

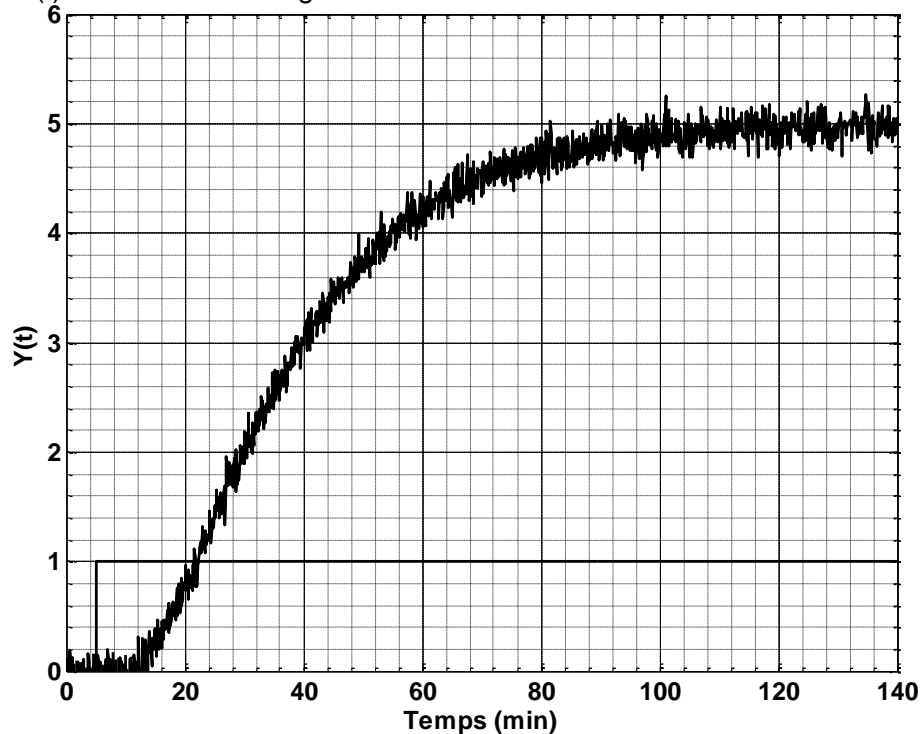
ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2016

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

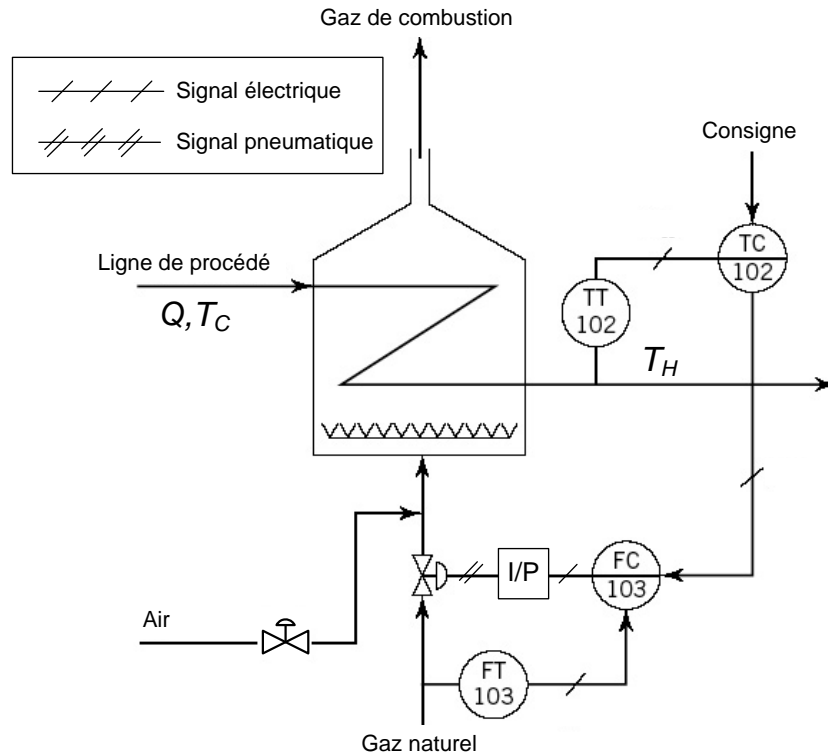
14-CH-A6 DYNAMIQUE ET COMMANDE DES PROCESSUS

1. **[25 points]** Vous avez réalisé un test d'échelon sur un procédé industriel dans le but d'effectuer le réglage d'un régulateur. La réponse temporelle du procédé en boucle ouverte $Y(t)$ est montrée à la figure ci-dessous.



