

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

### U52 – Analyse d’une installation d’instrumentation, contrôle et régulation

SESSION 2022

*Durée : 3 heures*

*Coefficient : 5*

**Matériel autorisé :**

L’usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L’usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

**Aucun document autorisé.**

**Documents à rendre avec la copie :**

Annexe 1	page 7/10
Annexe 2	page 8/10
Annexe 3	page 9/10.

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu’il est complet.  
Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10.**

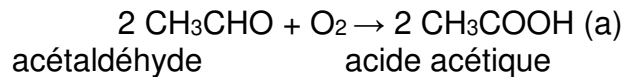
**S’il apparaît au candidat qu’une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu’il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.**

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2022
Analyse d’une installation d’instrumentation, contrôle et régulation	Code : 22CA52AII	Page 1 sur 10

## SYNTHÈSE DE L'ACIDE ÉTHANOÏQUE

L'oxydation de l'acétaldéhyde (ou éthanal) demeure la seconde voie la plus importante de synthèse de l'acide éthanoïque ou acide acétique, bien qu'elle ne soit pas compétitive par rapport à la carbonylation du méthanol.

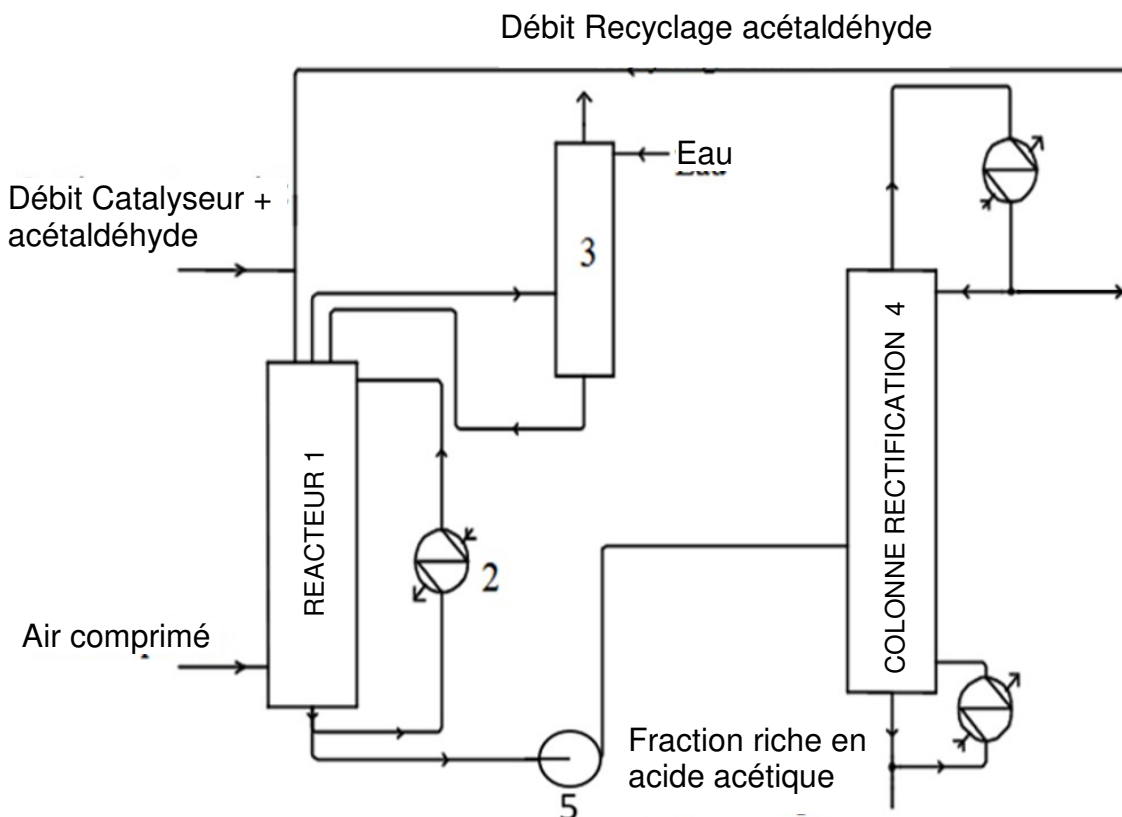
À 70°C et 10 bar, en présence de différents ions métalliques, en particulier de manganèse, de cobalt et de chrome, qui jouent le rôle de catalyseur, l'acétaldéhyde peut être oxydé par le dioxygène de l'air pour produire de l'acide acétique. L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique s'écrit :



