

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.

Note : Toutes les parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément, il est cependant recommandé de les traiter dans l'ordre naturel après avoir lu l'intégralité du sujet.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

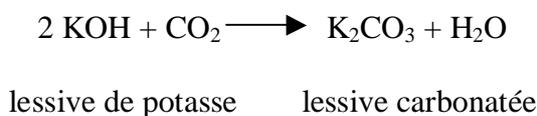
Les ANNEXES 1, 2, 3 et 6 sont à rendre agrafées à la copie d'examen par le surveillant sans aucune identité du candidat.

EXTRAIT DE LA FABRICATION DE LA LESSIVE CARBONATÉE

(Première évaporation)

TOUS LES CAPTEURS ET ORGANES RÉGLANTS NÉCESSAIRES APPARAISSENT SUR LE SCHÉMA DE L'ANNEXE 1 PAGE 7.

La réaction chimique de la fabrication de la lessive carbonatée est la suivante :



Cette lessive dissoute dans l'eau doit être séchée et cristallisée en vue de sa commercialisation.

La cristallisation et l'évaporation de l'eau nécessitent trois étapes. Nous nous intéresserons lors de cette étude à la première étape qui consiste en une évaporation de la lessive (*voir annexe 1 page 7*).

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, est envoyé dans un réchauffeur avant de subir une première évaporation. La lessive parvient enfin dans un 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 permet le recyclage de la lessive afin de maintenir un débit minimum de 5 kg.h⁻¹ à la sortie du séparateur afin d'éviter tout risque de colmatage. Ce recyclage se referme progressivement dès que le débit de sortie q_s lessive augmente. Il est complètement fermé lorsque ce débit de sortie q_s dépasse les 5 kg.h⁻¹ (On ne traitera pas ici la sécurité de bas débit sur la pompe P₂).

Les vannes automatiques sont de caractéristiques linéaires. Les vannes automatiques V₁, V₂ et V₃ sont de type fermées par manque d'air (FMA ou NF). La vanne de recyclage V₄ est de type ouverte par manque d'air (OMA ou NO).

I - Niveau du bac à lessive : (4 pts)

- 1- Le transmetteur de niveau LT1 mesure la pression différentielle entre les deux piquages, et il est réglé de façon à ce que son signal de sortie augmente lorsque sa $\Delta P = HP - BP$ augmente. Réaliser, sur le document en **annexe 3 page 9 à rendre avec la copie**, le schéma de montage complet du transmetteur en plaçant les différents éléments permettant une mesure correcte et les différentes vannes manuelles pour sa mise en service, sa vérification locale et sa maintenance.
- 2- Les chambres HP et BP du transmetteur de pression différentielle ont été raccordées comme indiqué sur le schéma de l'**annexe 3 page 9**. Écrire l'équation $\Delta P = f(h)$. En déduire le sens d'évolution du signal de sortie du transmetteur en fonction du niveau.

On rappelle que la hauteur de liquide du côté de la chambre HP est toujours de 2,5 m grâce au pot de liquide tampon.
- 3- Sachant que la hauteur maximale mesurée h_{max} est de 2 m, calculer l'échelle et le décalage de zéro du transmetteur.
- 4- D'après la documentation d'un constructeur en **annexe 4 page 10**, choisir le modèle et le code du transmetteur. Justifier votre réponse.
- 5- Réaliser le schéma T.I (Tuyauterie et Instrumentation) de la chaîne de régulation (LT1, V_1) de telle sorte que le niveau reste constant. (Sur le schéma joint en **annexe 1 page 7**). Préciser le sens d'action du régulateur utilisé.

II - Température de l'évaporateur : (4 pts)

La température de l'évaporateur est mesurée au moyen d'un thermocouple associé à un transmetteur compensant la température de la soudure froide (**annexe 5 page 11 et 5bis page 12**).

