

DS1

Calculatrice autorisée

Les résultats doivent être encadrés sous peine de pénalité !

On numérote les copies !

Les résultats seront simplifiés au maximum sous peine de non correction!

I Analyse et Etude de la modélisation et du comportement d'un système de commande d'airbus A340

Réponses sur document Réponses



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 ²	437 m ²
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

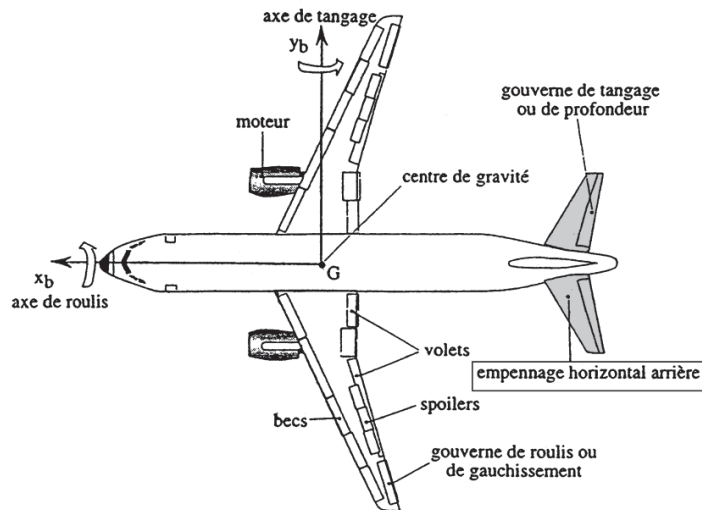


Figure 1

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.

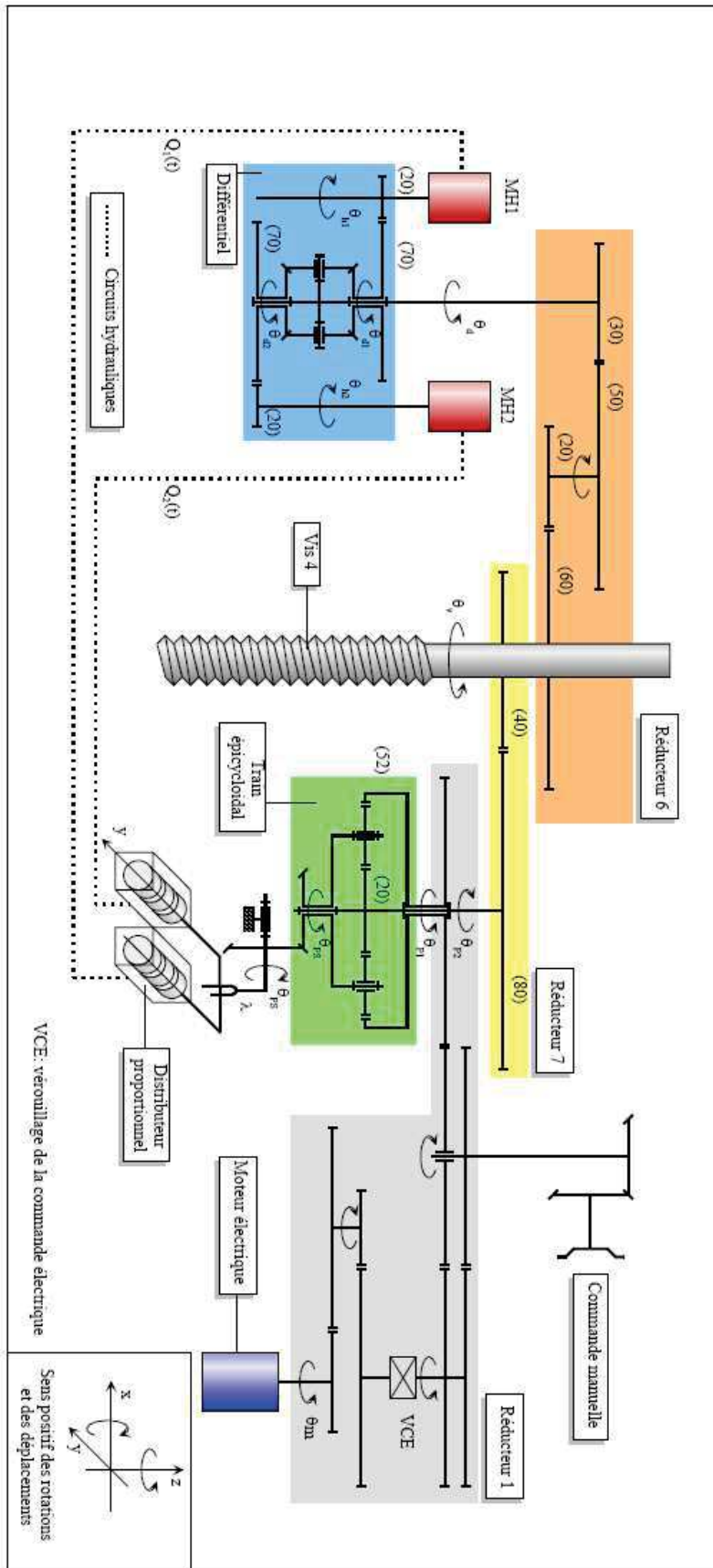
D'autre part, toujours par souci de sécurité, le PHR peut être commandé :

- soit automatiquement par un ordinateur de bord qui détermine, à partir des paramètres du vol, la valeur optimale de l'angle β 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 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.



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 θ_r , délivrée par un capteur potentiométrique. L'écart ε_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 θ_m en sortie du moteur est réduit par un réducteur **2** pour donner la rotation θ_r mesurée par le capteur. D'autre part, l'angle θ_m est réduit par un réducteur **1** pour fournir un angle de rotation en sortie θ_{p1} , sortie de cet asservissement.

Q1. Construire le schéma bloc fonctionnel (dans les blocs $\rightarrow$ nom des sous systèmes) 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 .

Q2. 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.

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**

Q3. 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^{er} ordre de gain statique K_m et de constante de temps τ_m .

Q4. Donner les expressions littérales de K_m et τ_m .