Grâce aux catalyseurs, cette transformation chimique peut atteindre un rendement de plus de 95 %. Les principaux sous-produits sont l'acétate d'éthyle, l'acide formique et le formaldéhyde. Tous ces composés ont une température d'ébullition inférieure à celle de l'acide acétique et peuvent être facilement séparés par distillation.

La production totale d'acide acétique est estimée à 5 mégatonnes par an, dont environ la moitié vient des États-Unis. La production européenne se situe à environ 1 mégatonne par an et est en diminution. Enfin 0,7 mégatonne par an est fabriquée au Japon. 1,5 mégatonne par an est recyclée, ce qui situe le marché mondial à 6,5 mégatonnes par an.

### DESCRIPTION DU PROCÉDÉ



BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2022
Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation	Code : 22CA52AII	Page 2 sur 10

Le réacteur (1) est une tour cylindrique fonctionnant sous une pression de 10 bar.

Au sommet de ce réacteur sont introduits à l'aide d'une rampe de pulvérisation : l'acétaldéhyde recyclé provenant de la colonne de rectification (4), et le catalyseur (mis en solution dans l'acétaldéhyde). Le réacteur est alimenté en air comprimé à contre-courant. Les débits des réactifs sont maintenus constants.

La réaction étant exothermique, il faut évacuer l'énergie libérée. Pour cela, une fraction du milieu réactionnel circule au moyen d'une pompe centrifuge, au travers d'un échangeur (2) alimenté en eau, la circulation des fluides s'effectuant à contre-courant.

Le débit du milieu réactionnel recyclé est constant et la température dans le réacteur est régulée par le débit d'eau. Les gaz résiduels sortant du réacteur, entraînant de faibles quantités de produits et de réactifs, sont détendus et introduits dans une colonne de lavage (3).

Les gaz sont lavés à l'eau avant d'être rejetés dans l'atmosphère. La solution récupérée en pied de colonne est recyclée et renvoyée, à l'aide d'une pompe centrifuge, dans le réacteur. Le milieu réactionnel est soutiré du réacteur (1) en fonction du niveau de liquide dans (1) puis envoyé par la pompe (5) dans une colonne de rectification (4). Cette colonne fonctionne sous pression. En tête, on récupère l'éthanal non converti qui est alors recyclé dans (1). En pied, on obtient une fraction riche en acide acétique.

On précise que les vannes de régulation V1 et V2 sont NF, les vannes de régulation V3, V5, V6 sont NO et de type électropneumatique. (Cf. ANNEXE 1)

### **Boucle de régulation du débit d'éthanal recyclé**

**Q1** - Identifier la grandeur réglée, la grandeur réglante, la grandeur perturbatrice

**Q2** - Compléter le schéma TI en annexe 1 avec votre boucle de régulation du débit d'éthanal recyclé.

**Q3** - Déterminer par un raisonnement cohérent et complet le sens d'action du régulateur à programmer.

### **Boucle de régulation de niveau dans le réacteur**

**Q4** - Identifier la grandeur réglée, la grandeur réglante, la grandeur perturbatrice.

**Q5** - Compléter le schéma TI en annexe 1 avec votre boucle de régulation de niveau dans le réacteur.

**Q6** - Déterminer par un raisonnement cohérent et complet le sens d'action du régulateur à programmer.

La mesure du niveau en pied de réacteur est réalisée par un capteur de pression différentielle dont le montage est fourni en annexe 2. Les colonnes d'instrumentation sont remplies de fluide de masse volumiques  $850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . La masse volumique de la phase gazeuse peut être négligée.

