

**Université Sidi Mohamed Ben Abdellah**  
**Ecole Supérieure de Technologie**  
Département Génie des Procédés  
Deuxième année  
Route d'Immouzer Bp 2427 Fès -Maroc

**Filière : Agro-alimentaire et Génie Biologique (AGB)**  
**Examen de rattrapage pour deux étudiants en régulation industrielle**

**Année académique Durée: 2h**  
**Les documents cours + TD sont autorisés**  
**Enseignant : D'.Ing. M.Rabi : <http://www.est-usmba.ac.ma/Rabi>**

**Texte : (Procédé agro-alimentaire)**

Le schéma de la figure 1, Annexe 1, représente un schéma simplifié d'un procédé de stérilisation d'un produit laitier, largement utilisé dans la production industrielle de diverses crèmes dessert. Le produit est porté d'abord à une température d'environ 80°C dans l'échangeur de chaleur 1 avec de l'eau chaude elle-même réchauffée dans l'échangeur 2 par une vapeur d'eau de débit nominal 800 kg/h. On introduit ensuite le produit dans un bac de lancement où a été installée une régulation de niveau afin de maintenir constantes les conditions de fonctionnement de la pompe de reprise et sa sécurité.

Dans le circuit situé entre le bac de lancement et le vase d'expansion, il existe une tête d'injection de vapeur destinée à porter le produit laitier à une température très élevée, pendant une durée définie avec précision par le protocole de fabrication. C'est pourquoi une boucle de régulation de débit ainsi qu'une boucle de régulation de température ont été installées : elles permettent de fixer à la fois la température et le temps de séjour de produit laitier soumis à ce traitement. Ces deux paramètres sont déterminants pour veiller à la qualité de la stérilisation sans dénaturer la qualité du produit.

Le dispositif se termine par une vase d'expansion, dans lequel règne un vide partiel, qui sera donc le siège d'une évaporation à basse température. On évacue ainsi les buées, permettant d'éliminer la quantité d'eau qui a été introduite avec l'injection de vapeur pour redonner au produit laitier toutes ses qualités gustatives et nutritives. Grâce à la pompe 2 munie d'un variateur de vitesse, le produit laitier est acheminé vers les différentes unités de fabrication de crèmes dessert.

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

2- On s'intéresse par la suite à la boucle TIC2 seulement. Quelles sont la grandeur réglée, réglante, la ou les perturbation(s) et la consigne de cette boucle ?

Le TT2 est un capteur passif, d'étendue d'échelle 0 à 160°C, de signal 4-20 mA, muni d'une sécurité intrinsèque. La vanne TV2 est pneumatique, NF, munie d'un positionneur, de débit maximum 1500 kg/h, le débit varie linéairement avec la commande. A-t-on eu raison de choisir une vanne NF pour la TV2 ? Justifier.

3-On dispose d'un régulateur mixte, 4-20 mA sur les canaux de mesure et de correction, le régulateur est capable 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 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 TIC2.

4-Application numérique :

4.1- Le TT2 mesure 90°C, quelle est l'intensité transmise au régulateur TC2 ?

4.2- La TV2 laisse passer un débit de 900 kg/h, quelles sont est l'ouverture de la vanne, la valeur de la pression de commande et la valeur de la commande envoyée par le régulateur TC2 ?

4.3 -Quelle sont la valeur centrale et le sens d'action de la boucle TIC2 ?

5-La consigne à programmer sur le LC13 est de 50 %, 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 81°C. Le débit de vapeur de chauffe  $q_v$  a une valeur différente de sa valeur nominale suite à un changement d'une perturbation. Déterminer la nouvelle valeur du  $q_v$  ? Commenter ?

6- L'analyse de la dynamique grandeur réglante - grandeur réglée est effectuée pour identifier le système. Les évolutions dans le temps de la mesure  $y$  (température TT2) et de la commande  $u$  (envoyée à la vanne TV2) sont données ci-après figure 2, Annexe 2:

Le procédé thermique TT2 est-il stable ? Déterminer, les paramètres caractérisant la dynamique du ce procédé. Quel est le temps de réponse en BO à 5%.

Pour un réglage PI, calculer les paramètres du régulateur pour obtenir une marge de gain de stabilité de 6dB (utiliser les tables de réglage vues en cours).

7-Afin d'évaluer les performances de ce réglage, on réalise un échelon de consigne de 10% sur la température TT2 (Figure 3, Annexe 2). Calculer 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. Justifier le résultat en calculant le rapport  $T/\tau$  ?

