

## Applications



## Freinage d'Airbus

David Violeau

Savoirs et compétences :

## Système de freinage de l'A318

D'après ressources UPSTI – David Violeau.

## Présentation du système

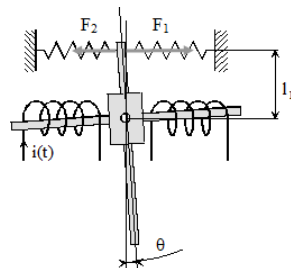
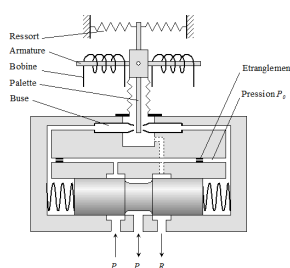
Le freinage est une des fonctions vitales d'un avion, au même titre que la propulsion ou la sustentation. C'est grâce à lui que l'avion peut s'immobiliser après l'atterrissage, circuler au sol en toute sécurité mais également s'arrêter en cas d'urgence lors d'une interruption de décollage alors que l'avion est à pleine charge de carburant et lancé à la vitesse de décollage (même si le risque est de l'ordre de 1 pour 1 million de décollages).

## Modélisation du système de freinage

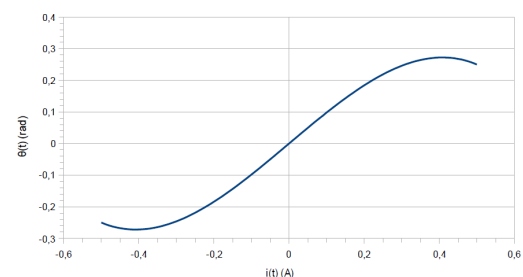
On souhaite définir un modèle pour l'asservissement en décélération. Pour cela, on propose de déterminer une fonction de transfert pour tous les constituants.

## Modélisation de la servovalve

Une servovalve électrohydraulique est un appareil qui convertit une grandeur électrique (courant ou tension) en une grandeur hydraulique proportionnelle (débit ou pression).

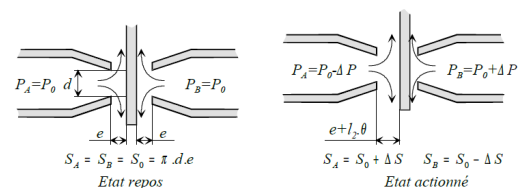


On donne ci-dessous la caractéristique reliant l'intensité  $i(t)$  du moteur à l'angle  $\theta(t)$  dont bascule l'armature.



**Question 1** Que peut-on dire de cette caractéristique sur tout le domaine de variation de  $i(t)$ ? Sachant que  $\theta$  est très petit (varie autour de 0), on utilise la relation suivante  $\theta(t) = K_1 i(t)$ . Déterminer la valeur de  $K_1$  à partir de la courbe.

On admet que, pour le système buse-palette, la rotation d'angle  $\theta$  de la palette se traduit par un accroissement ou diminution de la distance buse-palette. Les sections de fuite sont alors augmentées ou diminuées, ce qui entraîne une augmentation ou diminution des pressions  $P_A$  et  $P_B$  proportionnelle à  $\Delta S$ .



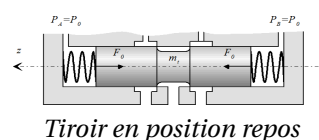
On peut alors définir les relations suivantes :

$$\Delta S(t) = K_2 \theta(t)$$

$$\Delta P(t) = K_3 \Delta S(t)$$

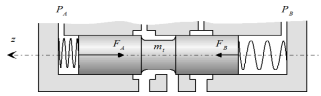
Cette pression différentielle permet de mettre en mouvement le tiroir de la servovalve.

En situation repos, lorsque  $P_A = P_B = P_0$ , le tiroir est en position milieu,  $z = 0$  ( cf figure ci-dessous).



Tiroir en position repos

En position travail, la pression différentielle se répartit aux extrémités du tiroir et provoque son déplacement.



Tiroir en position travail

On utilise les notations suivantes :

- $m_t$  : masse du tiroir ;
- $S_t$  : section du tiroir à ses extrémités ;
- $F_A$  et  $F_B$  : efforts exercés par les deux ressorts de coefficient de raideur  $k_t$  montés de part et d'autre du tiroir du distributeur ;
- $c_t$  : coefficient de frottement visqueux entre tiroir et cylindre.

