

**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Ecole Supérieure de Technologie de Fès**  
**Département Génie des Procédés 2<sup>ème</sup> année.**  
**Filière : Génie Thermique et Energétique (GTE)**

**Examen de régulation industrielle (2013-2014) : Durée : 2 h**

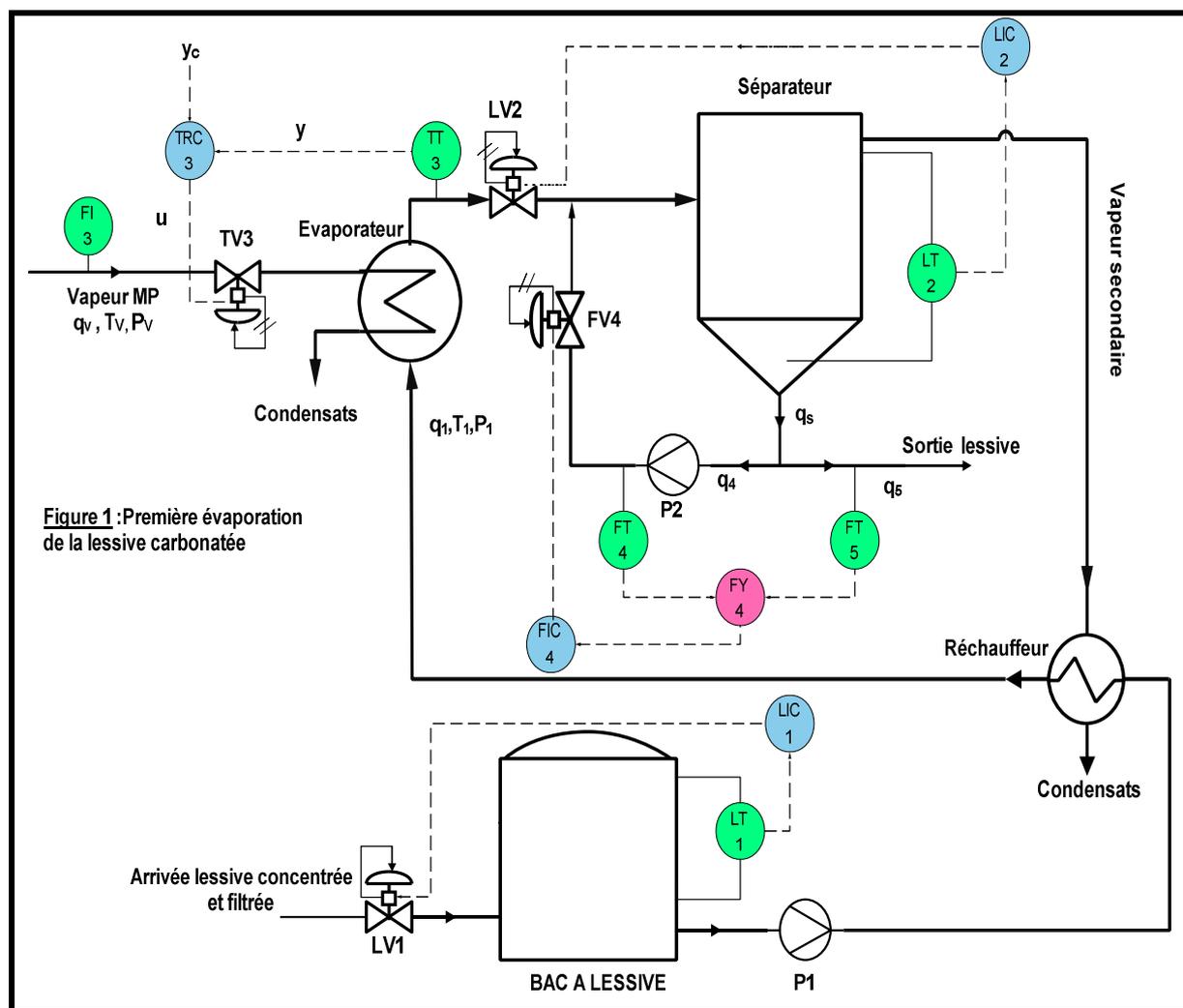
Les documents personnels sont autorisés (cours+TD)

Les téléphones et PC portables ne sont pas autorisés !

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

**Extrait de la fabrication de la lessive carbonatée**

La figure 1 représente une partie d'un procédé de fabrication de la lessive carbonatée ( $K_2CO_3$ ).



