

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.
Tout autre matériel est interdit.

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 19 pages numérotées de 1/19 à 19/19.

Les documents réponses 1, 2, 3, 4 et 5 sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.

PRÉSENTATION DE L'INSTALLATION

Le procédé étudié dont le schéma TI est fourni en **Annexe 1 (page 6/19)** consiste à faire réagir en continu, deux réactifs (réactif *a* réactif *b*). Les étapes sont les suivantes :

- 1 Mélange en ligne avec contrôle du rapport des débits.
- 2 Chauffage du mélange dans un échangeur thermique (noté E sur le schéma de l'**annexe 1**).
- 3 Réaction au sein d'un réacteur agité (noté R sur le schéma de l'**annexe 1**).

On s'intéressera aux contrôles du rapport entre les débits des réactifs, à la régulation de température du mélange ainsi qu'à divers aspects technologiques liés à l'instrumentation.

RÉGULATION DE PROPORTION

1. Régulation de proportion

On veut réguler la proportion entre les débits Q_a et Q_b : $K = \frac{Q_a}{Q_b}$, Q_b étant la charge variable de l'installation.

1.1 Un opérateur doit pouvoir afficher en consigne du régulateur de débit de produit la valeur du coefficient de proportion K ($K = \frac{Q_a}{Q_b}$).

Compléter le schéma TI du **document réponse 1 (page 15/19)**, à rendre avec la copie, en utilisant les instruments disponibles.

1.2 Préciser l'opération effectuée par le bloc FY.

1.3 Donner et justifier le sens d'action du régulateur de débit de réactif *a* en tenant compte du sens d'action de la vanne FV01. On précise qu'une augmentation du signal de commande ouvre la vanne.

2. Instrumentation de la boucle de régulation de proportion

Le transmetteur FT01 a l'étendue de mesure réglée suivante $0\text{--}40\text{m}^3/\text{h}$
 Le transmetteur FT02 a l'étendue de mesure réglée suivante $0\text{--}20\text{m}^3/\text{h}$
 Les signaux fournis par FT01 et FT02 notés respectivement $M1\%$ et $M2\%$ sont normalisés en pourcentage et le régulateur ne traite que ce type de signaux.

En fonctionnement normal le rapport des débits volumiques $K = \frac{Q_a}{Q_b}$ est égal à 0.6.

2.1 Déterminer la valeur de la consigne $K\%$, ($K_{\%} = \frac{M2_{\%}}{M1_{\%}}$), à afficher dans le système de contrôle.

2.2 Le système numérique de contrôle commande (SNCC) est programmable par chaînage de blocs. Compléter le schéma du **document-réponse 2 (page 16/19)**, à rendre avec la copie.

3. Calcul et choix de la vanne FV02

La pression relative en sortie des pompes est de 3,3 bar. Les différentes pertes de charge sont données sur le document en annexe 2 (page 7/19) pour un débit du réactif a de 20 m³/h. Au pied du réacteur, la pression relative est de 450 mbar.

3.1 Déterminer la valeur de la perte de charge ΔP_v aux bornes de la vanne. (Les pertes de charge au travers des conduites et des instruments sont notées sur l'annexe 2).

3.2 Calculer le C_v de la vanne dans l'hypothèse d'un écoulement non critique (voir annexes 3 et 3bis, pages 8/19 et 9/19). La densité du réactif a est 0,8.

3.3 Choix de la vanne.

Afin de ne pas utiliser la vanne en saturation, on utilisera un coefficient de majoration $q_0 = 2$: $C_v \text{ majoré} = q_0 C_v$.

En fonction de la documentation constructeur (annexe), proposer une référence pour la vanne avec C_v majoré. Le diamètre de la conduite est de 65 mm.

(N° tableau, C_v nominal, diamètre nominal DN)

3.4 Le facteur de débit critique moyen du type de vanne choisi est $C_f = 0,9$.

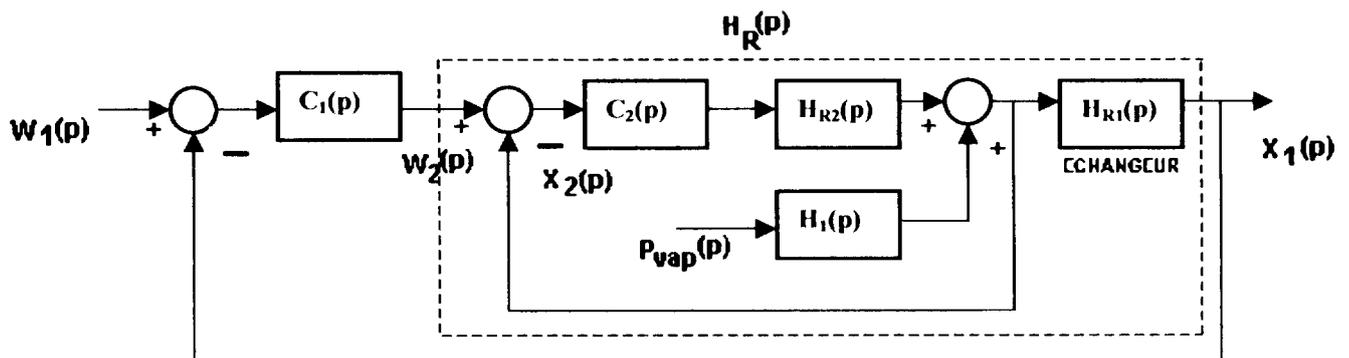
La tension de vapeur saturante du réactif a est : $P_v = 0,18$ bar

En déduire si l'écoulement est critique ou non. Justifier par un calcul. (Voir annexe 3)

RÉGULATION DE TEMPÉRATURE

4. Régulation de température du mélange

Schéma fonctionnel de la stratégie de régulation de température du mélange : réactif a + réactif b :



4.1 Donner le nom et le type de cette stratégie de régulation.

4.2 Représenter le schéma TI de régulation de température du mélange (TT02) sur le document-réponse 3 (page 17/19), à rendre avec la copie.