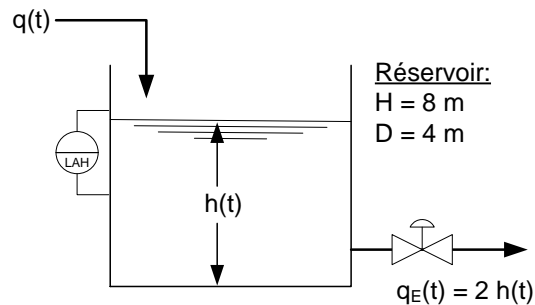
- a) **[10 points]** Identifiez une fonction de transfert de 1^{er} ordre avec délai pour représenter la dynamique de ce procédé.
- b) **[10 points]** Trouvez les paramètres de réglage d'un régulateur PI : a) par minimisation du critère ITAE pour une perturbation et b) par la méthode de Ziegler-Nichols. Ces corrélations de réglage sont présentées à la dernière page de ce document ainsi que dans les manuels de référence principaux.
- c) **[5 points]** Comparez les réglages calculés en b). Lequel des deux est le plus agressif et pourquoi? Justifiez votre réponse.

2. **[15 points]** Voici le diagramme de procédé et d'instrumentation d'une fournaise utilisée pour chauffer un fluide de procédé d'une température T_C à une température T_H . La chaleur est transférée par combustion du gaz naturel. Le débit du fluide de procédé (Q) est constant.



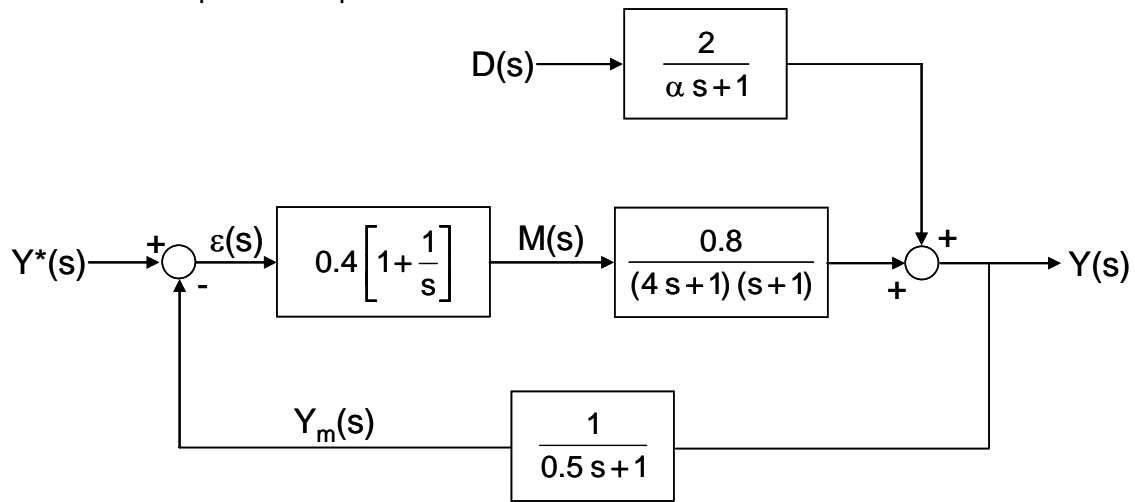
- [2 points]** Expliquez le fonctionnement de la boucle de régulation de la température T_H et indiquez le nom de cette structure de commande.
- [10 points]** Dessinez le schéma bloc de la boucle de régulation du débit de gaz naturel uniquement. Indiquez à quels éléments physiques correspondent chaque bloc et identifiez leurs variables d'entrée et de sortie. Indiquez une perturbation corrigée par cette boucle de régulation.
- [2 points]** En cas de panne du compresseur d'air d'instrumentation, quelle est la position d'ouverture la plus sécuritaire pour la vanne pneumatique? Expliquez.
- [1 points]** La boucle de régulation de la combustion est incomplète. Que doit-on ajouter, **au minimum**, pour maintenir une combustion efficace et sécuritaire?