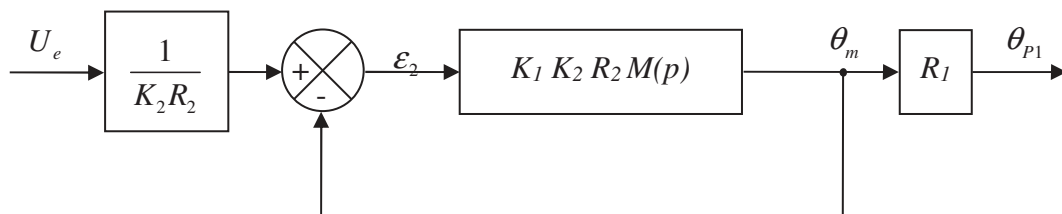
Q5. Application numérique : calculer K_m et τ_m en précisant les unités. Commentaires vis-à-vis de l'identification à partir de la courbe.

➔ Si l'on a pas résolu Q3, on supposera par la suite : $\frac{\theta_m(p)}{U(p)} = \frac{K_m}{p(\tau_m p + 1)}$

➤ **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 .

Q6. Montrer que le schéma bloc peut se mettre sous la forme suivante :



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

➤ **Détermination de la fonction de transfert en boucle ouverte**

Q7. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p) = \frac{\theta_m(p)}{\varepsilon_2(p)}$, la mettre sous la forme $T(p) = \frac{K_{BO}}{p(1 + \tau_m p)}$ et en déduire l'expression du gain de boucle K_{BO} .

➔ A partir d'ici on utilisera la forme $T(p) = \frac{K_{BO}}{p(1 + \tau_m p)}$

➤ **Détermination de la fonction de transfert en boucle fermée**

Q8. Déterminer la fonction de transfert $F(p) = \frac{\theta_{p1}(p)}{U_e(p)}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera K_{BF} le gain statique, ζ le coefficient d'amortissement et ω_0 la pulsation propre.

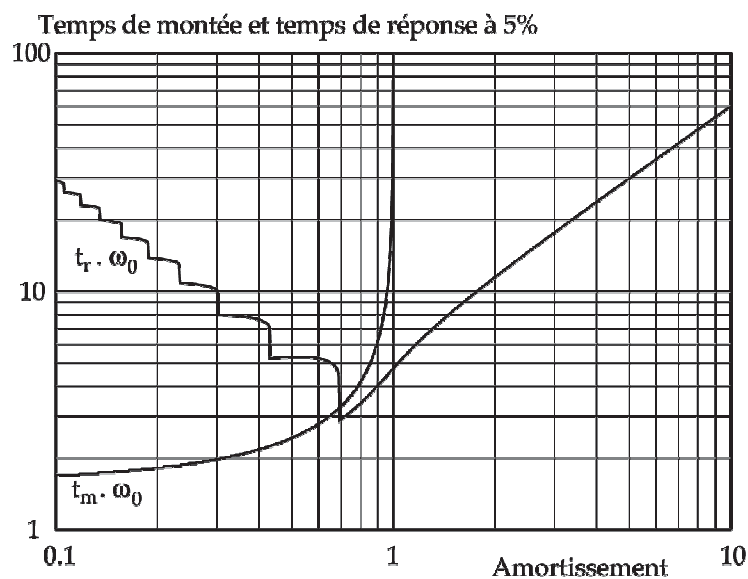
Q9. Donner l'expression littérale de K_{BF} en fonction de R_1 , R_2 et K_2 ainsi que celles de ζ et ω_0 en fonction de K_{BO} et τ_m .

➤ **Analyse des performances**

Q10. 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.

Q11. Déterminer l'écart de position pour une entrée de type échelon en calculant l'écart statique : $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_2(t)$.
Le système est précis à une entrée de type échelon si $\varepsilon_s = 0$, conclure.

Q12. Déterminer le temps de réponse à 5% à l'aide de la Figure 3. pour le cas de Q10



➤ **Détermination du gain K_1 (PARTIE INDEPENDANTE)**

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 à fait un tour).

Q13. 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 $\frac{\theta_{p1}}{\theta_v} = \frac{1}{5}$.

Q14. 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** ($\frac{N_{p1}}{N_m} = R_1 = \frac{1}{150}$)

Q15. 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 multitours (10 tours) dont la tension de sortie varie de -12 à +12 Volts.

Q16. 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.

Q17. Déterminer le gain du capteur potentiométrique en V/rad.

Q18. En déduire le gain K_1 du régulateur connaissant la valeur de K_{B0} fixée en Q11/.

(FIN DE LA PARTIE INDEPENDANTE)

➤ **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 $\varepsilon_T \leq 0,5 \text{ rad}$.

Q19. Déterminer l'écart de traînage $\varepsilon_T = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_2(t)$ à une entrée de type rampe.

Q20. En déduire une première inégalité sur K_{B0} permettant de vérifier cette partie du cahier charges.

Q21. En reprenant la Q10/, déterminer une seconde inégalité sur K_{B0} permettant d'assurer que la réponse indicielle du système ne présentera pas de dépassement.

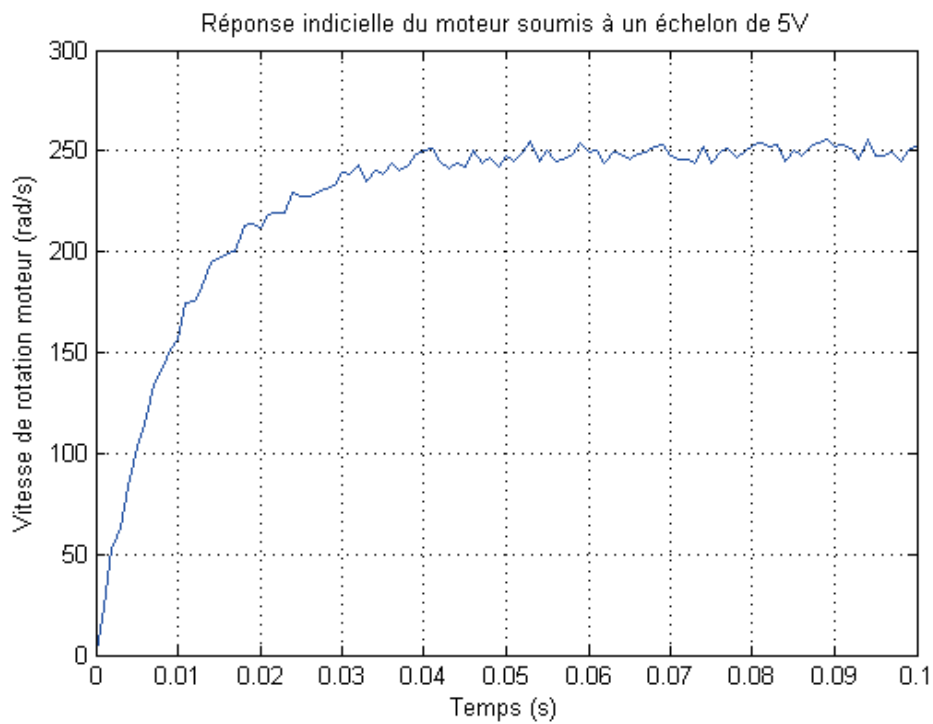
ANNEXE 1 – formulaire des transformées de Laplace usuelles

