

**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Ecole Supérieure de Technologie de Fès**  
**Département Génie des Procédés 2<sup>ème</sup> année.**  
**Filière : GP-Industries Chimiques**

**Examen de régulation industrielle (2014-2015) : Durée : 2 h**

Les documents papiers personnels sont autorisés (cours+TD)

Les téléphones et PC portables ne sont pas autorisés !

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

### **Procédé de production d'alcool absolu**

A la fin du procédé de production de sucre, on obtient un résidu sirupeux appelé la mélasse contenant encore du sucre, la mélasse va être retraitée par fermentation dans le but d'obtenir de l'éthanol. A la suite de cette opération, on obtient un mélange (éthanol + eau) que l'on concentre par distillation (Figure 1). L'alcool absolu est obtenu par passage dans une colonne de déshydratation où le reliquat d'eau est retiré à l'aide d'un entraîneur hydrophile de type cyclohexane. A la fin de cette distillation, l'alcool titre à 99,98%.

Pour le bon fonctionnement de ce procédé, les fabricants l'ont équipé de boucles de régulation nécessaires, à savoir :

\*Régulation de niveau en pied de colonne : l'éthanol « pur » (à 99,98%) est soutiré en pied de colonne. Le niveau **z** en pied de colonne doit cependant être maintenu constant afin de ne pas perturber la chauffe. La régulation du niveau est réalisée par action sur le débit de soutirage **W** via le régulateur LICO4 et la vanne LV4 de type NF.

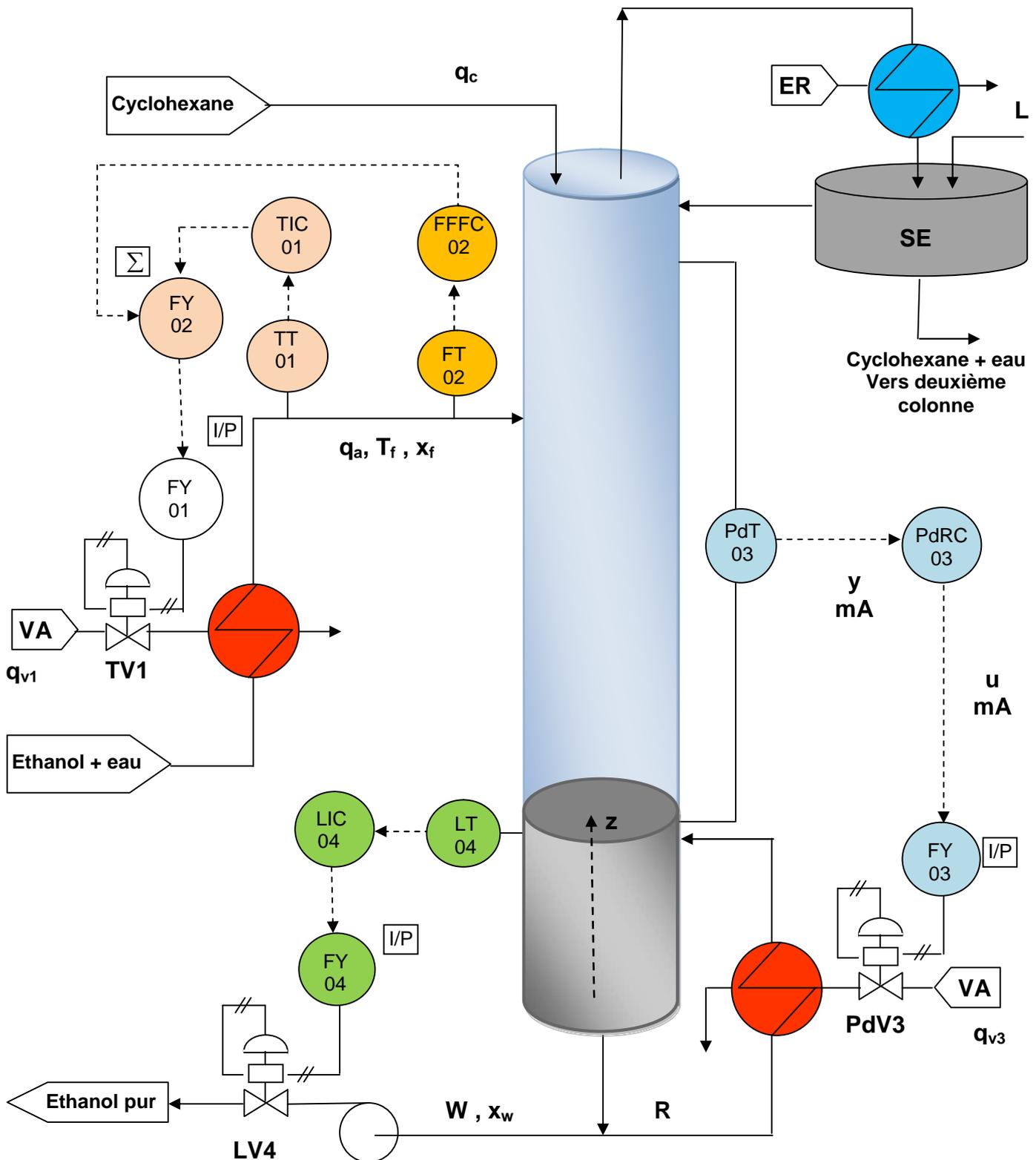
\*Régulation de la température du mélange d'alimentation de la colonne :

