

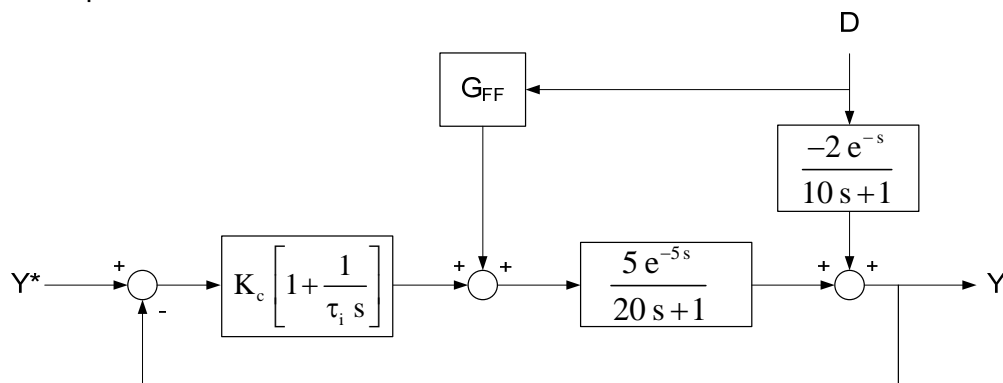
ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2014

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

14-CH-A6 DYNAMIQUE ET COMMANDE DES PROCESSUS

1. **[20 points]** Voici un système asservi avec un régulateur PI. Les constantes de temps et délais sont exprimées en minutes.

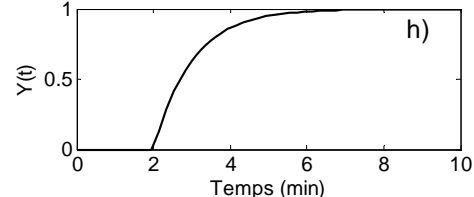
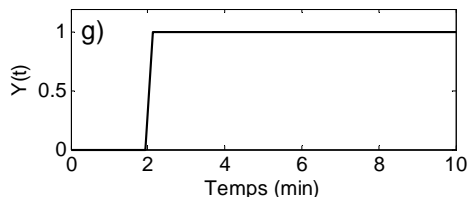
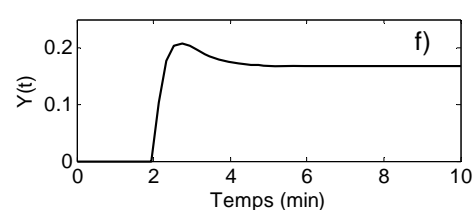
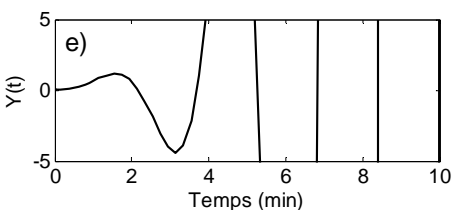
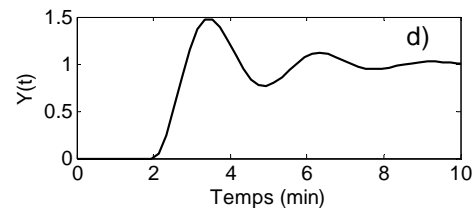
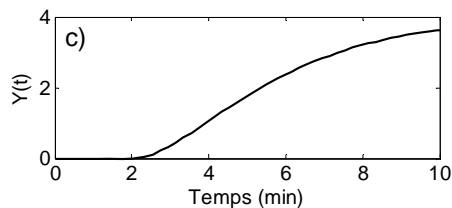
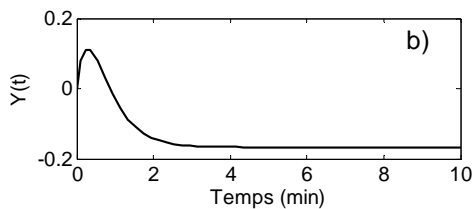
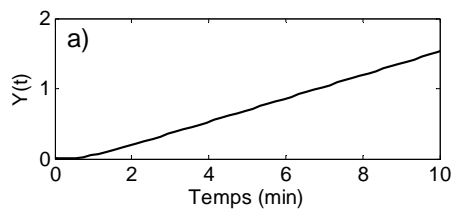


- a) **[10 points]** Vérifiez la stabilité de la boucle de rétroaction en calculant les racines de l'équation caractéristique pour le réglage suivant ($K_c=0.25$ $\tau_i=11$ min). Utilisez l'approximation de Padé 1/1 au besoin (ci-dessous). **Note** : $G_{FF}(s)=0$ pour cette question.

