

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

Examen de régulation industrielle (2011-2012) : Durée : 2 h

Les documents personnels sont autorisés (cours+TD)

Les téléphones et PC portables ne sont pas autorisés !

La partie II.2 est facultative

D'.Ing.M.Rabi : <http://www.est-usmba.ac.ma/Rabi>

I- Questions de cours (2 min)

- 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 : Stable ? Instable ou Oscillant ?
- 2- La commande en % envoyée à une vanne automatique pneumatique NF linéaire est égale à l'ouverture en % ou à (100-l'ouverture%) ?
- 3- Le sens de la régulation est directe si la commande et la grandeur réglée varient dans le même sens ou si la commande et la grandeur réglée varient en sens inverses ?

II- Problème : Boucles de régulation de température et de débit

A l'issue d'un premier atelier, on obtient le produit A que l'on dilue par l'eau traitée (solvant) dans un réservoir tampon dont le niveau est maintenu constant comme l'indique la figure 1. Le fluide procédé est repris par une pompe centrifuge et envoyé vers un échangeur de chaleur. Le fluide procédé traverse l'échangeur dans les tubes, tandis que le fluide thermique, de la vapeur d'eau saturante à 2 bar, se condense dans la calandre de l'échangeur de chaleur. Le fluide procédé est ainsi chauffé à une température nominale de 110 °C.

Caractéristiques de fonctionnement :

- ✚ Le réservoir tampon a une capacité de 20 m³ pour une hauteur de 7 m. La hauteur nominale de stockage est de 4 m.

- ✦ Le débit maximum de A en alimentation du réservoir tampon est de 10 m³/h. Son débit minimum admissible est de 2 m³/h (au dessous de ce seuil, l'installation sera arrêtée). Son débit nominal de 5 m³/h.
- ✦ Le débit nominal du fluide procédé refoulé par la pompe est de 12 m³/h.
- ✦ La température nominale d'entrée dans l'échangeur de chaleur du fluide procédé est de 20 °C (ambiante), sa température nominale de sortie de l'échangeur est de 110 °C.
- ✦ Le débit nominal de vapeur est de 1000 kg/h, au maximum de 1200 kg/h
- ✦ Milieu explosif, fluides conducteurs.

Caractéristiques d'instrumentation :

LT	actif	0 à 8 m	4-20 mA	ADF
TT	passif	-10 à 150 °C	4-20 mA	SI

LV	Pneumatique	NO	Positionneur	0.2 à 1.0 bar	0 à 13 m ³ /h	Linéaire
TV	Pneumatique	NF	Positionneur	0.2 à 1.0 bar	0 à 1200 kg/h	Linéaire

La vanne LV1 est commandée manuellement par le signal $u_1(t)$ %, elle ne sera pas utilisée dans les calculs !

LRC est un régulateur PID mixte et TRC est un régulateur PID série, en entrée mesure et sortie commande 4-20 mA. Ils sont capables d'alimenter une boucle de mesure.

II.1 - Câblages, signaux et sens d'actions

- 1- Préciser pour les 2 boucles de régulation la grandeur réglée, la grandeur réglante, les grandeurs perturbantes et la consigne. Quelles sont les valeurs de consignes (en %) à programmer sur les deux régulateurs ?
- 2- Effectuer le schéma de câblage des deux boucles de régulation LRC et TRC. On souhaite enregistrer la mesure et la commande dans chacune de ces boucles, le LR est un enregistreur 2 voies en entrée 4-20 mA et 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 5 m, quelle est l'intensité qui circule dans le circuit de mesure ?
- 4- La commande issue du régulateur LC est de 35 %, quelle est la valeur de l'intensité dans le circuit de commande ? Quelle est la valeur de pression de