$f(t)u(t)$	$F(p)$	$f(t)u(t)$	$F(p)$
$\delta(t)$	1	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
K	$\frac{K}{p}$	$\cos \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
Kt	$\frac{K}{p^2}$	$\operatorname{sh} \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 - \omega^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{p + a}$	$\operatorname{ch} \omega t$	$\frac{p}{p^2 - \omega^2}$
t^n	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(p + a)^2 + \omega^2}$
$1 - e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{p(1 + \tau p)}$	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{p + a}{(p + a)^2 + \omega^2}$
$e^{at} t^n$	$\frac{n!}{(p - a)^{n+1}}$		

DOCUMENT REPONSE

Q1. Construire le schéma bloc fonctionnel de cet asservissement.

Q2. Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la (ou les) techniques utilisées pour déterminer les paramètres.



Ordre du modèle :

Justifications :

Q3.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^{er} ordre de gain statique K_m et de constante de temps τ_m .

Q4.Donner les expressions littérales de K_m et τ_m .

Q5.Application numérique : calculer K_m et τ_m en précisant les unités.

Q6.Montrer que le schéma bloc peut se mettre sous la forme :

Q7.Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p) = \frac{\theta_m}{\varepsilon_2}$, la mettre sous la forme

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

Q8.Déterminer la fonction de transfert $F(p) = \frac{\theta_{Pl}}{U_e}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera K_{BF} le gain statique, ξ le coefficient d'amortissement et ω_0 la pulsation propre.

Q9.Donner l'expression littérale de K_{BF} en fonction de R_1 , R_2 et K_2 , de ξ et ω_0 en fonction de K_{BO} et τ_m .

Q10. 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.

- Q11.** Déterminer l'écart de position pour une entrée de type échelon en calculant l'écart statique : $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_2(t)$. Le système est précis à une entrée de type échelon si $\varepsilon_s = 0$, conclure.

- Q12.** Déterminer le temps de réponse à 5% à l'aide de la Figure 3.

- Q13.** Déterminer le nombre de tour maximal N_v que va faire la vis.

- Q14.** Déterminer le nombre de tour N_{p1} que va faire l'arbre d'entrée du réducteur 52.

- Q15.** En déduire le nombre de tour N_m que va faire l'arbre du moteur.

- Q16.** 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.

Q17. Déterminer le gain du capteur potentiométrique.

Q18. En déduire le gain K_1 du régulateur connaissant la valeur de K_{BO} fixée en Q11/.

Q19. Déterminer l'écart de traînage $\varepsilon_T = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_2(t)$ à une entrée de type rampe.

Q20. En déduire une première inégalité sur K_{BO} permettant de vérifier cette partie du cahier charges.

Q21. En reprenant la Q11/, déterminer une seconde inégalité sur K_{BO} permettant d'assurer que la réponse indicielle du système ne présentera pas de dépassement.

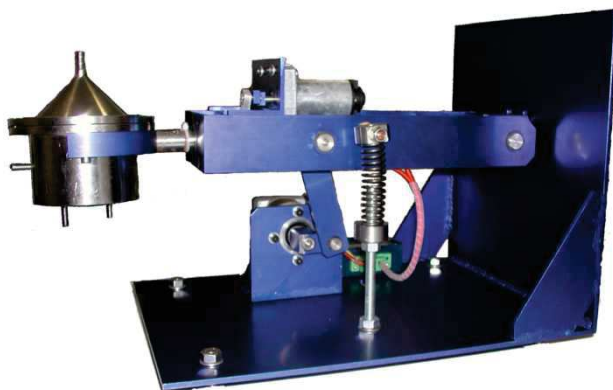
II : Etude du comportement d'un agitateur médical

PRESENTATION

Dans le cadre d'expérimentations pour soigner les malades du diabète, une équipe de chercheurs travaille sur une technique de greffe de cellules du pancréas.

Ces cellules sont obtenues à partir d'un pancréas issu d'un don d'organes. Elles sont isolées du pancréas puis purifiées. Ces dernières, responsables de la sécrétion d'insuline, sont, après un maintien en culture (24 à 48 heures) greffées à un patient diabétique.

Afin d'isoler les cellules, on place des fragments de pancréas au sein d'une petite enceinte thermostatée (photo ci contre). On a préalablement injecté un mélange d'enzymes à l'intérieur du pancréas. Une fois placés dans l'enceinte, les fragments de pancréas vont «baigner» dans cette enzyme, ce qui va enclencher un phénomène de digestion.



Tout au long de la manipulation, la solution va circuler, dans un circuit fermé constitué de l'enceinte, de tuyaux et d'une pompe. Pour faciliter l'action de l'enzyme, l'opération se fait sous agitation permanente.

La digestion est aussi facilitée par le mouvement de billes en acier au sein de l'enceinte. L'agitation dure 1h30 à 2h30 et doit permettre la libération et la récolte des cellules du pancréas.

