

# ETUDE DU PLAN HORIZONTAL REGLABLE (PHR) DE L'AIRBUS A340<sup>1</sup>



## I PRESENTATION

Le thème proposé concerne l'aéronautique et plus particulièrement la commande en position du plan horizontal réglable (PHR) de l'Airbus A340.

Gros-porteur très long-courrier, ce quadriréacteur symbolise l'aboutissement de la politique de gamme menée par le constructeur européen depuis la commercialisation de son premier avion, l'A300.

Spécifications	A340-500	A340-600
Longueur	67,90 m	75,30 m
Envergure	63,45 m	63,45 m
Surface alaire	437 m <sup>2</sup>	437 m <sup>2</sup>
Capacité en sièges	313	378
Autonomie (km)/Nm	15.800/8.500	13.900/7.500
Poids au décollage	368 t	369 t
Capacité des réservoirs	214.800	194.880
Moteurs	Trent 553	Trent 556
Puissance des moteurs (lbs)	53.000	56.000

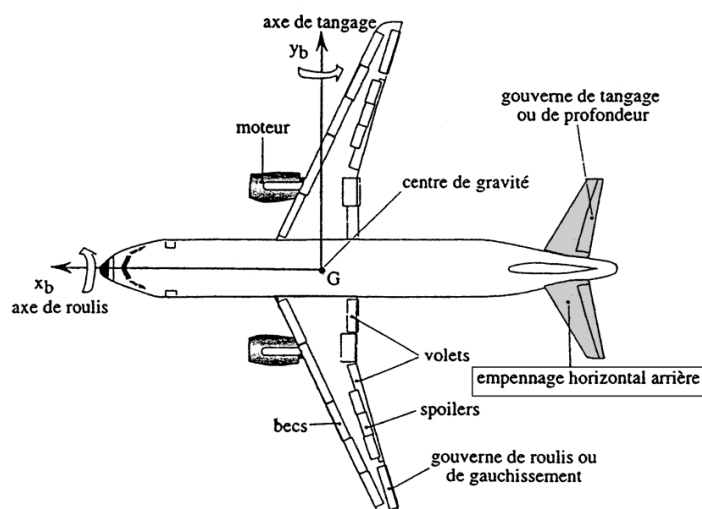


Figure 1

<sup>1</sup> D'après le sujet de concours CCP MP 2005

Le PHR est réglé à l'aide des gouvernes de profondeur (voir Figure 1). 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 par souci de sécurité, le PHR peut être commandé :

- soit automatiquement par un ordinateur de bord qui détermine, à partir des paramètres du vol, la valeur optimale de l'angle  $\beta$  que doit 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 2 présente le schéma de principe de la chaîne d'action à partir de la génération de la commande par le calculateur ou le pilote.

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 de consigne initial 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 comparé à la rotation de commande des distributeurs à l'aide du train épicycloïdal, qui joue ici le rôle d'un comparateur.

### Analyse fonctionnelle

*Q1/ Compléter le diagramme FAST relatif à la fonction principale régler l'angle du PHR sur le document réponse DR1.*