- 1- Rappeler le principe d'une mesure de température par thermocouple. Représenter sur un schéma l'ensemble de la chaîne thermoélectrique, jusqu'au transmetteur.
- 2- L'étendue de mesure est 0 – 200 °C, donner un type de thermocouple et la nature des métaux pouvant être utilisés.
- 3- On décide d'utiliser un thermocouple de type T. La température dans l'évaporateur est de 130 °C et la température de la soudure froide est de 25 °C. En vous aidant des tables proposées en **annexes 5 page 11 et 5bis page 12**, déterminer la température indiquée si la compensation de soudure froide du transmetteur n'est pas active. (Effectuer une interpolation linéaire lorsque les valeurs que vous obtenez ne sont pas dans la table)
- 4- La pression de vapeur MP varie. Par conséquent, la régulation de température proposée n'est pas assez efficace.
 - 4-1 Proposer une nouvelle stratégie de régulation. Justifier votre choix.
 - 4-2 Sur le schéma de l'**annexe 1 page 7**, modifier le schéma T.I (Tuyauterie et Instrumentation) pour réaliser la chaîne que vous proposez. Préciser le sens du ou des régulateurs utilisés.

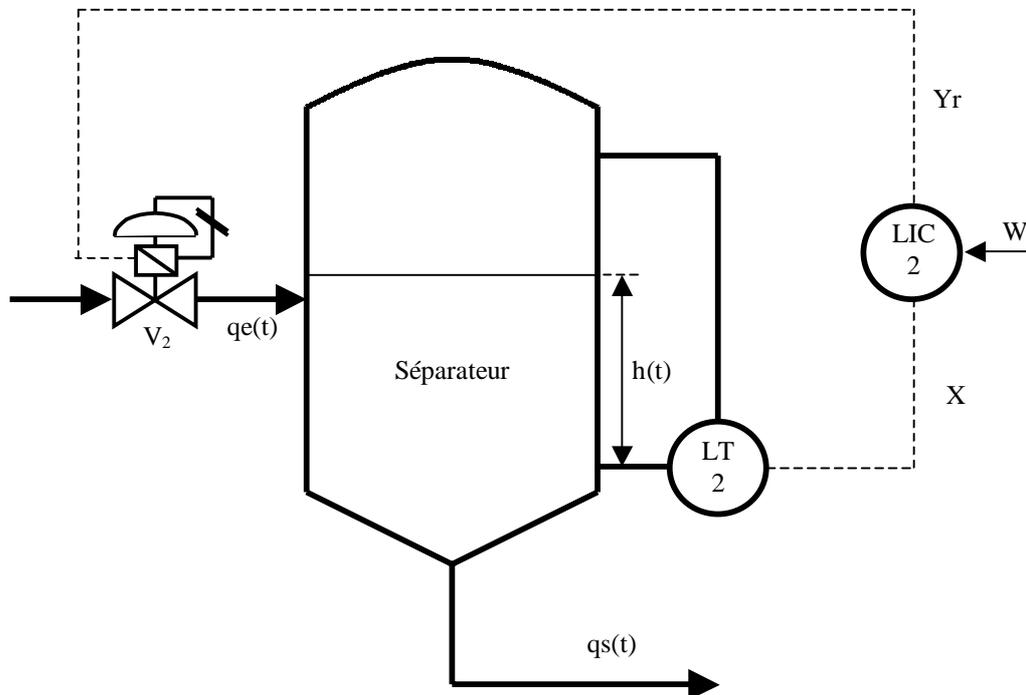
III - Débit de recyclage : (4 pts)

La chaîne de régulation qui permet de contrôler le débit de recyclage de la lessive est donnée sur le schéma joint en *annexe 1 page 7*.

- 1- Le débitmètre FT4 a une étendue de mesure de 0 - 5 kg.h⁻¹ et le débitmètre FT5 une étendue de mesure de 0 - 10 kg.h⁻¹. L'équation de l'opérateur est de la forme :
 $S=(a.E_1+a')+(b.E_2+b')$ où S, E₁ et E₂ sont les signaux réduits (variations entre 0 et 1).
Déterminer les constantes a, a', b et b' sachant que S, grandeur réduite, représente le débit de sortie q_s, avec une étendue de mesure de 0 – 15 kg.h⁻¹ comme la consigne.
- 2- Préciser le sens d'action du régulateur utilisé, justifier votre choix.
- 3- Réaliser, sur l'*annexe 2 page 8*, le schéma de câblage complet de la chaîne proposée. Les transmetteurs de débit sont passifs et le sommateur fournit son courant de sortie.

