

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Ecole Supérieure de Technologie de Fès
Département **Génie des Procédés** 2^{ème} année.
Filières : **Génie Thermique et Energétique (GTE) ; Génie**
Biologique et Agro-alimentaire (GBA) ; Industries Chimiques (IC)

Examen de régulation industrielle (2010-2011) : Durée : 2 h

Les documents personnels sont autorisés (cours+TD)
Les téléphones et PC portables ne sont pas autorisés !
Durée optimale de l'examen pour l'étudiant : 87 min
D^r M.Rabi : <http://www.est-usmba.ac.ma/Rabi>

I- Questions sur la compréhension du cours (2 min)

Pour les 5 questions suivantes, indiquer la (les) réponse(s) juste(s).

- 1- Les racines de l'équation $1 + FTBO(s)$ d'un procédé sont : $-1, -\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2}j$. Ce procédé en boucle fermée sera-t-il :
- a- stable ?
 - b- instable ?
 - c- oscillant ?
- 2- Un capteur-transmetteur de niveau est symbolisé par :
- a- FT
 - b- LT
 - c- TT
- 3- Une vanne automatique pneumatique NF s'ouvre si :
- a- on augmente la pression dans son servomoteur
 - b- on diminue la pression dans son servomoteur
- 4- Le sens de la régulation est directe si :
- a- La commande et la grandeur réglée varient dans le même sens
 - b- La commande et la grandeur réglée varient en sens inverses.
- 5- Un procédé stable en boucle ouverte, on réalise sa régulation en boucle fermée avec un réglage proportionnel seulement (P) .Sin on augmente le gain du régulateur on obtient une régulation :
- a- plus précise
 - b- plus rapide
 - c- plus stable

II- Problème (1 à 9 : 40 min ; 10 à 11 : 45 min)

Un dégazeur thermique est utilisé lors du pré-traitement de l'eau d'alimentation d'une chaudière industrielle. Il a pour but d'éliminer, par ruissellement, le gaz carbonique et l'oxygène se trouvant dans l'eau. Ces gaz sont d'autant moins solubles que la pression est faible et la température est élevée. Pour cela, l'eau contenue dans le dégazeur est maintenue à une légère pression et à la température de saturation correspondante (104°C). Le schéma simplifié du dégazeur, représenté figure 1, comporte deux régulations : une boucle de régulation de température et une boucle de régulation du niveau.

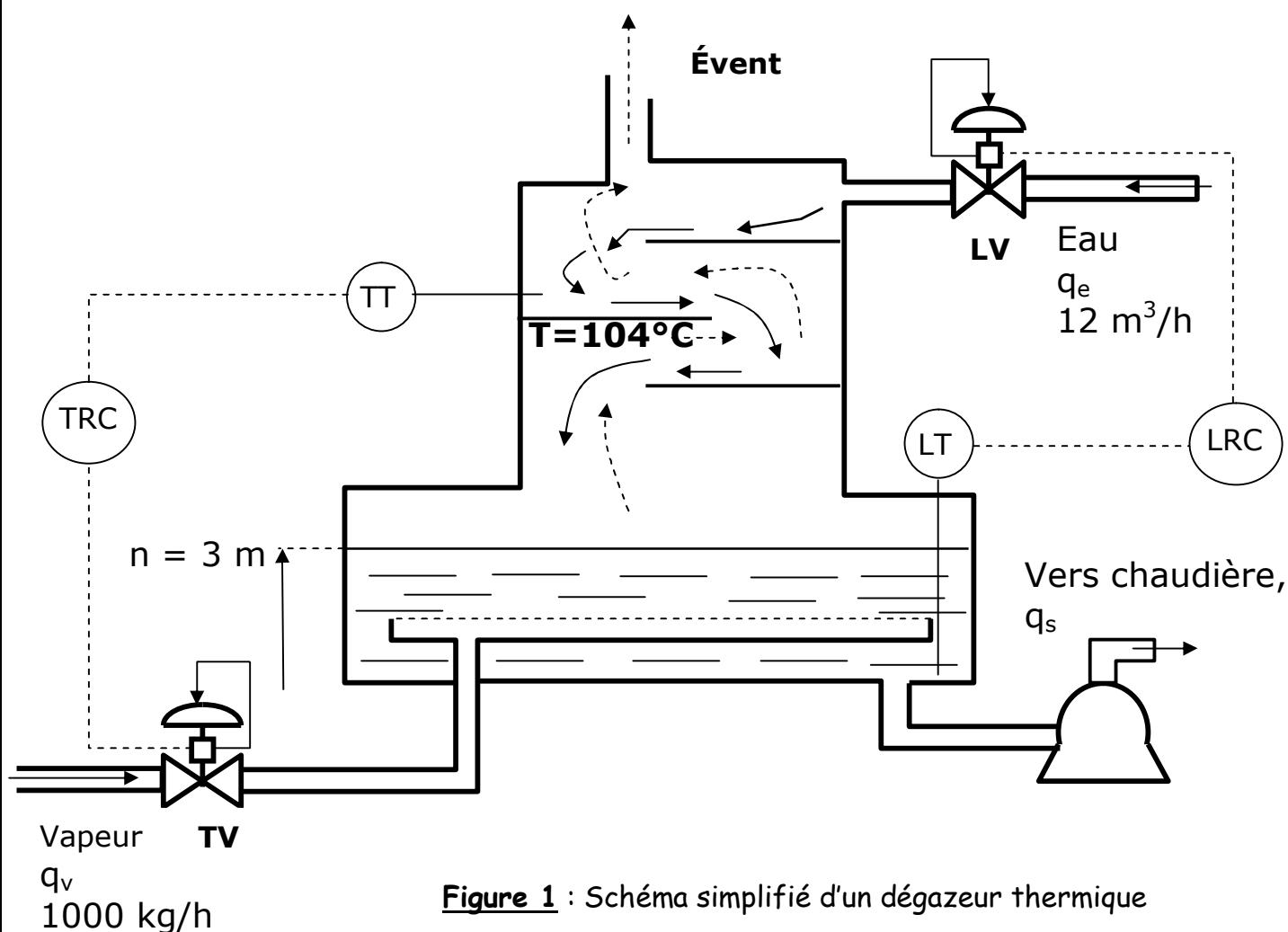


Figure 1 : Schéma simplifié d'un dégazeur thermique

Point de fonctionnement en régime nominal :

- ✚ Le niveau d'eau saturée dans le dégazeur est de 3m et la température à régler est de 104 °C.
- ✚ Le débit d'eau à traiter à l'entrée du dégazeur est de 12 m³/h.
- ✚ Le débit de vapeur de ruissellement (vapeur de chauffe) est de 1000 kg/h.

Caractéristiques d'instrumentation :

LT	actif	0 à 6 m	4-20 mA
TT	passif	-10 à 150 °C	4-20 mA

LV	Pneumatique	NO	Positionneur	0.2 à 1.0 bar	0 à 15 m ³ /h	Linéaire
TV	Pneumatique	NF	Positionneur	0.2 à 1.0 bar	0 à 1200 kg/h	Linéaire

LRC et TRC sont deux régulateurs PID séries, en entrée mesure et sortie commande 4-20 mA. Ils sont capables d'alimenter une boucle de mesure.