3. **[30 points]** Un réservoir est utilisé pour le stockage d'une solution de NaOH. En opération normale, le débit d'alimentation $q(t)$ est stationnaire à $10 \text{ m}^3/\text{min}$. Une alarme de haut niveau est programmée pour s'activer lorsque que le niveau du réservoir atteint 7 m. Le réservoir fait 8 m de haut et 4 m de diamètre. La relation entre le débit de sortie $q_E(t)$ et le niveau du réservoir est indiquée sur la figure ci-dessous.



- a) **[5 points]** Développez l'équation différentielle mettant en relation le débit d'alimentation $q(t)$ et le niveau dans le réservoir $h(t)$. Listez vos hypothèses de travail.
- b) **[10 points]** Obtenez la fonction de transfert entre le niveau et le débit d'alimentation en utilisant l'équation différentielle trouvée en a) et les transformées de Laplace. Donnez les valeurs numériques du gain et de la constante de temps de cette fonction de transfert et indiquez son ordre.
- c) **[10 points]** Si, à un instant donné, le débit d'alimentation $q(t)$ augmente selon une rampe à un taux de $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, combien de temps aurez-vous pour réagir entre le moment où l'alarme s'activera et le moment où le réservoir débordera?
- d) **[5 points]** Si la relation entre le débit de sortie et le niveau était plutôt de la forme suivante : $q_E(t) = C h(t)^{0.5}$ où C est une constante. Quel impact ceci aurait-il sur le développement fait en b)?

4. **[30 points]** Voici le schéma-bloc d'un système asservi par rétroaction. Sur ce schéma, Y^* , Y , Y_m représentent respectivement la consigne, la variable contrôlée et la variable mesurée, alors que ε , M et D représentent l'erreur par rapport à la consigne, la variable manipulée et la perturbation.



- [10 points]** Calculez les deux fonctions de transfert du système asservi, par rapport à la consigne $Y(s)/Y^*(s)$ et par rapport à la perturbation $Y(s)/D(s)$.
- [5 points]** Quel sera l'écart par rapport à la consigne en régime stationnaire? Expliquez votre réponse.
- [10 points]** Le système asservi est-il stable? Utilisez la méthode de votre choix pour répondre à cette question.
- [5 points]** Pour quelles valeurs de α le système asservi sera-t-il stable si une perturbation sous forme d'échelon survient? Justifiez.

Tableau 1. Méthode de réglage par minimisation du critère ITAE¹ pour une fonction de transfert de 1^{er} ordre avec délai (Seborg, D.E, T.F. Edgar and D.A. Mellichamp, Process Dynamiques and Control, 2nd ed, John Wiley, New-York, 2004, p. 313).

Type d'entrée	Type de régulateur	Mode	A	B
Perturbation	PI	P	0.859	-0.977
		I	0.674	-0.680
Perturbation	PID	P	1.357	-0.947
		I	0.842	-0.738
		D	0.381	0.995

¹ITAE = “*Integral of the time-weighted absolute error*”

Relations de réglage : $Y = A \left(\frac{\theta}{\tau} \right)^B$ où

$Y = K \cdot K_c$ pour le mode proportionnel

$Y = \tau / \tau_i$ pour le mode intégral

$Y = \tau_D / \tau$ pour le mode dérivé

Tableau 2. Méthode de réglage de Ziegler-Nichols (Seborg, D.E, T.F. Edgar and D.A. Mellichamp, Process Dynamiques and Control, 2nd ed, John Wiley, New-York, 2004, p. 318).

Régulateur	K_c	τ_i	τ_D
P	$0.5 K_{cu}$	—	—
PI	$0.45 K_{cu}$	$P_u / 1.2$	—
PID	$0.6 K_{cu}$	$P_u / 2$	$P_u / 8$