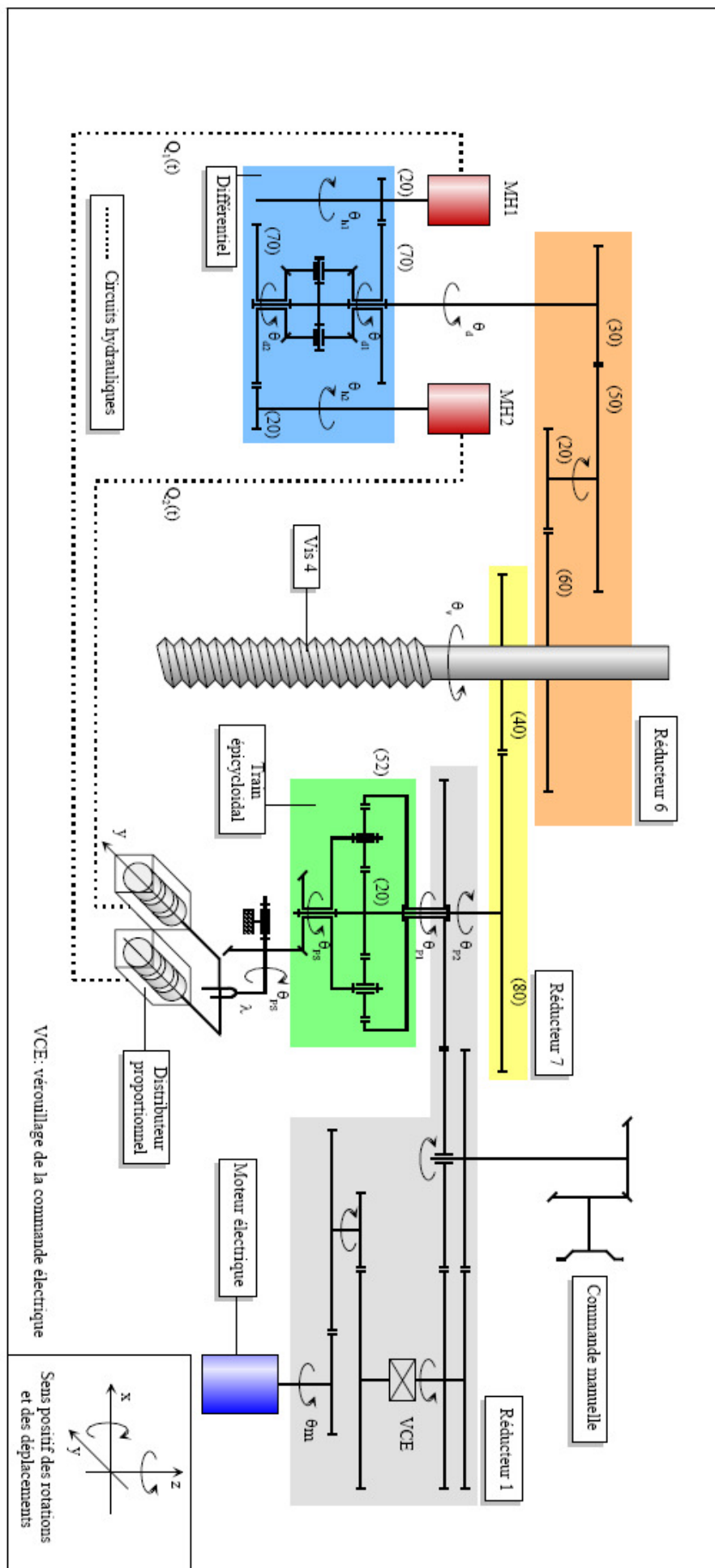


Figure 2

## II ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT EN POSITION DU MOTEUR ELECTRIQUE

On se propose d'étudier précisément la boucle d'asservissement en position angulaire du moteur électrique. L'entrée de cet asservissement est une tension de consigne  $U_e$  générée par le calculateur. Cette tension est comparée à la tension  $U_r$ , image de l'angle  $\theta_r$ , délivrée par un capteur potentiométrique. L'écart  $\varepsilon_1$  est ensuite corrigé et amplifié par un bloc correcteur+amplificateur et fournit la tension  $U$  aux bornes du moteur électrique. L'angle de rotation  $\theta_m$  en sortie du moteur est réduit par un réducteur 2 pour donner la rotation  $\theta_r$  mesurée par le capteur. D'autre part, l'angle  $\theta_m$  est réduit par un réducteur 1 pour fournir un angle de rotation en sortie  $\theta_{p1}$ , sortie de cet asservissement.

*Q2/ Construire le schéma bloc fonctionnel de cet asservissement.*

### Analyse du moteur électrique

Le moteur électrique est un moteur à courant continu. Les ingénieurs procèdent à une identification du moteur en le soumettant à un échelon de tension  $U=5V$ , afin de déterminer par un modèle de comportement sa fonction de transfert. On obtient la réponse indicielle (vitesse de rotation  $\omega_m(t)$ ) donnée dans le document réponse DR2.