**Q7** - Préciser le rôle de chacune des vannes manuelles numérotées de 1 à 5 (Cf. ANNEXE 2). Ces 5 vannes sont généralement montées ensemble dans un même dispositif. Comment s'appelle-t-il ?

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2022
Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation	Code : 22CA52AII	Page 2 sur 10

**Q8** - Déterminer le décalage de zéro et l'étendue d'échelle du capteur à l'aide des données fournies sur le schéma en annexe 2. On prendra  $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

***Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse à la question suivante. L'appropriation, l'analyse et la rédaction seront des compétences valorisées sur cette question.***

Lors du démarrage de l'installation, avant l'envoi d'air comprimé à contre-courant dans le réacteur, il n'y a pas de bulles dans le réacteur, la mesure du niveau donne alors une mesure erronée.

**Q9** – Les bulles dans le Réacteur 1 modifient la masse volumique du liquide. La mesure fournie est-elle surévaluée ou sous-évaluée ? Proposer une autre technologie de mesure du niveau dans le réacteur permettant de s'affranchir de ce problème.

### **Boucle de régulation de température dans le réacteur (70°C)**

La température en entrée de l'échangeur doit être affichée en continu sur l'IHM (Interface Homme Machine non étudiée). Un capteur de température est associé à un transmetteur qui fournit un signal 4-20 mA transmis à une carte d'entrée analogique de l'automate. Dans le transmetteur, le signal est converti par un CAN. On demande un affichage de la température à 0,1°C près.

**La documentation technique de trois convertisseurs est fournie en annexe 4.**

**Q10** - Justifier le choix du transmetteur respectant le cahier des charges (température et précision).

**Q11** - Calculer la valeur du courant de sortie du transmetteur pour une température de 70°C.

**Q12** - Calculer en binaire naturel la valeur du mot en sortie du CAN pour une température de 70°C.

Le débit de l'eau de refroidissement de l'échangeur 2 est sujet à variations. On se propose donc de mettre en place une régulation cascade débit-température sur le contrôle de la température du réacteur 1.

**Q13** - Identifier la grandeur maître et la grandeur esclave. Justifier ce choix de régulation.

**Q14** - Réaliser le schéma TI correspondant sur l'annexe 1.

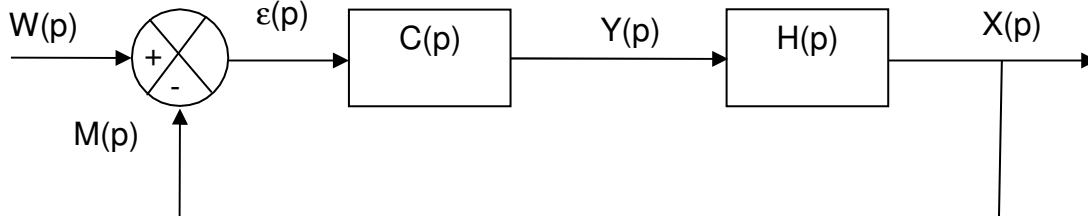
**Q15** - Déterminer le sens d'action des deux régulateurs installés.

**Q16** - La configuration logicielle de cette stratégie est réalisée par langage FBD (Programmation par chaînage de blocs). Compléter le schéma de câblage graphique fourni sur l'annexe 3.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2022
Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation	Code : 22CA52AII	Page 2 sur 10

Étude des performances en boucle fermée.

Pour simplifier les calculs, on considère que le schéma fonctionnel de la boucle cascade (une fois la boucle esclave mise en service en automatique) peut se mettre sous la forme :



**Q17** - Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée  $F(p) = \frac{x(p)}{w(p)}$  en fonction de  $C(p)$  et de  $H(p)$ .