La lessive carbonatée filtrée (de concentration et pression constantes) qui provient d'une salle d'électrolyse, arrive dans un bac à lessive fermé et maintenu en légère surpression d'azote constante pour éviter tout risque d'oxydation du produit. Ce produit, par l'intermédiaire d'une pompe P1, est envoyé dans un réchauffeur avant de subir une première évaporation. La lessive parvient enfin dans séparateur où a lieu la concentration. La lessive sort du séparateur à une température de 125°C et la vapeur secondaire produite par l'évaporation issue du séparateur est réutilisée dans le réchauffeur. Une seconde pompe P2 permet le recyclage de la lessive afin de maintenir un débit minimum de 5kg/h à la sortie du séparateur afin d'éviter tout risqué de colmatage.

Les vannes automatiques sont de caractéristiques linéaires. Les vannes automatiques LV1, LV2 et TV3 sont NF et FV4 est NO.

La température dans l'évaporateur est maintenue constante à 130°C et le débit nominal  $q_v$  de la vapeur de chauffe est de l'ordre de 4.6 kg/h.

1- Pour satisfaire un cahier des charges garantissant le bon fonctionnement de cet atelier, les responsables de fabrication l'on équipé de certaines boucles de régulations. Lesquelles ?

2- On s'intéresse par la suite à la boucle TRC3 seulement. Quelles sont la grandeur réglée, réglante, la ou les perturbation(s) et la consigne de cette boucle ?

Le TT3 est un capteur passif, d'étendue d'échelle 0 à 200°C, de signal 4-20 mA, muni d'une sécurité intrinsèque. La vanne TV3 est de débit maximum 8 kg/h. A-t-on eu raison de choisir une vanne NF pour la TV3 ? Justifier.

3-On dispose d'un régulateur mixte, 4-20 mA sur les canaux de mesure et de correction, le régulateur est incapable d'alimenter la boucle de mesure, il est situé en salle de contrôle. On dispose de d'un enregistreurs 2 voies, situés en salle de contrôle, il fonctionne en en entrée 2-10 V, il est destiné à enregistrer les variations de la mesure et de la correction. On dispose ensuite de tous les convertisseurs et de tous les types d'alimentations nécessaires. Effectuer le câblage la boucle de régulation TRC3.

4-Application numérique :

4.1- Le TT3 mesure 135°C, quelle est l'intensité transmise au régulateur TRC3 ?

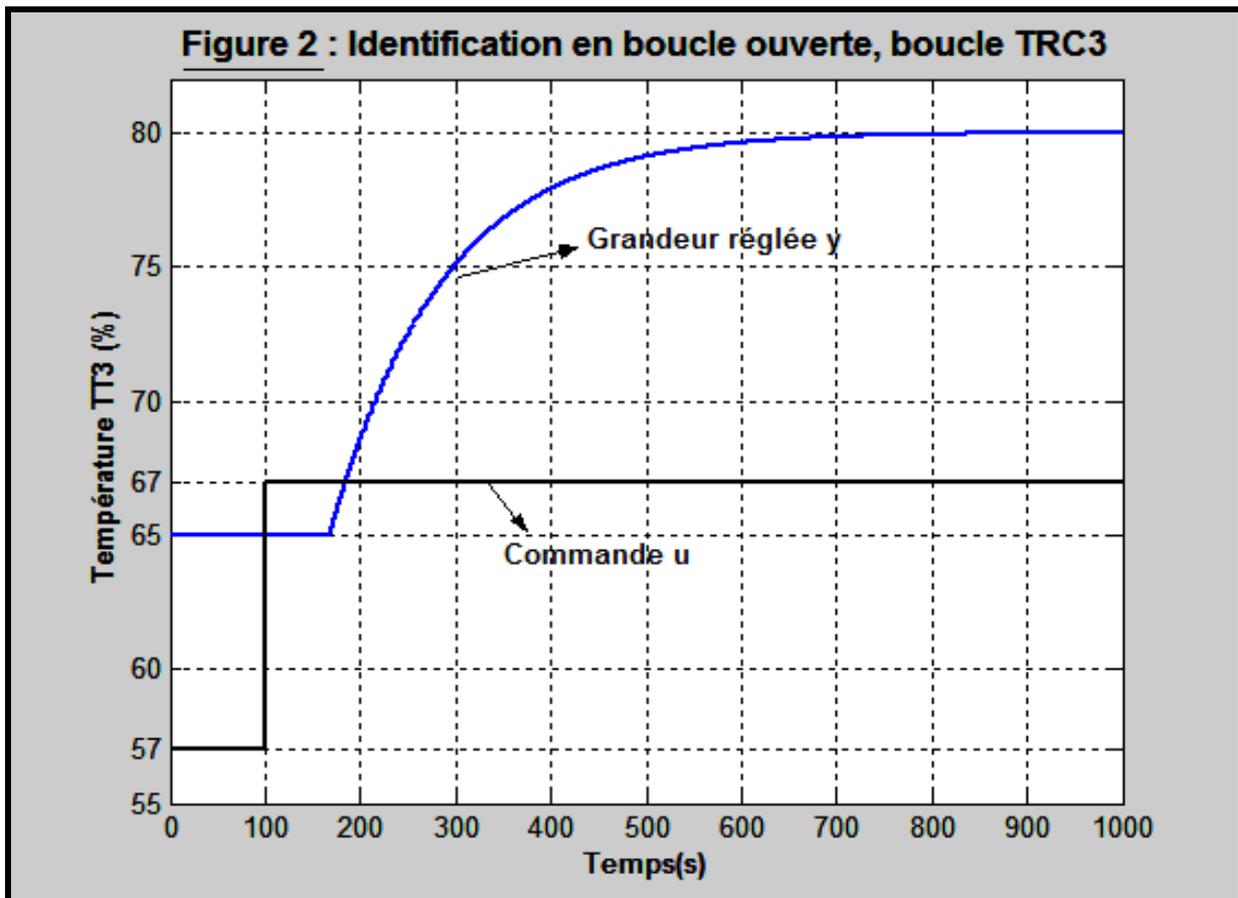
4.2- La TV3 laisse passer un débit de 5.5 kg/h, quelles sont : l'ouverture de la vanne, la valeur de la pression de commande et la valeur de la commande envoyée par le régulateur TRC3 ?