*Q3/ Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la (ou les) techniques utilisées pour déterminer les paramètres. Les tracés seront laissés apparents sur la figure du document réponse DR2.*

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

- Equation électrique liant la tension  $u$  aux bornes du moteur et le courant  $i$  le traversant :  $u(t) = R i(t) + e(t)$ ,
- Equation de couplage électrique liant la tension contre-électromotrice  $e(t)$  à la vitesse de rotation  $\omega_m(t)$  de l'arbre du moteur :  $e(t) = k_e \omega_m(t)$ ,
- Equation de la mécanique liant la vitesse de rotation  $\omega_m(t)$  et le couple moteur  $C_m(t)$  :  $J_e \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t)$ ,
- Equation de couplage mécanique liant le couple moteur au courant :  $C_m(t) = k_a i(t)$ .

Avec :

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| • $R$ : la résistance de l'induit                        | $R = 1 \Omega$                   |
| • $J_e$ : inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur | $J_e = 4.10^{-6} \text{ kg.m}^2$ |
| • $k_e$ : constante de force contreélectromotrice        | $k_e = 0,02 \text{ V/(rad/s)}$   |
| • $k_a$ : constante de couple                            | $k_a = 0,02 \text{ Nm/A}$        |

### Détermination de la fonction de transfert du moteur

*Q4/ Déterminer la fonction de transfert  $M(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)}$  du moteur électrique et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un intégrateur  $\frac{1}{p}$  multiplié par une fonction de transfert d'un 1<sup>er</sup> ordre de gain statique  $K_m$  et de constante de temps  $\tau_m$ .*

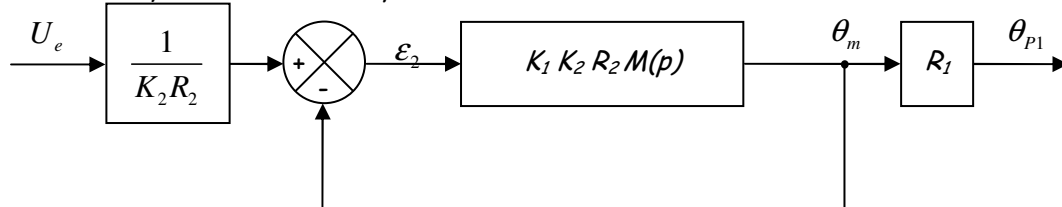
Q5/ Donner les expressions littérales de  $K_m$  et  $\tau_m$ .

Q6/ Application numérique : calculer  $K_m$  et  $\tau_m$  en précisant les unités.

### Schéma bloc de l'asservissement

La fonction de transfert du correcteur+amplificateur peut être assimilé dans un gain  $K_1$ . La fonction de transfert du réducteur 2 est un gain noté  $R_2$ . La fonction de transfert du réducteur 1 est un gain noté  $R_1$ . La fonction de transfert du capteur potentiométrique est assimilé à un gain noté  $K_2$ .

Q7/ Montrer que le schéma bloc peut se mettre sous la forme suivante :



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

### Détermination de la fonction de transfert en boucle ouverte

Q8/ Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte  $T(p) = \frac{\theta_m}{\epsilon_2}$ , la mettre sous la forme

$$T(p) = \frac{K_{BO}}{p(1 + \tau_m p)} \text{ et en déduire l'expression du gain de boucle } K_{BO}.$$

### Détermination de la fonction de transfert en boucle fermée

Q9/ Déterminer la fonction de transfert  $F(p) = \frac{\theta_{p1}}{U_e}$  et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera  $K_{BF}$  le gain statique,  $\zeta$  le coefficient d'amortissement et  $\omega_0$  la pulsation propre.

