

Brevet de Technicien Supérieur

CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

U41 – Instrumentation et régulation

Durée : 3 heures

Coefficient : 4

Matériel autorisé :

Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Cirulaire n° 99-186, 16/11/1999).

Tout autre matériel est interdit.

Aucun document autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

Les **documents réponses 1** (pages 10 et 11), **2** (pages 12 et 13), **3** (pages 14 et 15), **4** (pages 16 et 17) et **5** (pages 18 et 19) sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à **remettre avec la copie**, l'autre servant de brouillon éventuel.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 19 pages, numérotées de 1/19 à 19/19.

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 2016
INSTRUMENTATION ET RÉGULATION	Code : CAE4IR	Page 1/19

PRODUCTION DE SUCRE – ÉPURATION ET CONCENTRATION

Le procédé étudié dans ce sujet est basé sur la production de sucre cristal à partir de la betterave sucrière.

Le Plan de Circulation des Fluides (PCF) de l'ensemble de l'installation est représenté en **annexe 1, page 7/19**.

La première étape consiste à épurer le jus sucré de débit volumique Q_{Js} ④ dans trois zones distinctes (le chaulage, la carbonisation et la filtration).

Le jus sucré filtré obtenu de débit volumique Q_{JsF} ⑤ est ensuite chauffé dans un four de cuisson par de la vapeur de débit Q_{vap} ⑥ afin d'obtenir un jus concentré sucré de teneur en saccharose imposé de débit volumique Q_{JsC85} ⑧.

On obtiendra enfin le sucre cristal par une unité de cristallisation non étudiée dans ce sujet.

Cinq régulations distinctes seront développées ci-après :

- 1- Le débit massique de pierres à chaux Q_{mPC} ① est mesuré par une bande peseuse et réglé par la vitesse d'entraînement du tapis.
- 2- Le débit volumique de lait de chaux Q_{vLC} ③ est obtenu par mélange des pierres à chaux et d'eau de débit volumique Q_{vE} ② selon un ratio précis.
- 3- Le niveau de jus sucré filtré dans le four de cuisson est réglé par action sur le débit volumique Q_{JsF} .
- 4- La température du jus filtré dans le four est réglée par action sur le débit vapeur Q_{vap} .
- 5- La densité du jus concentré est réglée par action sur les débits volumiques de recirculation Q_{Rec} ⑦ et de jus concentré Q_{JsC85} ⑧.

Ce sujet sera décomposé en trois parties pouvant être traitées séparément :

- **Partie A** – Fabrication du lait de chaux : questions 1 à 10 - *Régulation*
- **Partie B** – Gestion du four de cuisson : questions 11 à 21 - *Régulation & Instrumentation*
- **Partie C** – Production du sirop : questions 22 à 29 - *Régulation & Instrumentation*

Les signaux des transmetteurs sont linéaires de sortie normalisée 4-20 mA.

Les caractéristiques installées des vannes sont considérées linéaires.

PARTIE A – Fabrication du lait de chaux (7 points)

➤ **Régulation de débit massique de pierres à chaux $Q_{mPC}①$**

Q1. Compléter le plan T.I. (Tuyauterie et Instrumentation) de la régulation massique de débit de pierres à chaux sur le **document réponse 1 page 11/19**.

➤ **Régulation de débit volumique de lait de chaux $Q_{vLC}③$**

Le débit volumique de lait de chaux est obtenu par un ratio précis entre le débit de pierres à chaux et le débit d'eau de dissolution.

Q2. À partir du plan T.I. en **annexe 1 page 7/19**, préciser la technologie utilisée pour la mesure du débit d'eau.

Q3. Donner le nom de la stratégie de régulation proposée en **annexe 1 page 7/19**. Préciser les grandeurs menée et menante.

Q4. Compléter le schéma-bloc SNCC correspondant à cette stratégie sur le **document réponse 1 page 11/19**.

Le cahier des charges impose un débit volumique de lait de chaux $Q_{vLC}③$ de $18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et de masse volumique $\rho_{LC} = 1\,200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. On cherche à régler précisément le débit d'eau de dissolution par ajustage du coefficient $K\%$.

Le débit massique total de lait de chaux Q_{mLC} est égal à la somme du débit massique de pierres à chaux $Q_{mPC}①$ et du débit massique d'eau $Q_{mE}②$.

Q5. Écrire l'égalité reliant Q_{mLC} à Q_{mPC} et Q_{mE} .

Tableau de données du procédé

	Lait de chaux	Pierres à chaux	Eau de dissolution
Débit volumique ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	18,0		À déterminer
Débit massique ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	À déterminer	1,5	À déterminer
Masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 200	3300	1 000
Étalonnage Transmetteur		0 – 2 $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	0 – 25 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Q6. À partir du tableau de données du procédé, calculer le débit massique de lait de chaux Q_{mLC} ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$). $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$: tonne par heure.

Q7. En déduire, le débit massique d'eau de dissolution Q_{mE} ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$) et son débit volumique $Q_{vE}②$ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

Q8. Calculer le coefficient de proportionnalité $R = \frac{Q_{vE}}{Q_{mPC}}$ en ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$).

CAE4IR

On choisira un coefficient de proportionnalité $R = 12$ pour la question suivante.

Le coefficient de proportionnalité $K\%$ entre les deux signaux normalisés $X_{1(\%)}$ et $X_{2(\%)}$, à implémenter dans le bloc SNCC « ANCON » dépend des coefficients d'étalonnage K_{PC} (FT 1), de K_E (FT 2) et de R .

On rappelle que le coefficient d'étalonnage désigne la constante qui relie le signal normalisé de mesure à la grandeur physique.

$X_{1(\%)}$ est le signal normalisé de la mesure du débit massique Q_{mPC} ($t.h^{-1}$).

$X_{2(\%)}$ est le signal normalisé de la mesure du débit volumique Q_{vE} ($m^3.h^{-1}$).

Q9. Exprimer X_1 (%) en fonction de Q_{mPC} ($t.h^{-1}$) et X_2 (%) en fonction de Q_{vE} ($m^3.h^{-1}$).

Q10. Exprimer $K\%$ en fonction de K_{PC} , K_E et R . Calculer numériquement $K\%$.

PARTIE B – Gestion du four de cuisson (7 points)

➤ Régulation de niveau de jus sucré filtré

Le jus sucré filtré (forme liquide) de débit Q_{JsF} est envoyé dans plusieurs fours de cuisson (un seul est représenté sur le plan T.I.). Ce débit est donc sujet à de grandes variations en fonction de la demande sur l'ensemble des fours.

Q11. Afin que le niveau demeure insensible à ces variations, proposer une stratégie de régulation faisant intervenir la vanne FV4, et les transmetteurs FT4 et LT 3.

Q12. Compléter le plan T.I. de cette stratégie sur le **document réponse 2 page 13/19**.

Le transmetteur de débit FT4 est un débitmètre massique à force de Coriolis.

Q13. Donner son principe de fonctionnement en 5 lignes maximum.

Le débitmètre massique utilisé est le modèle OPTIMASS 7000 de marque KROHNE. Il est communiquant sous le protocole **HART**.