4.3 Donner et justifier le sens d'action des régulateurs.

4.4 $C_2(p)$ est un correcteur PI mixte avec $A_2 = 4$ et $Ti_2 = 8s$

$$H_{R2}(p) = \frac{K_2}{1 + \tau_2 p} \quad K_2 = 0,5 \quad \tau_2 = 8s$$

Démontrer que la fonction de transfert $H(p) = \frac{X_2(p)}{W_2(p)}$ est une fonction de transfert du 1^{er} ordre de la

forme :

$$H(p) = \frac{1}{1 + 4p}$$

5. Identification de la fonction de transfert $H_R(p)$ vue par le correcteur $C_1(p)$

Cette fonction de transfert est modélisée par le modèle de Broïda.

$$H_R(p) = \frac{Ke^{-Tp}}{1 + \tau p}$$

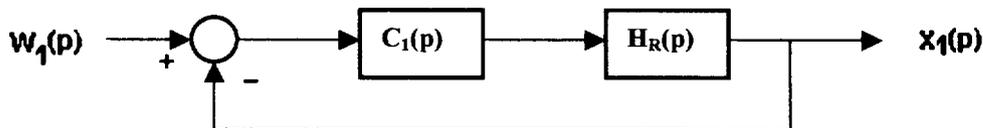
Pour cette identification le correcteur C_2 est en automatique et le correcteur C_1 en manuel.

On a réalisé un échelon de consigne $\Delta W_2 = 10 \%$ et relevé du comportement de $X_1 = f(t)$ (voir document-réponse 4).

Déterminer les paramètres K , τ et T . (Donner les constructions graphiques réalisées sur le document réponse 4)

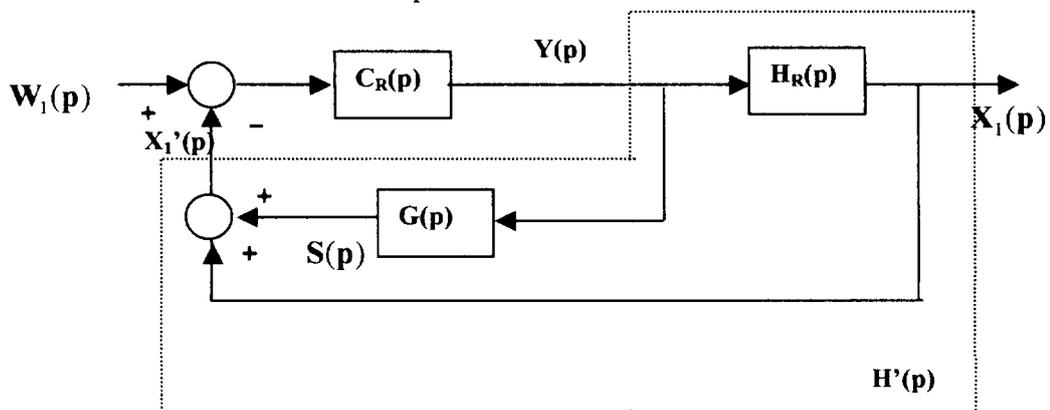
6. Stratégie de régulation de la température

La régulation de température peut être représentée par le schéma fonctionnel suivant :



La présence d'un temps mort élevé au sein du procédé à réguler limite les performances d'une simple régulation PID. Il convient alors d'utiliser C1 un correcteur plus évolué qu'un simple PID. On se propose alors d'utiliser la stratégie ci-dessous.

Le schéma fonctionnel de celle-ci est représenté ci-dessous :



CAE4IR

Pour la suite des calculs, on adopte la fonction de transfert suivante :

$$H_R(p) = \frac{K \cdot e^{-Tp}}{1 + \tau p} = \frac{1,32 \cdot e^{-25p}}{1 + 44p}$$

La fonction de transfert choisie pour $G(p)$ est :

$$G(p) = \frac{K_G \cdot (1 - e^{-pT_G})}{1 + \tau_G \cdot p}$$

6.1 Indiquer le nom de cette fonction de transfert et fournir l'expression de la fonction de transfert $H'(p) = \frac{X_1'(p)}{Y(p)}$ en fonction de $H_R(p)$ et $G(p)$.

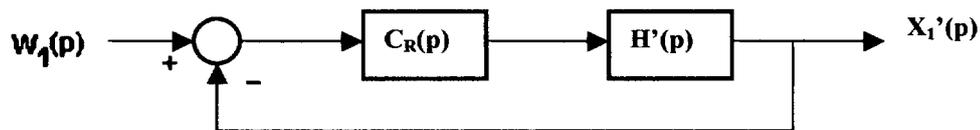
6.2 Donner les expressions de K_G , T_G , τ_G en fonction de K , T , τ permettant d'obtenir pour $H'(p)$ une fonction de transfert correspondant à un système du premier ordre sans retard.

En déduire l'expression de $H'(p)$.

6.3 La fonction de transfert du correcteur $C_R(p)$ est :

$$C_R(p) = \frac{A \cdot (1 + T_i \cdot p)}{T_i \cdot p}$$

Le schéma fonctionnel équivalent au système ainsi réduit est le suivant :



Soit $F'(p)$ la fonction de transfert en boucle fermée :