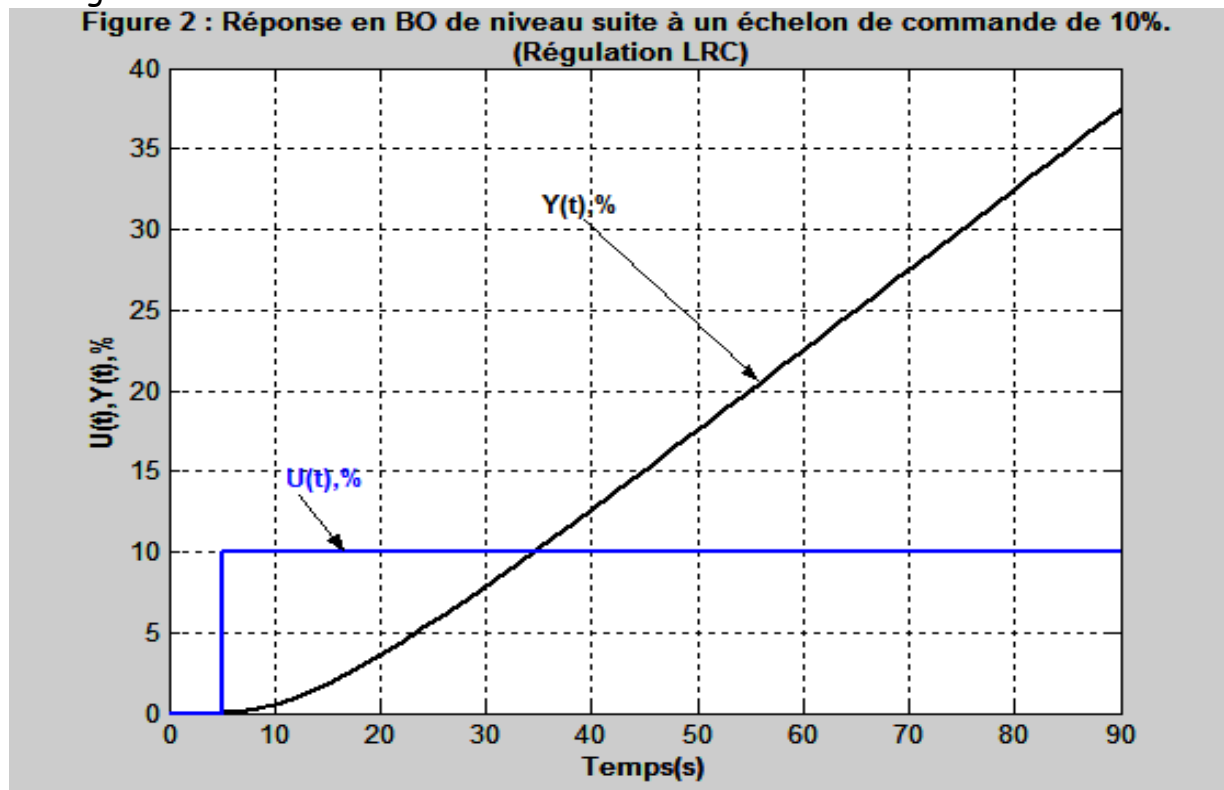
commande ? Quelle est la valeur de pression dans le servomoteur de la vanne ? Quelle est l'ouverture de la vanne ? Quel est le débit qui traverse alors la vanne LV ?

5- La TV laisse passer un débit de 960 kg/h, quelle est l'ouverture de la vanne, la valeur de la pression de commande et la valeur de la commande envoyée par le régulateur TRC ?

6- Le capteur de température TT envoie une intensité de 14 mA, quelle est la valeur de la température mesurée ?

7- Déterminer le sens d'action de la régulation LRC et la valeur centrale. Le débit de A est de 8 m³/h et le débit du fluide procédé à la sortie de l'échangeur est à sa valeur nominale, 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. Quelle est la valeur de stabilisation du niveau ?

8- Pour la régulation de niveau uniquement. L'analyse de la dynamique grandeur réglante-grandeur réglée est effectuée pour identifier le procédé. Les évolutions dans le temps de la mesure y (niveau) et de la commande u sont données sur la figure 2. Déterminer la fonction de transfert réglante (sous la forme $\frac{Y(s)}{U(s)} = k \frac{e^{-\tau s}}{s}$). En déduire le mode idéal de régulation et les paramètres du régulateur.