Q14. Donner un intérêt de ce type de communication.

Q15. À l'aide de la notice technique donnée en **annexe 2 page 9/19**, donner son débit massique maximum en $kg.h^{-1}$ pour un DN (Diamètre Nominal) de 25.

Q16. En déduire la stabilité de son zéro en $kg.h^{-1}$ pour un modèle en Acier Inox à l'aide de l'**annexe 2 page 8/19**.

Le débit massique mesuré réel Q_{JsF} est de $10 t.h^{-1}$.

Q17. Calculer son incertitude de mesure totale maximale en $kg.h^{-1}$ à l'aide de l'**annexe 2 page 8/19**.

CAE4IR

➤ Régulation de température du jus sucré filtré dans le four

La température du jus sucré dans le four de cuisson est réglée par le débit vapeur $Q_{\text{vap}}\text{Ⓢ}$.

Q18. Compléter le plan T.I. de cette stratégie sur le **document réponse 2 page 13/19**.

On désire régler le procédé de température par une méthode appropriée. Auparavant, il sera nécessaire d'identifier le procédé dont la réponse $x_5(t)$ à un échelon de commande $y_5(t)$ sur la vanne (TV 5). Voir **document réponse 3 page 15/19**.

Q19. Par la méthode de Broïda, en faisant figurer les traits de construction sur le **document réponse 3 page 15/19**, déterminer la fonction de transfert $H_5(p)$.

On considérera que la fonction de transfert du procédé s'écrira :

$$H_5(p) = \frac{X_5(p)}{Y_5(p)} = \frac{1,5}{1 + 900p} \cdot e^{-400p}$$

Le correcteur utilisé est de type PI mixte de fonction de transfert $C_5(p) = A_5 \frac{(1 + T_{i5} \cdot p)}{T_{i5} \cdot p}$

Q20. Déterminer judicieusement la valeur de la constante de temps d'intégration T_{i5} .

On souhaite obtenir un réglage de la marge de gain $MG = 10 \text{ dB}$.

Q21. Calculer la valeur de l'amplification A_5 .

PARTIE C – Production du sirop (6 points)

➤ Concentration en saccharose du jus concentré sucré

Pour connaître l'avancement de la cristallisation, on mesure la concentration en saccharose en sortie du four de cuisson à l'aide d'un module de mesure par micro-ondes. On souhaite alors que la concentration du jus en saccharose atteigne environ 90 °Brix (le °Brix est le pourcentage massique de saccharose dissous dans le mélange).

Lorsque les micro-ondes traversent le produit à mesurer, elles subissent une forte interaction due à la présence d'eau. Des mesures de déphasage et d'atténuation permettent de déterminer la teneur en eau avec une grande précision et donc d'en déduire la concentration en °Brix.

La grandeur « **Concentration** » est une fonction linéaire de la grandeur « **Déphasage** » de la forme :

$$\text{Concentration} = A_1 \times \text{Déphasage} + A_0$$

(Déphasage : entre 0 et 360°, Concentration exprimée en °Brix)

Les coefficients A_1 et A_0 ont été déterminés à l'aide d'échantillons de jus en concentrations connues.

CAE4IR

Les mesures sont données sur le **document réponse 4 page 17/19**.

- Q22.** Tracer sur le **document réponse 4 page 17/19** la droite ayant permis la détermination des coefficients A_1 et A_0 .
- Q23.** Déterminer graphiquement le coefficient A_1 de la fonction linéaire.

Le transmetteur de concentration est étalonné pour une mesure de 78 à 88 °Brix.

- Q24.** Relever les valeurs de déphasage correspondantes.
- Q25.** Pour une concentration de 85 °Brix, donner la valeur du courant généré par le transmetteur.

➤ Régulation de concentration en saccharose du jus concentré sucré

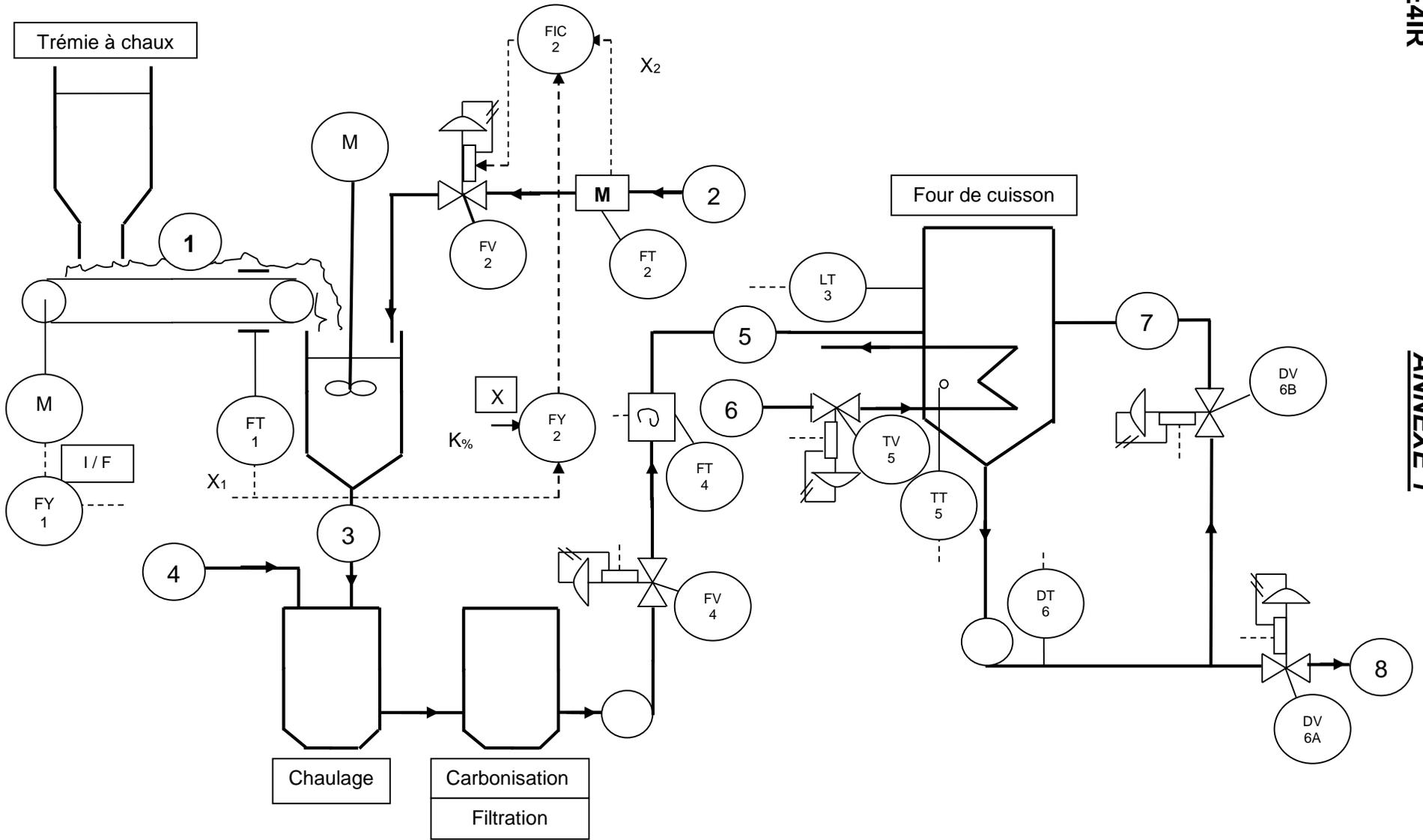
La concentration imposée pour le jus concentré sucré est de 85 °Brix. Cet ajustement est assuré par le débit de recirculation $Q_{Rec} \textcircled{7}$ (permettant de réinjecter ce jus dans le four si sa concentration est insuffisante) et par le débit de produit fini $Q_{JsC85} \textcircled{8}$.