Nous allons dans la suite étudier le système d'agitation et de chauffage de l'enceinte thermostatée (= maintenue à température constante)

Description de l'agitateur et du système de chauffage :

- Le système doit permettre l'agitation de l'enceinte par des mouvements continus alternatifs de bas en haut (100 mm) et par des mouvements de rotation alternée (+/- 45°) (ces derniers mouvements n'étant réalisés qu'un nombre réduit de fois durant la manipulation).
- L'agitateur est suffisamment compact pour pouvoir s'intégrer dans une hotte permettant sa stérilisation. Sa manipulation par le chercheur doit être facile.
- Le dispositif est constitué de matériaux et de composants respectant l'atmosphère de la salle blanche.
- L'enceinte est maintenue à une température constante de 37°C pendant la digestion. La température de 37°C est produite par un collier chauffant disposé autour de l'enceinte. Ce collier chauffe la solution qui circule dans le circuit fermé.
- L'enceinte thermostatée s'adapte sur le système d'agitation. L'enceinte est d'un encombrement minimum pour pouvoir s'adapter au sein de la hotte à flux laminaire, sachant que d'autres équipements tels que les rampes de robinets, la tuyauterie, la pompe péristaltique, le système de chauffage doivent également être présents à l'intérieur de la hotte. Cette hotte permet de réaliser la stérilisation de tous les appareillages.

ÉTUDE DE LA RÉGULATION EN TEMPÉRATURE DE L'ENCEINTE

La température de la solution est modifiée en suivant un protocole établi afin d'optimiser l'extraction.

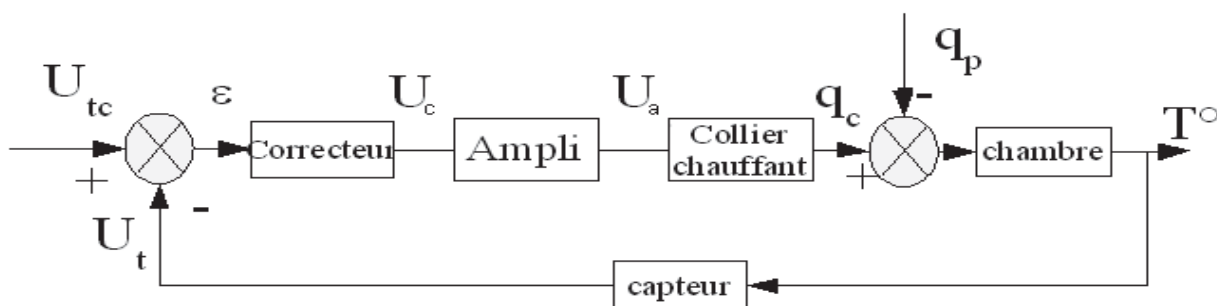
- Élévation de la température de 15 °C à 37 °C.
- Maintien de la Chambre à 37 °C pendant 20-30 min.
- Début des manipulations à 37 °C pendant 10 min environ.
- Abaissement de la température à 20 °C.
- Fin des manipulations à 20 °C pendant 1h30.

Les contraintes de fonctionnement sont présentées par les éléments du **cahier des charges** ci-dessous :

Fonction	Critères	Niveaux
Réguler la température de l'enceinte	PRECISION • Erreur statique admise	+/- 0.5°C
	RAPIDITE • Montée en température rapide	3 min maximum
	DEPASSEMENT • Température maximale admissible (sinon cuisson des îlots)	37.5°C

La maîtrise de la température joue un rôle crucial. L'objectif de notre étude est de réduire les temps de réaction et d'augmenter la précision en température du système de chauffage. Nous utilisons, pour chauffer la solution circulant dans la chambre, un collier chauffant situé sur le pourtour de la chambre, alimenté en tension par une unité comprenant un correcteur et un amplificateur.

Cette unité élabore une tension, dépendant de la tension de consigne fournie par un appareillage auxiliaire U_{tc} (non étudié dans cette étude) et de la tension U_t provenant d'un capteur de température situé dans la chambre



U_{tc} : tension de consigne,

U_t : tension à l'image de la température (capteur de température mesurant la température dans la chambre),

U_a : tension d'alimentation du collier chauffant,

q_c : énergie calorifique fournie par le collier chauffant,

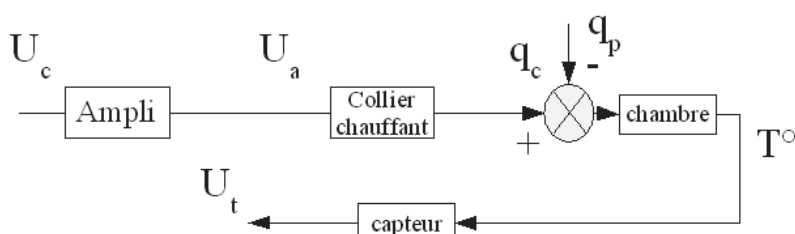
q_p : énergie calorifique perdue ou reçue par la chambre (en dehors du collier chauffant), perte par convection, par circulation de l'enzyme (pour tout l'exercice sauf la question 1, on considérera la perturbation inexistante)

1. Expliquer la signification du sommateur situé, sur le schéma bloc, en amont du bloc transfert de la chambre

Identification du système

On ouvre la boucle de régulation en ne gardant que l'ampli, le collier chauffant, la chambre et le capteur de température

Le système est stabilisé à 17°C avec une tension $U_c=0V$. Le capteur de température est calibré pour fournir une tension de 0V à cette température.



On applique brusquement une tension de 10V à l'entrée de l'amplificateur. On relève à l'aide du capteur de température l'augmentation de température (valeur de tension en sortie du capteur de température U_t).

2. A l'aide du tracé expérimental du document réponse DR1 « Réponse indicielle et Zoom » qui correspond à l'augmentation de tension U_t en sortie du capteur de température, identifier la fonction de transfert du système en Boucle ouverte défini par le rapport :

$$FTBO(p) = \frac{U_t(p)}{U_c(p)}$$

NB : on pourra utiliser la forme générale suivante pour l'identification : $\frac{U_t(p)}{U_c(p)} = \frac{G}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$

Expliquer votre démarche et réaliser les tracés nécessaires sur le document réponse « Réponse indicielle et Zoom ».

