

BTS C.I.R.A. INSTRUMENTATION ET RÉGULATION

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

Le sujet comporte 14 pages dont 4 annexes (1,5,6,7) sont à rendre avec la copie.
La calculatrices sont autorisées.

Note : Lire toutes les questions (les différentes parties sont indépendantes, il est toutefois nécessaire de connaître le contexte global de l'étude proposée).

I. ÉTUDE ET COMPRÉHENSION DU PROCÉDÉ.

Le schéma donné en annexe 1 (page 7) symbolise la fabrication d'un sérum obtenu par l'addition d'un soluté solide avec un solvant liquide dans un mélangeur. La fabrication fonctionne en régime continu.

Un échangeur de chaleur situé à droite du mélangeur recycle une partie de la solution obtenue permettant ainsi l'homogénéisation de la solution et son maintien à une température fixée.

Le débit Q_s , supposé jamais nul, est la perturbation principale (charge de l'installation). Un agent de conduite le modifie en agissant sur la vitesse de rotation de la pompe P_i .

A. Étude de la concentration du sérum (1,5 points).

L'élément essentiel pour obtenir un bon dosage est la tenue de la concentration du mélange réalisé. Pour cela on utilisera la terminologie relative aux solutions binaires.

On appellera A le solvant et B le soluté.

- m_A : masse de solvant en kg.
- m_B : masse de soluté en kg.
- c_B : concentration du soluté en kg.m^{-3} .
- ρ : masse volumique de la solution.
- ρ_a : masse volumique du solvant.
- V : volume de la solution obtenue, en m^3 .

On cherche une relation entre la concentration du soluté c_B et la masse volumique de la solution obtenue.

1. Évaluer la masse m de la solution en fonction de m_A , c_B , et V .
2. Évaluer la masse volumique ρ de la solution en fonction de m_A , c_B et V .
3. Le soluté étant une poudre, le volume V de la solution est assimilé au volume du solvant. Évaluer alors la masse volumique de la solution en fonction de m_A et c_B .
4. Tracer la courbe représentant la concentration c_B du soluté en fonction de la masse volumique de la solution avec :

$$\rho_A = 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \text{ à } 20 \text{ °C et } 1000 \text{ kg.m}^{-3} \quad 1200 \text{ kg.m}^{-3}$$

B. Étude de l'appareillage (3 points).

L'étude précédente nous amène à constater que l'on peut connaître l'évolution de la concentration de cette solution à partir de sa masse volumique et pour une température constante du bain par la formule $c_B = \rho - 1000$.

Un capteur de masse volumique noté DT1, détaillé en annexe 2 (page 8), est installé sur le mélangeur (voir annexe 1).

L'ensemble est constitué de deux cannes de bullage reliées à un transmetteur électronique de pression différentielle. Les extrémités des cannes sont séparées par une distance X_0 constante.

1. Un régulateur de débit est monté sur chaque conduite, expliquer son rôle.
2. On désire étalonner le transmetteur. Les données sont : $X_0 = 1 \text{ m}$ $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$
 - a) Calculer l'étendue d'échelle du transmetteur soit EM en mbar.
 - b) Calculer le décalage du zéro du transmetteur soit DEC en mbar.
3. En utilisant la notice technique présentée en annexe 3 (page 9), donner le code du transmetteur à installer. Justifier votre réponse.
4. Afin de s'assurer du bon comportement du capteur, on mesure le signal de sortie en courant (échelle 4 - 20 mA) pour un mélange de masse volumique connue. On trouve :

$$I = 16,10 \text{ mA pour } \rho = 1150 \text{ kg.m}^{-3}$$

L'étalonnage a-t-il été correctement réalisé compte tenu de la précision de l'appareil (voir annexe 3) ?

II. ÉTUDE ET COMPRÉHENSION DU SYSTÈME DE CONTRÔLE-COMMANDE.

La préparation du sérum est réalisée dans le mélangeur. Le soluté est ajouté au solvant par l'intermédiaire d'un moteur à vis M1 (voir annexe 1).

Trois conditions sont nécessaires pour assurer un mélange parfait :

- Un volume constant de la solution assuré par un niveau régulé.
- Une homogénéisation du mélange assurée par un circuit de retour sur la cuve (Q_r).
- Une température régulée en sortie de mélangeur assurée par un échangeur de chaleur.