- Q26.** Donner le nom de la stratégie de régulation réalisée.
- Q27.** Compléter le plan T.I. de cette stratégie sur le **document réponse 5 page 19/19**.

La vanne DV 6A est de type NF.

- Q28.** Donner le sens d'action de la vanne DV6B. Représenter sur le **document réponse 5 page 19/19** le diagramme de partage en % d'ouverture (le point de partage est fixé à 50%).
Compléter les dénominations de chaque vanne DV6A et DV6B sur chaque caractéristique sur le **document réponse 5 page 19/19**.
- Q29.** Donner le sens d'action du régulateur de concentration DIC 6. Justifier.

Plan Tuyauterie et Instrumentation de la production



2 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

OPTIMASS 7000

2.1 Caractéristiques techniques

- *Les données suivantes sont fournies pour les applications générales. Si vous avez une application spécifique, veuillez contacter votre représentant local.*
- *Des informations complémentaires (certificats, outils spéciaux, logiciels,...) et une documentation produit complète peuvent être téléchargées gratuitement de notre site Internet (centre de téléchargement).*

Système de mesure

Principe de mesure	Débit-masse par effet Coriolis
Domaine d'application	Mesure du débit-masse et de la masse volumique de liquides, gaz et solides
Valeurs mesurées	Masse, masse volumique, température
Valeurs calculées	Volume, masse volumique de référence, concentration, vitesse

Modèle

Version de base	Le système comporte un capteur de mesure et un convertisseur pour traiter le signal de sortie.
Avantages particuliers	Capteur de mesure sans entretien, entièrement soudé, avec monotube de mesure droit
Types	
Version compacte	Convertisseur intégral
Version séparée	Disponible avec convertisseur de mesure en versions intempéries, pour montage mural ou pour montage en rack 19"
Version Modbus	Capteur avec éléments électroniques complets fournissant une sortie Modbus pour raccordement à un automate programmable (API)

Incertitude de mesure

Masse	
Liquide	$\pm 0,1$ % du débit mesuré réel + stabilité du zéro
Gaz	$\pm 0,35$ % du débit mesuré réel + stabilité du zéro
Répétabilité	Inférieure à 0,05 % + stabilité du zéro (incluant les effets combinés de répétabilité, linéarité et hystérésis)
Stabilité du zéro	
Titane	$\pm 0,004$ % du débit maxi pour la taille du capteur concerné
Acier inox / Hastelloy® / tantale	$\pm 0,015$ % du débit maxi pour la taille du capteur concerné
Conditions de référence	
Produit	Eau
Température	+20°C / +68°F
Pression de service	1 barg / 14,5 psig
Influence d'une variation de la température de process sur le point zéro du capteur	
Titane	0,001% par 1°C / 0,00055% par 1°F
Acier inox / Hastelloy® / tantale	0,004% par 1°C / 0,0022% par 1°F
Influence d'une variation de pression de service sur le point zéro du capteur de mesure	
Titane / Acier inox / Hastelloy® / Tantale	0,0011% du débit maxi par 1 bar _{rel.} / 0,000076% par 1 psig
Masse volumique	
Échelle de mesure	400...2500 kg/m ³ / 25... 155 lbs/ft ³

Précision	$\pm 2 \text{ kg/m}^3 / \pm 0,13 \text{ lbs/ft}^3$
Étalonnage sur site	$\pm 0,5 \text{ kg/m}^3 / \pm 0,033 \text{ lbs/ft}^3$
Température	
Précision	$\pm 1^\circ\text{C} / \pm 1,8^\circ\text{F}$

Conditions de service

Diamètre nominal	
06	1230 kg/h / 45 lbs/min
10	3500 kg/h / 129 lbs/min
15	14600 kg/h / 536 lbs/min
25	44800 kg/h / 1646 lbs/min
40	120000 kg/h / 4409 lbs/min
50	234000 kg/h / 8598 lbs/min
80	560000 kg/h / 20567 lbs/min
Température ambiante	
Version compacte avec convertisseur en aluminium	-40...+60°C / -40...+140°F Échelle de température étendue : +65°C / +149°F pour certaines options d'E/S. Contactez le fabricant pour de plus amples informations.
Version compacte avec convertisseur en acier inox	-40...+55°C / -40...+130°F
Versions séparées	-40...+65°C / -40...+149°F

Température de process

Titane	-40...+150°C / -40...+302°F
Acier inox	0...+100°C / 32...+212°F Échelle de température étendue : 0...+130°C / 32...+266°F pour acier inox, tailles 25...80, uniquement raccords hygiéniques
Hastelloy®	0...+100°C / 32...+212°F
Tantale	0...+100°C / 32...+212°F

Pression nominale à 20°C / 68°F**Tube de mesure**

Titane	-1...100 barg / -14,5...1450 psig
Acier inox / Hastelloy® / tantale	-1...50 barg / -14,5...725 psig

Cylindre extérieur

Non homologué DESP / CRN	Pression de rupture typique > 100 barg / 1450 psig à 20°C
--------------------------	---