4.3 -Quelle sont la valeur centrale et le sens d'action de la boucle TRC3 ?

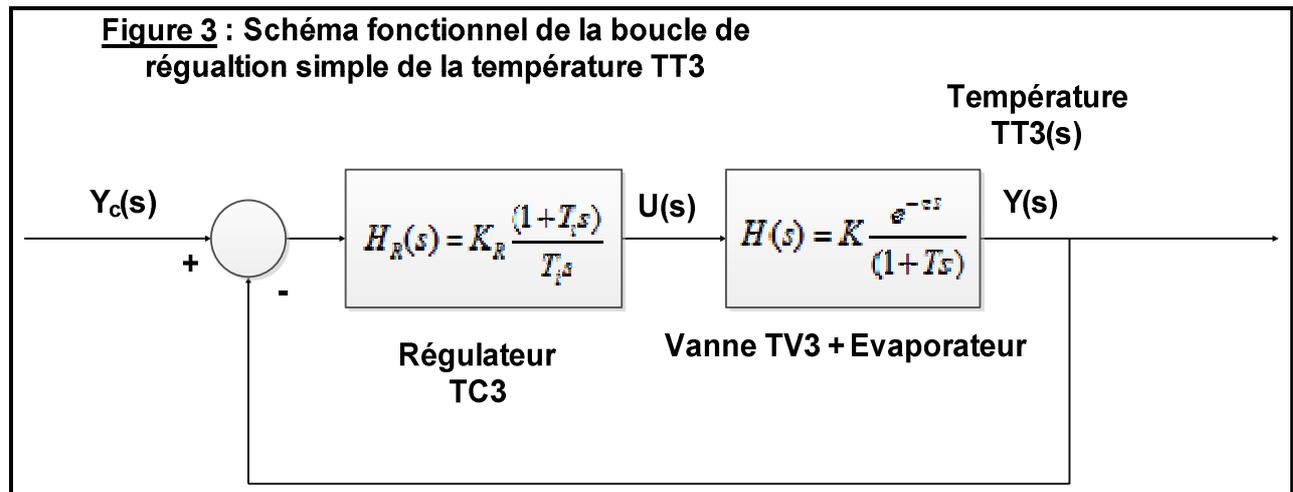
5-La consigne à programmer sur le TRC3 est de 65 %, le sens d'action est inverse, la valeur centrale est de 57%. Le régulateur est en automatique en mode Proportionnel seul avec un gain de 1. La régulation stabilise la température à 132°C. Le débit de vapeur  $q_v$  a une valeur différente de sa valeur nominale suite à un changement d'une perturbation. Déterminer la nouvelle valeur du  $q_v$  ? Commenter ?