$$F'(p) = \frac{X_1'(p)}{W_1(p)}$$

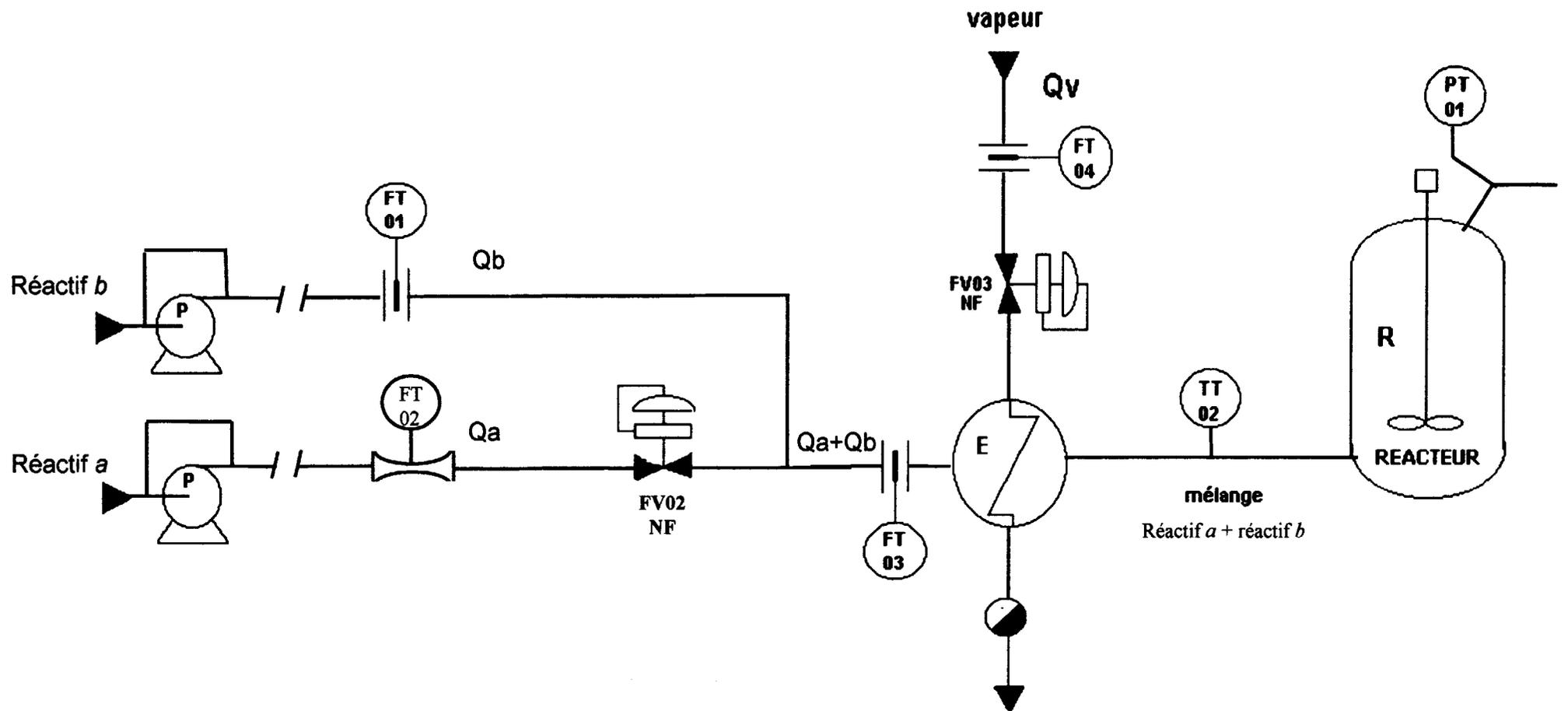
Déterminer la valeur de T_i permettant d'obtenir pour $F'(p)$ une fonction de transfert correspondant à un système du premier ordre sans retard.

6.4 En déduire la valeur de A permettant d'obtenir en boucle fermée une constante de temps de temps de 44s.

6.5 Sur le **document réponse 5 (page 19/19) à rendre avec la copie**, encadrer la partie du schéma fonctionnel se programmant dans un système numérique de contrôle et de commande afin de mettre en œuvre cette stratégie de régulation.

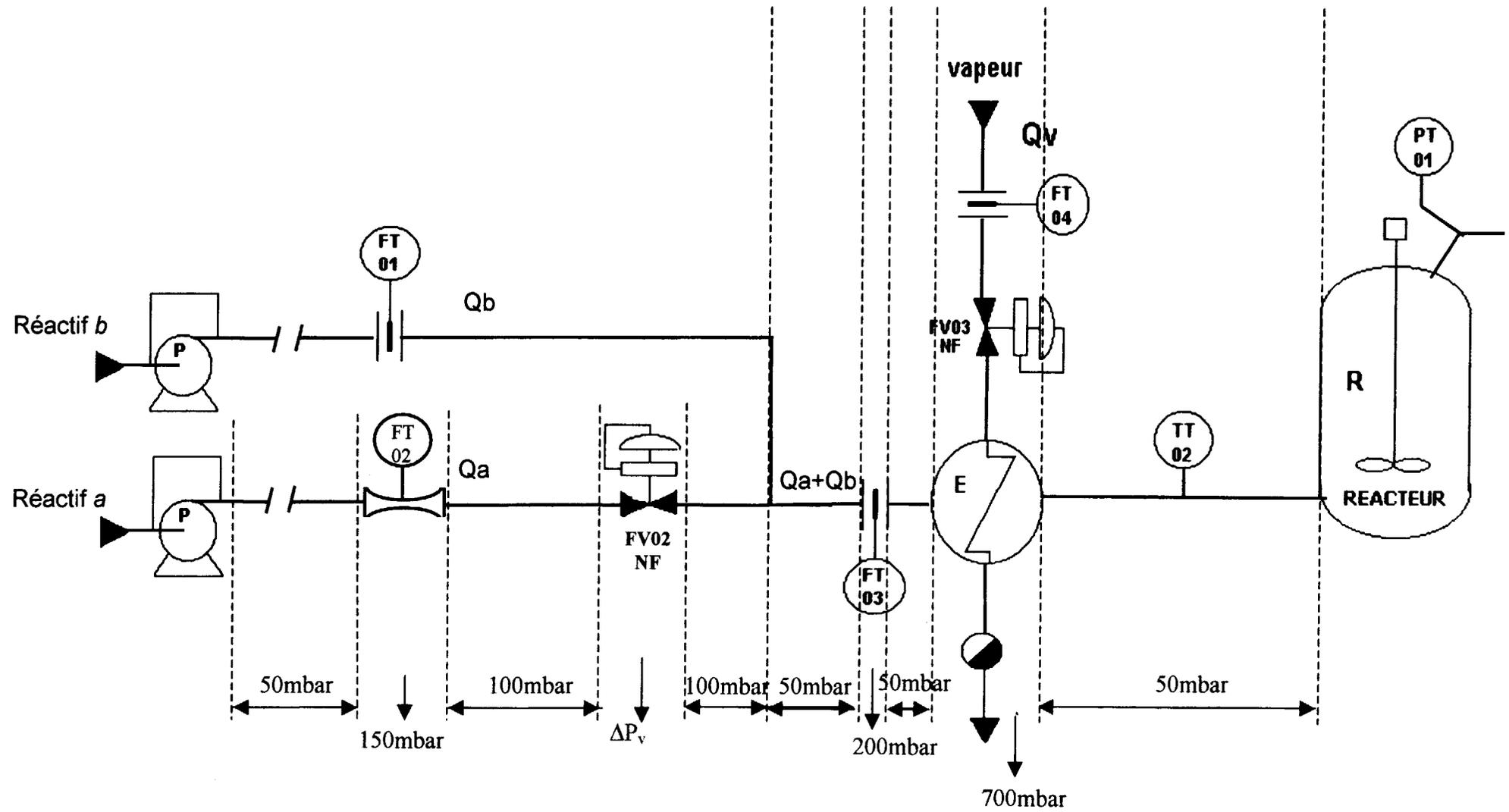
6.6 Donner le nom du correcteur ainsi programmé.