Enceinte de confinement certifiée DESP

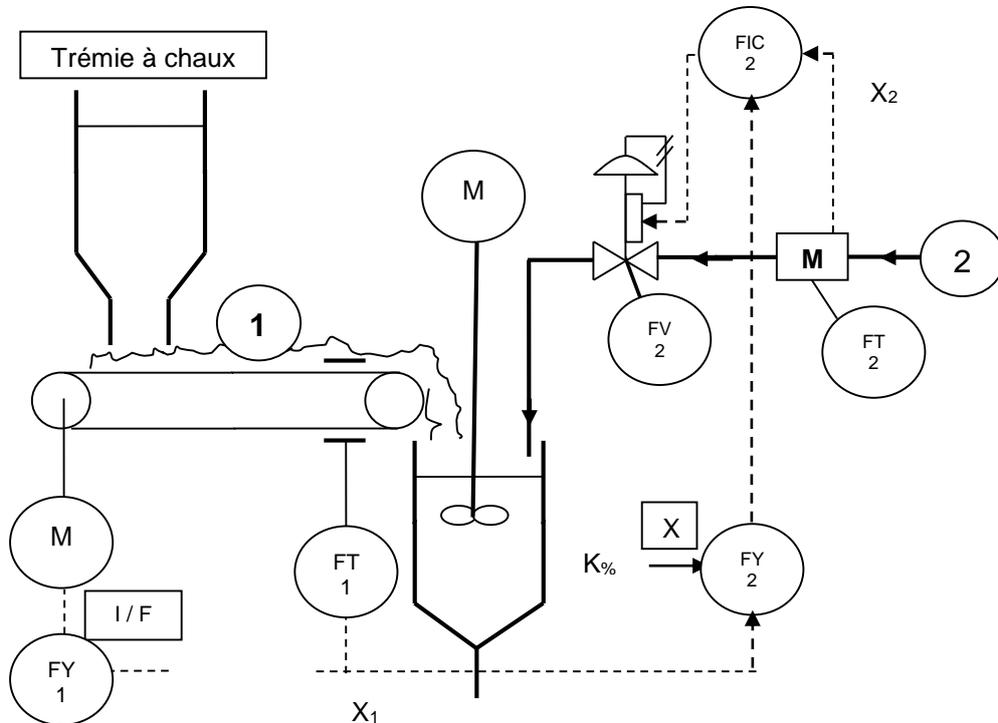
Titane (Cylindre extérieur en acier inox 304 ou 316)	-1...63 barg / -14,5...910 psig
Titane (Cylindre extérieur en acier inox 316)	-1...100 barg / -14,5...1 450 psig
Acier inox / Hastelloy® (Cylindre extérieur en acier inox 304 or 316)	-1...63 barg / -14,5...910 psig
Tantale (Cylindre extérieur 316)	-1...50 barg / -14,5...725 psig

Enceinte de confinement certifiée DESP / CRN

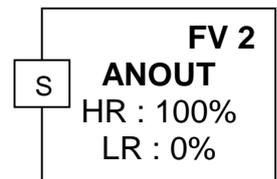
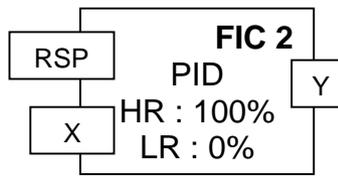
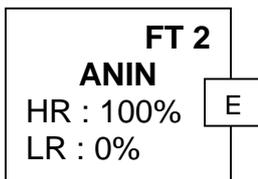
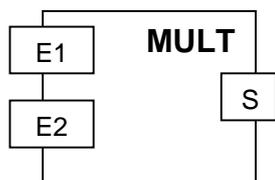
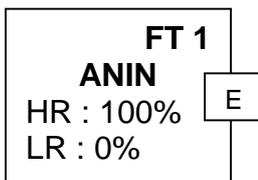
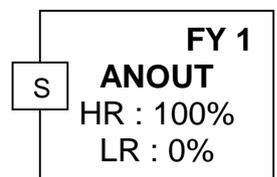
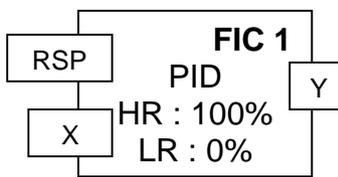
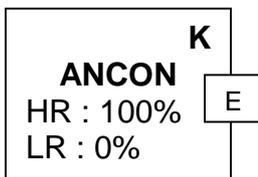
Titane (Cylindre extérieur en acier inox 304 ou 316)	-1...63 barg / -14,5...910 psig
--	---------------------------------

DOCUMENT RÉPONSE 1

QUESTION 1



QUESTION 4



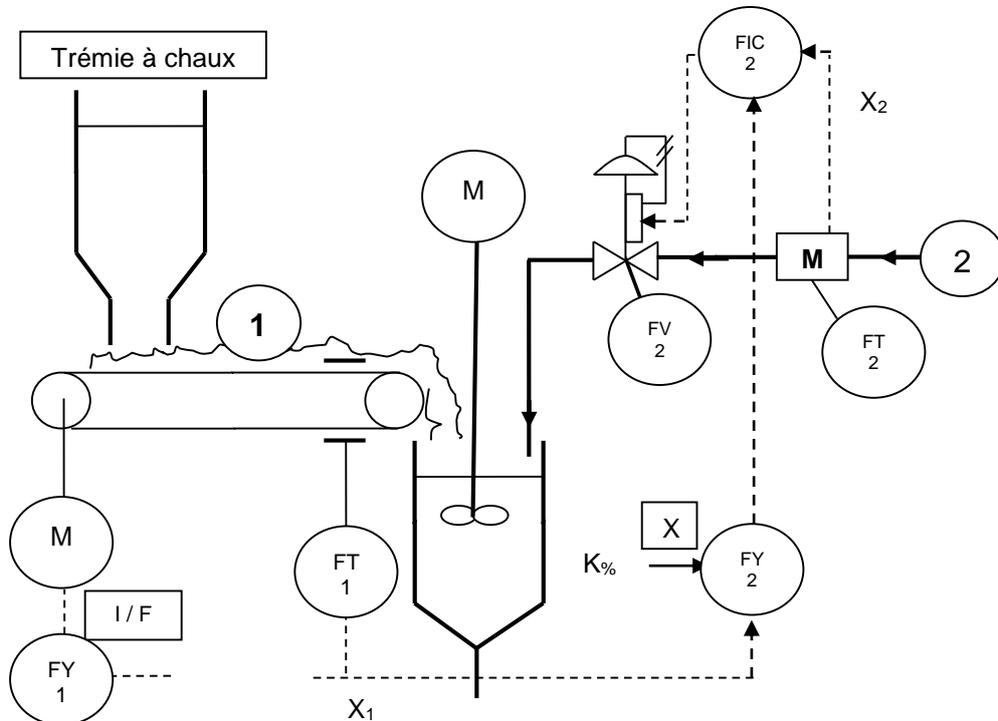
ANCON : Bloc de constante
 ANIN : Bloc d'entrée analogique 4-20 mA
 MULT : Bloc multiplieur à deux entrées
 ANOUT : Bloc de sortie analogique 4-20 mA
 PID : Bloc de régulation

E : Entrée
 S : Sortie
 X : Mesure
 Y : Commande
 RSP : Consigne externe

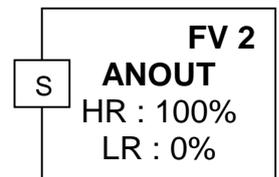
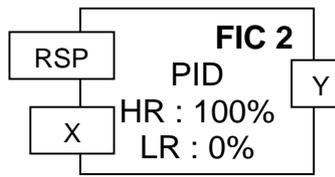
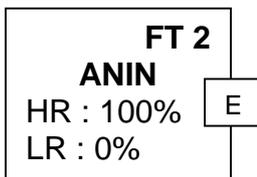
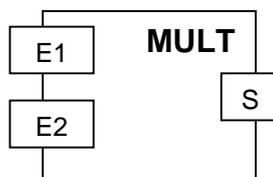
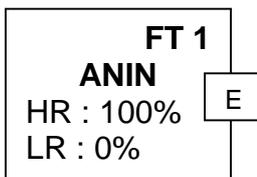
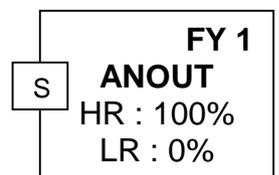
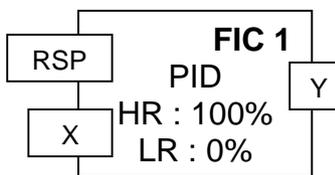
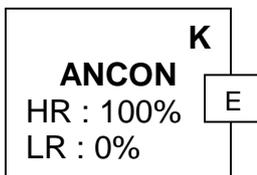
HR : Échelle Haute
 LR : Échelle Basse