Le principe fondamental de la dynamique appliqué au tiroir donne la relation suivante :

$$m_t \frac{d^2 z(t)}{dt^2} = -2k_t z(t) + 2S_t \Delta P(t) - c_t \frac{dz(t)}{dt}$$

**Question 2** Calculer la fonction de transfert  $H_t(p) = \frac{Z(p)}{\Delta P(p)}$  où  $Z(p)$  et  $\Delta P(p)$  sont les transformées de Laplace de  $z(t)$  et  $\Delta P(t)$  en précisant l'hypothèse retenue.

**Question 3** Mettre cette fonction de transfert sous forme canonique et donner son ordre.

On admet pour finir que la pression d'utilisation  $P_h(t)$  du fluide est proportionnelle au déplacement  $z(t)$  du tiroir :  $P_h(t) = K_4 z(t)$ .

**Question 4** À partir de toutes les informations précédentes (modélisation armature, buse/palette, tiroir...), recopier et compléter le schéma-bloc de la servovalve donné ci-dessous, en précisant les fonctions de transfert de chaque bloc (utiliser les notations algébriques).



**Question 5** En déduire la fonction de transfert  $S_v(p) = \frac{P_h(p)}{I(p)}$  de la servovalve.

**Question 6** Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre :

$$S_v(p) = \frac{P_h(p)}{I(p)} = \frac{K_{sv}}{1 + \frac{2\xi p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

où on donnera les expressions littérales de  $K_{sv}$ ,  $\xi$  et  $\omega_0$ .

On souhaite que la réponse à une entrée  $i(t)$  de type échelon de valeur  $i_0$  soit la plus rapide possible **sans toutefois produire de dépassement**.

**Question 7** A quelle valeur de  $\xi$  correspond cette spécification ?

**Question 8** Démontrer que cette condition ne peut être satisfaite que si  $k_t = \frac{c_t^2}{8m_t}$ .

**Question 9** Montrer alors que la fonction de transfert de la servovalve peut se mettre sous la forme :

$$S_v(p) = \frac{P_h(p)}{I(p)} = \frac{K_{sv}}{(1 + T_{sv} p)^2}$$

on donnera l'expression littérale de  $T_{sv}$ .

**Question 10** Déterminer la réponse indicielle  $P_h(t)$  pour une entrée échelon de valeur  $i(t) = i_0 u(t)$ .

$$\text{On rappelle que } \mathcal{L}(t e^{-at} u(t)) = \frac{1}{(p+a)^2}.$$

## Modélisation de l'accéléromètre

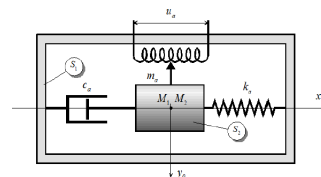
La centrale inertielle contient des accéléromètres qui permettent de mesurer les accélérations suivant les trois directions  $x_a$ ,  $y_a$ ,  $z_a$  d'un repère lié à l'avion.

L'accéléromètre renvoie au BSCU un signal électrique  $u_a(t)$  image de l'accélération  $a(t)$  suivant la direction  $x_a$ . La tension  $u_a(t)$  est convertie en grandeur numérique  $a_m$  par un convertisseur analogique-numérique et rangée dans la mémoire du BSCU.

## Principe de l'accéléromètre

Un accéléromètre (voir figure ci-dessous) est constitué de deux solides  $S_1$  et  $S_2$  :

- $S_1$ , le corps, est lié à l'avion,
- $S_2$  est lié à  $S_1$  par l'intermédiaire d'un ressort de raideur  $k_a$  et d'un frottement visqueux de valeur  $c_a$ .



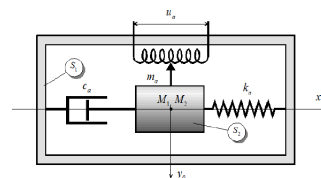
Accéléromètre en position repos

On considère (voir figure ci-dessus) deux points  $M_1$  et  $M_2$  appartenant respectivement à  $S_1$  et  $S_2$ . On note  $x_1(t)$  et  $x_2(t)$  leurs coordonnées dans un repère  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .

On considère nulles les conditions initiales. En particulier, à l'état repos,  $M_1$  et  $M_2$  sont confondus. Quand  $S_1$  est animé d'un mouvement de translation suivant  $x_0$ , on note :

$$\varepsilon(t) = x_1(t) - x_2(t) \quad (1)$$

$$a(t) = \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} \text{ accélération de } S_1 \quad (2)$$



Accéléromètre en action

D'autre part, par application du principe fondamental de la dynamique, on a :

$$m_a \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} = c_a \left( \frac{dx_1(t)}{dt} - \frac{dx_2(t)}{dt} \right) + k_a (x_1(t) - x_2(t)) \quad (3)$$

avec  $m_a, c_a, k_a$  constantes.

Le solide  $S_2$  est relié à un potentiomètre qui renvoie une tension  $u_a$  proportionnelle au déplacement  $\varepsilon$  du solide  $S_2$  par rapport à  $S_1$ . On note :

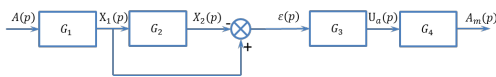
$$u_a(t) = K_p \varepsilon(t) \quad (4)$$

Finalement, le CAN (convertisseur analogique numérique) fournit la valeur  $a_m$  telle que :

$$a_m(t) = K_{CAN} u_a(t) \quad (5)$$

**Question 11** Déterminer les transformées de Laplace des expressions (1) à (5).

**Question 12** En déduire les transmittances  $G_i$  du schéma bloc ci-après.

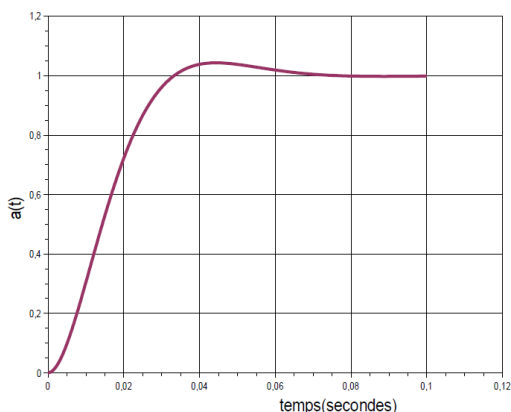


**Question 13** En déduire la fonction de transfert  $\frac{A_m(p)}{A(p)}$  et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$\frac{A_m(p)}{A(p)} = \frac{K_{acc}}{1 + 2\frac{\xi_a p}{\omega_a} + \frac{p^2}{\omega_a^2}}$$

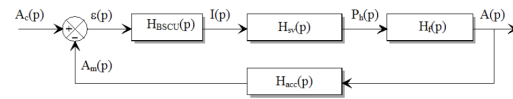
Donner les expressions de  $K_{acc}$ ,  $\xi_a$  et  $\omega_a$ .

**Question 14** La figure ci-dessous donne la réponse indicielle (entrée unitaire) de l'accéléromètre. Identifier les valeurs des constantes  $K_{acc}$ ,  $\xi_a$  et  $\omega_a$  (On pourra utiliser les abaques donnés en annexe).



## Étude de l'asservissement global

La boucle d'asservissement en décélération est donnée ci-après :



avec :  $H_{sv}(p) = \frac{K_{sv}}{(1 + T_{sv}p)^2}$ ,  $H_{acc}(p) = \frac{K_{acc}}{1 + \frac{2\xi_a p}{\omega_a} + \frac{p^2}{\omega_a^2}}$ ,  $H_f(p) = K_f$ ,  $H_{BSCU}(p) = K_c$ .

**Question 15** Exprimer sous forme canonique la fonction de transfert en boucle ouverte. En déduire l'ordre, la classe et le gain de la FTBO(p).

**Question 16** Exprimer l'écart  $\varepsilon(p)$  en fonction de  $a_c(p)$  et de la FTBO(p).

**Question 17** En déduire l'écart en régime permanent à une entrée de type échelon d'accélération  $a_c(t) = a_c u(t)$ . Que peut-on dire de la performance de précision pour ce correcteur ?

**Question 18** On utilise un correcteur (correcteur PI) plus évolué de fonction de transfert  $H_{BSCU}(p) = K_i \frac{1 + T_i p}{p}$ , déterminer à nouveau l'écart en régime permanent et conclure sur ce choix de correcteur.