6- Pour la boucle de régulation de température (TRC3), la réponse de la grandeur réglée en boucle ouverte a été représentée sur la figure 2. On désigne par  $y(t)$  et  $u(t)$  respectivement la mesure de la grandeur réglée et de la commande en % (Figure 1). Le système est-il stable ? Déterminer graphiquement les paramètres  $K$ ,  $\tau$  et  $T$  de la fonction de transfert réglante

$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-\tau s}}{(1+Ts)}$ . Quel est le temps de réponse à 5% en boucle ouverte, noté  $t_{5\%(BO)}$ . Conclure sur le mode idéal de régulation ?

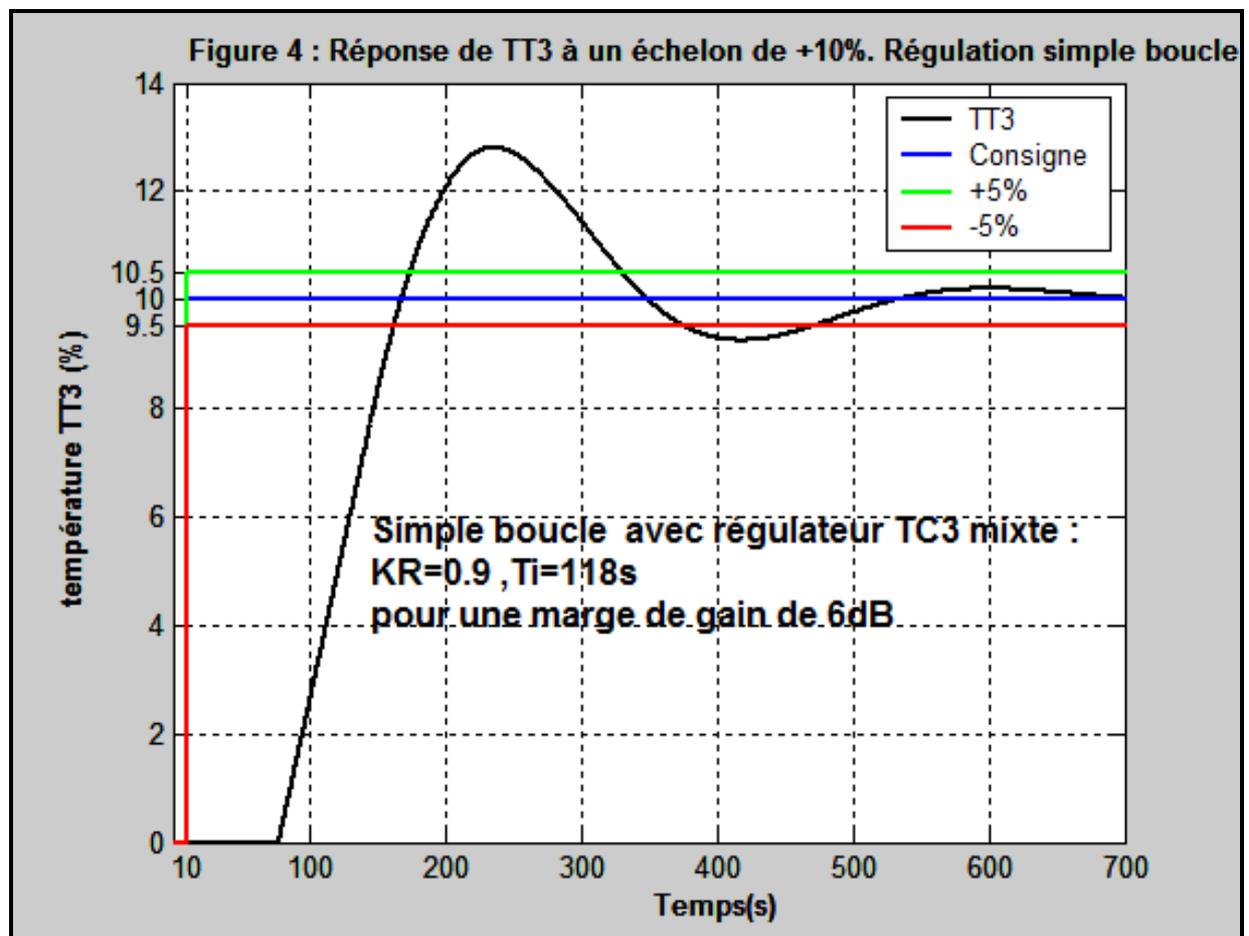


7-On configure le régulateur TC3 en PI et le schéma fonctionnel du système en BF est donc (Figure 3) :