Le mélange eau-éthanol alimentant la colonne est préchauffé par l'intermédiaire d'un échangeur. Afin d'éviter de perturber le régime de la colonne, la température du mélange doit être maintenue constante. Le débit de vapeur de chauffe  $q_{v1}$  nous permet de réguler la température via le régulateur TIC01 et la vanne TV1, qui est de type NF.

Le débit d'alimentation (du mélange eau-éthanol) varie avec la production et perturbe de façon notable la température du mélange. On envisage alors une boucle de régulation par anticipation via le régulateur FFFCO2 et la vanne TV1, afin de minimiser les effets de cette perturbation.

\*Régulation de la pression différentielle dans la colonne : on régule la pression différentielle afin d'éviter l'engorgement de la colonne et afin de maintenir un débit de production suffisant. En pied de colonne, c'est le débit de vapeur de chauffe  $q_{v3}$  qui va nous permettre de réguler la pression différentielle via le régulateur PdRCO3 et la vanne

PdV3 de type NF, linéaire et de débit maximal 15 t/h. Le capteur-transmetteur de pression différentielle PdT03 est actif, sa plage de mesure est comprise entre 0 et 50 mbar, il est équipé d'une sortie courant 4-20 mA. En régime nominal on a  $q_{v3}=8$  t/h et la pression différentielle dans la colonne est 25 mbar.



**Figure 1** : Colonne de déshydratation d'Ethanol

On s'intéresse dans cette étude à la boucle de régulation de pression différentielle PdRCO3 seulement.

1- Quelles sont la grandeur réglée, la grandeur réglante (la) ou (les) perturbations et la consigne de la boucle en question?

2- Que signifie PdRCO3 et PdICO3 ? Le régulateur PdCO3 est un PID mixte, 4-20 mA sur les canaux de mesure et de correction. Il est capable d'alimenter la boucle de mesure. L'enregistreur est à double voies en entrée 0-10 V. Nous disposons de convertisseurs qui convertissent le [4,20mA] en [0.2-1bar], d'alimentation 24V...

Donner le schéma des câblages de la boucle.

3- Application numérique :

3.1 Quelle valeur de consigne doit-on programmer sur le régulateur ?

3.2 La mesure de la pression différentielle est de 20 mbar, quelle intensité lit-on sur le régulateur ? Quelle tension lit-on sur l'enregistreur ?

3.3 La correction calculée est de 60 %, quelle est la pression dans le servo-moteur de la vanne de régulation ? Quelle est la valeur du débit passant alors par la vanne ?

4- Sachant que la pression différentielle dans la colonne augmente avec la chauffe, déterminer le sens d'action et la valeur centrale de cette régulation.

5- La loi de commande programmée sur le régulateur est proportionnelle seul (P) avec un gain de 1. La consigne, le sens d'action et la valeur centrale sont correctement programmées. On constate que la pression différentielle est stabilisée à 26 mbar. Quelle est la valeur de stabilisation du débit  $q_{v3}$ . Interpréter ce qui s'est passé .

6- On a réalisé différents essais de réglage du régulateur.