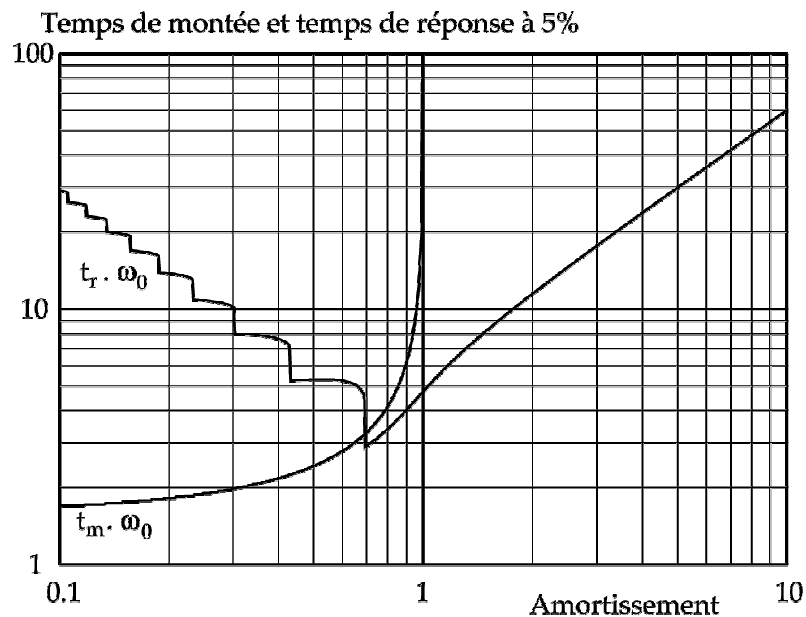
Q10/ Donner l'expression littérale de  $K_{BF}$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $K_2$ , de  $\zeta$  et  $\omega_0$  en fonction de  $K_{BO}$  et  $\tau_m$ .

### Analyse des performances

Q11/ Déterminer la valeur du gain de boucle  $K_{BO}$  de telle sorte que la réponse à une entrée de type échelon soit la plus rapide possible sans toutefois produire de dépassement.

Q12/ Déterminer l'écart de position pour une entrée de type échelon en calculant l'écart statique :  $\epsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon_2(t)$ . Le système est précis à une entrée de type échelon si  $\epsilon_s = 0$ , conclure.

Q13/ Déterminer le temps de réponse à 5% à l'aide de la Figure 3.



### Détermination du gain $K_1$

On admet que la longueur utile de la vis est  $l = 0,6\text{ m}$ . Le pas de la vis est  $p_v = 10\text{ mm}$  (distance parcourue quand la vis a fait un tour).

Q14/ Déterminer le nombre de tour maximal  $N_v$  que va faire la vis.

La vis est entraînée en rotation par un réducteur **52** dont le rapport de réduction est  $\frac{\theta_{p1}}{\theta_v} = \frac{1}{5}$ .

Q15/ Déterminer le nombre de tour  $N_{p1}$  que va faire l'arbre d'entrée du réducteur **52**.

L'arbre d'entrée du réducteur **52** est entraîné par le réducteur **1**.

Q16/ En déduire le nombre de tour  $N_m$  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  $+12$  Volts.

Q17/ 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.

Q18/ Déterminer le gain du capteur potentiométrique.

Q19/ En déduire le gain  $K_1$  du régulateur connaissant la valeur de  $K_{B0}$  fixée en Q11/.

### Analyse des performances en mode suiveur

Dans le cas d'une entrée de type rampe  $u_e(t) = t u(t)$ , le cahier des charges stipule que l'écart de traînage ne doit pas excéder  $\varepsilon_T \leq 0,5\text{ rad}$ .

Q20/ Déterminer l'écart de traînage  $\varepsilon_T = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_2(t)$  à une entrée de type rampe.

Q21/ En déduire une première inégalité sur  $K_{B0}$  permettant de vérifier cette partie du cahier charges.

Q22/ En reprenant la Q11/, déterminer une seconde inégalité sur  $K_{B0}$  permettant d'assurer que la réponse indicielle du système ne présentera pas de dépassement.