ANNEXE 1



ANNEXE 2

Pertes de charge le long des conduites



ANNEXE 3

DIMENSIONNEMENT DES VANNES DE RÉGLAGES

Formules

Liquides

A. Écoulement
Non critique

$$\text{Si : } \Delta P < C_f^2 \Delta P_s$$

Débit volumique :

$$C_v = 1,16q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}}$$

Débit masse :

$$C_v = \frac{1,16W}{\sqrt{G_f \Delta P}}$$

B. Écoulement critique
(cavitation ou vaporisation)

$$\text{Si : } \Delta P \geq C_f^2 \Delta P_s$$

$$C_v = \frac{1,16q}{C_f} \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P_s}}$$

$$C_v = \frac{1,16W}{C_f \sqrt{G_f \Delta P_s}}$$

$$\Delta P_s = P_1 - \left(0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \right) P_v$$

ou pour simplifier, si $P_v < 0,5P_1$, $\Delta P_s = P_1 - P_v$

C_f = Facteur de débit critique

C_v = Coefficient de débit nécessaire

G_f = Densité à la température d'écoulement calculée par rapport à l'eau (1 à 15,6 °C)

P_1 = Pression en amont en bar absolu

P_2 = Pression en aval en bar absolu

P_c = Pression au point critique thermodynamique en bar absolu

P_v = Tension vapeur du liquide à la température en amont en bar absolu

ΔP = Chute de pression dans la vanne $P_1 - P_2$ en bar

ΔP_s = Chute de pression utilisée pour le dimensionnement en écoulement critique en bar

q = Débit volumique du liquide en m³/h

W = Débit massique du liquide en t/h

ANNEXE 3bis

Valeurs C_v et coefficients K_{vs}

C _v	0,12	0,2	0,3	0,5	0,75	1,2	2	3	5	7,5	12	20	30	40	70	75	95	120	190	290	300	420	735
K _{vs}	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	35	60	63	80	100	160	250	260	360	630
C _{v, 1}							1,7	2,6	4,2	7	10,5	17	26	36	62	67	85	105	170	265	275	375	650
K _{v, 1}							1,45	2,2	3,6	5,7	9	14,5	22	31	5,4	57	72	90	144	225	23,4	320	560
C _{v, III}											9	-	23	30	-	55	-	-	140	220	-	315	-
K _{v, 111}											7,5	-	20	26	-	47	-	-	120	190	-	270	-
siège in D mm	0,12 3			0,24 6			0,47 12			0,945 2,4	1,22 31	1,5 38	1,9 48		2,48 63		3,15 80	3,94 100	4,92 125	5,12 130	5,91 150	7,87 200	
Course in mm							0,59 15									1,18 30	0,59 15	1,18 30	2,36 60	1,18 30	2,36 60		

Tableau 1 - Exécutions sans répartiteur de flux

C _v	0,12	0,2	0,3	0,5	0,75	1,2	2	3	5	7,5	12	20	30	40	70	75	95	120	190	290	300	420	735
K _{vs}	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	35	60	63	80	100	160	250	260	360	630
DN in/mm																							
¹ / ₂ 15	•	•	•	•	•	•	•	•	•														
³ / _a 20	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•													
1 25	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•												
¹ / ₂ 40				•	•	•	•	•	•	•	•	•											
2 50				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•									
² / ₁ 65													•	•	•								
3 80													•	•	•		•						
4 100																•		•	•				
6 150																•		•	•		•		
8 200																•		•	•		•	•	
10 250																		•	•		•	•	•

Tableau 2 - Exécutions avec répartiteur de flux St I (C_{v I}/K_{vs I})

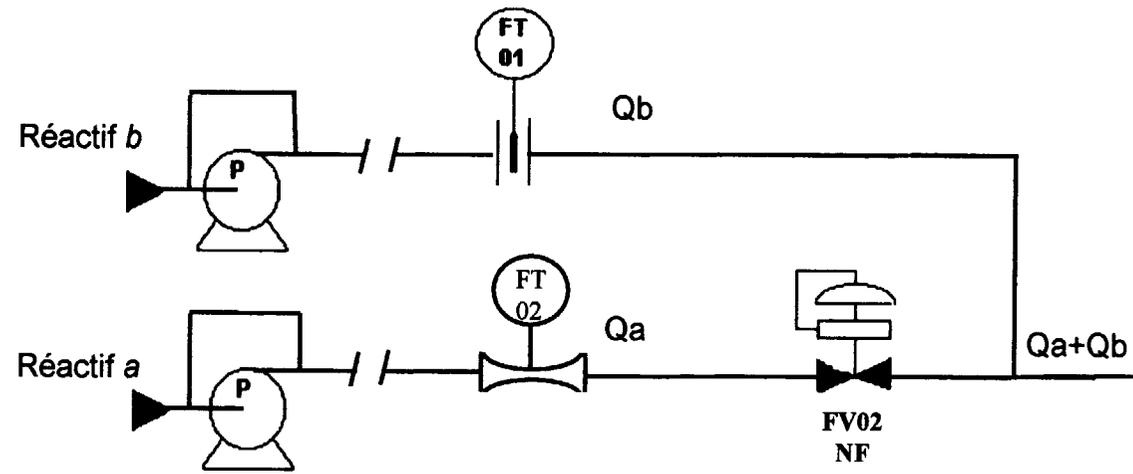
C _{v, 1}							1,7	2,6	4,2	7	10,5	17	26	36	62	67	85	105	170	265	275	375	650
K _{vs, 1}							1,45	2,2	3,6	5,7	9	14,5	22	31	5,4	57	72	90	144	225	23,4	320	560
DN in/mm																							
¹ / ₂ 15							•	•	•														
³ / _a 20							•	•	•														
1 25							•	•	•														
¹ / ₂ 40										•	•	•	•										
2 50										•	•	•	•	•									
² / ₁ 65													•	•	•								
3 80													•	•	•		•						
4 100																•		•	•				
6 150																•		•	•		•		
8 200																•		•	•		•	•	
10 250																		•	•		•	•	•