DOCUMENT RÉPONSE 1

QUESTION 1



QUESTION 4



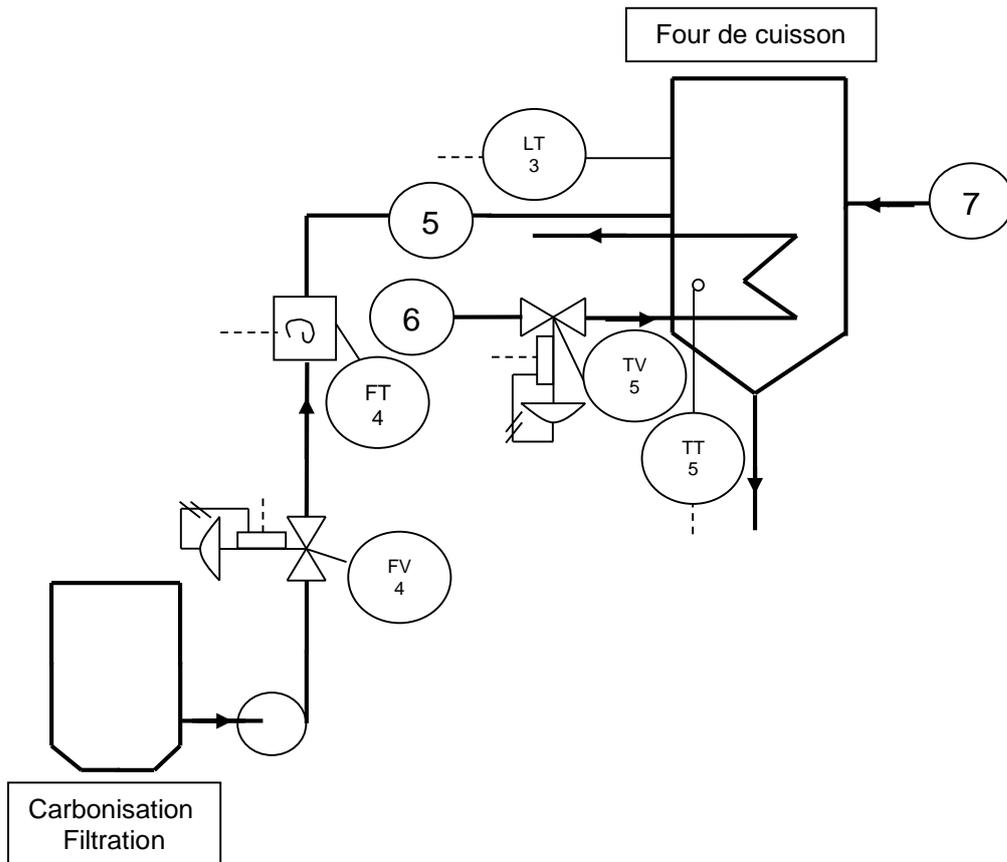
ANCON : Bloc de constante
 ANIN : Bloc d'entrée analogique 4-20 mA
 MULT : Bloc multiplieur à deux entrées
 ANOUT : Bloc de sortie analogique 4-20 mA
 PID : Bloc de régulation