$$\text{Padé 1/1: } e^{-\theta s} = \frac{1 - \frac{\theta}{2}s}{1 + \frac{\theta}{2}s}$$

- b) **[3 points]** La réponse du système asservi sera-t-elle oscillatoire suite à un échelon de consigne? Si c'est le cas, quelle sera la fréquence des oscillations? Sans justification, aucun point de sera accordé à cette question.
- c) **[5 points]** Calculez la fonction de transfert du régulateur par anticipation $G_{FF}(s)$. Est-ce que ce régulateur est physiquement réalisable?
- d) **[2 points]** Est-ce que le régulateur anticipatif G_{FF} affecte la stabilité de la boucle de rétroaction? Justifiez votre réponse.

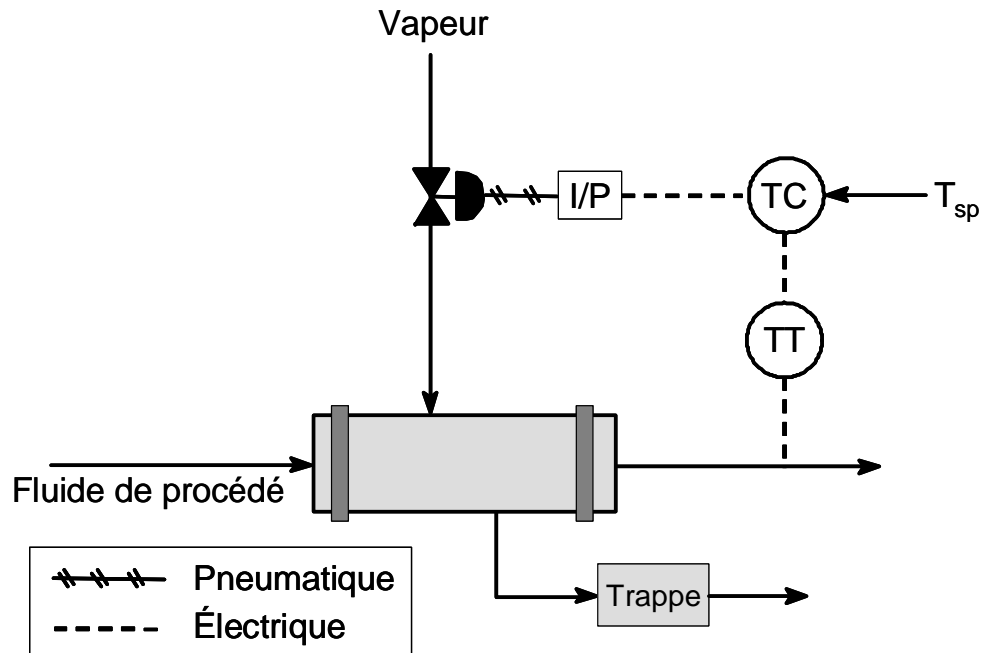
2. [20 points] Voici une série de réponses temporelles à l'échelon unitaire fait à $t=0$. Associez chaque graphique à une des fonctions de transfert listées ci-dessous. Inscrivez votre réponse dans le tableau prévu à cet effet. **Important: uniquement la réponse sera évaluée (2.5 pts/bonne réponse).**



Fonctions de transfert	
1) $\frac{e^{-2s}}{(s+1)}$	7) $2e^{-1s}$
2) $\frac{1}{s(s+2)(s+3)}$	8) $\frac{1}{s^2 - 2s + 5}$
3) $\frac{10(s+1)e^{-2s}}{(s+2)(s+3)}$	9) $\frac{5e^{-3s}}{(3s+1)}$
4) $\frac{s-1}{(s+2)(s+3)}$	10) $\frac{e^{-2s}}{0.2s^2 + 0.2s + 1}$
5) $\frac{e^{-2s}}{(s+0.5)^2}$	11) $\frac{(s+1)e^{-2s}}{(s+2)(s+3)}$
6) e^{-2s}	12) 1