A. Conception de boucle de régulation (1,5 points).

La pompe P_i assure le débit Q_p . Pour permettre l'homogénéité du mélange, on s'assure que le débit de retour Q_r est toujours 1,5 fois plus grand que le débit de soutirage Q_s .

Proposer le schéma de principe d'une régulation assurant le rapport de 1,5 entre les débits Q_r et Q_s , sur l'annexe 1, à rendre avec la copie.

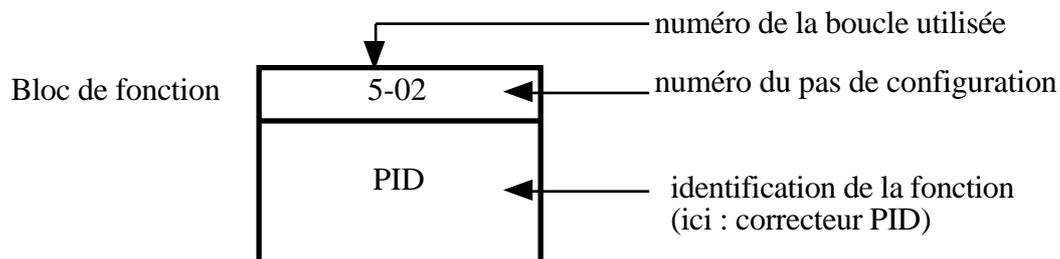
B. Étude du fonctionnement.

Le procédé est commandé par un système numérique configurable. Les configurations mises en place sont représentées sur la feuille intitulée "configuration du mélangeur" (voir annexe 4, page 10).

Explication de la symbolisation :

AI 03 : entrée analogique n° 03

AO 05 : sortie analogique n° 05



S.I. : Information en unité physique,

% : Information en pourcentage de l'échelle du transmetteur ou du signal de commande,

Précision sur l'identificateur COUPL : le bloc réalise un couplage permettant :

- soit une mise à l'échelle d'un signal électrique normalisé,
- soit un recalibrage d'une information.

Quatre régulations assurent le contrôle du procédé :

Boucle n° 1 : Régulation de la concentration du mélange par le moteur M1 (voir partie I de l'étude).

Boucle n° 2 : Régulation du niveau de la cuve (capteur LT2) par le débit du solvant Qe (voir annexe 1).

Boucle n° 3 : Régulation du débit calorifique par le circuit vapeur (on considérera l'échange thermique idéal et la température de la vapeur constante).

Boucle n° 4 : Régulation de température de la sortie du mélangeur mesurée par TT42.

1. Analyse des boucles 3 et 4 : (1 point)

De quels types de régulation s'agit-il (cascade...) ? Pourquoi ?

2. Analyse de la boucle 2 : (1 point)

Le bloc 2.02 est volontairement non précisé.

a) Rappeler le principe physique mis en oeuvre pour la mesure de niveau. Expliquer alors la présence de la liaison entre le bloc 1.01 et le bloc 2.02.

b) En déduire la nature du bloc 2.02.

3. Analyse de l'ensemble des boucles ; (2 points)

A partir d'une augmentation du débit Qs Préciser, en tenant compte de la configuration, le sens des variations des grandeurs physiques.

Pour cela faire apparaître sur l'annexe 5 (page 11), à rendre avec la copie, l'allure des transitoires des signaux dans l'hypothèse de régulations idéales.

III. RÉGULATION CONTINUE.

Dans cette partie de l'étude, on s'intéresse à la boucle n° 1, c'est-à-dire à la régulation de concentration du mélange et au réglage de son correcteur PID.

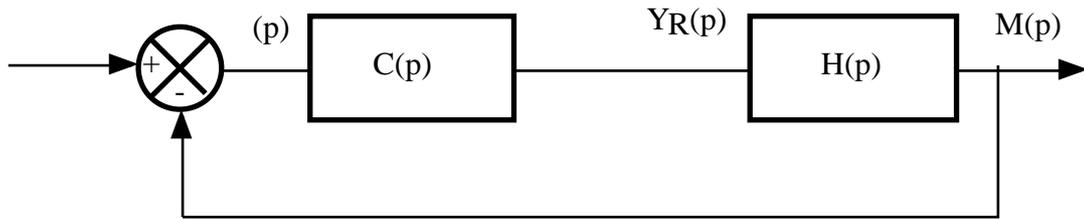
A. Identification de la boucle (1 point).

