

Brevet de Technicien Supérieur

**CONTRÔLE INDUSTRIEL
et
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

U41 – Instrumentation et Régulation

Durée : 3 heures

Coefficient : 4

L'utilisation d'une calculatrice réglementaire est autorisée.

Calculatrice conformément à la circulaire n° 99-186 du 16/11/1999.

Aucun document autorisé.

Tout autre matériel est interdit.

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.
Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.*

**L'annexe 3 -document réponse 3- est fournie en double exemplaire,
un exemplaire étant à remettre avec la copie ;
l'autre servant de brouillon éventuel.**

Les parties 1 à 6 sont liées et les parties 7 à 13 sont indépendantes et peuvent être traitées séparément. Il est cependant recommandé de les traiter dans l'ordre donné après avoir lu l'intégralité du sujet.

Étude d'une installation de fabrication de vanilline

Le sujet traite de l'étude partielle d'une installation de production de vanilline ou arôme synthétique de vanille. Ce composé peut être produit sous deux formes différentes suivant sa finalité : cristallisée pour l'industrie alimentaire ou écaillée pour l'industrie pharmaceutique.

Le principe de fabrication complexe enchaînant différentes phases est présenté simplifié en *annexe 1 page 6/13*.

L'étude portera sur la partie traitement de la vanilline brute et plus spécialement sur l'unité de distillation (Cf. *Annexe 2 page 7/13*). Le schéma TI du procédé est donné en *annexe 3 -document réponse 3- page 9/13*. Le déplacement des fluides est assuré par aspiration, réalisée par un fonctionnement sous vide des colonnes. Pour simplifier, ces pompes à vide ne seront pas représentées.

Étude et compréhension du procédé : (Cf. *Annexe 2 page 7/13 et document réponse 3 page 9/13*)

La vanilline brute contient des impuretés lourdes (appelés goudrons : dialdéhydes, etc...) et légères (ortho-vanilline) qui sont éliminées dans deux colonnes C341 et C342 (Cf. *annexe 3 - Document réponse 3- page 9/13*)

- ☞ Une colonne d'épuration C341 sous vide (10mbar abs) chargée d'éliminer les impuretés lourdes. Ces impuretés, appelées goudrons, sont épuisées dans un évaporateur et leur débit de soutirage est mesuré à l'aide du FT07. On élimine donc les produits en pied de colonne, d'où le nom « colonne d'épuration ». La vanilline distille en tête à une température de 138°C.
- ☞ Une colonne d'étêtage C342 sous vide (10mbar abs) chargée d'éliminer les impuretés légères : l'ortho-vanilline, goudron léger, distille en tête sous une température de 120°C. La vanilline est soutirée en milieu de colonne. On élimine donc les produits en tête de colonne, d'où le nom « colonne d'étêtage ». La fraction parvenant en pied de colonne est réinjectée dans la colonne C341.

La vanilline alors distillée contient encore des traces d'impuretés éliminées par dissolution puis cristallisation de la vanilline pure. Cette phase est réalisée dans un cristalliseur K500 après dissolution à 45°C dans un mélange hydrométhanolique (méthanol/eau). La cristallisation est effectuée en continu sous vide (P = 10mbar abs) à 25°C.

La suspension de vanilline cristallisée (22% en masse) est lavée dans un mélange méthanol / eau distillée. Elle est ensuite essorée, séchée dans un séchoir S502 sous azote puis conditionnée.

Le bilan des flux est le suivant :

→ Colonne C341 :

- ↳ Flux entrants : Alimentation de la colonne : FT09
Alimentation pied de colonne (reflux) : FT06
- ↳ Flux sortants : Soutirage tête de colonne : FT05
Soutirage des lourds : FT07

→ Colonne C342

- ↳ Flux entrants : Alimentation de la colonne : FT05
- ↳ Flux sortants : Soutirage en tête de colonne : FT22
Soutirage d'un mélange lourds résiduels / vanilline : FT06
Soutirage du produit « bon » : FT23

Suite à un vieillissement et un reclassement de l'installation, il est nécessaire d'y effectuer une rénovation partielle. Anciennement, les mesures de débits étaient réalisées à l'aide d'organes déprimogènes. Tous les choix se porteront sur du nouveau matériel dit « intelligent » et la migration du système de contrôle -commande est prévue vers un SNCC.

Le stockage sous forme de cristal et l'utilisation de produits actifs ont conduit l'unité à un reclassement ATEX, zone 1.

INSTRUMENTATION (10 POINTS)

1. Que signifie la mention : « unité de production classée ATEX, zone 1 » ?

Le choix technologique des débitmètres FT07 (liquide chargé en impuretés lourdes) et FT06 (débit de recyclage de la vanilline purifiée pour éviter le noyage de la colonne C342) est imposé par le procédé. Deux types ont été retenus : électromagnétique (fiche produit en *annexe 4 pages 10/13 et 11/13*) et par effet Doppler (fiche produit en *annexe 5 page 12/13*).

Les questions 2 à 6 ont pour but de finaliser le choix technologique.

2. Justifier le choix de ces 2 technologies retenues (électromagnétique et à effet doppler), en énonçant les qualités de ces matériels.

On mesure en pratique un débit moyen autour du point de fonctionnement de $6\text{m}^3/\text{h}$. La calibration réalisée est la suivante : $EM = 10\text{m}^3/\text{h}$; $Z = 0\text{m}^3/\text{h}$. (EM : Étendue de mesure ; Z : Décalage de zéro)

3. Déterminer la précision des deux appareils.
4. Lequel de ces instruments ne pourra pas être ici choisi ? Justifier en fonction des notices techniques et de la réponse à la question 3.
5. FT06 doit mesurer un débit maximal de $15\text{m}^3/\text{h}$. Déterminer si le choix d'une canalisation de DN40 est possible pour le montage d'un débitmètre électromagnétique. Justifier.
6. Déterminer la vitesse maximale du fluide dans la canalisation. Cette vitesse est-elle compatible avec le DN choisi ?

La température mesurée en tête de colonne par le TT03 doit être maintenue constante et égale à 138°C . Cette mesure est réalisée à l'aide d'une sonde à thermocouple de type T dont la table est donnée en *annexe 6 page 13/13*. La température ambiante est de 12°C . La calibration du transmetteur est $EM = 145^\circ\text{C}$; $Z = 5^\circ\text{C}$ et le signal de sortie du transmetteur se fait en courant normalisé 4-20mA.

7. Le transmetteur **ne possède pas** de circuit de compensation de soudure froide(CSF).
 - a. Déterminer les f.e.m. d'étalonnage, c'est-à-dire les deux tensions permettant de régler le signal de sortie à 4 mA puis 20 mA.
 - b. Déterminer la relation entre le signal de mesure M (en mA) et la fem E (en mV) du thermocouple, en supposant linéaire la relation $M = f(E)$.
 - c. Déterminer la fem E en mV et la valeur du signal de mesure M en mA pour $\theta = 138^\circ\text{C}$.
8. Le transmetteur **possède** un circuit de compensation de soudure froide.
 - a. Déterminer les f.e.m. d'étalonnage dans ce cas.
 - b. Déterminer la relation entre le signal de mesure M' (en mA) et la fem E' (en mV).
 - c. Déterminer la fem E' en mV et la valeur du signal de mesure M' en mA pour $\theta = 138^\circ\text{C}$.
 - d. Conclure sur le rôle du CSF (circuit de Compensation de Soudure Froide).

CONTRÔLE COMMANDE ET RÉGULATION (10 points)

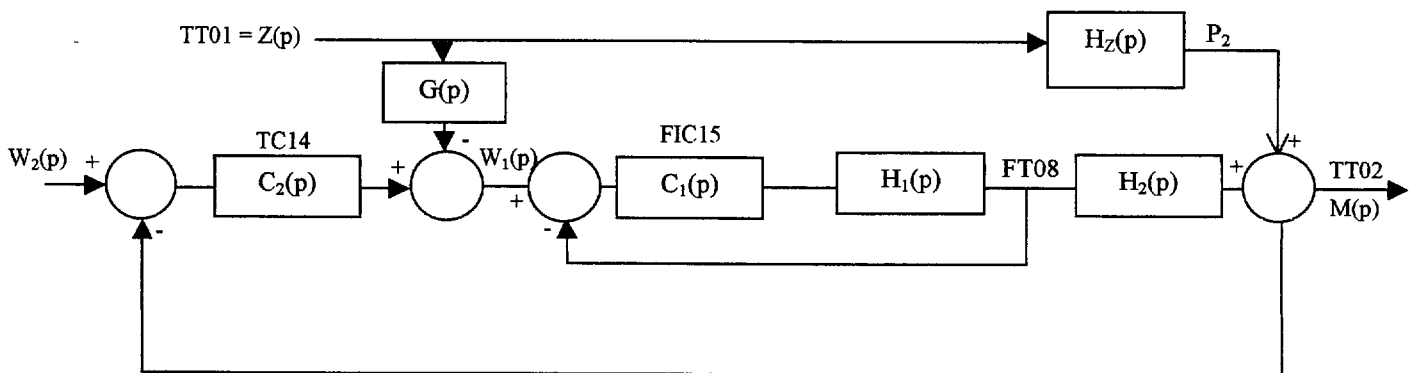
Le SNCC dispose de cartes d'entrées/sorties (IO) à 8 entrées analogiques actives (pour transmetteurs 2 fils) ou 8 entrées analogiques passives (pour transmetteurs 4 fils) ou 8 sorties analogiques. Seuls les transmetteurs de débit sont des transmetteurs 4 fils.