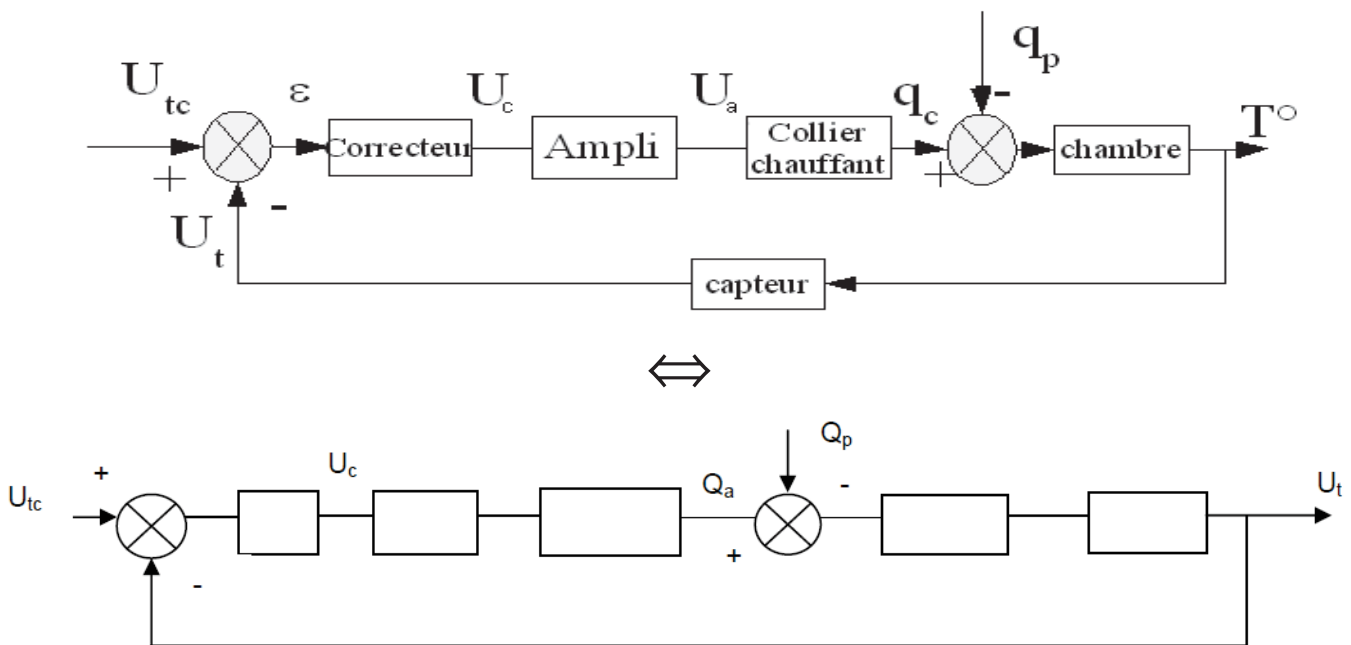
Remarque si $\tau_1 \ll \tau_2$ on peut approximer τ_1 comme l'intersection de la tangente au point d'inflexion de la courbe avec l'axe des abscisses. $\tau_1 + \tau_2$ est obtenu par l'intersection de cette tangente avec l'asymptote à l'infini.

Analyse des performances

On réalise maintenant le bouclage du système avec un correcteur de fonction de transfert $C(p)=1$.

On considère maintenant le système régulé avec pour entrée U_{tc} tension de consigne et pour sortie U_t , tension image de la température. La boucle de retour est alors unitaire. Le capteur de température se trouve dans la chaîne directe.

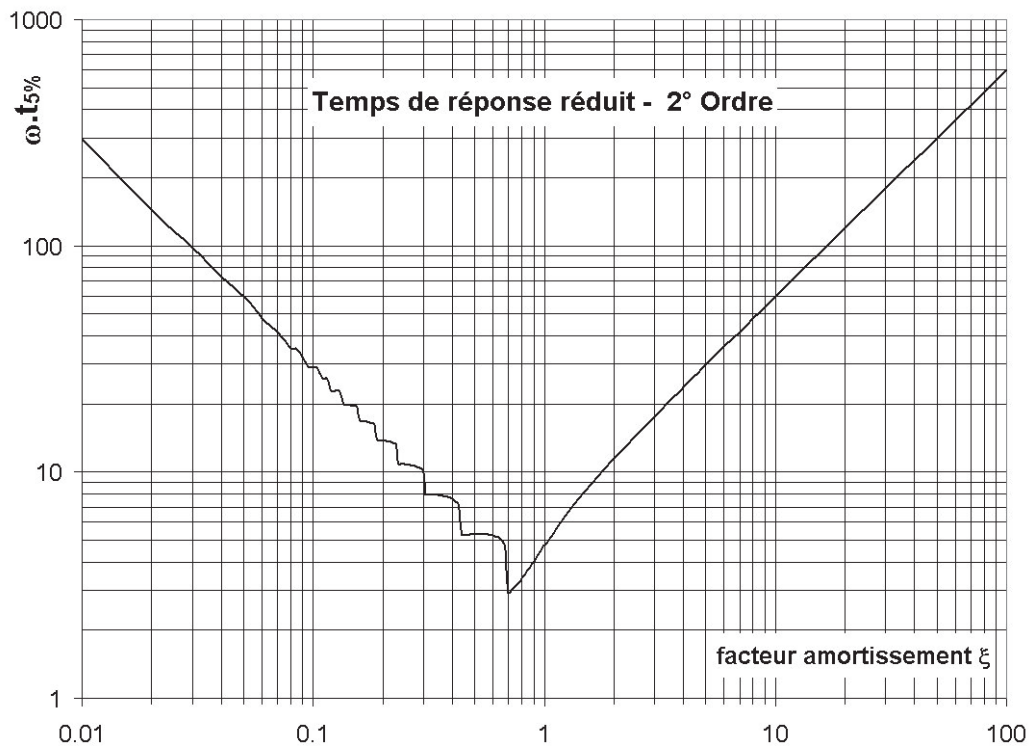
3. Compléter le schéma bloc de la régulation afin d'avoir un retour unitaire, une entrée U_{tc} et la sortie U_t .