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 4, Annexe 1). Dans cette régulation, on utilise deux boucles de régulation : FIC2 et TIC2. Le régulateur FC2 est appelé le régulateur esclave et le régulateur TC2 est appelé le régulateur maître.

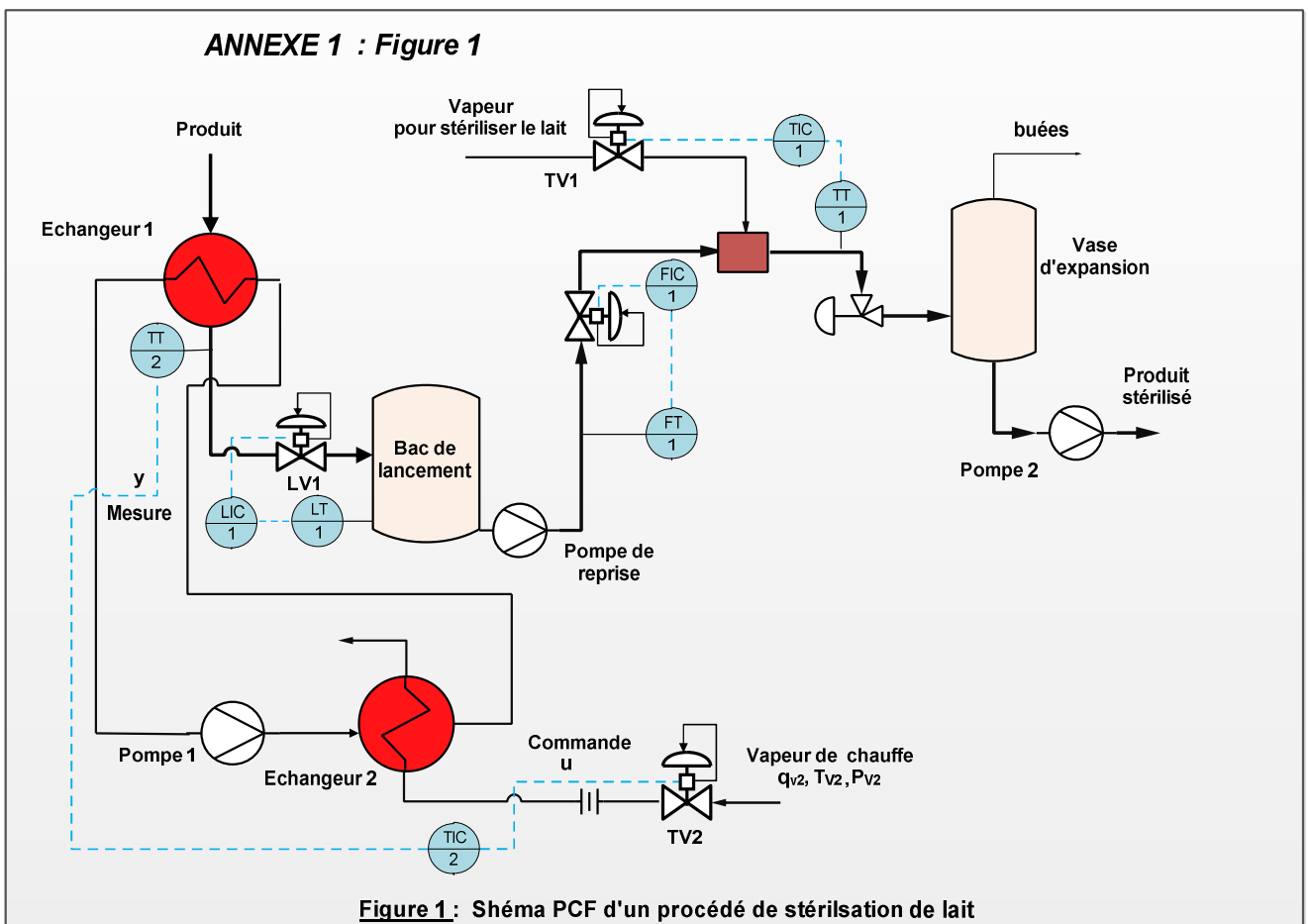
Pour la boucle FIC2 la grandeur réglée est le débit de vapeur et la grandeur réglante est l'ouverture de la vanne TV2, en BO ce procédé est un système du premier ordre de gain statique égal à 0.88 et une constante de temps de 35 s. FC2, mixte, a été réglé pour obtenir une boucle fermée de débit plus rapide, réalisant ainsi une accélération de 1.5, c'est-à-dire  $t_{5\%} (BO) = 1.5 \times t_{5\%} (BF)$ .

