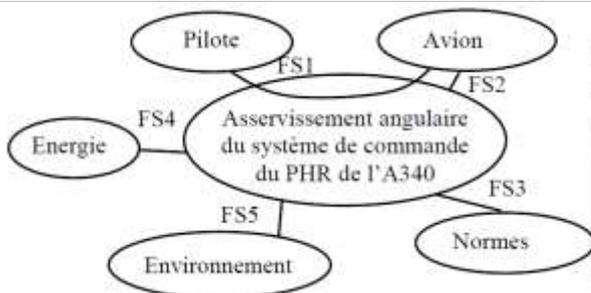


# AIRBUS : COMMANDE EN PLAN HORIZONTAL

**Problématique : Les exigences du cahier des charges sont-elles vérifiées ?**

Contexte **Etude du plan horizontal réglable**

On s'intéresse à l'asservissement en position angulaire du moteur électrique au système de commande du plan horizontal réglable dont on donne une description fonctionnelle ainsi qu'un extrait du cahier des charges



FS1 : Permettre au pilote de piloter en toute sécurité l'avion.

FS	Critère	Niveau	Flexibilité
...	...	...	...
FS1	Erreur statique Temps de réponse à 5% Erreur de trainage	Nulle $t < 0,2s$ Nulle	Aucune Aucune Aucune
...	...	...	...

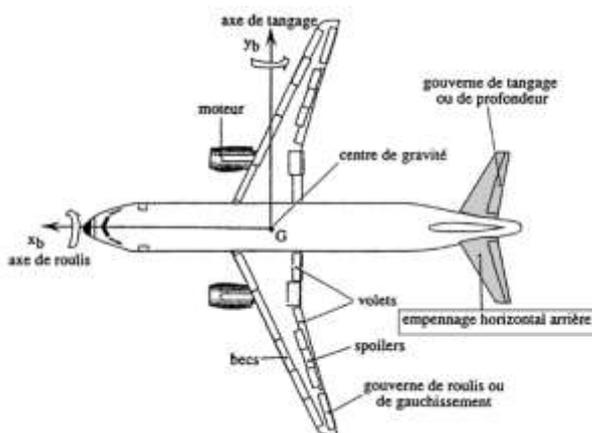
Le PHR est réglé à l'aide des gouvernes de profondeur. On peut montrer que pour une vitesse donnée, il est possible, par réglage du PHR, de réduire la poussée des réacteurs et donc d'économiser du carburant.

Afin de répondre aux exigences de fiabilité qui stipulent, en particulier, que le PHR doit pouvoir fonctionner durant  $10^9$  FH (Fly Hour) sans subir de défaillance, un certain nombre de composants de la chaîne de commande du PHR sont doublés ou triplés suivant les cas.