A partir d'une identification précise et en considérant la perturbation nulle, on trouve la FTBO (sans correcteur soit $C(p)=1$) de ce système égale à :

$$H_{bo}(p) = \frac{U_i(p)}{U_{ic}(p)} = \frac{0,5}{(1+5p).(1+100p)}$$

4. Calculer le temps de réponse à 5% du système régulé, en vous aidant de la figure des temps de réponse réduit pour second ordre ci dessous. Faire l'application numérique et conclure vis-à-vis du cahier des charges.



5. Avant de poursuivre l'étude de l'agitateur médical, raisonnons sur un cas général :

Supposons que $E(p)$ est une consigne de position.

Déterminer $\varepsilon(p)$ en fonction de $H_{BO}(p)$

On suppose ensuite que la forme générale de $H_{BO}(p) = K \cdot \frac{1 + \dots + b_{m'} \cdot p^{m'}}{p^\alpha (1 + \dots + a_{n'} \cdot p^{n'})}$

où K est le **gain statique**, $n = \alpha + n'$ est l'**ordre** du système (Remarque : pour certains automaticiens, l'ordre du système est n') et α est appelé **classe** de la fonction de transfert. La classe du système est le nombre d'intégrations de la FTBO.

Déterminer ce qu'il y a à la place des « ? » par calcul et compléter le tableau :

Nombre d'intégrations de $H_{BO}(p)$	Écart de position Entrée échelon de position : $E(p) = \frac{A}{p}$	Écart de traînage Entrée rampe (échelon de vitesse) : $E(p) = \frac{A}{p^2}$	Écart en accélération Entrée échelon d'accélération : $E(p) = \frac{A}{p^3}$
$\alpha = 0$	?		
$\alpha = 1$	0	?	
$\alpha = 2$	0	0	?
$\alpha = 3$	0	0	0

6. On poursuit l'étude de l'agitateur. En déduire les écarts $\varepsilon(\infty)$ pour une entrée en échelon unitaire (que l'on appellera écart de position par abus de langage) et pour une entrée en rampe (que l'on appellera écart de traînage...). Faire l'application numérique et conclure vis-à-vis du cahier des charges.
7. Tracer les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en Boucle ouverte du système ; utiliser le document réponse (Tracé de Bode), sur lequel vous réaliserez le tracé du gain et du déphasage.

Préciser :

- les asymptotes,
- l'expression du module en décibels et du déphasage en fonction de la pulsation ω ,
- les valeurs du gain en décibels et du déphasage pour $\omega=0,01$ rad/s $\omega=0,1$ rad/s et $\omega=1$ rad/s ,
- l'allure réelle des courbes de gain et de phase.

Plus tard dans l'année, on verra que l'on caractérisera la marge de stabilité en étudiant les diagrammes de Bode.

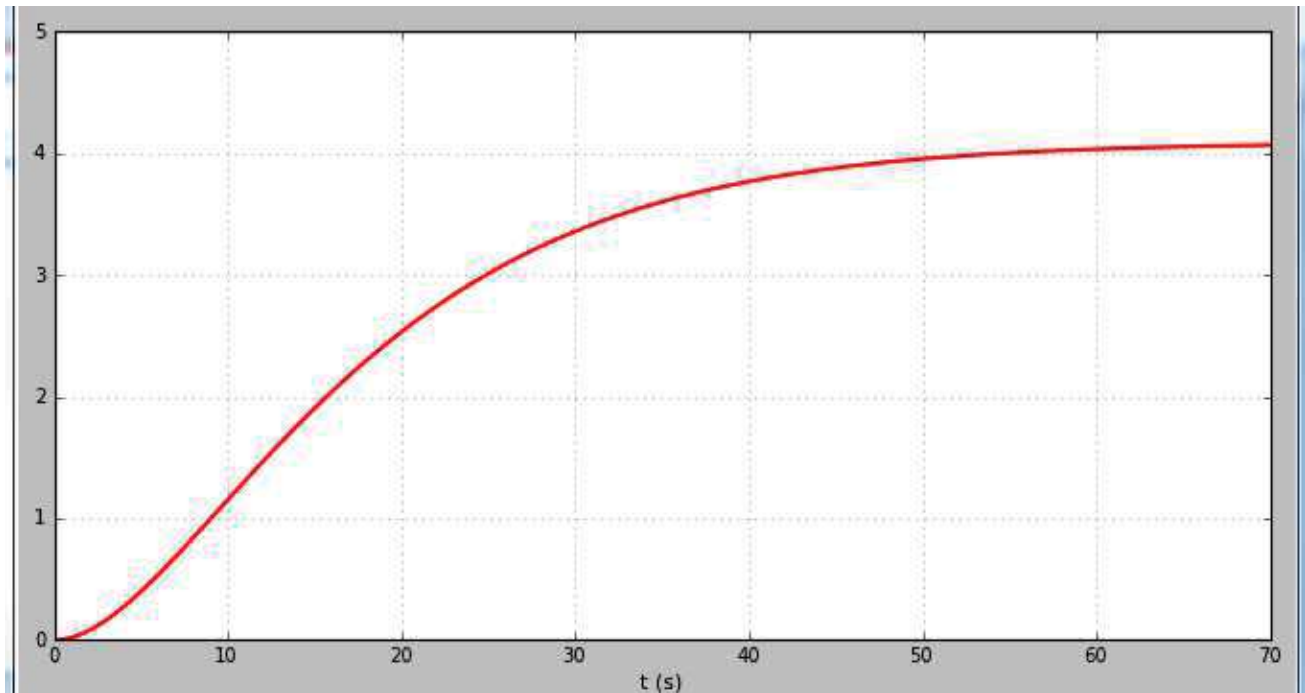
Amélioration des performances : correcteur dit « proportionnel »

On désire améliorer les performances de la commande afin de réduire les temps de réaction du système en utilisant un correcteur $C(p)=K$ (voir figure p.2). On travaille maintenant avec :

$$H_{bo}(p) = \frac{U_t(p)}{U_{tc}(p)} = \frac{0,5K}{(1+5p).(1+100.p)}$$

8. Pour $C(p)=K$, déterminer K pour avoir une réponse apériodique critique.
9. Comment peut-on déduire les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en Boucle ouverte du système des diagrammes de la question 7.
10. On suppose que le système reste stable avec K déterminé en 8. Donner les éléments de performances: temps de réponse à 5%, écart de position et écart de traînage. Faire l'application numérique et conclure vis-à-vis du cahier des charges.