E : Entrée
 S : Sortie
 X : Mesure
 Y : Commande
 RSP : Consigne externe

HR : Échelle Haute
 LR : Échelle Basse

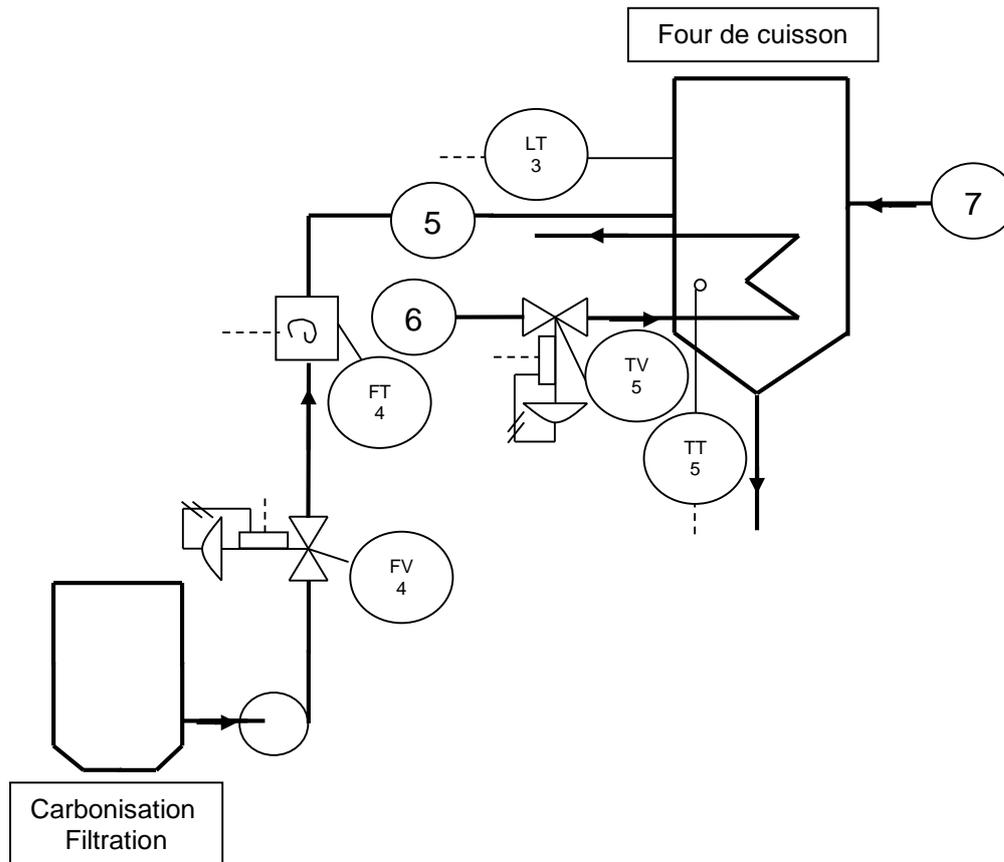
DOCUMENT RÉPONSE 2

QUESTIONS 12 et 18



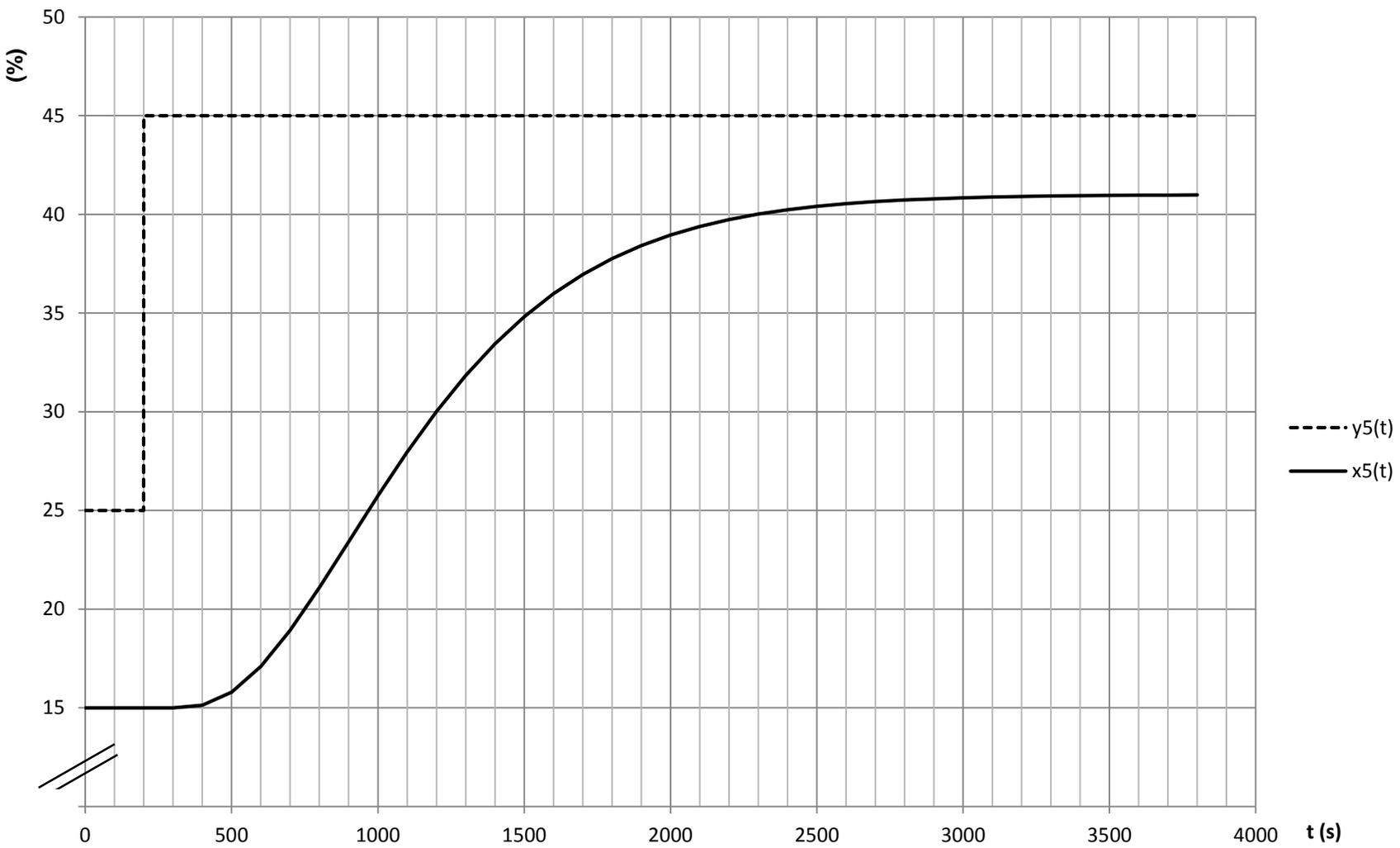
DOCUMENT RÉPONSE 2

QUESTIONS 12 et 18