II.2-Etude de la régulation LRC (Facultative)

Le schéma fonctionnel de la boucle de régulation LRC est donné par la figure 3 où $H(s)$ est la fonction de transfert réglante et $L(s)$ est la fonction de transfert liée à la principale perturbation $Q_A(s)$ et donc à $U_1(s)$, $H_R(s)$ est la fonction de transfert du régulateur. Une étude plus précise a permis de déterminer les fonctions de transferts réglante et perturbatrice et sont :

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{s(1+10s)} \quad ; \quad L(s) = \frac{Y(s)}{U_1(s)} = \frac{k}{s(1+20s)}$$

où $k = 0.05 \text{ s}^{-1}$

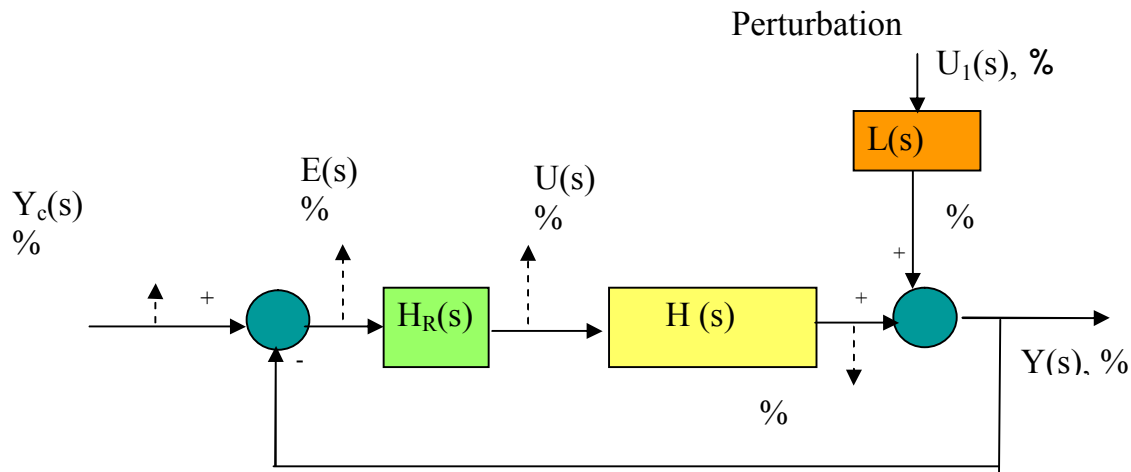


Figure 3 : Schéma fonctionnel de la boucle de régulation TRC

Dans un premier temps le régulateur (correcteur) est proportionnel et donc $H_R(s) = K_R$.

- 1- Ecrire la FTBF du système. A-t-on un système stable en BF ? justifier votre réponse.
- 2- On crée un échelon unitaire de consigne soit $Y_c(t)=1$, exprimer l'écart statique ou précision statique. Le résultat est-il attendu ? Justifier.
- 3- On cherche à obtenir pour cette régulation une FT en boucle fermée de la

forme :
$$FTBF(s) = \frac{Y(s)}{Y_c(s)} = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{2\xi}{\omega_0}s + 1}$$
. Calculer la valeur du gain K_R du

régulateur pour obtenir un coefficient d'amortissement $\zeta = 0.5$. Quelle est alors la pulsation propre non amortie ω_0 ? Quelle est la valeur du premier dépassement D_1 de la réponse indicielle ainsi que les temps de réponse à 5% et de montée ?

- 4- Après une période d'essais du procédé il s'avère finalement qu'il est préférable d'obtenir la fonction de transfert en chaîne fermée FTBF(s) suivante :

$$FTBF(s) = \frac{Y(s)}{Y_c(s)} = \frac{1}{(1 + Ts)^2} \quad \text{avec } T = 20s .$$

Calculer le nouveau gain K_R du régulateur pour obtenir une telle fonction. Que deviennent les performances obtenues par rapport à celles obtenues en 4. A votre avis pourquoi le service de production a procédé à une telle modification ?

- 5- Une stabilité est correcte si la marge de phase est supérieure ou égale à 45° et la marge de gain est supérieure à 6dB. Calculer les marges de stabilité obtenues par le réglage de la question 4. Conclusion.

- 6- La consigne étant constante mais la perturbation $U_1(t)$ à changé de 1% soit $U_1(s) = 1/s$, exprimer l'écart statique ou précision statique. Pourquoi cet écart n'est pas nul ? comment l'annuler ?

- 7- On décide alors d'ajouter une action intégrale pour annuler l'erreur statique en cas de perturbation. Que se passe-t-il si on fixe $T_i = 10s$ (constante du temps de la fonction de transfert réglante

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{s(1+10s)} \text{) ?}$$

- 8- Pour un bon réglage de l'action intégrale, on cherche à obtenir un comportement du procédé en BF similaire à celui d'un deuxième ordre (caractérisé par ω_0 et ζ) même si le degré du dénominateur de la FTBF est supérieur à 2. La technique utilisée s'appelle méthode des pôles dominants. Dans ce cas le dénominateur de la fonction de transfert en BF à fixer est de la forme $(s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2)(s + a_c)$. On prend $\zeta = 0.5$ et $\omega_0 = a_c = 0.05$ rd/s. Calculer alors les paramètres K_R et T_i des actions proportionnelle et intégrale. Quelles performances espère-t-on obtenir avec ce réglage ? Discuter en comparant avec les performances des réglages 3 et 4.