Dans la pratique le régulateur est un correcteur dont la fonction de transfert est

$$C_1(p) = K_1 \frac{1 + T_1 p}{1 + b T_1 p} \quad \text{avec } b > 1.$$

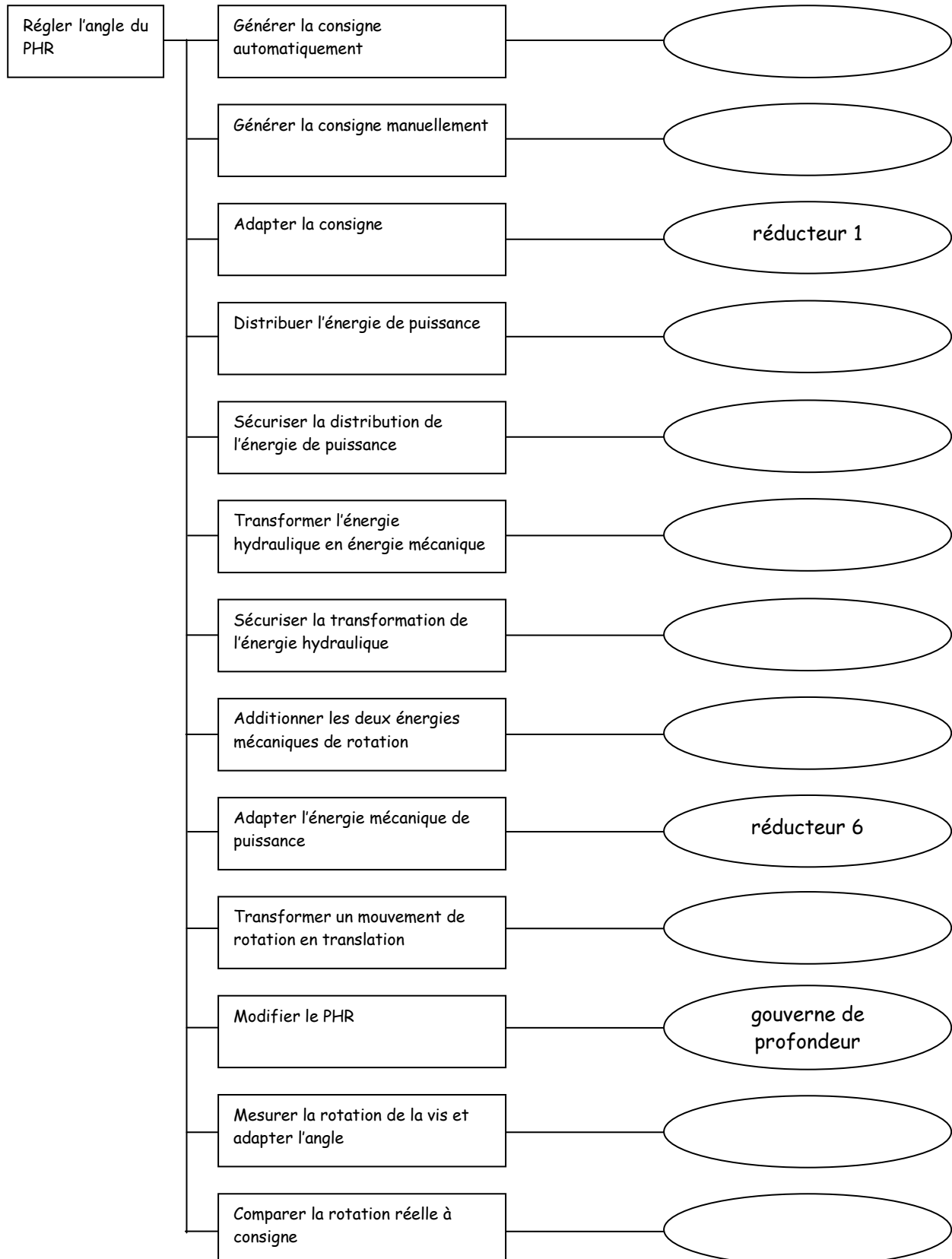
Q23/ Justifier la nécessité de ce correcteur.

# DOCUMENT REPONSE DR1

Nom :

Prénom :

Classe :



## DOCUMENT REPONSE DR2

 $\omega_m(t)$  (rad/s)

Réponse indicielle du moteur soumis à un échelon de 5V