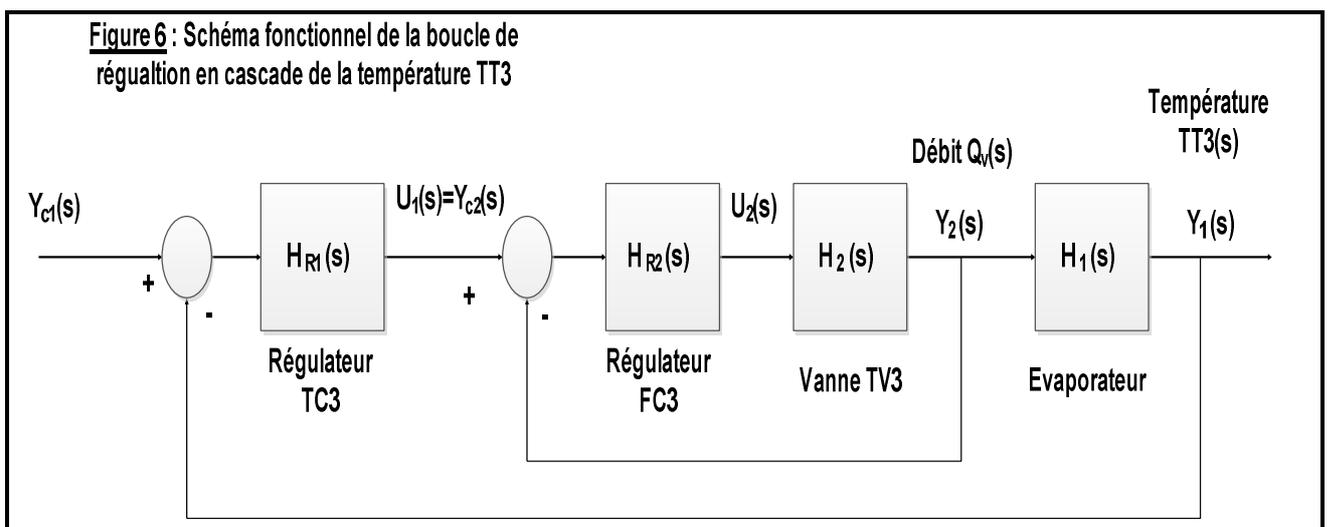
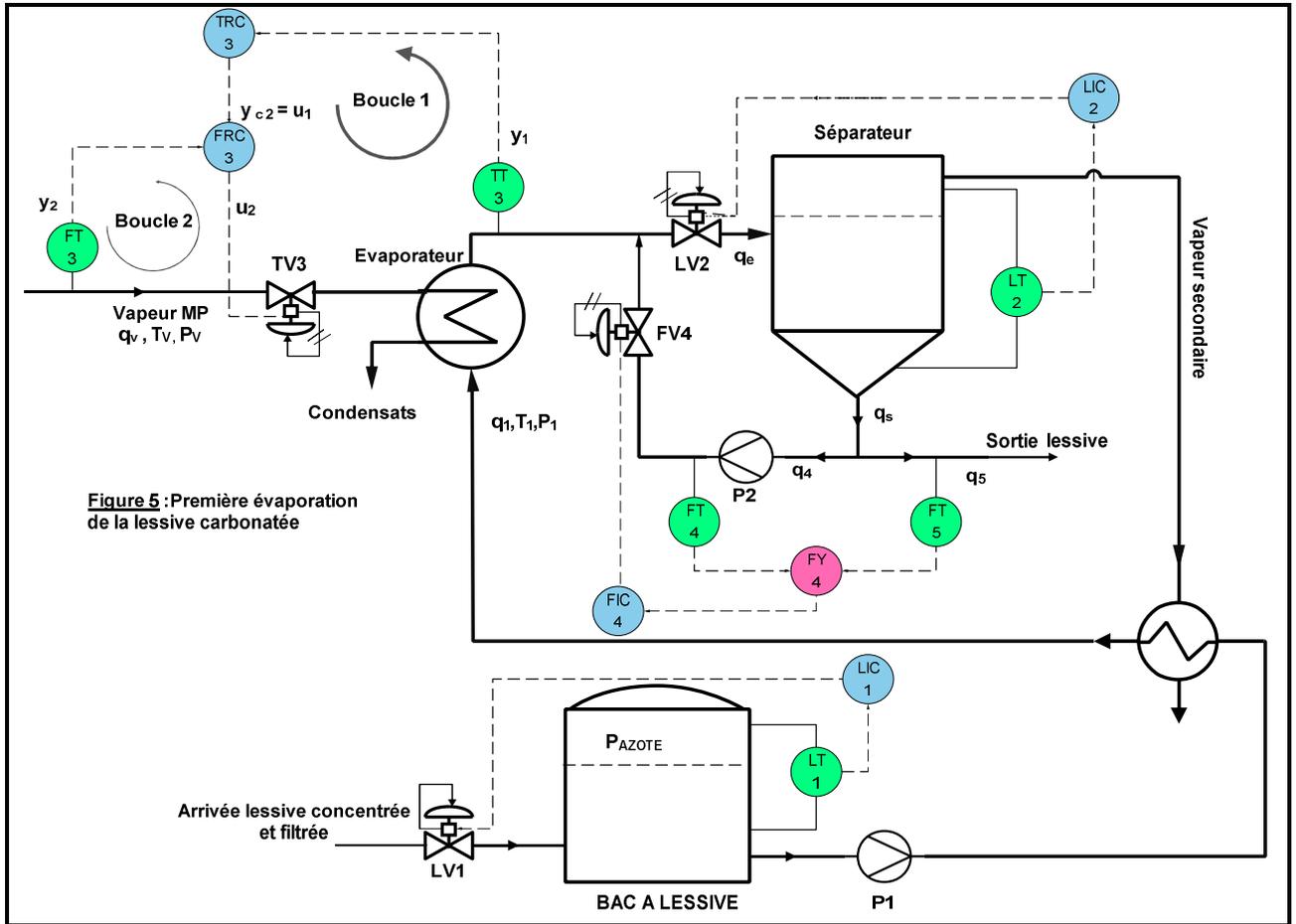