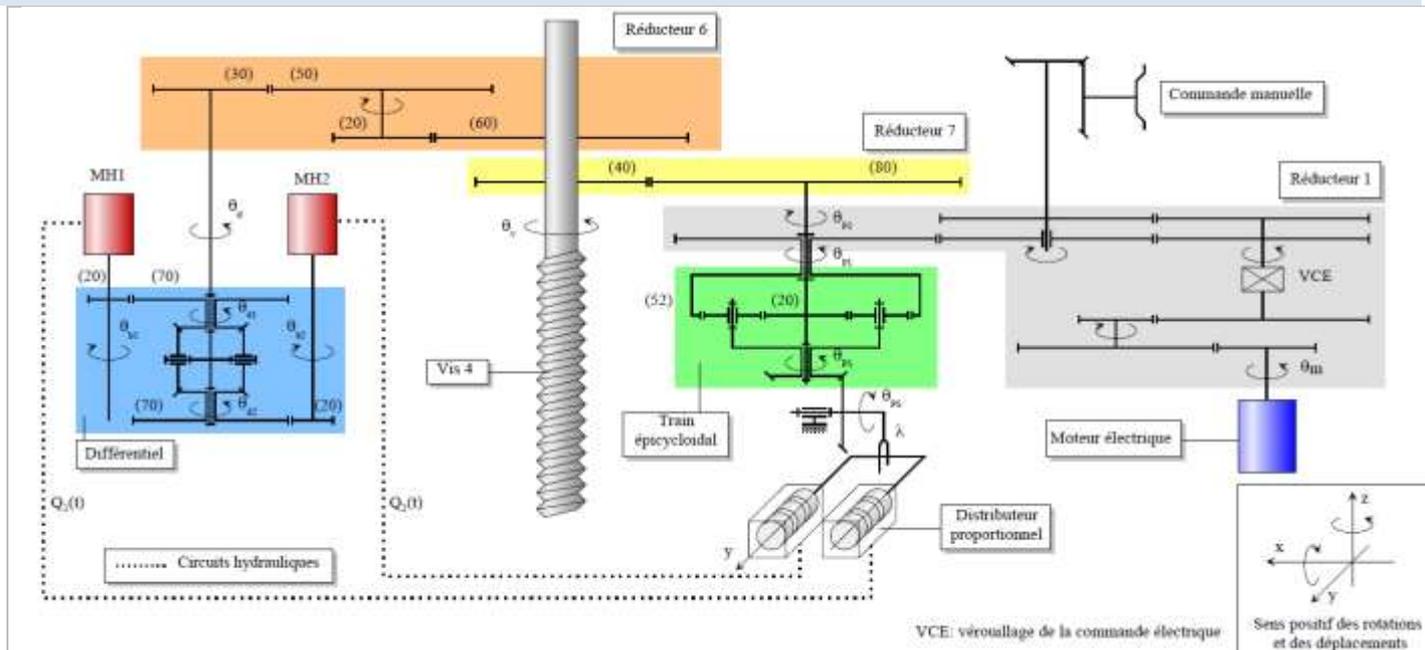
D'autre part, toujours pas soucis de sécurité, le PHR peut être commandé :

- Soit automatiquement par ordinateur de bord qui détermine, à partir des paramètres du vol, la valeur optimale de l'angle  $\beta$  que doivent prendre les gouvernes de profondeur.
- Soit manuellement par le pilote à partir d'un volant de commande situé dans le poste de pilotage et ce, en cas de défaillance de la commande automatique du PHR.

La figure 1 ci-dessous présente le schéma de principe de la chaîne d'énergie à partir de la génération de la commande par le calculateur ou le pilote jusqu'au PHR.



# AIRBUS : COMMANDE EN PLAN HORIZONTAL



Le calculateur génère une tension de commande qui va alimenter le moteur électrique qui est asservi en position angulaire pour permettre de générer l'angle de consigne initial. Cet angle est adapté à l'aide du réducteur 1. L'angle de sortie du réducteur 1 permet de commander les deux distributeurs proportionnels, qui vont délivrer un débit de fluide hydraulique pour alimenter les deux moteurs hydrauliques. Ces deux moteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique de rotation. Les deux mouvements de rotation ainsi générés sont additionnés à l'aide du différentiel pour créer un seul mouvement de rotation à sa sortie. La sortie du différentiel est reliée au réducteur 6 qui va adapter l'énergie mécanique de puissance pour actionner la vis 4. La vis 4 est reliée à la gouverne de profondeur et permet de commander son angle.

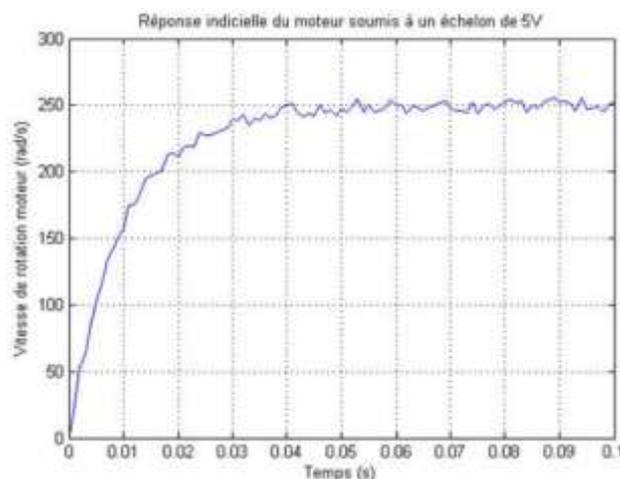
L'angle de rotation de la vis 4 est capté à l'aide du réducteur 7 qui va l'adapter afin d'être comparée à la rotation de commande des distributeurs à l'aide du train épicycloïdal, qui joue ici le rôle d'un comparateur.