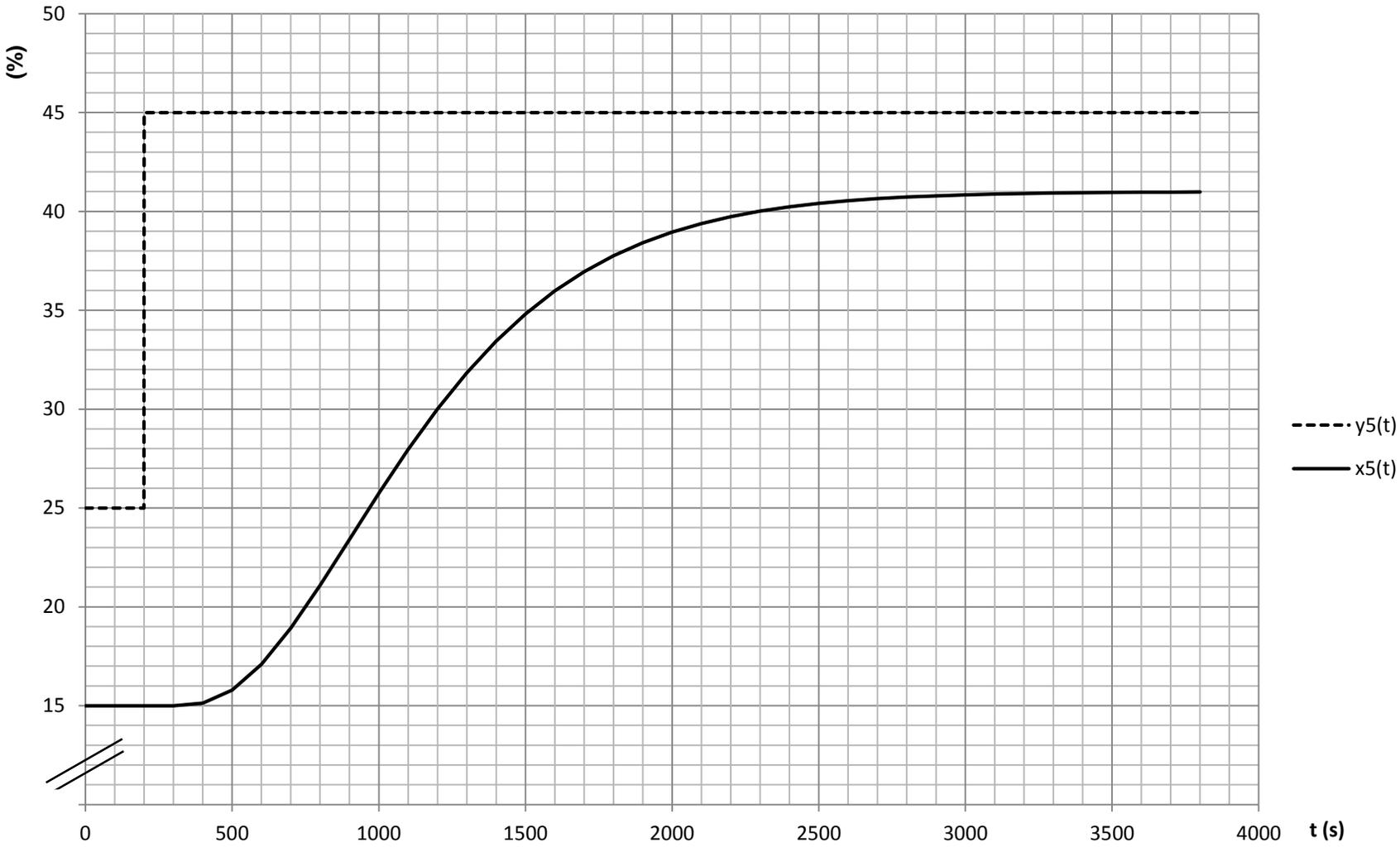
DOCUMENT RÉPONSE 3

QUESTION 19



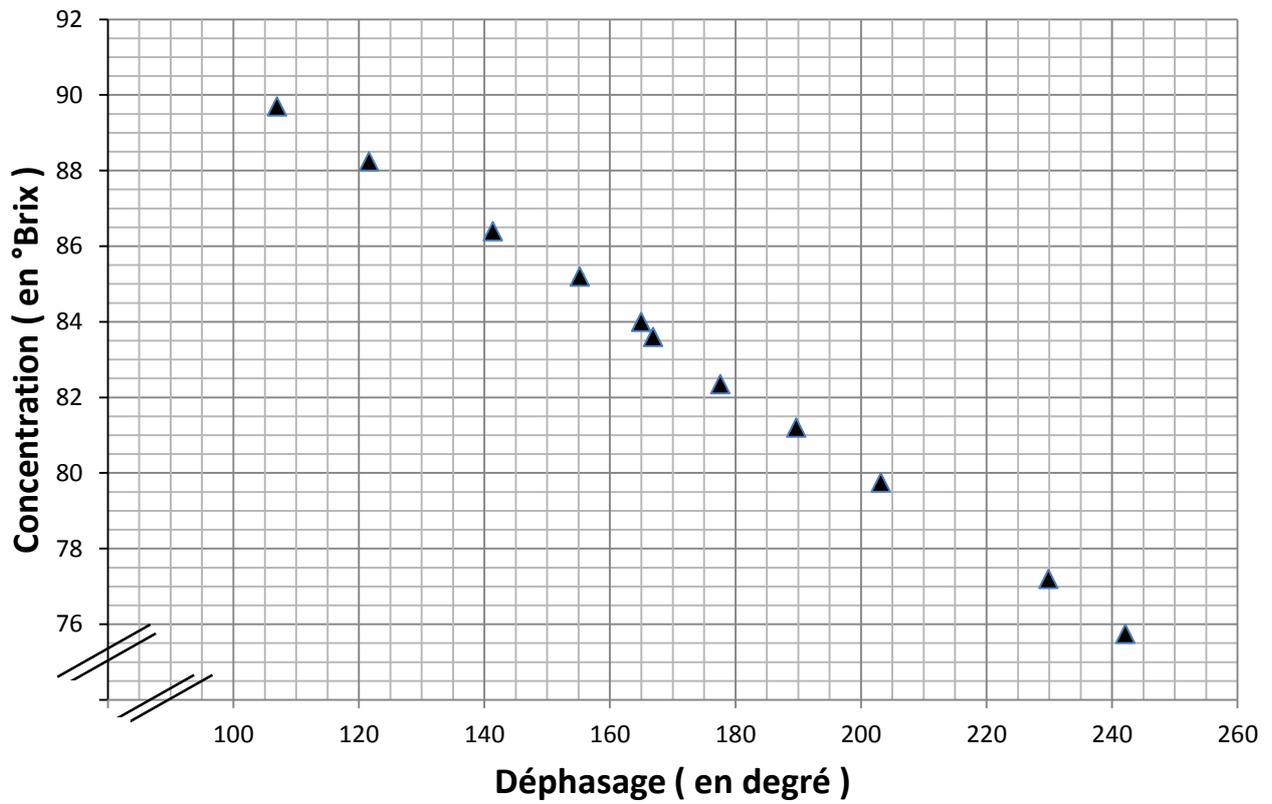
DOCUMENT RÉPONSE 3

QUESTION 19



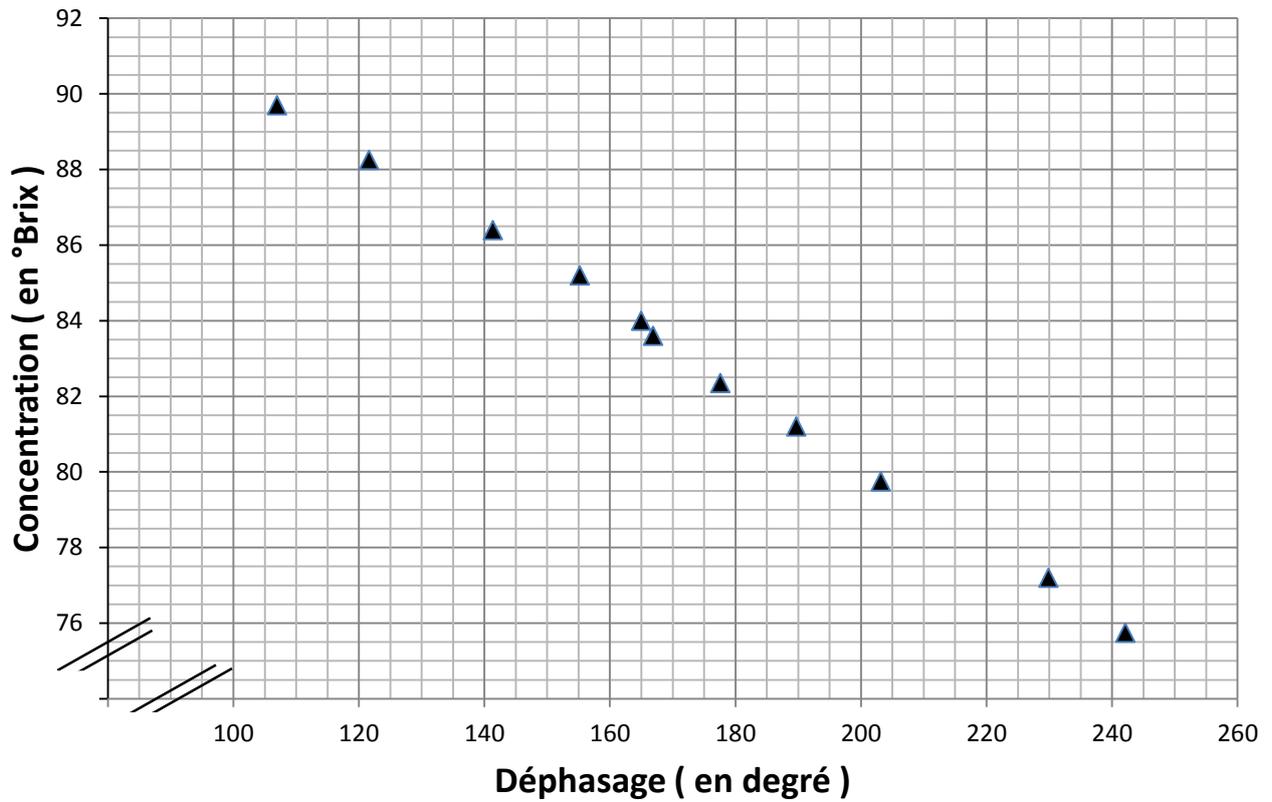
DOCUMENT RÉPONSE 4

QUESTION 22



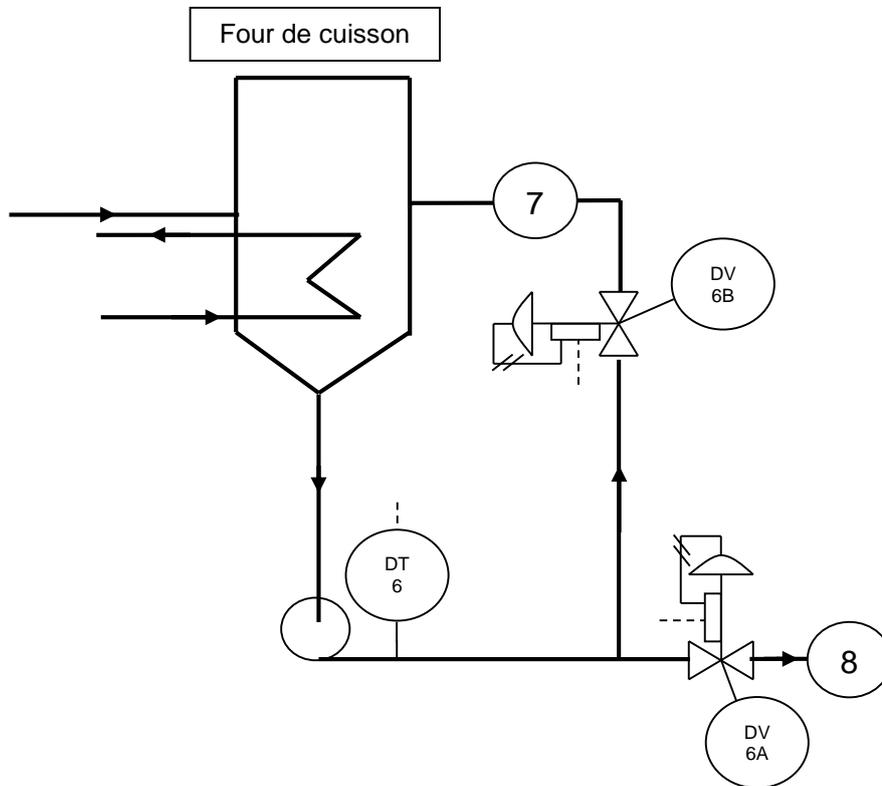