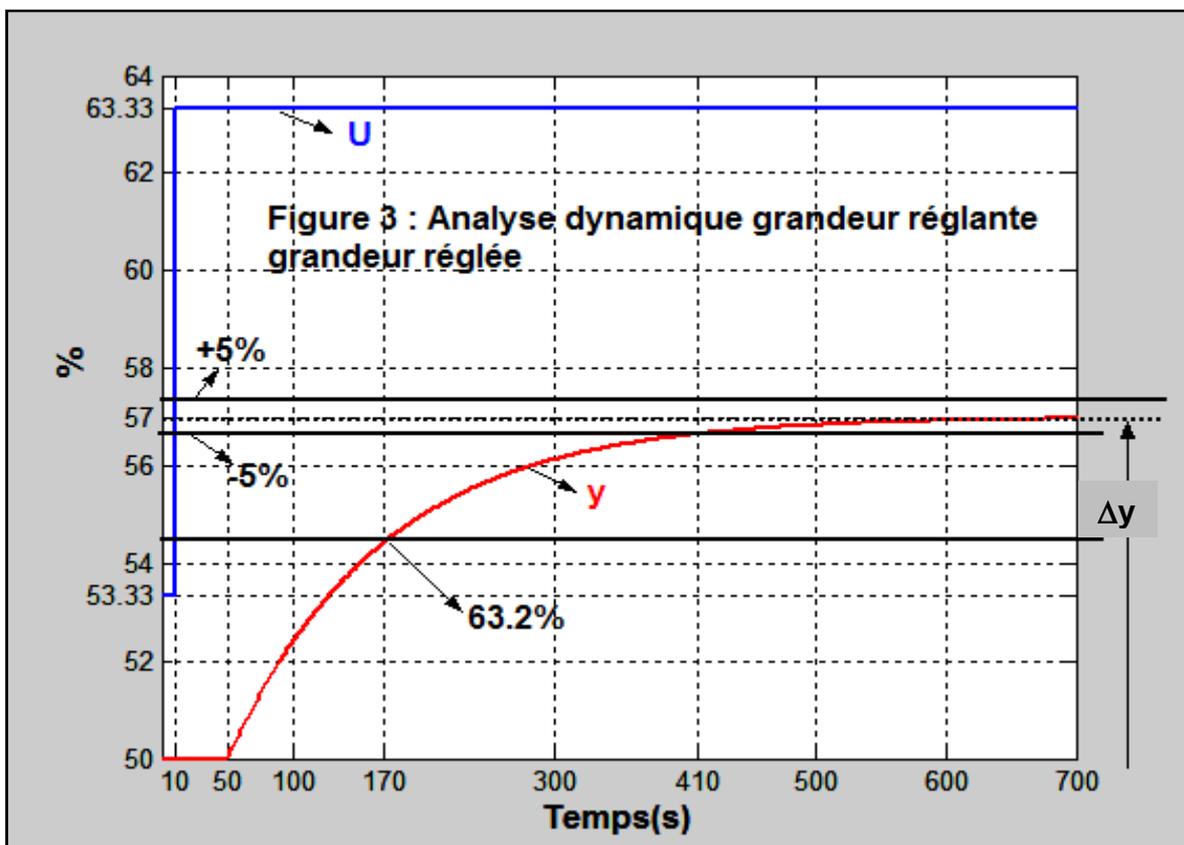
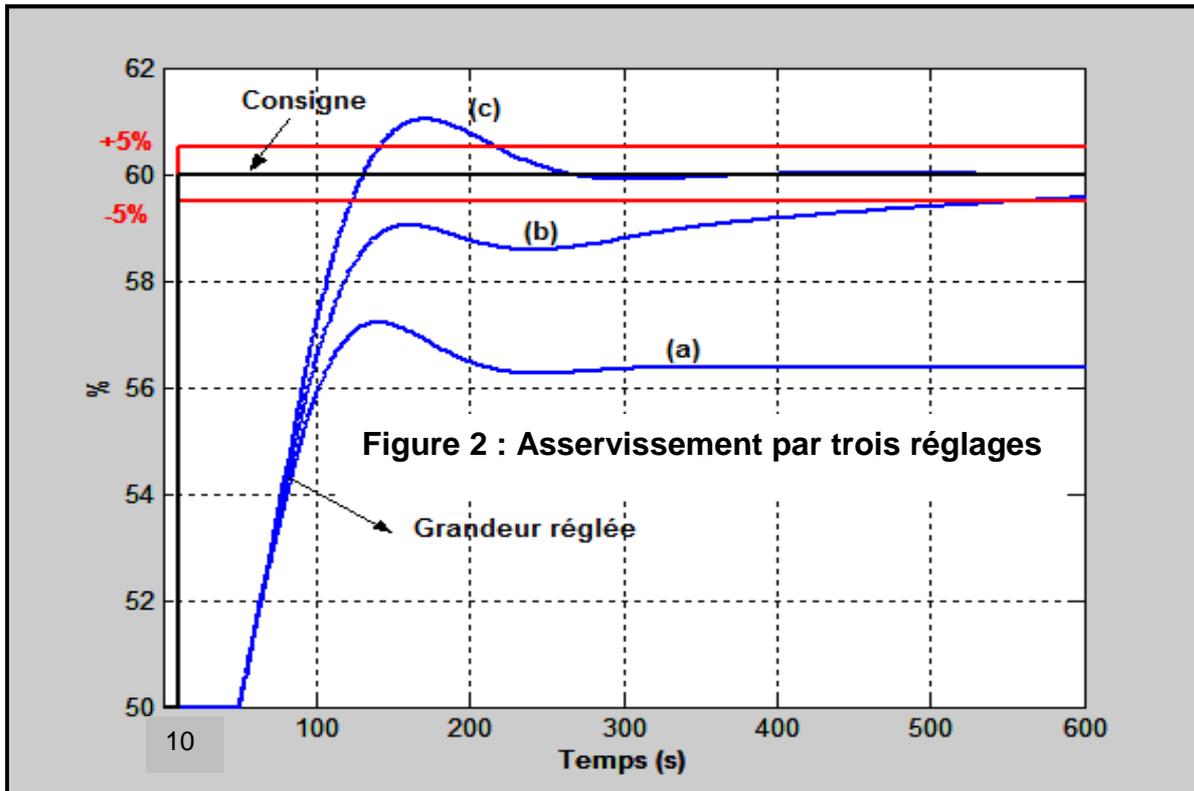
- Action P seule :  $K_R = 2.5$ .
- Régulateur PI :  $K_R = 2.5$  ,  $T_i = 4$  min.
- Régulateur PI :  $K_R = 2.5$  ,  $T_i = 2$  min.