- 1- Préciser pour les 2 boucles de régulation la grandeur réglée, la grandeur réglante, les grandeurs perturbantes et la consigne.
- 2- Effectuer le schéma de câblage de la boucle de la boucle de température. On souhaite enregistrer la mesure et la commande, le TR est un enregistreur 2 voies en entrée 2-10 V. Vous disposez de tous les appareils périphériques dont vous avez besoin (alimentations, convertisseurs...).
- 3- La mesure de niveau effectuée par le LT est de 4 m, quelle est l'intensité qui circule dans le circuit de mesure ?
- 4- Quelle est la valeur en % de la consigne à programmer sur le régulateur LRC et sur le régulateur TRC?
- 5- La commande issue du régulateur LRC est de 35 %, quelle est la valeur de l'intensité dans le circuit de commande ? Quelle est la valeur de pression de commande ? Quelle est la valeur de pression dans le servomoteur de la vanne ? Quelle est l'ouverture de la vanne ? Quel est le débit qui traverse alors la vanne LV ?
- 6- Le débit qui traverse alors la vanne TV est de 800 kg/h. Quelle est l'ouverture de la vanne ? Quelle est la commande issue du régulateur TRC ? Quelle est la valeur de l'intensité dans le circuit de commande ? Quelle est la valeur de pression de commande ? Quelle est la valeur de pression dans le servomoteur de la vanne ?
- 7- Le capteur de température TT envoie une intensité de 14 mA, quelle est la valeur de la température mesurée ?
- 8- Déterminer pour la régulation LRC seulement : le sens d'action et la valeur centrale.

9- Le régulateur LRC est réglé en P seul avec un gain de 2, la consigne, le sens d'action et la valeur centrale ont été correctement réglés. Le régulateur est en mode automatique, le niveau est stabilisé par la régulation LRC. Le débit d'eau q_e s'est stabilisé à $8 \text{ m}^3/\text{h}$. Quelle est la valeur de stabilisation du niveau ? Pourquoi cette régulation n'est pas précise ? quelle est alors l'erreur de précision ?

10- Etude de la régulation TRC

Le schéma fonctionnel de la boucle de régulation TRC est donné par la figure 2 où $H(s)$ est la fonction de transfert réglante et $L(s)$ est la fonction de transfert liée à la principale perturbation $Q_e(s)$, $H_R(s)$ est la fonction de transfert du régulateur.

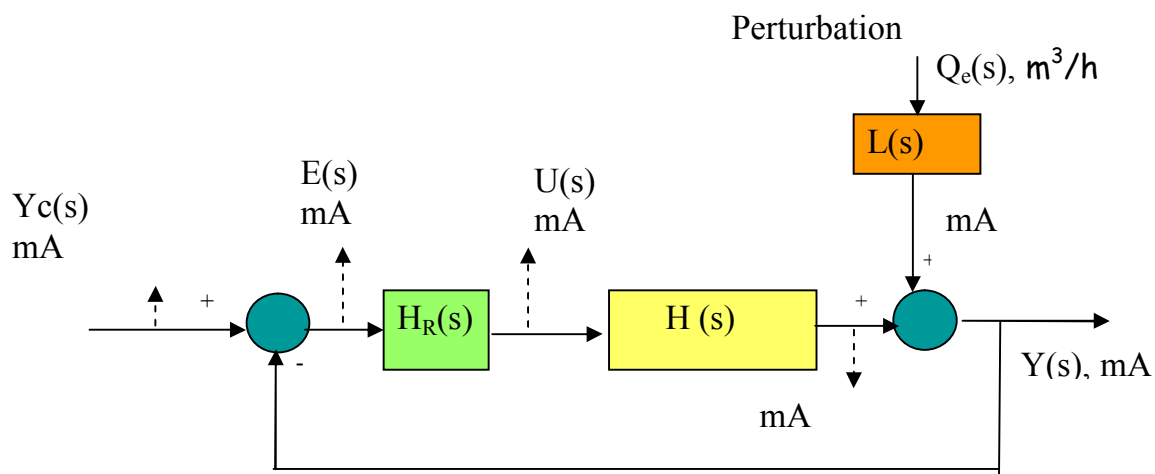


Figure 2 : Schéma fonctionnel de la boucle de régulation TRC

Une étude de l'identification du procédé a permis de déterminer la fonction de transfert réglante $H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-\tau s}}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$ avec $K=2$, $T_1=8 \text{ min}$ (constante de temps du procédé) et $T_2=0.3 \text{ min}$ (constante de temps du capteur-transmetteur). $\tau = 4 \text{ min}$.