On admet que  $H(s) = 1.5 \frac{e^{-68s}}{(1+118s)}$ , on choisit  $T_i = T = 118s$ . Quel gain  $K_R$  (gain du régulateur) faut-il régler pour obtenir une marge de gain de 6dB.

Avec ce réglage, on obtient les performances de la courbe 4. Quel est le temps de réponse à 5% en BF. A-t-on accéléré le procédé en boucle fermée ? Justifier ?



8- On peut donc conclure d'après ce résultat que le PI ne convient pas pour ce type de procédé. On envisage alors une régulation avec boucle multiple ou une régulation en cascade sur grandeur réglante (Figure 5). Le schéma fonctionnel correspondant est représenté sur la figure 6.



Pour la boucle FRC3 la grandeur réglée est le débit de vapeur  $q_v$  et la grandeur réglante est l'ouverture de la vanne TV3, en BO ce procédé est un système du

premier ordre de gain statique égal à 0.88 et une constante de temps de 35 s. C'est-à-dire que la fonction de transfert réglante de la boucle esclave est :

$$H_2(s) = \frac{Y_2(s)}{U_2(s)} = \frac{0.88}{1+35s}$$

On donne aussi :

$$H_1(s) = \frac{Y_1(s)}{Y_2(s)} = \frac{TT3(s)}{Q_v(s)} \approx \frac{1.7(1+35s)e^{(-68s)}}{(1+118s)}$$

On rappelle que :