11. Déterminer alors la tension en entrée de l'amplificateur, si on envoie un échelon de tension de consigne U_{ic} de 5V (le système étant en position nominale, T° de 17°C). Vous déterminerez uniquement la tension au début de l'échelon ($t \rightarrow 0+$). Faire l'application numérique. Le gain de l'ampli étant de 10, que pensez-vous alors de la tension d'alimentation du collier chauffant ?
12. En réalité, il existe un phénomène de saturation de l'amplificateur comme sur les systèmes de la salle de TP (Maxpid, Verin Stewart...). Tracer l'allure de la caractéristique réelle de la réponse en boucle fermée à l'échelon de tension de consigne U_{ic} de 5V sur le même graphe que celui de la courbe suivante $U_t(t)$ résultant de la simulation et ne tenant pas compte de la saturation de l'amplificateur. Justifier la valeur $U_t(\infty)$ de l'ordre de 4V. Quel est le risque vis-à-vis du cahier des charges ?



Amélioration des performances : correcteur dit « Proportionnel et Intégrale »

Le réglage de ce correcteur se fait **par compensation du pôle le plus lent**. Méthode qui consiste à choisir la constante de temps T_i du correcteur égale à la **constante de temps la plus grande** du système à corriger soit ici 100 s. On réglera le gain K du correcteur afin que la **réponse indicielle ne présente pas de dépassement** (on choisit $\xi = 1$). Le choix de T_i devant satisfaire le C.d.C. (Montée en température rapide : 3 mn maximum).

13. Pour un correcteur à action Proportionnelle et Intégrale tel que :

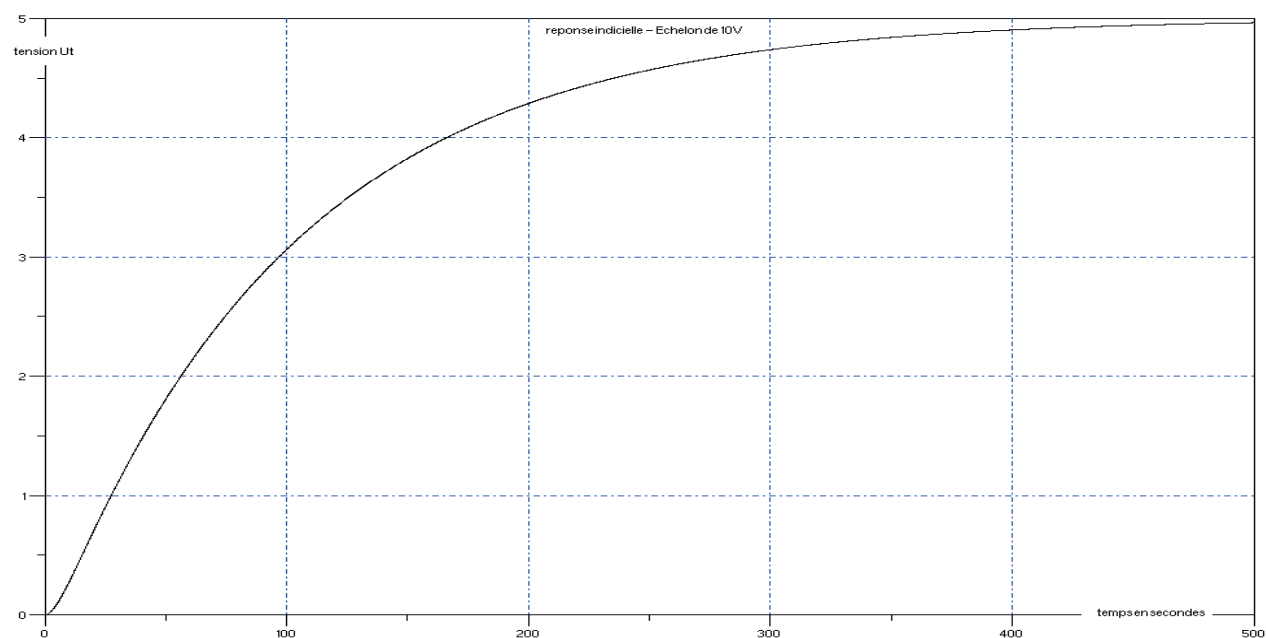
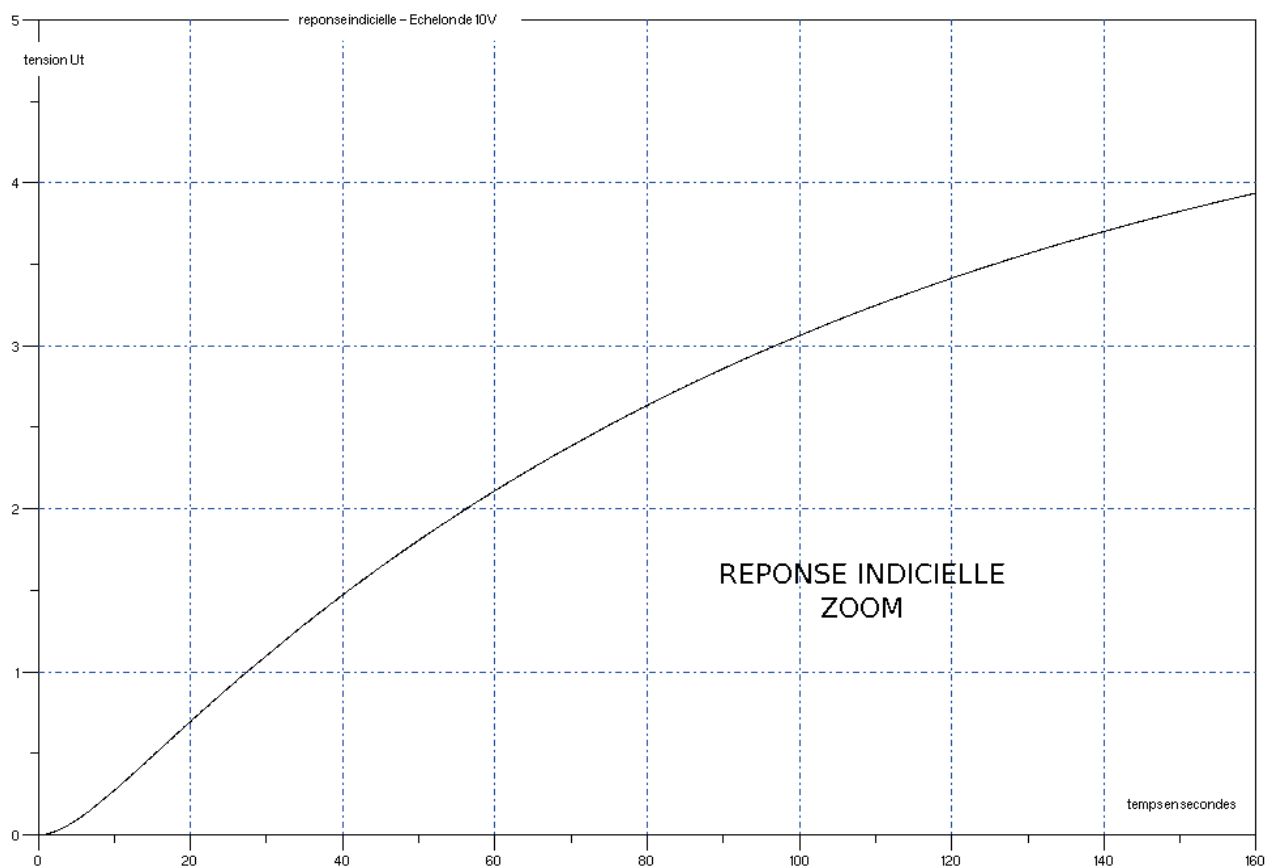
$$C(p) = \frac{K}{T_i p} (1 + T_i p)$$