Le régulateur TRC de type PID série a pour fonction de transfert :

$$H_R(s) = K_R \left[\frac{1 + T_i s}{T_i s} \right] (1 + T_d s)$$

On règle $K_R = 0.5$; $T_i = T_1$ et $T_d = 0$.

a- Quelles marges de phase M_ϕ et de gain M_g obtient-on avec ce réglage ? On crée un échelon de consigne $Y_c(t) = a$ (Perturbation constante), exprimer l'écart statique. Conclusion ?

b- A fin d'améliorer la rapidité du procédé en BF tout en gardant une stabilité suffisante, on décide de diminuer la marge de phase que l'on fixe à 45°. Les réglages de T_i et T_d son inchangés. Quel gain K_R du régulateur TRC faut-il régler alors ?

c- Après une identification en boucle ouverte pour un débit q_v constant, on trouve que la fonction de transfert perturbatrice principale est :

$$L(s) = \frac{Y(s)}{Q_e(s)} = \frac{K_e}{(1 + T_e s)} \text{ avec } K_e = 2.5 \text{ mA}/(\text{m}^3/\text{h}) \text{ et } T_e = 4 \text{ min.}$$

La perturbation varie d'un échelon $Q_e(t) = b \text{ m}^3/\text{h}$ (consigne constante), exprimer l'écart statique.

11- Etude de la régulation LRC

Le schéma fonctionnel de la boucle de régulation LRC est donné par la figure 3 où $H(s)$ est la fonction de transfert réglante, $H_R(s)$ est la fonction de transfert du régulateur. Les perturbations sont négligeables.

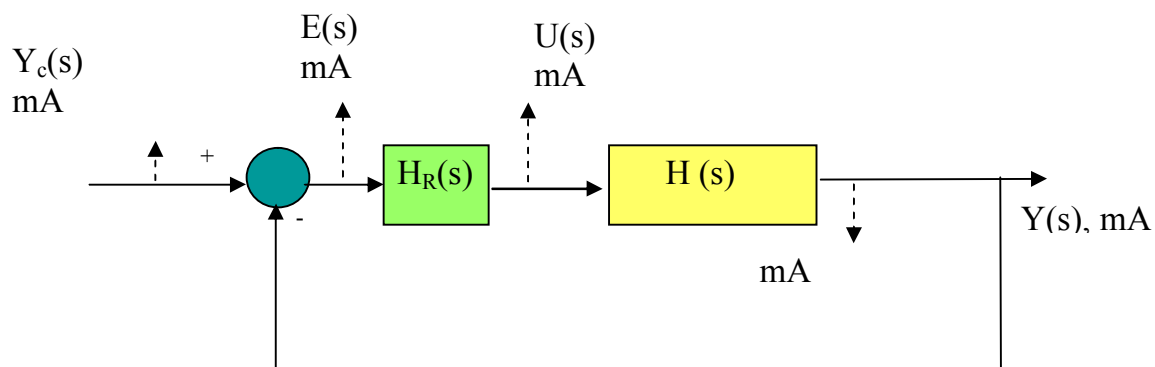


Figure 3 : Schéma fonctionnel de la boucle de régulation LRC

On donne les fonctions de transferts :

$$H(s) = \frac{k}{s} ; k = 0.3 \text{ min}^{-1}$$

Déterminer la fonction de transfert $H_R(s)$ du régulateur LRC, afin d'obtenir une fonction de transfert en chaîne fermée FTBF(s) du premier ordre de constante

$$\text{de temps } T = 2 \text{ min, soit } FTBF(s) = \frac{Y(s)}{Y_c(s)} = \frac{FTBO(s)}{1 + FTBO(s)} = \frac{1}{1 + Ts} ; T = 2 \text{ s}$$

De quel régulateur s'agit-il ?

Bonne chance