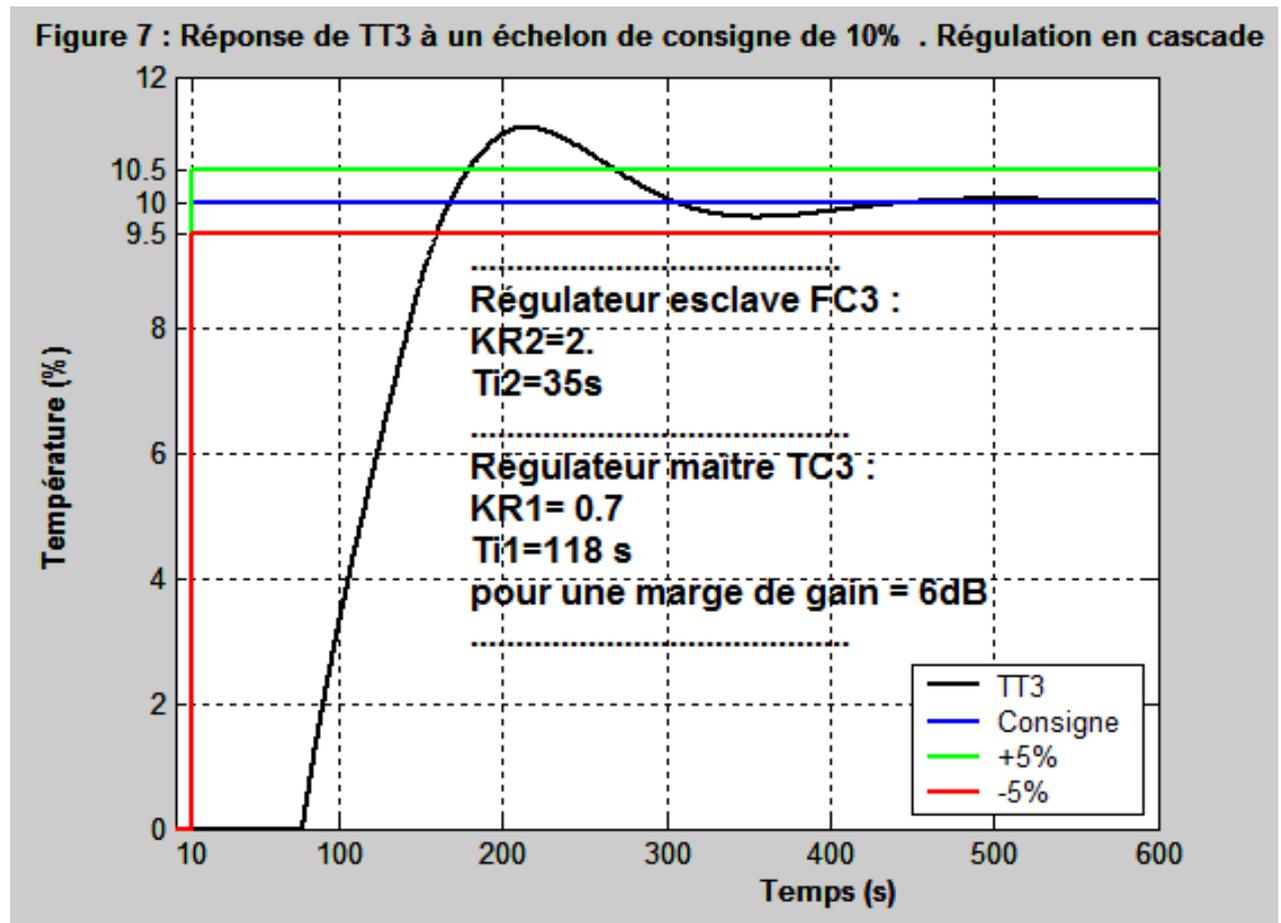
$$\begin{aligned} FTBO2(s) &= H_{R2}(s) \times H_2(s) ; FTBO1(s) = H_{R1}(s) \times FTBF2(s) \times H_1(s) \\ FTBF2(s) &= \frac{FTBO2(s)}{(1+FTBO2(s))} \end{aligned}$$

Déterminer  $H_{R2}(s)$  (FT régulateur esclave) pour que  $FTBF2(s)$  soit un système du premier ordre de gain statique unitaire et de constante du temps 20s, c'est-à-dire que :  $FTBF2(s) = \frac{1}{(1+20s)}$ . De quel réglage s'agit-il alors ?

On choisit pour le régulateur maître  $H_{R1}(s) = K_{R1} \frac{(1+T_{i1}s)}{T_{i1}s}$  avec  $T_{i1} = 118s$ .

Donner alors l'expression de la FTBO1(s).

Le gain  $K_{R1}$  du régulateur TC3 a été réglé de manière à assurer une marge de stabilité de 6dB. Dans ces conditions, les performances obtenues pour la régulation en cascade sont présentées sur la figure 7.



Calculer dans ce cas : le dépassement  $D\%$ , l'erreur de position ou écart statique  $\varepsilon_p$ , le temps de réponse en BF à 5% et comparer le avec le temps de réponse à 5% en BO calculé dans la question 6. Conclusion ?