DOCUMENT RÉPONSE 4

QUESTION 22



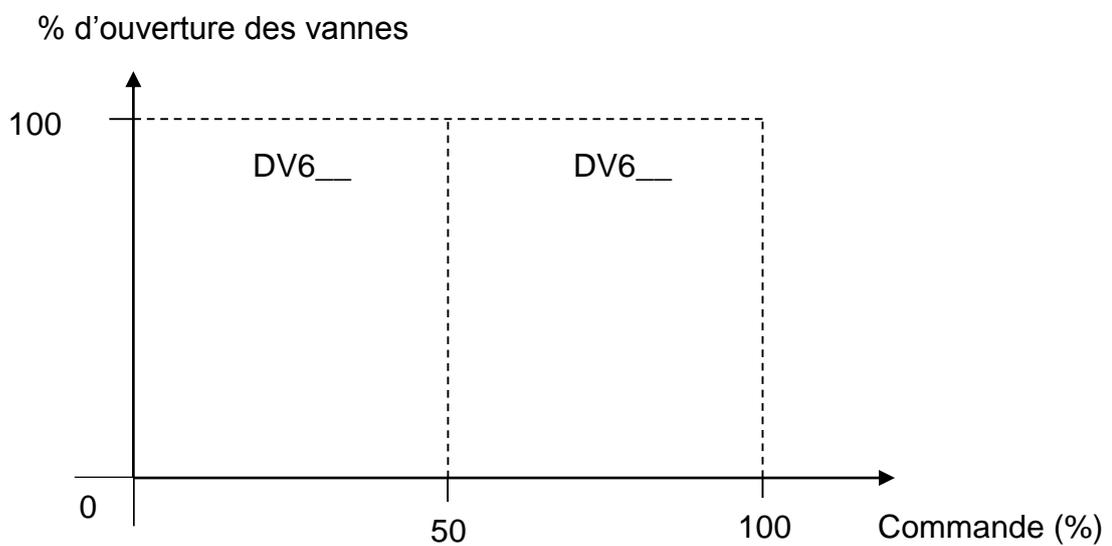
DOCUMENT RÉPONSE 5

QUESTION 27



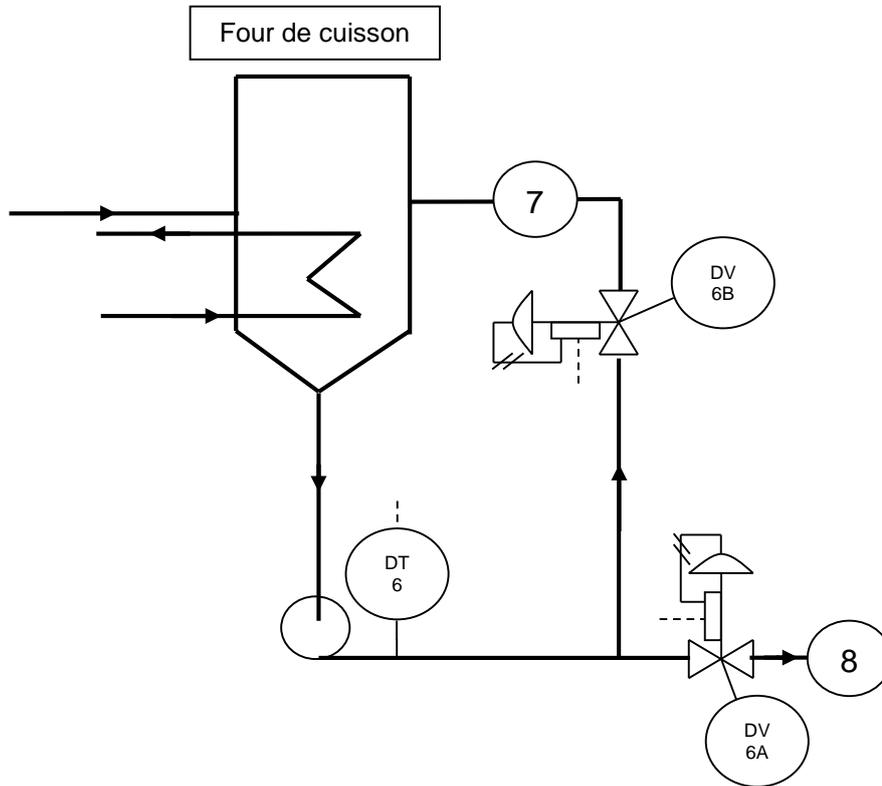
QUESTION 28

Diagramme de partage d'échelle



DOCUMENT RÉPONSE 5

QUESTION 27



QUESTION 28

Diagramme de partage d'échelle