## Questions

La boucle d'asservissement en position angulaire du moteur électrique a pour entrée une tension de consigne  $u_e(t)$  générée par le calculateur. Cette tension est comparée à la tension  $u_r(t)$ , image de l'angle  $\theta_r(t)$ , délivrée par un capteur potentiométrique. L'écart  $\varepsilon_1(t)$  est ensuite corrigé et amplifié par un bloc correcteur + amplificateur qui fournit la tension  $u(t)$  aux bornes du moteur électrique. L'angle de rotation  $\theta_m(t)$  en sortie du moteur est réduit par un réducteur 2 pour donner la rotation  $\theta_r(t)$  mesurée par le capteur. D'autre part, l'angle  $\theta_m(t)$ , est réduit par un réducteur 1 pour fournir un angle de rotation en sortie  $\theta_{p1}(t)$ , sortie de cet asservissement.

**Q1** Construire le schéma bloc fonctionnel de cet asservissement.

Le moteur électrique est un moteur à courant continu. On procède à une identification du moteur en le soumettant à un échelon de tension  $U = 5\text{ V}$ , afin de déterminer par un modèle de comportement sa fonction de transfert. On obtient la réponse indicielle  $\omega_m(t)$  donnée ci-dessous.



## AIRBUS : COMMANDE EN PLAN HORIZONTAL

**Q2** Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la/les technique(s) utilisée(s) pour déterminer les paramètres.

Pour valider le modèle expérimental, on peut utiliser les équations du moteur à courant continu :

(1)	$u(t) = e(t) + Ri(t)$
(2)	$e(t) = k_e \omega_m(t)$
(3)	$c_m(t) = J_e \frac{d\omega_m(t)}{dt}$
(4)	$c_m(t) = k_a i(t)$

Résistance de l'induit	$R = 1 \Omega$
Inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur	$J_e = 4 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Constante de force contre électromotrice	$k_e = 0,02 \text{ V}/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$
Constante de couple	$k_a = 0,02 \text{ Nm} \cdot \text{A}^{-1}$

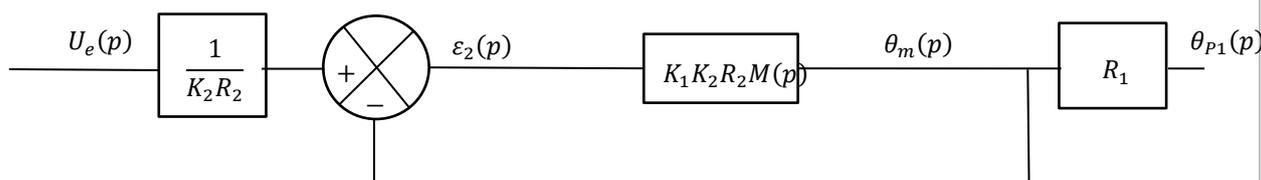
**Q3** Déterminer la fonction de transfert  $\mathbf{M}(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)}$  du moteur électrique et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un intégrateur  $\frac{1}{p}$  multipliée par une fonction de transfert d'un premier ordre de gain statique  $k_m$  et de constante de temps  $\tau_m$ .

**Q4** Donner les expressions littérales de  $k_m$  et  $\tau_m$  puis numérique en précisant les unités.

Les fonctions de transfert de différents éléments sont précisés :

- Correcteur + Amplificateur : Gain  $K_1$
- Capteur potentiométrique : Gain  $K_2$
- Réducteur 1 : Gain  $R_1$
- Réducteur 2 : Gain  $R_2$

**Q5** Etablir le schéma-bloc du système et montrer qu'il peut se mettre sous la forme :



Le rapport de transmission du réducteur 1 est  $R_1 = \frac{1}{150}$ .

**Q6** Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte  $\mathbf{T}(p) = \frac{\theta_m(p)}{\varepsilon_2(p)}$ , la mettre sous la forme  $\mathbf{T}(p) = \frac{K_{BO}}{p(1+\tau_m p)}$  et en déduire l'expression du gain de boucle  $K_{BO}$ .