Sachant que  $H(p)$  peut se mettre sous la forme d'un système du 1<sup>er</sup> ordre :

$$H(p) = \frac{x(p)}{y(p)} = \frac{K}{1 + \tau p}$$

et que  $C(p)$  est un régulateur PI mixte de fonction de transfert

$$C(p) = \frac{x(p)}{y(p)} = A \left( 1 + \frac{1}{T_i + p} \right)$$

**Q18** - On pose  $T_i = \tau$ .

Montrer que la fonction de transfert en boucle fermée est de la forme

Quelle est la valeur de son gain statique  $K_{BF}$  ? En pratique, que cela signifie-t-il ?

Montrer que l'expression de sa constante de temps est :  $\tau_{BF} = \frac{\tau}{AK}$

### Gestion de la mise en sécurité par GRAFCET

La production normale est gérée par un grafcet nommé GPN commençant à l'étape 10. La gestion des alarmes est gérée par le grafcet de surveillance GS.

Le grafcet de gestion des arrêts d'urgence se nomme GUR et commence à l'étape 0.

**La table des variables est donnée en annexe 5.**

Cahier des charges :

Lorsque le bouton d'arrêt d'urgence ARU est utilisé (contact NF) :

- le grafcet GPN est initialisé
- le grafcet GS est forcé à l'étape 20

Lors du redémarrage :

- le bouton d'arrêt d'urgence doit être déverrouillé
- le bouton Réarm sur l'IHM doit avoir été appuyé 3 secondes, la variable B10 passe à 1 (B10=1) si le temps d'appui est supérieur à 3 secondes
- le grafcet GPN doit être sur son étape initiale

**Q19** - Dessiner un grafcet GUR de gestion des arrêts d'urgence respectant le cahier des charges.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2022
Analyse $F(p) = \frac{K_{BF}}{1 + \tau_{BF} p}$ de la fonction d'instrumentation, contrôle et régulation	Code : 22CA52AII	Page 2 sur 10

## **Communication**

Le procédé est équipé d'un réseau local de communication connecté en étoile grâce à un routeur au reste de l'usine, dans lequel sont inclus un écran IHM, les 3 variateurs de vitesse et l'automate de gestion API. Chaque composant possède une adresse IP.

L'adresse IP du réseau est : 172.16.10.0.

Le masque de sous-réseau est : 255.255.255.0.