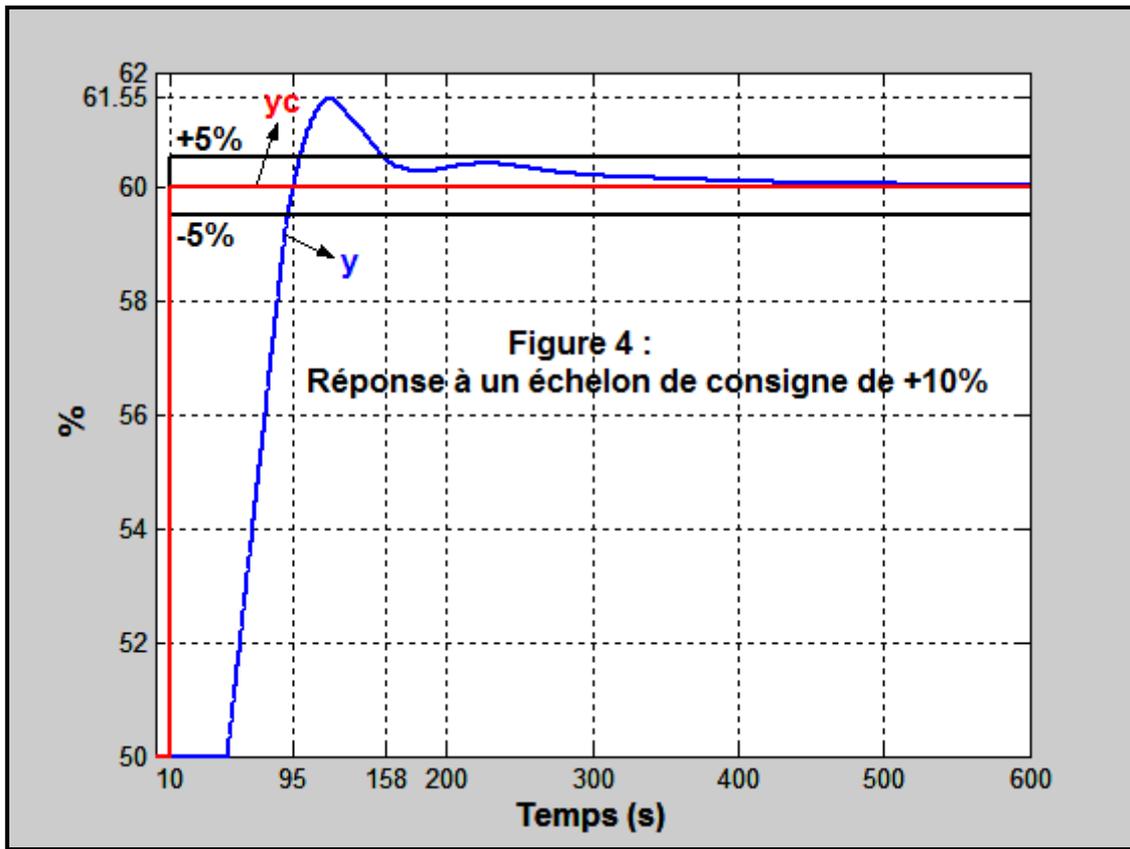
Les réponses de la mesure à un échelon de consigne de 10%, pour chacun de ces essais, sont représentées sur la figure2.