9. En utilisant l'annexe 3 -document réponse 3- page 9/13.
 - a. Faire un bilan de tous les instruments de mesure pour en déduire le nombre de cartes d'entrées nécessaires de chaque espèce.
 - b. Faire un bilan de tous les actionneurs pour déterminer le nombre de cartes de sorties nécessaires.

10. Étude d'une boucle complexe.
 - a. Quel est le type de régulation mise en place par les régulateurs TC31 et FC32 ?
 - b. Quel en est son rôle essentiel ? Justifier.

11. On désire maintenir le niveau de la colonne C341 constant pour ne pas la noyer. Il existe une boucle de régulation de débit, dont FT05 est le transmetteur.
 - a. Quel type de stratégie peut-on mettre en place compte tenu des appareils de mesure existants ? Expliquer votre raisonnement.
 - b. Compléter le schéma TI du document réponse 3 page 9/13 avec les nouveaux éléments.
 - c. Déterminer et justifier les sens d'action du ou des régulateurs nouvellement installés.

- ✓ 12. La régulation de température de pied de colonne C341 montre des défaillances liées aux variations de température d'arrivée de la vanilline brute. Afin de s'affranchir de ces perturbations, on met en place la stratégie suivante :



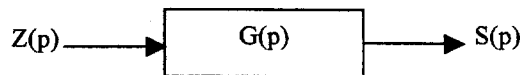
- a. Donner le nom de cette stratégie.
- ✓ b. Montrer que l'on peut mettre $M(p)$ peut se mettre sous la forme :

$$M(p) = \frac{Z(p)[H_Z(p) - G(p)F_1(p)] + C_2(p)F_1(p)W(p)}{1 + C_2(p)F_1(p)} \quad \text{avec} \quad F_1(p) = H_2(p) \frac{C_1(p)H_1(p)}{1 + C_1(p)H_1(p)}$$

manque indice 2.

- c. Déterminer l'expression de $G(p)$ en fonction de $F_1(p)$ et $H_Z(p)$ permettant de s'affranchir des variations de températures mesurées par TT01.
- d. Exprimer $G(p)$ en fonction de $\tau_1, \tau_2, T_1, T_2, K_1$ et K_2 si $F_1(p) = \frac{K_2 e^{-T_2 p}}{1 + \tau_2 p}$ et $H_Z(p) = \frac{K_1 e^{-T_1 p}}{1 + \tau_1 p}$.
- e. On suppose $T_1 \approx T_2$. Montrer que $G(p)$ peut s'écrire : $G(p) = K \frac{1 + \tau_2 p}{1 + \tau_1 p}$ où on exprimera K en fonction de K_1 et K_2 .

* 13. La bibliothèque du SNCC étant très sommaire, on se propose de synthétiser $G(p)$ par son équation récurrente. Le degré du numérateur étant le même que celui du dénominateur, l'utilisation habituelle de la « transformée en z » n'est pas adaptée. On se propose de déterminer l'équation récurrente fournissant l'échantillon s_n en passant par l'analyse temporelle de sa fonction de transfert $G(p)$.



- a. Déterminer $S(p)$ en fonction de $G(p)$ et $Z(p)$.
- b. Montrer que $s(t)$ vérifie l'équation différentielle suivante :

$$s(t) + \tau_1 \frac{ds(t)}{dt} = K \cdot z(t) + K \cdot \tau_2 \frac{dz(t)}{dt}$$

- ψ c. On numérise $z(t)$ à l'aide d'un bloc AI utilisant un CAN de période d'échantillonnage T_e . Déterminer l'équation récurrente approchée, calculant s_n en fonction de $z_n, z_{n-1}, s_{n-1}, (T_1, T_2)$ et K .

(tau_1 et tau_2) / T_e
autre dérivée

Rappel : La dérivation temporelle sera approximée par la dérivée « arrière » :

$$\frac{dx(t)}{dt} \xrightarrow[\text{numérique}]{\text{Transposition}} \frac{x_n - x_{n-1}}{T_e}$$

La programmation de ce genre d'équation est réalisable dans le SNCC par un bloc FBD (Function Block Diagram) écrit en ST (Structured Text) mais ne sera pas traitée ici.