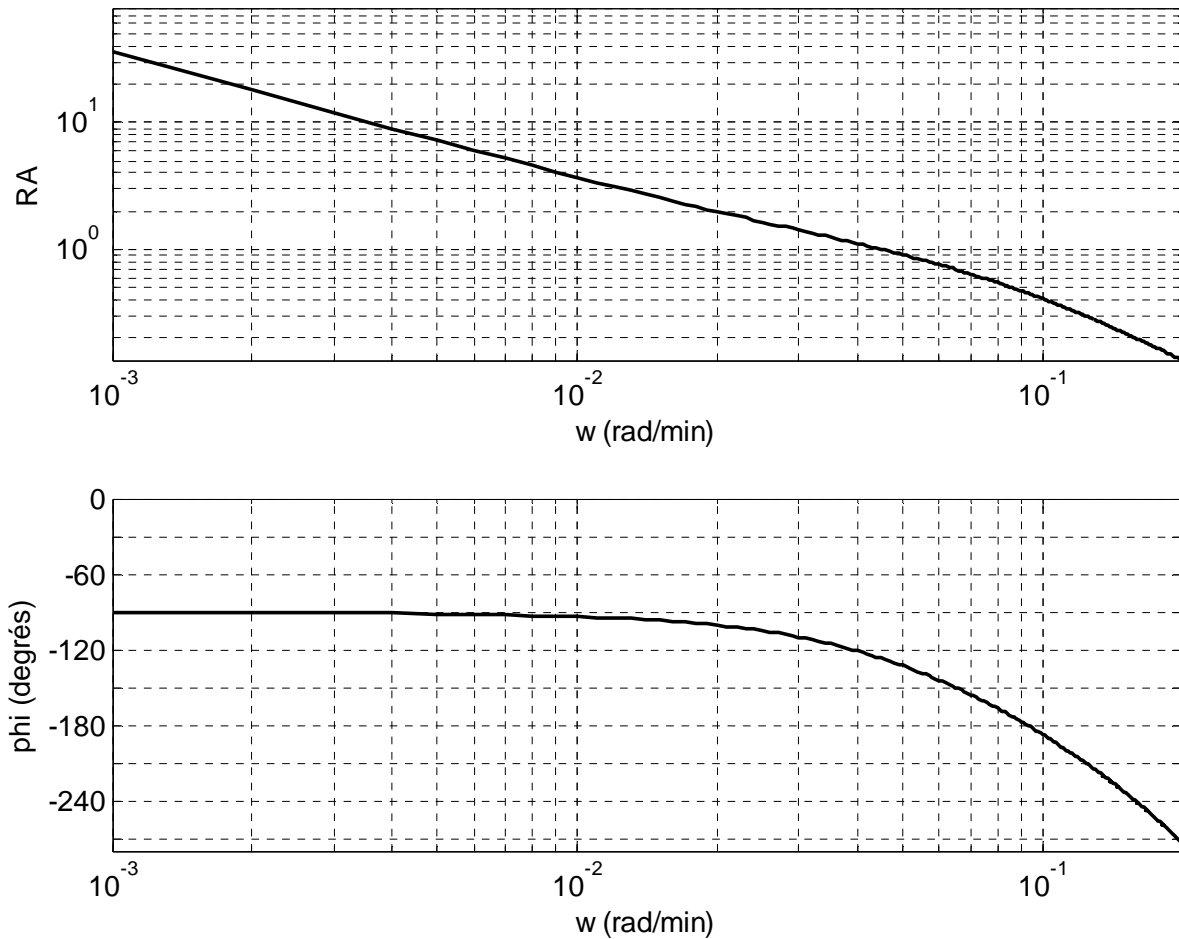
Réponses
a)
b)
c)
d)
e)
f)
g)
h)

3. **[20 points]** Considérez l'échangeur de chaleur ci-dessous. Il est utilisé pour chauffer un fluide de procédé (côté tube) avec de la vapeur (côté calandre). L'objectif consiste à maintenir la température du fluide à la sortie de l'échangeur près d'une valeur consigne.



- [5 points]** Expliquez le fonctionnement de la stratégie de commande présentée sur le schéma ci-dessus. Quel type de commande est-ce? Listez les perturbations affectant le système.
- [5 points]** Tracez le schéma bloc de la stratégie de commande. Utilisez les standards d'identification ISA.
- [5 points]** Proposez une stratégie de commande par anticipation, expliquez son fonctionnement et indiquez quelle(s) perturbation(s) elle corrigera. Si vous devez ajouter un capteur supplémentaire, identifiez-le.
- [5 points]** Proposez une stratégie de commande en cascade, expliquez son fonctionnement et indiquez quelle(s) perturbation(s) elle corrigera. Si vous devez ajouter un capteur supplémentaire, identifiez-le.

