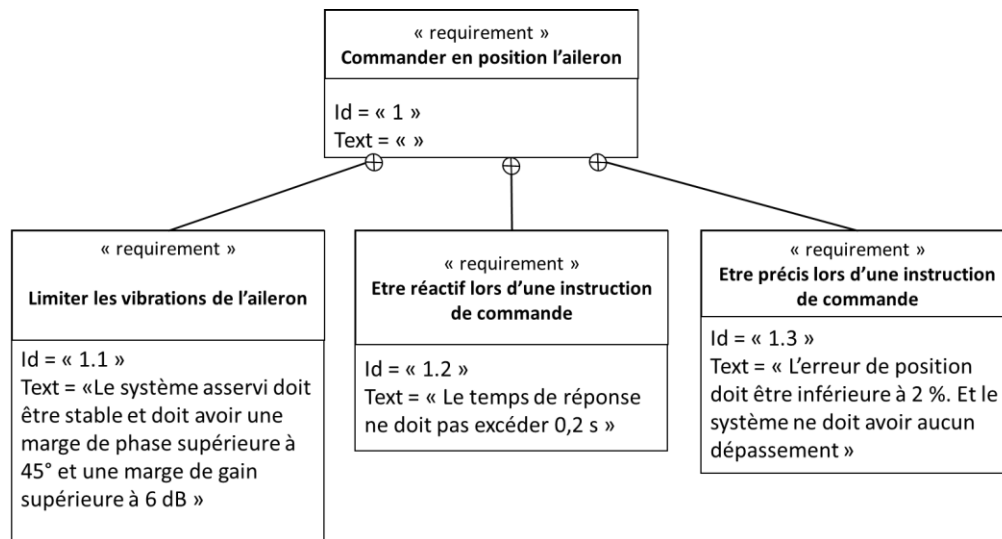
$$R_h = \frac{4 \cdot B \cdot S^2}{V_t}$$

V_t : volume fluide sous pression S×C+V_{canalisation} (1.6 L)

f : frottement fluide (4.10⁴ N.s/m)

Cahier des charges

Un extrait du diagramme des exigences du système étudié est donné ci-dessous :



Problématique : Comment réaliser efficacement, et le plus précisément possible, l’asservissement en position de l’aileron du Boeing 787 ?

Objectif de l’étude : Déterminer les caractéristiques du système de commande de l’aileron, permettant de répondre au cahier des charges. Il s’agit ici de déterminer les caractéristiques des systèmes intervenant dans la boucle d’asservissement en position du système d’aileron permettant de vérifier les exigences du cahier des charges

Questions

Q 1 : Proposer un schéma bloc de l'asservissement de position angulaire de l'aileron sachant qu'un correcteur est implanté en aval du comparateur. Ce correcteur est un gain pur C . Expliciter les différentes fonctions de transfert.

Q 2 : Proposer une fonction de transfert du second ordre compatible avec la réponse fréquentielle de la servovalve.

Q 3 : Déterminer la fonction de transfert (numérique) pour le vérin (entrée en débit, sortie en vitesse).

Q 4 : Peut-on considérer le vérin comme un gain pur (approximation courante) ? Expliquer pourquoi.

Q 5 : Déterminer littéralement et numériquement la fonction de transfert en boucle ouverte sans prendre en compte l'hypothèse précédente.

Q 6 : Tracer, sur le document réponse, la réponse fréquentielle en boucle ouverte (pour $C = 1$).

Q 7 : Déterminer la valeur maximale de C permettant de vérifier l'exigence 1.1 du cahier des charges.

Q 8 : Calculer l'erreur statique et l'erreur de trainage. Commenter vos résultats vis-à-vis des exigences du cahier des charges.

Q 9 : Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée pour cette valeur de C précédemment calculée, ainsi que ses caractéristiques. Justifier la stabilité du système.

Q 10 : Déterminer l'allure de la réponse indicielle.

Q 11 : Proposer une méthode pour déterminer la valeur de C qui permettra de vérifier les exigences 1.2 et 1.3 du cahier des charges.

Document réponse – Tracé diagrammes de Bode

Diagramme de Gain

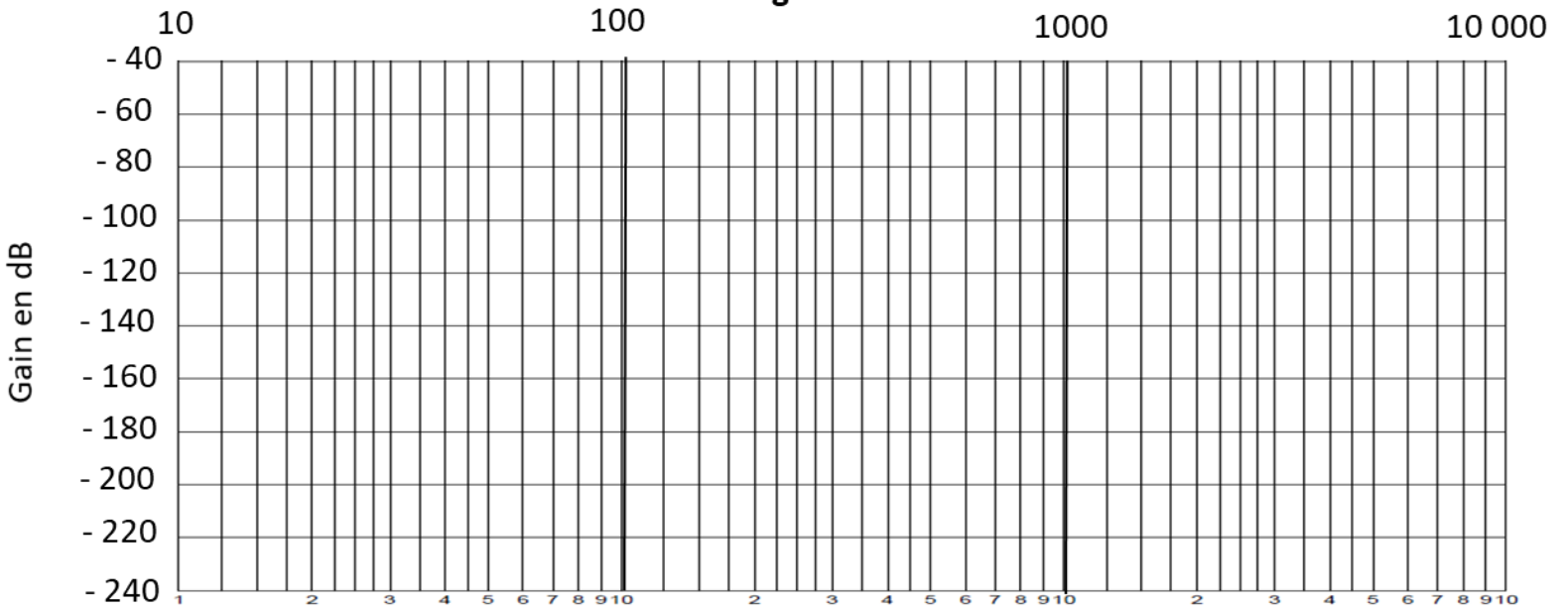


Diagramme de Phase