Déterminer à quel essai correspond chaque réponse. Justifier.

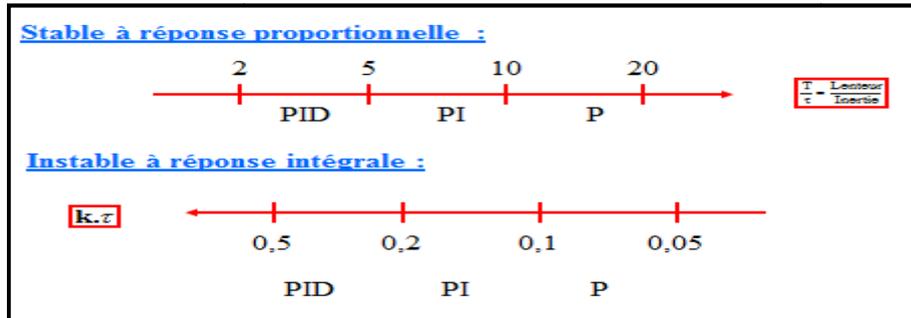
7- L'analyse de la dynamique grandeur réglée-grandeur réglante en boucle ouverte donne les évolutions suivantes (Figure 3). Le procédé est-il stable ? Quels sont les paramètres caractéristiques de la dynamique de ce procédé. Quelle est la structure de la loi de commande à programmer ? Quelles sont les valeurs des paramètres à programmer sur le régulateur ? Quel est le temps de réponse à 5% en boucle ouverte, noté  $t_{5\%}(BO)$ .

8- L'analyse des performances de la régulation ainsi programmée donne les évolutions reportées sur la figure 4. Quelles sont les valeurs des critères de performances ( $D\%$ , temps de réponse à 5%, erreur de position, temps de montée) ? de combien a-t-on accéléré la grandeur réglée?





Annexe : Documents pour le réglage



Procédé instable à réponse intégrale :

	P	PI		PID		
	Série	Série	Paral.	Série	Paral.	Mixte
$K_R$	0,8 $\frac{0,8}{k \cdot \tau}$	0,8 $\frac{0,8}{k \cdot \tau}$	0,8 $\frac{0,8}{k \cdot \tau}$	0,85 $\frac{0,85}{k \cdot \tau}$	0,9 $\frac{0,9}{k \cdot \tau}$	0,9 $\frac{0,9}{k \cdot \tau}$
$T_i$		5,τ	$\frac{k \cdot \tau^2}{0,15}$	4,8,τ	$\frac{k \cdot \tau^2}{0,15}$	5,2,τ
$T_d$				0,4,τ	$\frac{0,35}{k}$	0,4,τ

Stable à réponse proportionnelle :

	P	PI		PID		
	Série	Série	Paral.	Série	Paral.	Mixte
$K_R$	0,78.T $\frac{0,78.T}{K \cdot \tau}$	0,78.T $\frac{0,78.T}{K \cdot \tau}$	0,78.T $\frac{0,78.T}{K \cdot \tau}$	0,83.T $\frac{0,83.T}{K \cdot \tau}$	$0,4 + \frac{T}{1,2.K}$	$0,4 + \frac{T}{1,2.K}$
$T_i$		T	$\frac{K \cdot \tau}{0,78}$	T	$\frac{K \cdot \tau}{0,75}$	T+0,4T
$T_d$				0,4,τ	$\frac{0,35T}{K}$	$\frac{T \cdot \tau}{2,5T + \tau}$