L'API est sur la première adresse machine : 172.16.10.1

**Q20** - Définir la fonction du masque de sous-réseau.

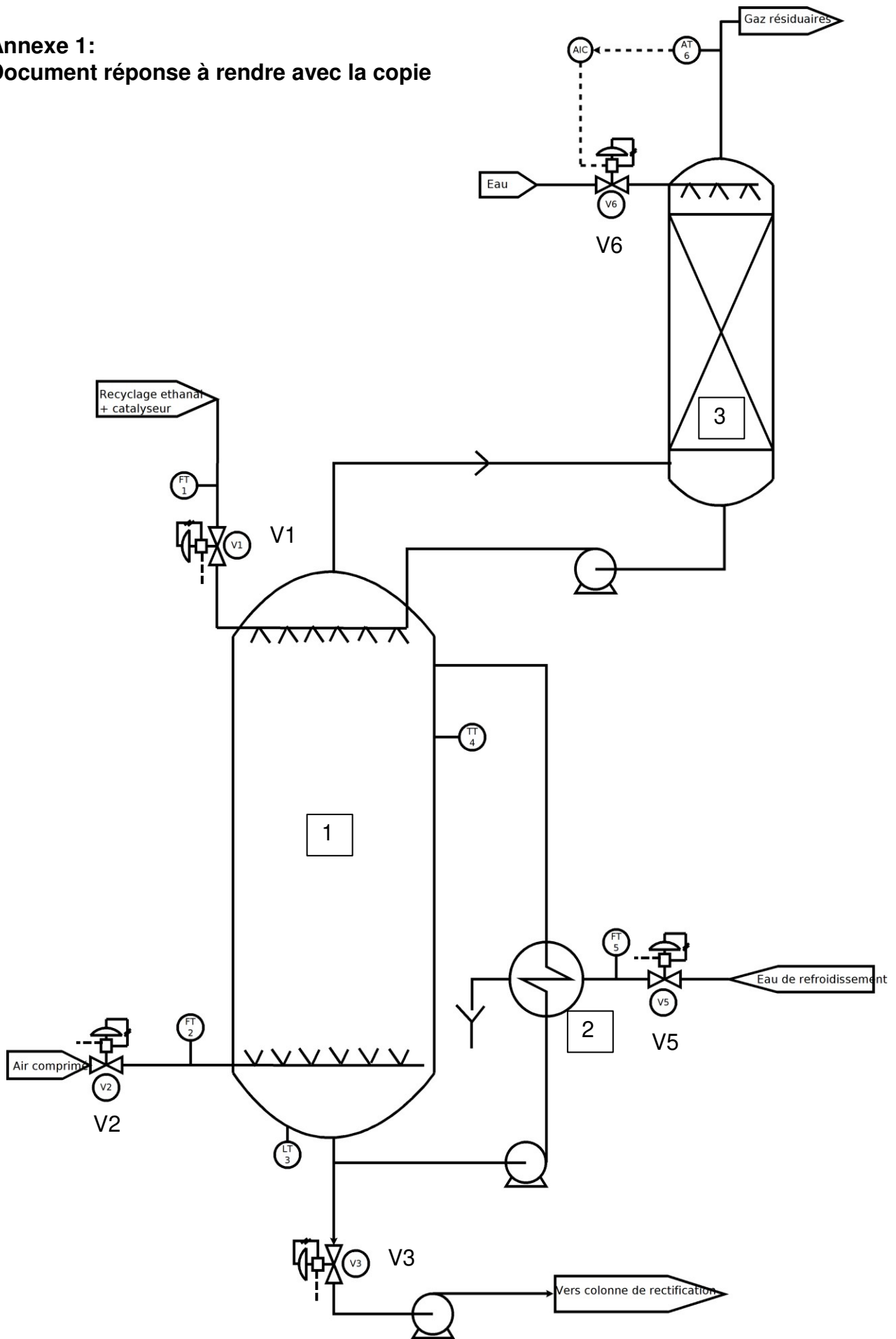
**Q21** - Donner le nombre d'adresses disponibles sur ce réseau.

On attribue l'adresse 172.16.10.5 à l'IHM.