IV - Niveau du séparateur : (8 pts)

1- Dans un premier temps, simplifions la chaîne de telle façon qu'elle soit équivalente au schéma suivant :



$q_e(t)$ et $q_s(t)$: en m^3/h $h(t)$: en m

A : amplification du régulateur à action proportionnelle $A = 2$

S : section du réservoir $S = 3 \text{ m}^2$

On admet que la fonction de transfert de la vanne est $V_2(p) = \frac{Q_e(p)}{Y_R(p)} = 2$ et celle du transmetteur de niveau

$H_t(p) = \frac{X(p)}{H(p)} = 1$, où $Y_R(p)$ et $X(p)$ s'expriment en pourcentage de l'échelle de variation, $Q_e(p)$ et $H(p)$ étant

exprimés en unités physiques

Le système est régi par les équations suivantes :

$$q_e(t) - q_s(t) = S \cdot \frac{dh(t)}{dt} \quad q_s(t) = 4 \cdot h(t)$$

1-1 Trouver la fonction de transfert en chaîne ouverte :

$$G(p) = \frac{X(p)}{Y_R(p)}$$

En la proposant sous la forme :

$$G(p) = \frac{K_1}{1 + \tau_1 \cdot p}$$

Donner les valeurs numériques de K_1 et τ_1 .

CAE4IR

1-2 Trouver la fonction de transfert en chaîne fermée.

$$F(p) = \frac{X(p)}{W(p)}$$

Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$F(p) = \frac{K_2}{1 + \tau_2 \cdot p}$$

Calculer les valeurs de K_2 et τ_2 .

1-3 Nous prendrons pour la suite de l'exercice

$$F(p) = \frac{0,5}{1 + 0,4p}$$

Un échelon unitaire est appliqué sur l'entrée consigne du régulateur en automatique.

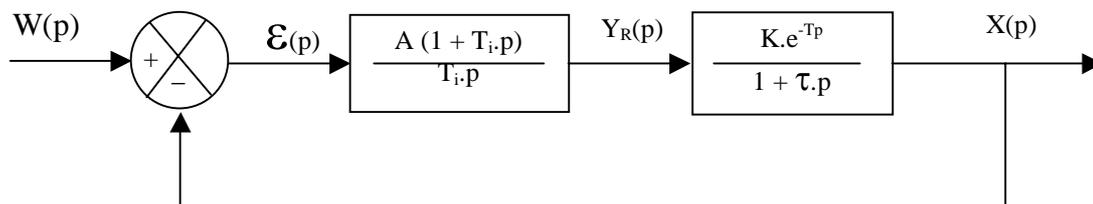
$$w(t) = u(t) \quad \Rightarrow \quad W(p) = \frac{1}{p}$$

1-3-1 Donner l'expression de $X(p)$.

1-3-2 En déduire la valeur limite atteinte par $h(t)$ si t devient très grand.

1-3-3 Que faudrait-il faire pour que la limite de $h(t)$ soit 1 ?

2- Dans la réalité, le procédé comporte un temps mort T . La modélisation du procédé valide le modèle de Broïda ci-dessous :



2-1 Un essai en boucle ouverte donne la courbe fournie en **annexe 6 page 13**, la graduation verticale étant dans une échelle arbitraire. Par la méthode de Broïda, donner la fonction

de transfert du système, appelée $H(p) = \frac{X(p)}{Y_R(p)}$.

2-2 Nous utiliserons maintenant un régulateur à actions proportionnelle et intégrale.

2-2-1 Quelle est la structure du régulateur proposée ci-dessus ?

2-2-2 On admet que :

$$H(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-0,3p}}{1 + 0,75 \cdot p}$$

En choisissant judicieusement T_i , déterminer la valeur de A afin que le système présente une marge de gain de 6 dB.