Le régulateur TC2 a été réglé pour obtenir une marge de gain de stabilité de 6dB.

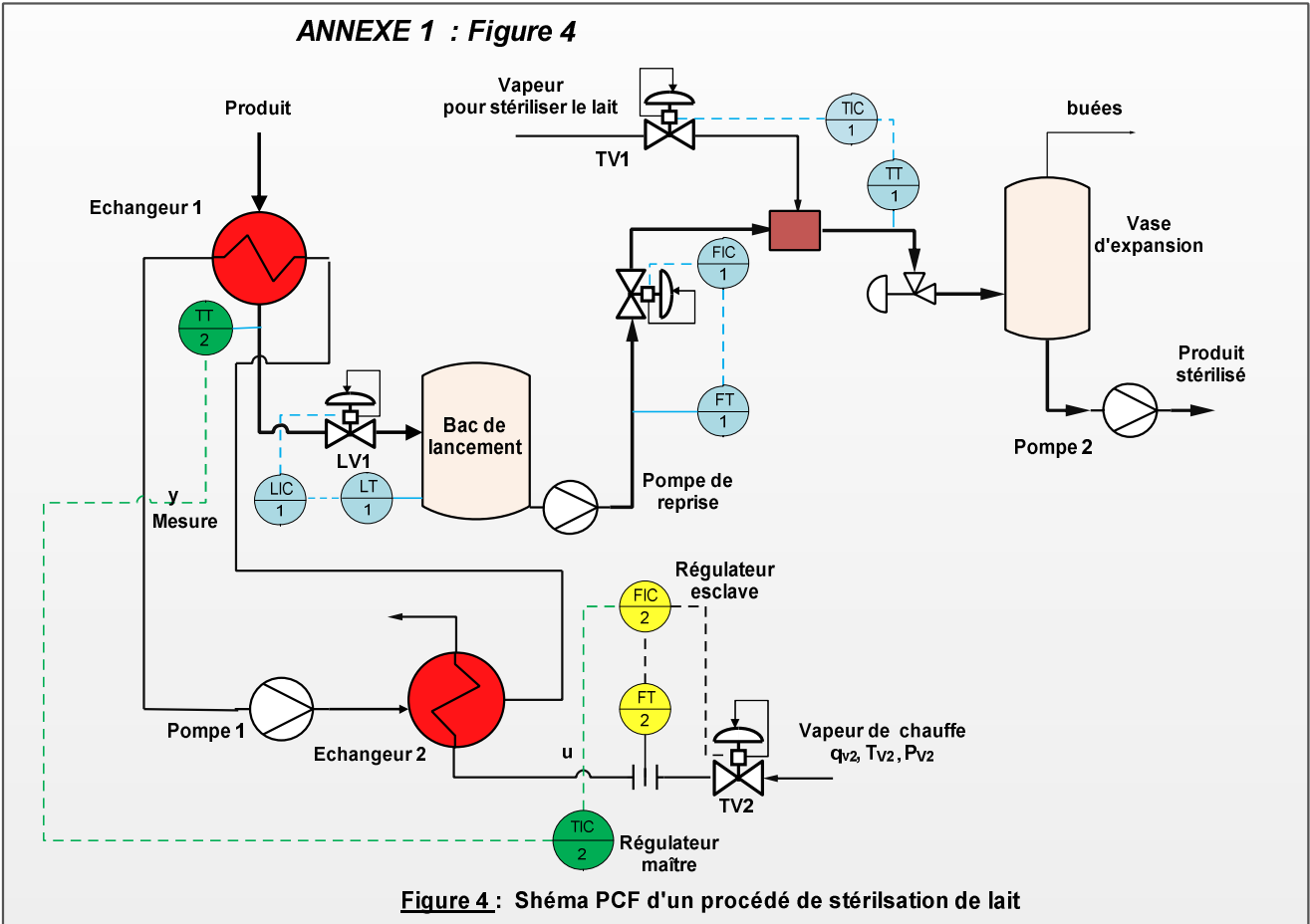
Avec ce type de contrôle et ces réglages, on obtient les performances de la figure 5, Annexe 2.

Calculer dans ce cas : le dépassement D%, l'erreur de position ou écart statique  $\epsilon_p$ , 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 ?

**Annexe 1 : PCF et TI du procédé agro-alimentaire**



**ANNEXE 1 : Figure 4**



**Figure 4 :** Shéma PCF d'un procédé de stérilisation de lait

**Annexe 2 : Courbes de réponse**

**Figure 2 : Identification en boucle ouverte, boucle TIC2**