Tableau 3 - Exécutions avec répartiteur de flux St III (C_{v III}/K_{vs III})

C _{v, III}							9	-	23	30	-	55	-	-	1,4	220	-	315	-
K _{v, 111}							7,5	-	20	26	-	47	-	-	120	190	-	270	-
DN in/mm																			
¹ / ₂ 15																			
³ / _a 20																			
1 25																			
¹ / ₂ 40																			
2 50																			
² / ₁ 65																			
3 80																			
4 100																			
6 150																			
8 200																			
10 250																			

DOCUMENT-RÉPONSE 1

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON

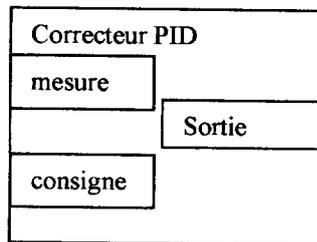
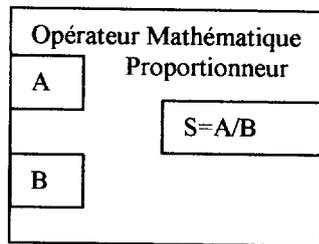


DOCUMENT-RÉPONSE 2

M1%

M2%

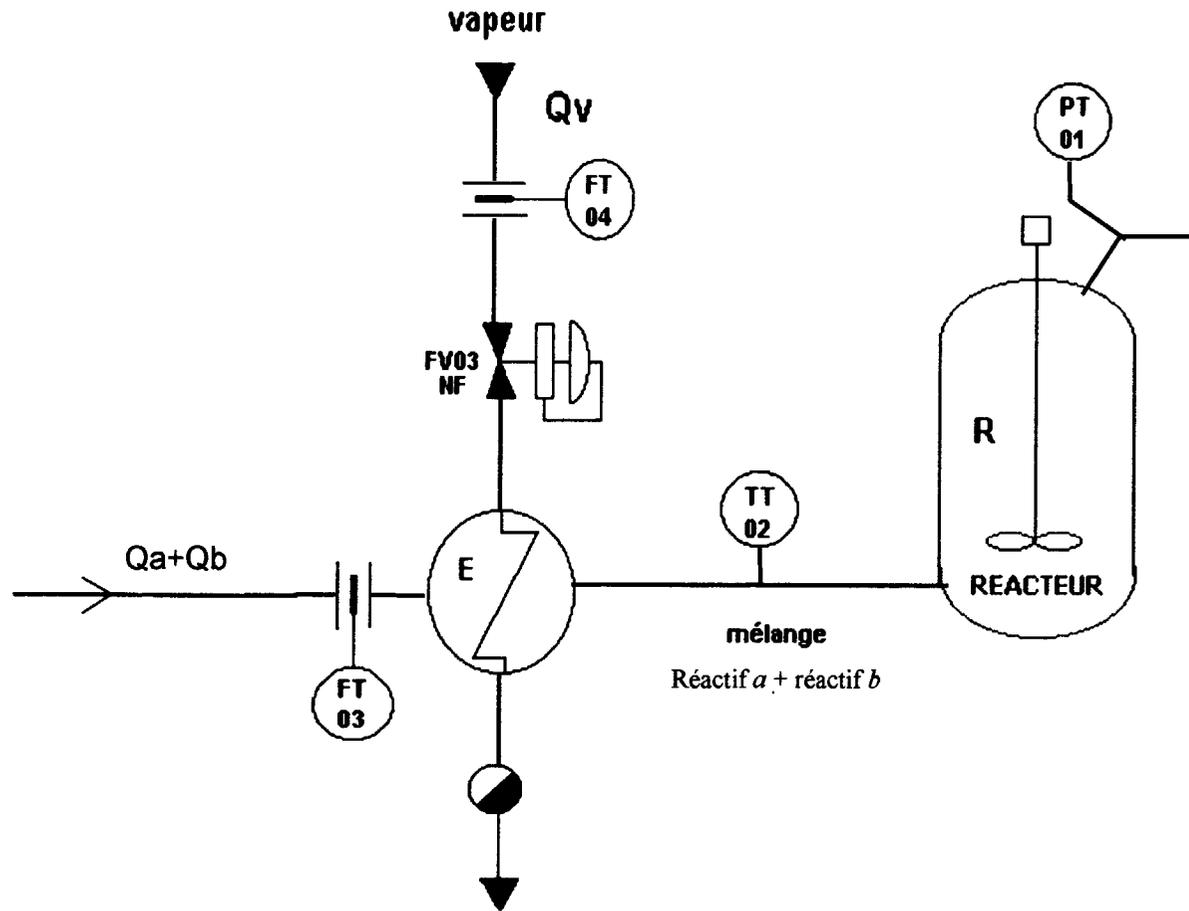
K%



Sortie commande

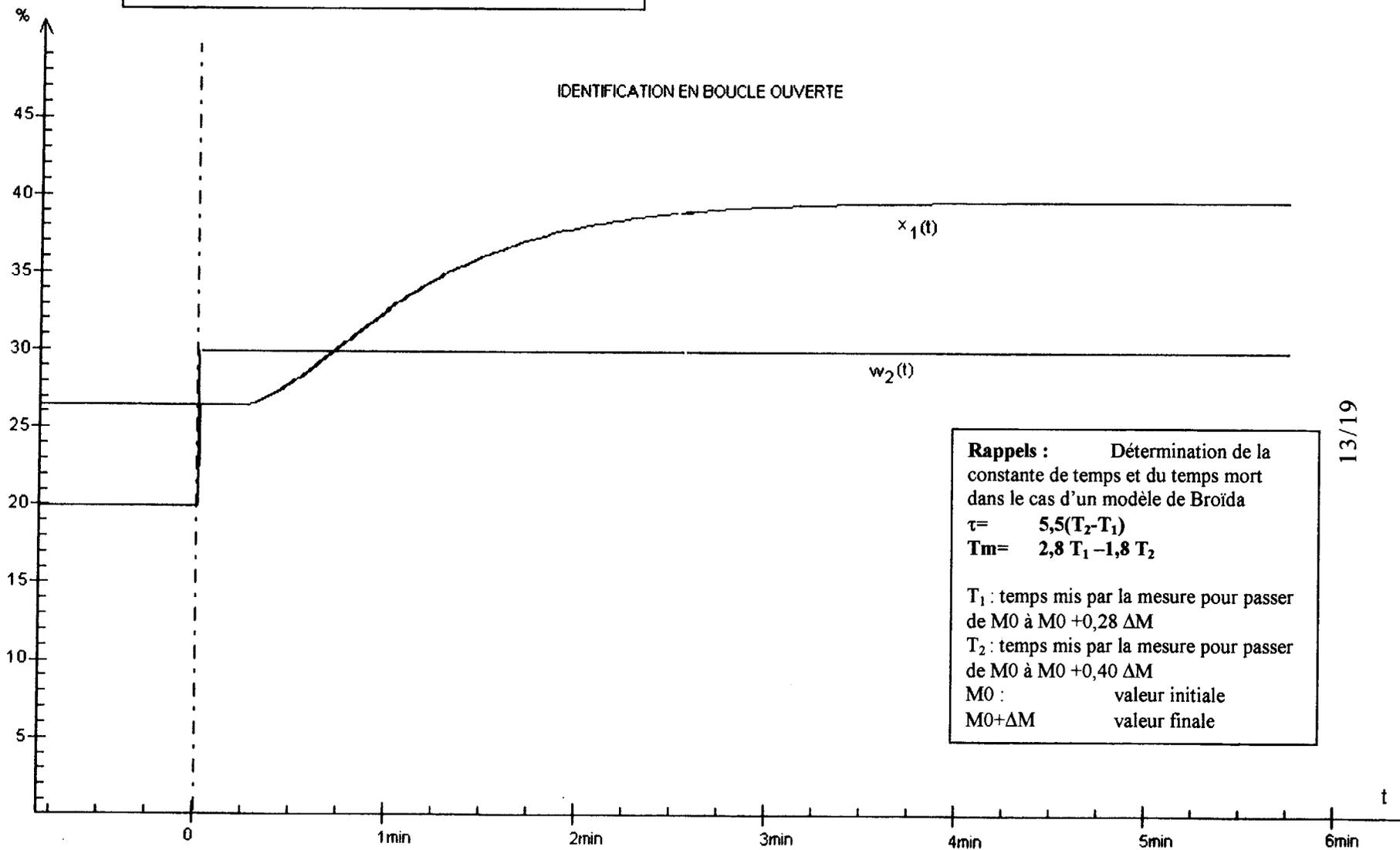
DOCUMENT-RÉPONSE 3

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON



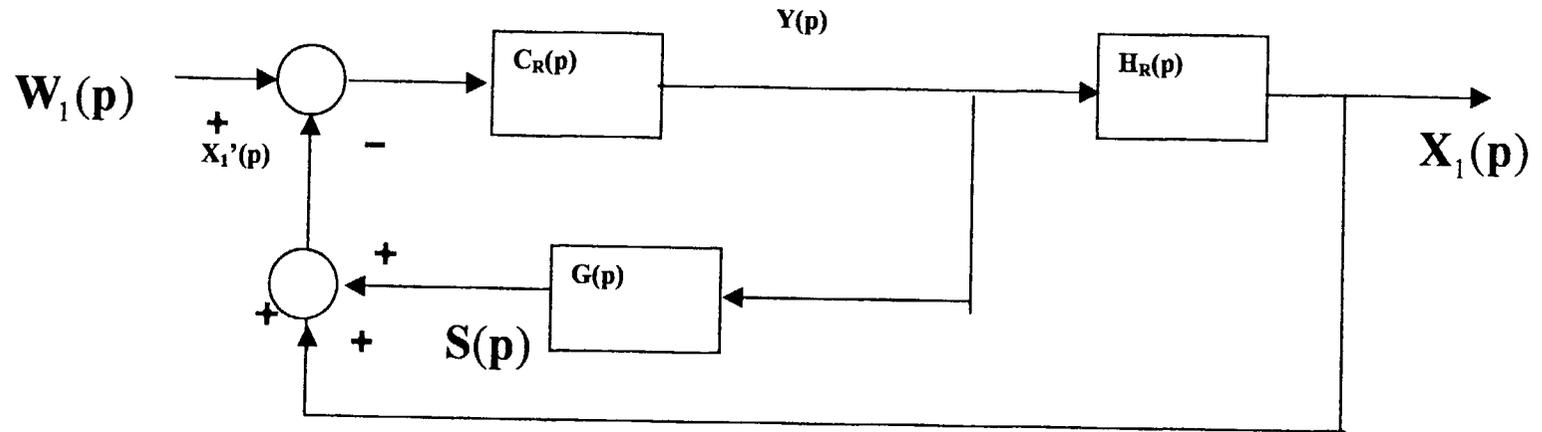
DOCUMENT-RÉPONSE 4

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON



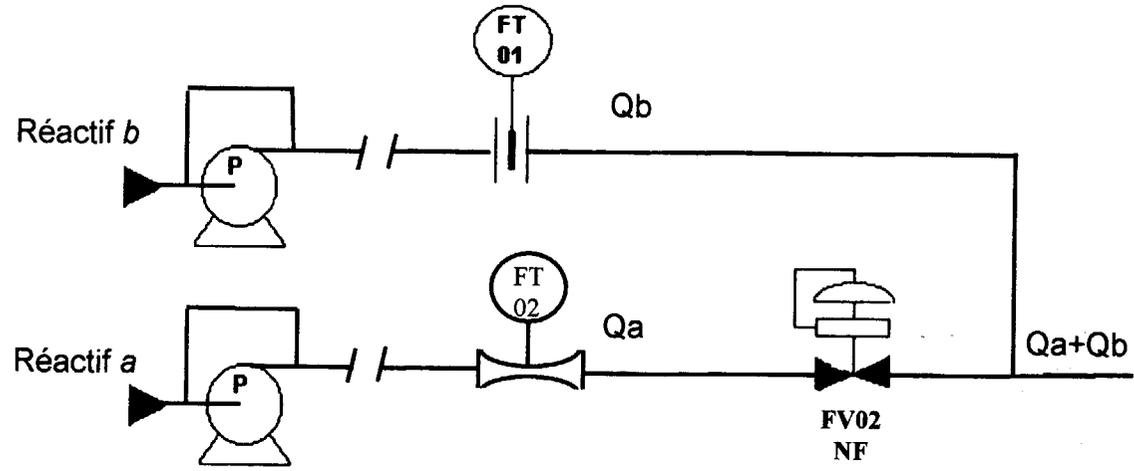
DOCUMENT-RÉPONSE 5

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON



DOCUMENT-RÉPONSE 1

EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE



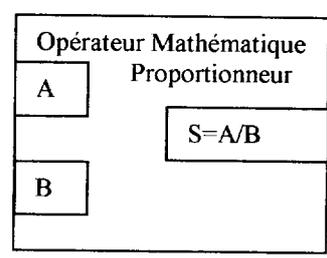
EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT-RÉPONSE 2