Bonne chance

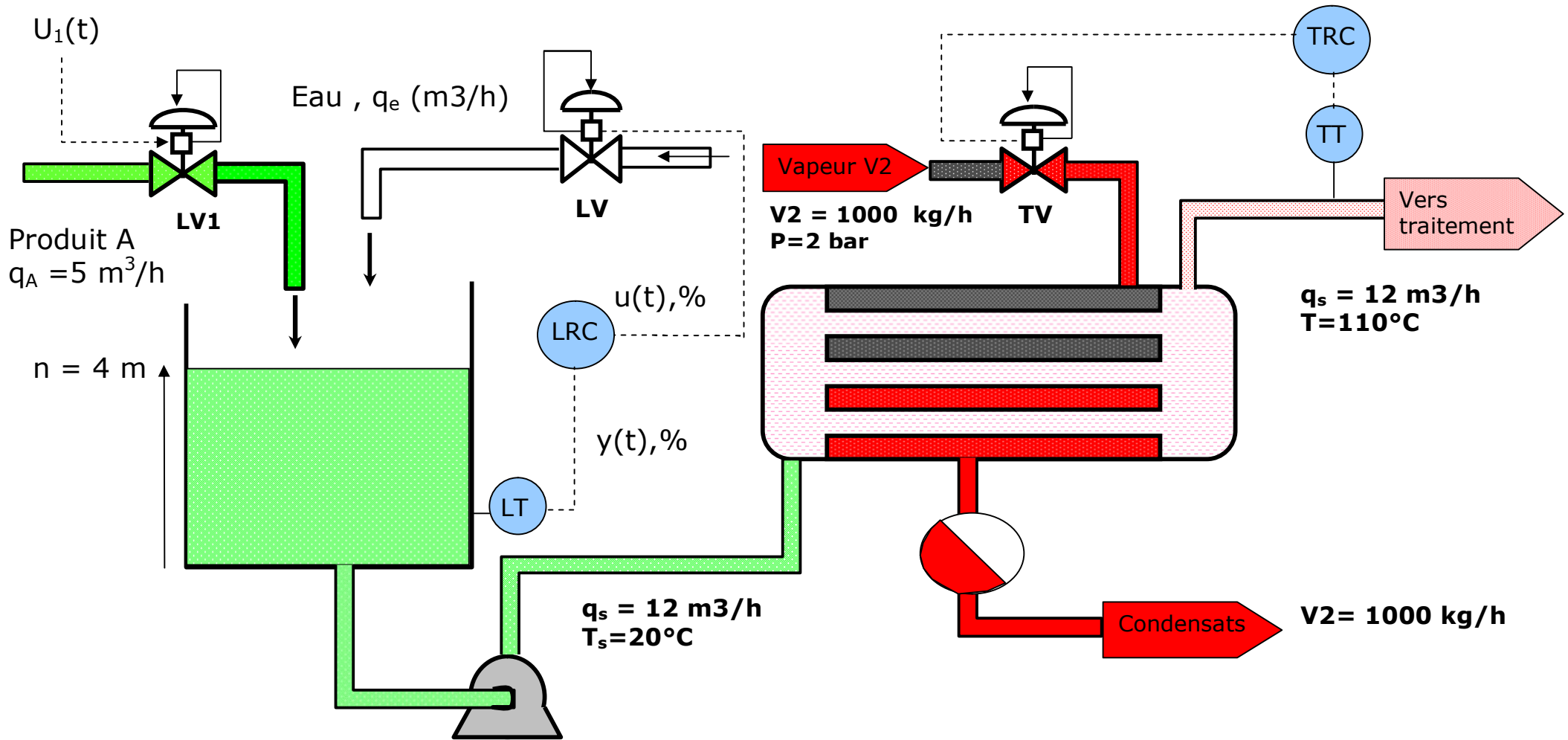


Figure 1 : Flow-set du procédé à étudier