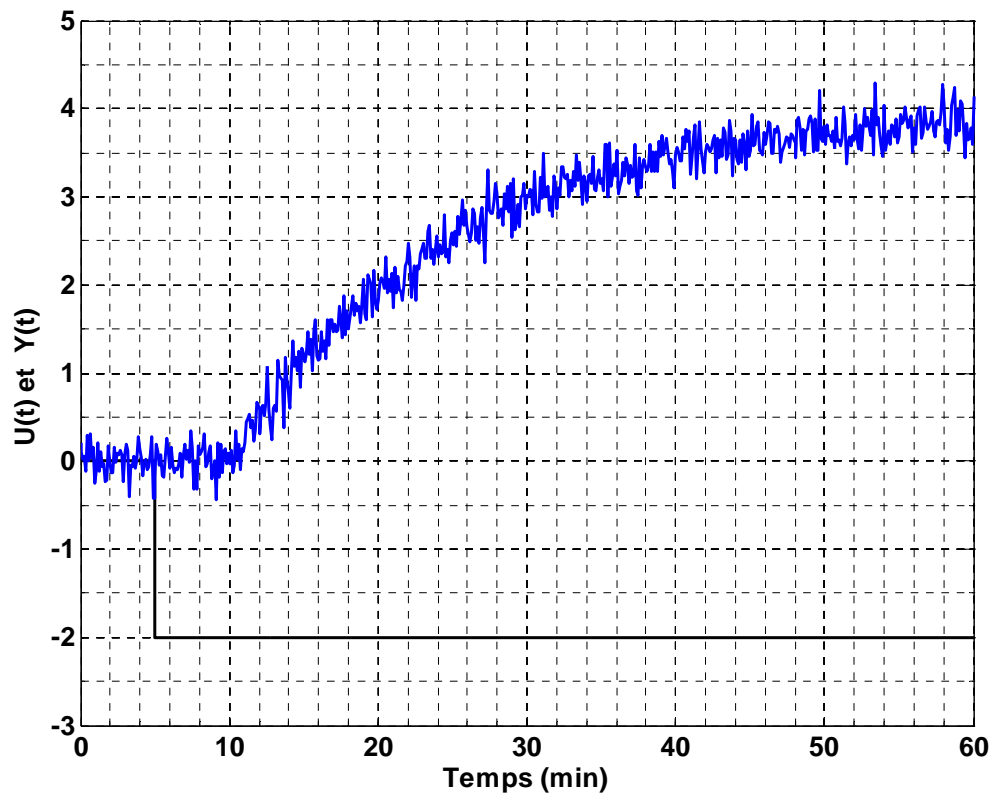
4. **[20 points]** Voici le diagramme de Bode du produit des fonctions de transfert d'un système asservi (régulateur, actionneur, procédé et capteur) pour un réglage donné.



- [4 points]** À partir du diagramme de Bode ci-dessus, vérifiez que le système asservi est stable et expliquez pourquoi.
- [4 points]** Calculez la marge de gain et la marge de phase de ce système.
- [2 points]** Si le gain du procédé augmente d'un facteur 3 en raison d'un changement de point d'opération, le système sera-t-il toujours stable? Justifiez.
- [10 points]** Obtenez les expressions mathématiques du rapport d'amplitude (RA) et du déphasage (ϕ) de la fonction de transfert ci-dessous.

$$G(s) = \frac{5 e^{-10 s}}{(10 s + 1)(20 s + 1)(s + 1)}$$

5. **[20 points]** Voici la réponse à l'échelon d'un procédé en boucle ouverte, où $Y(t)$ est la variable de sortie du procédé et $U(t)$ est la variable d'entrée (position de l'actionneur). Les données sont déjà en variables de déviation.



- a) **[10 points]** Calculez les paramètres de réglage d'un régulateur PI (K_c et τ_i) pour ce procédé à l'aide de la corrélation de réglage de Hägglund et Åström (tableau ci-dessous).

$G(s)$	K_c	τ_i
$\frac{K e^{-\theta s}}{s}$	$\frac{0.35}{K \theta}$	7θ
$\frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1}$	$\frac{0.14}{K} + \frac{0.28 \tau}{\theta K}$	$0.33 \theta + \frac{6.8 \theta \tau}{10 \theta + \tau}$

- b) **[10 points]** Comparez le réglage obtenu en a) à celui donné par la méthode de Ziegler-Nichols. Lequel des deux réglages est le plus agressif et pourquoi? Si vous n'arrivez pas à calculer le réglage Z-N, prenez $K_c = -1$ et $\tau_i = 15$ min. Vous perdrez les points associés aux calculs cependant (-5 points).