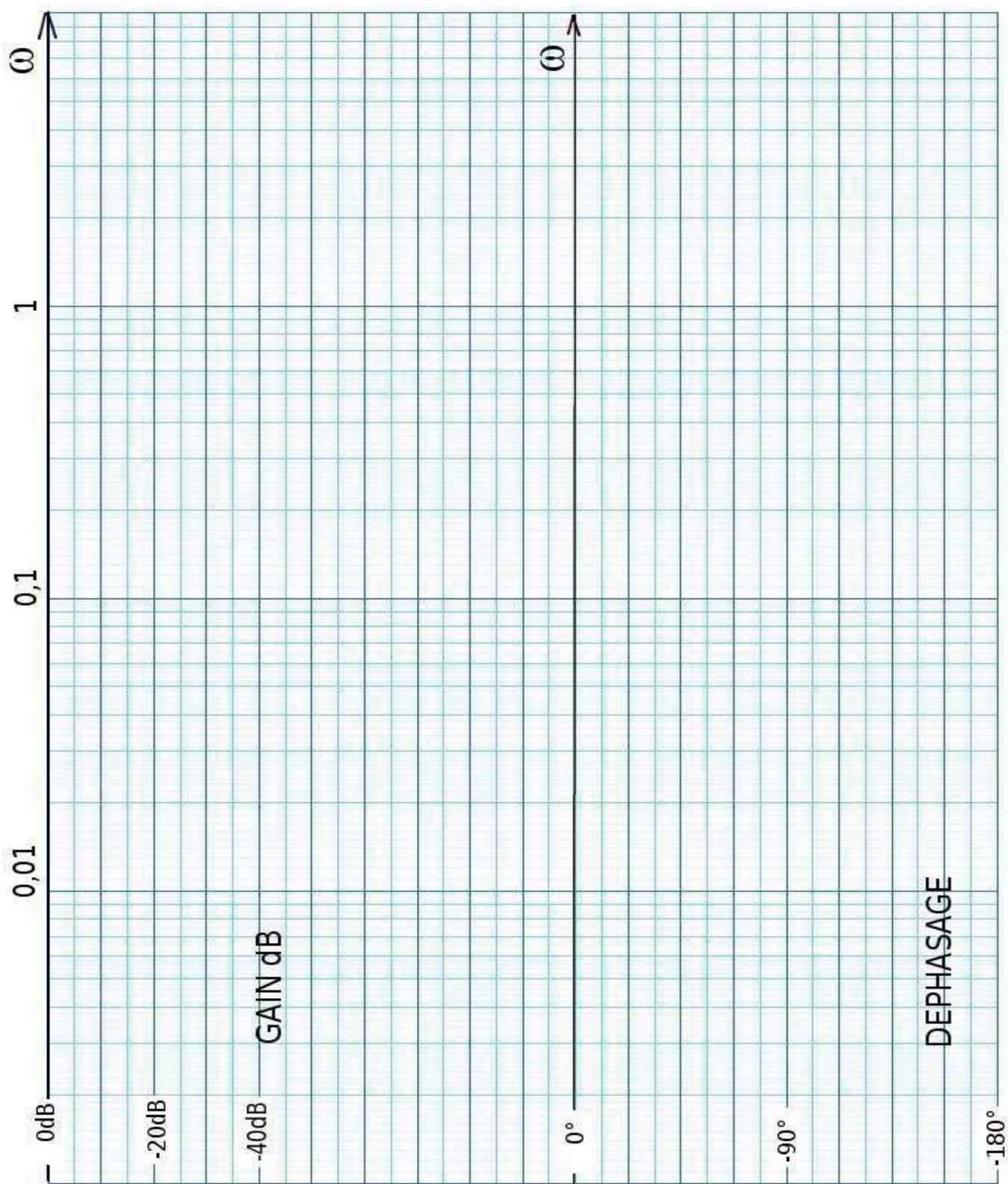
Donner $H_{bo}(p)$ et $H_{bf}(p)$, en déduire la relation entre K et T_i . Compléter le tableau :

T_i	K	ω_n	$t_{5\%}$	Commentaires
<u>100 s</u>				

14. Tracer les diagrammes de Bode de $H_{bo}(p)$ sur DR3.

15. Donner le nouvel écart de position.

DR1 Réponse indicielle et Zoom

DR2 Tracé de Bode

DR3 Tracé de Bode