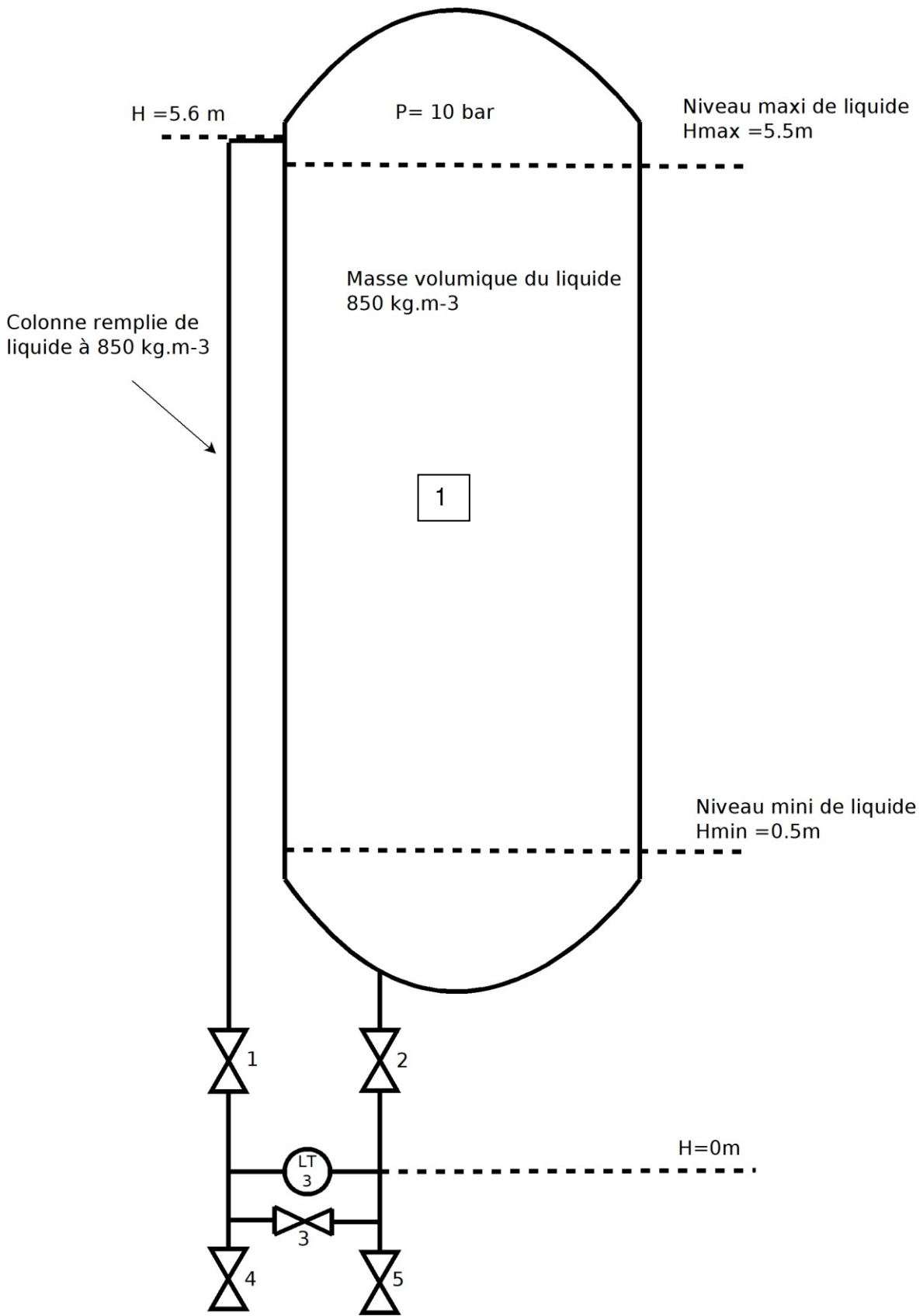
**Q22** - Cette adresse est-elle compatible avec ce réseau ? Justifier.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2022
Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation	Code : 22CA52AII	Page 2 sur 10

**Annexe 1:**  
**Document réponse à rendre avec la copie**



**Annexe 2 :**  
**Document réponse à rendre avec la copie**





**Annexe 3 :**  
**Document réponse à rendre avec la copie**

TT4

FT5

Régulateur Maître  
 Mesure  
 Consigne  
Sortie

Régulateur Esclave  
 Mesure  
 Consigne  
Sortie

Commande vanne

**Annexe 4 :**  
**Document technique : capteurs de température**

Dénomination	CT1	CT2	CT3
Type de capteur	PT100	PT100	PT1000
Nombre de fils	2 ou 3	2, 3 ou 4	2, 3 ou 4
Étendue de mesure	0 – 100 °C	0 – 100 °C	-200 – 950 °C
Transmetteur	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA
Normes	EN 60751/IEC 60751	EN 60751/IEC 60751	EN 60751/IEC 60751
Résolution CAN	8 bits	10 bits	10 bits
Longueur d'insertion	110 mm	120 mm	130 mm
Poids	120g	150g	150g

**Annexe 5 :**  
**Table des variables API**

Nom	Type	Commentaires
DEFP1	BOOL	Défaut P1
ARU	TOR	Bouton arrêt d'urgence
V1	TOR	Vanne NF
V2	TOR	Vanne NF
V3	TOR	Vannes NO
V4	TOR	Vannes NO
V5	TOR	Vannes NO
V6	TOR	Vannes NO
P1	TOR	Pompe 1
P2	TOR	Pompe 2
P3	TOR	Pompe 3
AL	BOOL	Alarme IHM
VOYR	TOR	Voyant rouge pupitre
REARM	BOOL	Bouton de réarmement sur l'IHM
B10	BOOL	Mémoire temps d'appui sur REARM > 3s