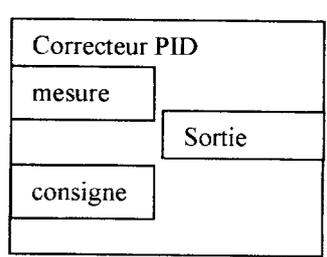
M1%

M2%

K%

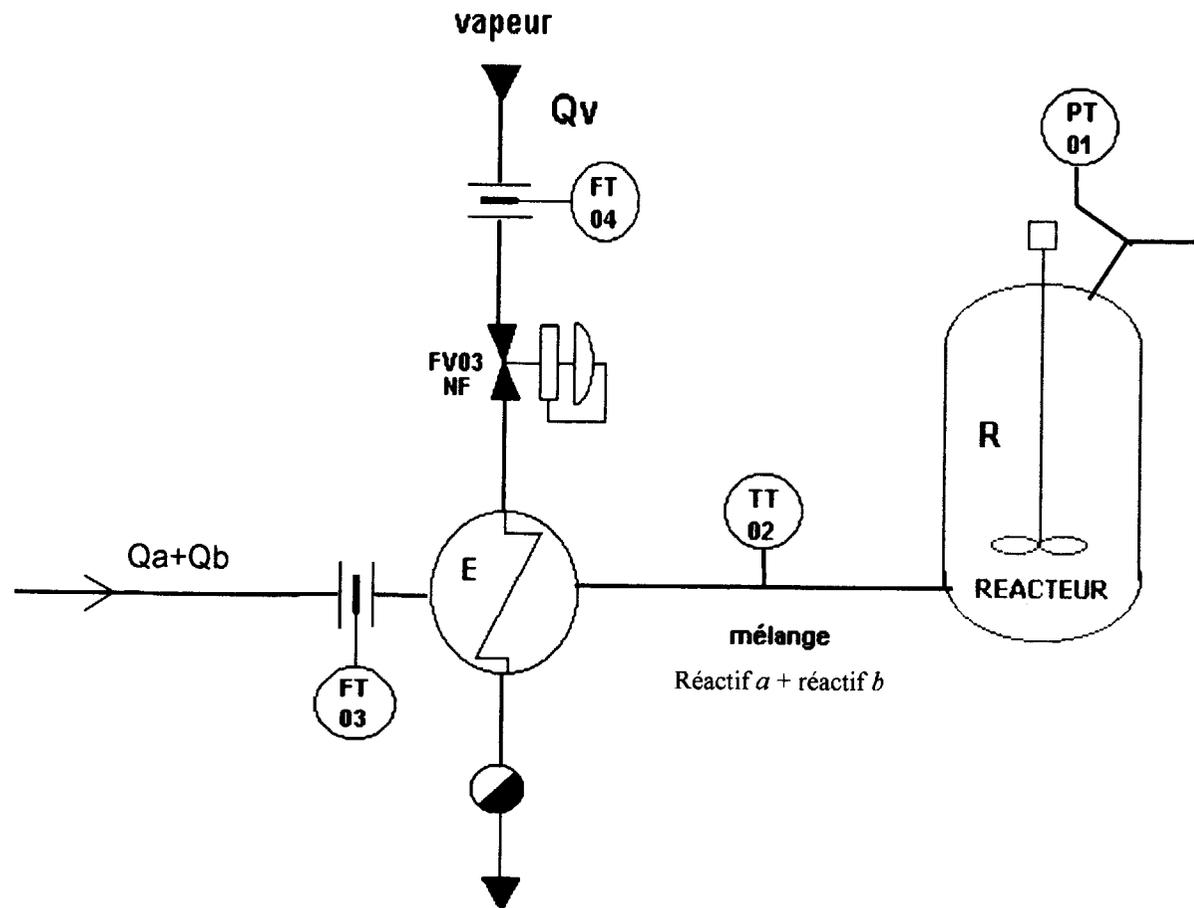


Sortie commande

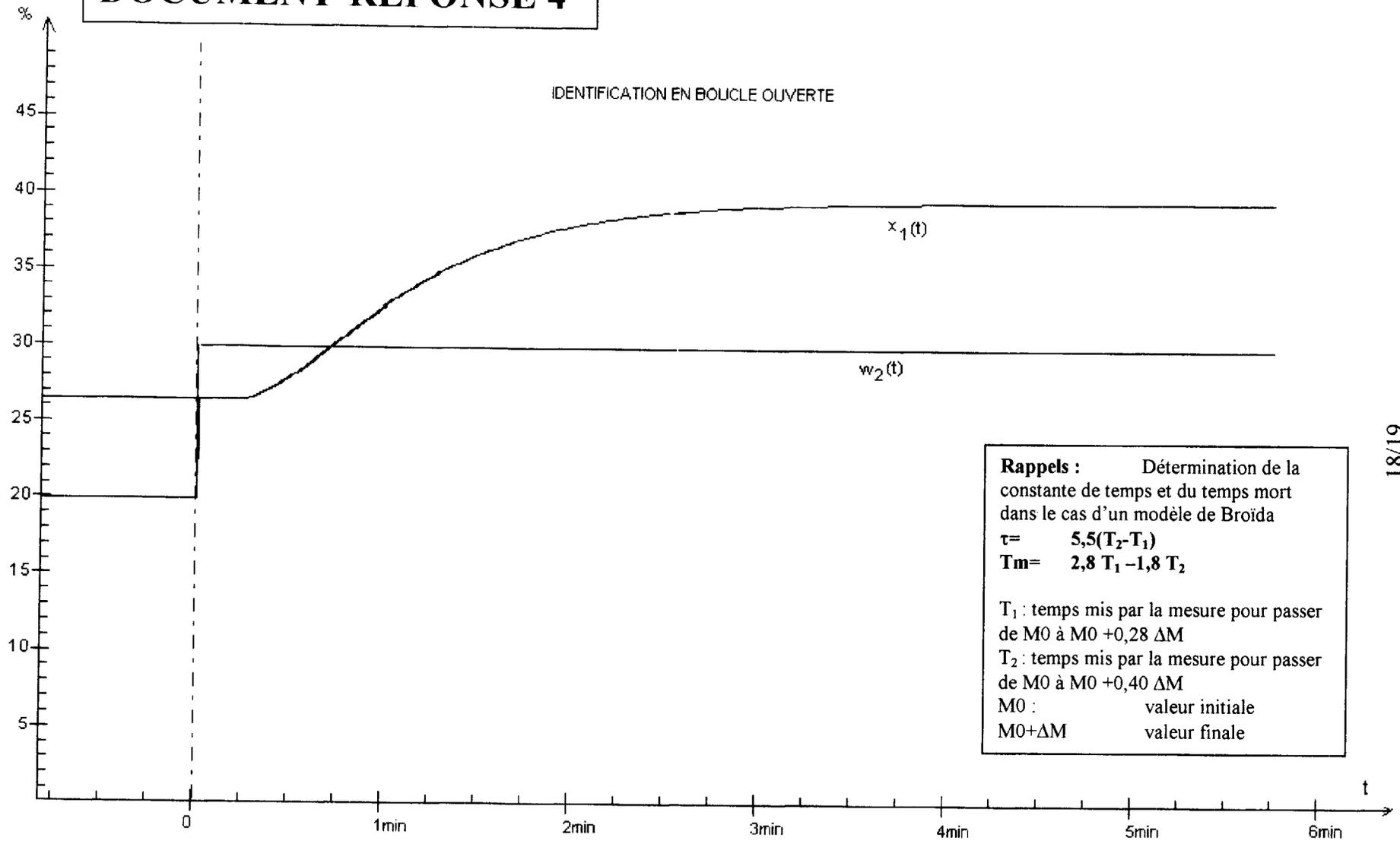


DOCUMENT-RÉPONSE 3

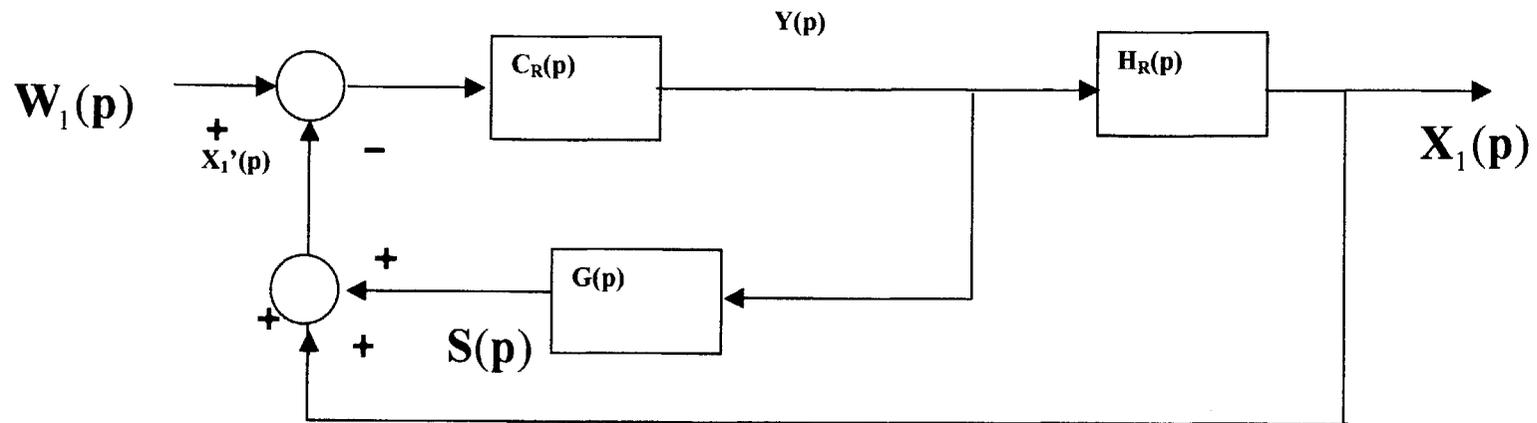
EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE



DOCUMENT-RÉPONSE 4



EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT-RÉPONSE 5

EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE