

Niv : BTS1	Structure des Boucles Fermées et Régulateurs PID	DS n°4 (1h50)
§ 8 et 9	PROCEDE de STERILISATION	Page 1 sur 4

-- Les parties (1,2 et 3) et sous-parties (1.1, 1.2, ...) du sujet sont indépendantes--

## Présentation du procédé

On étudie un procédé (simplifié) de stérilisation UHT d'un produit laitier.

/40

Le schéma TI de cette installation est donné en **annexe 1**.

A l'entrée du procédé, le produit est déjà à une température de 76°C grâce à un échangeur (partie non représentée ici). Dans la partie du procédé étudiée, il existe une tête d'injection de vapeur destinée à porter à une température élevée le produit laitier, pendant un temps défini par le protocole de fabrication. Pour la stérilisation UHT, le lait doit être porté à une température de 140°C pendant 2,5s. C'est pourquoi une boucle de régulation de débit et une boucle de régulation de température ont été installées : elles permettent de fixer à la fois la température et le temps de séjour du produit laitier soumis à ce traitement. Ces deux paramètres sont déterminants pour fixer la qualité de la stérilisation sans dénaturer la qualité du produit.

Le procédé de stérilisation se termine par un vase d'expansion, dans lequel règne un vide partiel, qui sera le siège d'une évaporation à basse température. On évacue ainsi les buées, permettant d'éliminer la quantité d'eau qui a été introduite par l'injection de vapeur. Le produit est ensuite dirigé vers son utilisation finale à l'aide de la pompe de soutirage, qui est pilotée par un variateur de vitesse.

## 1 Régulation de débit

On s'intéresse exclusivement dans cette partie à la régulation du débit de lait  $q_L$ .

### 1.1 Analyse fonctionnelle

6

**Q1.** En vous basant sur les informations figurant sur le schéma PCF-TI (voir annexe 1), faire le bilan des grandeurs physiques pour la régulation de débit réglée par la vanne FV3. On pourra représenter ce bilan sous la forme d'un schéma fonctionnel global. On précisera les unités des grandeurs physiques impliquées.

**Q2.** Quel type d'instrument représente FT3 ? Expliquer brièvement le principe de fonctionnement de cette technologie et expliquez pourquoi elle est adaptée à cette application.

**Q3.** On souhaite procéder au réglage de cette boucle de débit. On liste les différentes opérations à effectuer :

- A- Afficher (= saisir) les actions de réglages (A, Ti, Td) sur le régulateur
- B- Amener (ou ramener) le procédé au point de fonctionnement
- C- Calculer les actions de réglage (A, Ti, Td) du régulateur
- D- Conclure sur la qualité de la régulation
- E- Déterminer les critères de performance en asservissement

- F- faire l'identification du procédé à un modèle mathématique
- G- Faire un échelon de 5% sur la consigne
- H- Passer en mode automatique le régulateur
- I- Passer en mode manuel le régulateur
- J- réaliser un échelon de 5% sur la commande
- K- Saisir une valeur de consigne = à la mesure

Ordonner ci-dessous l'ordre dans lequel ces opérations doivent être effectuées :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### 1.2 Essai en boucle ouverte

6

Le régulateur étant en manuel au point de fonctionnement  $q_{v0} = 1500 \text{ l/h}$ ;  $Y_{30} = 30\%$ , on effectue un échelon de 10 % sur la commande. On enregistre l'évolution suivante du débit et du signal de commande (voir annexe 2)

On note  $H_3(p)$  la fonction de transfert de ce procédé :  $H_3(p) = \frac{X_3(p)}{Y_3(p)}$

**Q4.** A l'aide de constructions graphiques appropriées, démontrer que  $H_3(p)$  peut se mettre sous la forme :  $H_3(p) = \frac{1,1}{1+3p}$

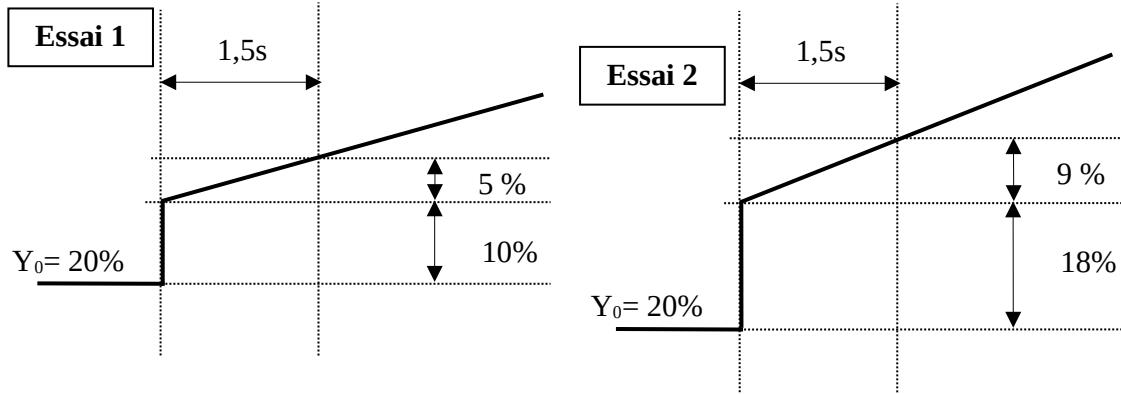
*Aide : on prendra garde de convertir la valeur de débit  $qv$  en pourcentage, sachant que l'étendue de mesure de FT3 est réglée entre 0 et 5000l/h.*

**Q5.** Proposer un réglage pour le régulateur PIC3 : quelle valeur peut-on proposer pour son gain  $A_3$ , sa constante de temps d'intégrale  $Ti_3$  ?

6

### 1.3 Etude du régulateur

On choisit d'utiliser un correcteur à action proportionnelle et intégrale. Le régulateur étant isolé du procédé, on effectue deux essais pour deux valeurs de gain différentes. A chaque fois, on a réalisé un échelon de 10% sur la consigne  $W$ ; le signal de mesure reste constant à 50% et le signal de commande  $Y$  vaut initialement 20%.

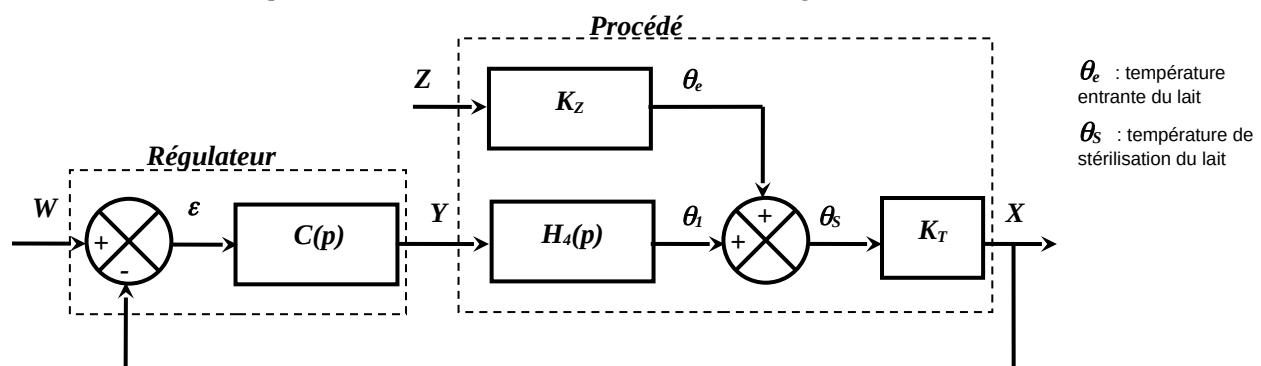


**Q6.** Déterminer la structure du régulateur et son sens d'action. Donner son schéma fonctionnel.

**Q7.** Calculer la fonction du correcteur  $C(p)$  correspondant à l'essai 2.

## 2 Régulation de température

On s'intéresse à la régulation en boucle fermée de la température de stérilisation  $\theta_s$ . Le régulateur TIC4 est en mode automatique. Le schéma fonctionnel de la boucle de régulation est alors le suivant :



$$\text{avec, } H_4(p) = \frac{3,5}{(1+5p)(1+1,5p)} \quad K_T = 0,4 \quad K_Z = 0,9$$

10

### 2.1 Correcteur à action proportionnelle

On pilote le procédé avec un régulateur à action proportionnelle, avec un gain  $A_4 = 1,2$ .

#### a - essai en asservissement

**Q8.** Que vaut  $Z(p)$  en asservissement ? Donner alors le schéma fonctionnel simplifié correspondant à la boucle fermée.

**Q9.** Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte  $T(p) = \frac{X(p)}{\varepsilon(p)}$  du procédé,

où  $\varepsilon$  désigne l'écart entre mesure et consigne.

**Q10.** Démontrer que la relation entre l'écart  $\varepsilon(p)$  et la consigne  $W(p)$  s'écrit  $\varepsilon(p) = \frac{W(p)}{1+T(p)}$

**Q11.** Calculer l'écart statique lorsque le système bouclé est soumis à un échelon de consigne d'amplitude 10 %. Conclure sur la précision en asservissement de la boucle.

Niv : BTS1	Structure des Boucles Fermées et Régulateurs PID	DS n°4 (1h50)
§ 8 et 9	PROCEDE de STERILISATION	Page 3 sur 4

### b - essai en régulation

Q12. Que vaut  $W(p)$  en régulation ?

Q13. Démontrer que la relation entre l'écart  $\varepsilon(p)$  et la perturbation  $Z(p)$  s'écrit

$$\varepsilon(p) = \frac{-Z(p) \times K_T \times K_Z}{1 + T(p)}$$

Q14. Calculer l'écart statique lorsque le système bouclé est soumis à un échelon de perturbation d'amplitude 20 %. Conclure sur la précision en régulation de la boucle.

#### 2.2 Correcteur à action proportionnelle et intégrale

5

On utilise à présent un régulateur dont le correcteur a comme fonction de transfert :

$$C(p) = 1,2 \left( 1 + \frac{1}{5p} \right)$$

Q15. Déterminer la nouvelle fonction de transfert en boucle ouverte  $T(p) = \frac{X(p)}{\varepsilon(p)}$  du procédé.

Q16. Dans le cadre d'un essai en asservissement, calculer l'écart statique lorsque le système bouclé est soumis à un échelon de consigne d'amplitude 10 %. Conclure sur l'intérêt d'utiliser un régulateur proportionnel et intégral.

#### 2.3 Stabilité (Bonus)

3

Q17. Le procédé  $H_4(p)$  est-il stable en boucle ouverte ? Justifier.

Q18. On utilise le régulateur  $C(p)$  de la question 2.2. Le procédé est-il stable en boucle fermée ? Justifier.

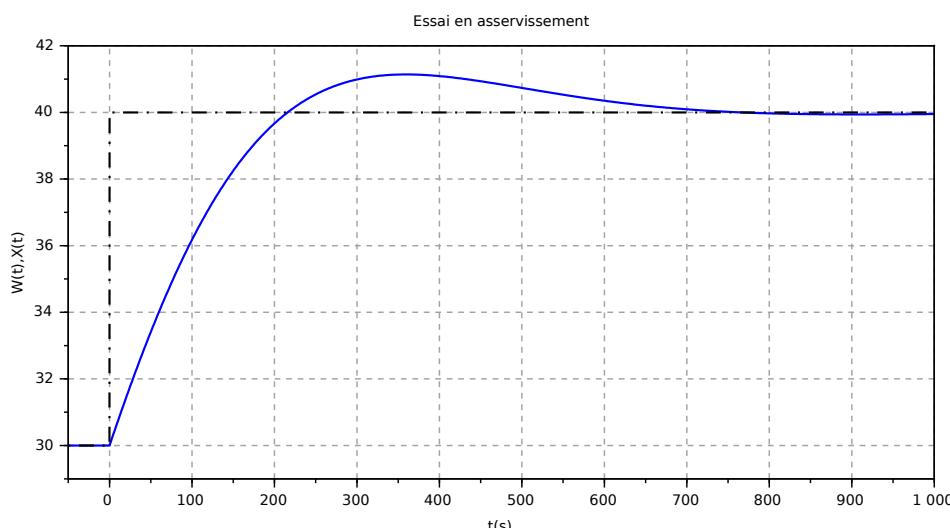
7

### 3 Régulation de niveau

On veut contrôler en boucle fermée le niveau dans le vase d'expansion par action sur le variateur SZ5 de la pompe de soutirage. On rajoute sur le procédé une mesure de niveau radar.

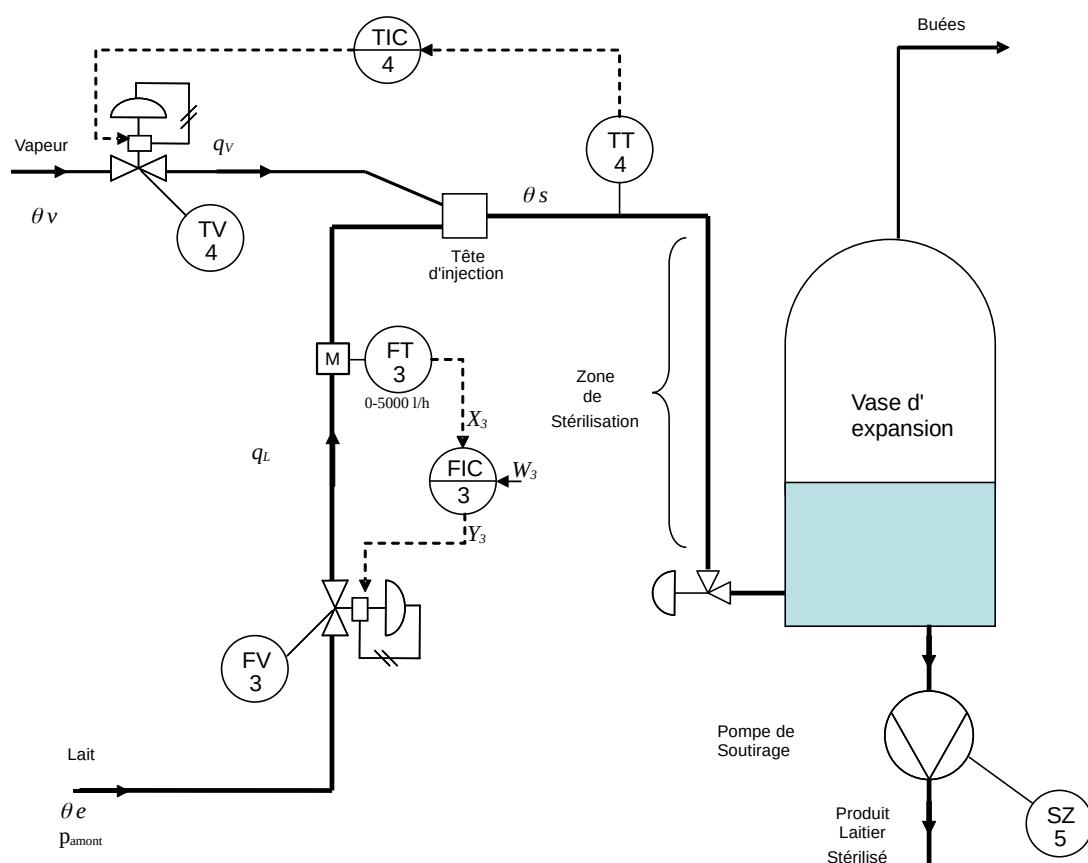
Q19. Compléter le schéma PCF-TI de l'annexe 1 pour faire apparaître cette mesure ainsi que cette régulation de niveau .

La régulation de niveau étant en boucle fermée, on effectue un échelon de 10 % sur la consigne. On relève l'évolution suivante pour la mesure :



Q20. Déterminer les performances en asservissement de cette régulation : on déterminera l'écart statique relatif, le temps de réponse à 5%, le premier dépassement relatif et on conclura sur la précision, la rapidité et la stabilité du procédé en BF. On précise que le procédé a un temps de réponse en boucle ouverte de 20 minutes.

## ANNEXE 1 : Schéma PCF – TI du procédé de stérilisation de produit laitier



## ANNEXE 2 : Echelon de 10 % sur la commande de FV3