**Q7** Déterminer la fonction de transfert  $\mathbf{F}(p) = \frac{\theta_{p1}(p)}{U_e(p)}$ . Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera  $K_{BF}$  le gain statique,  $z$  le coefficient d'amortissement et  $\omega_0$  la pulsation propre.

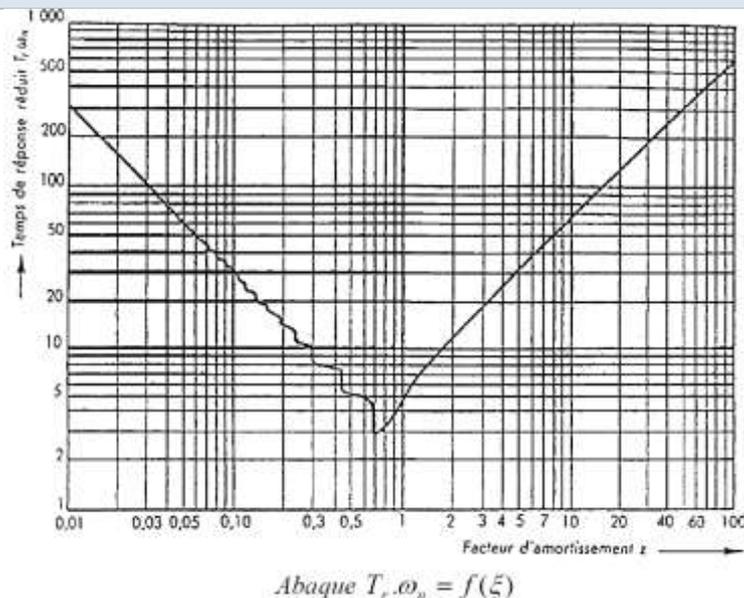
**Q8** Donner l'expression littérale de  $K_{BF}$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $K_2$ , de  $z$  et  $\omega_0$  en fonction de  $K_{BO}$  et  $\tau_m$ .

**Q9** Déterminer la valeur du gain de boucle  $K_{BO}$  de telle sorte que la réponse  $\theta_{p1}$  à une entrée en tension  $u_e$  de type échelon soit la plus rapide possible sans toutefois produire de dépassement.

**Q10** Déterminer l'erreur statique du système. Le système est-il précis ? Conclure vis-à-vis du cahier des charges.

**Q11** Déterminer le temps de réponse à 5% du système et conclure vis-à-vis du cahier des charges.

## AIRBUS : COMMANDE EN PLAN HORIZONTAL



On admet que la longueur utile de la vis est  $l = 0,6 \text{ m}$ . Le pas de vis est  $p_v = 10 \text{ mm}$ .

**Q12** Déterminer le nombre de tours  $N_v$  que va faire la vis.

La vis est entraînée en rotation par un réducteur dont le rapport de réduction vaut  $\frac{\theta_{p1}}{\theta_v} = \frac{1}{5}$ .

**Q13** Déterminer le nombre de tours  $N_{p1}$  que va faire l'arbre d'entrée du réducteur 52.

**Q14** En déduire le nombre de tours  $N_m$  que va faire l'arbre du moteur.

Le capteur de position de gain  $K_2$  de la boucle d'asservissement du moteur électrique est un capteur potentiométrique 10 tours dont la tension de sortie varie de  $-12$  à  $+12 \text{ V}$ .

**Q15** En supposant que l'on utilise le capteur sur toute sa plage (10 tours), déterminer le rapport de réduction  $R_2$  du réducteur reliant la sortie du moteur à l'entrée du potentiomètre.

**Q16** Déterminer le gain  $K_2$  du capteur potentiométrique.

**Q17** En déduire le gain  $K_1$  du régulateur connaissant la valeur de  $K_{B0}$  fixée question 11.

Dans le cas d'une entrée de type rampe  $u_e(t) = tu(t)$ , le cahier des charges stipule que l'erreur de traînage doit être nulle.

**Q18** Déterminer l'erreur de traînage et conclure vis-à-vis du cahier des charges.