Au point de fonctionnement du procédé et après stabilisation de la mesure de concentration, la boucle n° 1 est passée en mode manuel et un échelon de commande est envoyé vers le moteur Mi

L'enregistrement correspondant est fourni en annexe 6 (page 12), à rendre avec la copie.

1. Déterminer les paramètres du modèle de BROÏDA pour cet essai soit $H(p) = \frac{G_s \times e^{-Tp}}{1 + p}$.
2. Peut-on, au vu des résultats, tirer un enseignement sur le type de régulateur à utiliser ?

B. Étude d'un correcteur spécifique (4 points).



$$\text{avec : } H(p) = \frac{M(p)}{Y_R(p)} = \frac{G_s \times e^{-Tp}}{1 + p}$$

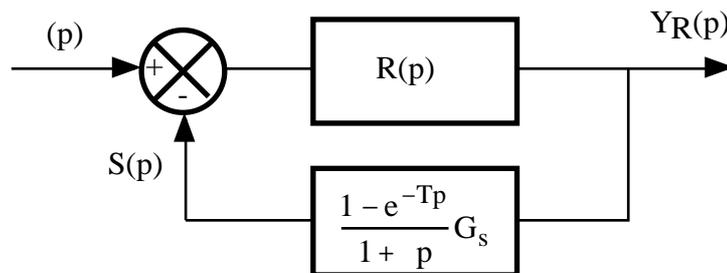
On se propose de rechercher un correcteur $C(p)$ tel que la fonction de transfert du système en chaîne fermée soit de la forme :

$$F(p) = \frac{M(p)}{W(p)} = \frac{e^{-Tp}}{1 + d p}$$

d : constante de temps désirée en chaîne fermée.

1 - Calculer $C(p)$ en fonction de $F(p)$ et $H(p)$.

2 - Montrer que $C(p)$ peut se schématiser sous la forme



3 Montrer que $R(p)$ a la structure d'un régulateur PI série dont on évaluera la valeur des paramètres A et T_i en fonction de d , T_p et G_s .

4 - On désire pour la boucle fermée $d = \dots$. Donner l'expression des paramètres A et T_i du régulateur PI et la valeur de T_i . Faire l'application numérique.

IV. RÉGULATION ÉCHANTILLONNÉE (3 points).

L'utilisation du correcteur d-dessus nécessite la mise en place d'un nouveau bloc de traitement réalisant

la fonction $C_M(p) = \frac{G_s(1 - e^{-Tp})}{1 + p}$

1. Sous quel nom est-il connu ?
2. Soit T_e la période d'échantillonnage ; soient nT_e les instants d'échantillonnage.
On supposera que le temps mort T est un multiple de la période d'échantillonnage T_e .
On peut donc écrire $T = m T_e$.

On pose $\tau = \frac{T_e}{m}$. Montrer que la fonction de transfert en z peut s'écrire :

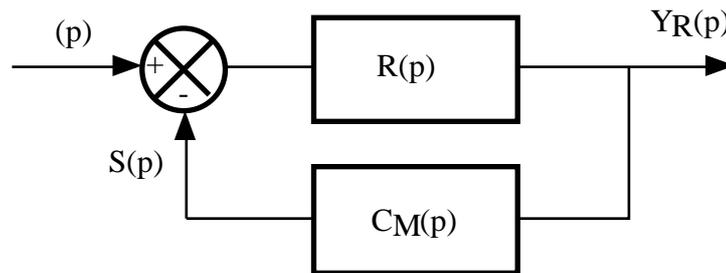
$$C_M(z) = \frac{Az^{-1}(1 - z^{-m})}{1 + Bz^{-1}}$$

Exprimer A et B en fonction de G_s et τ .

La table des transformées en z est donnée en annexe 8, page 14.

V. ADAPTATION AU SYSTEME NUMÉRIQUE (2 points).

On se propose de modifier la boucle 1 (voir annexe 4, page 10) en y implantant le correcteur $C(p)$ à la place du bloc 1.02.



Rappel : $R(p)$: régulateur PI

Compléter sur l'annexe 7, page 13 (à rendre avec la copie) le schéma de la configuration.

Annexe 1 (A rendre avec la copie)

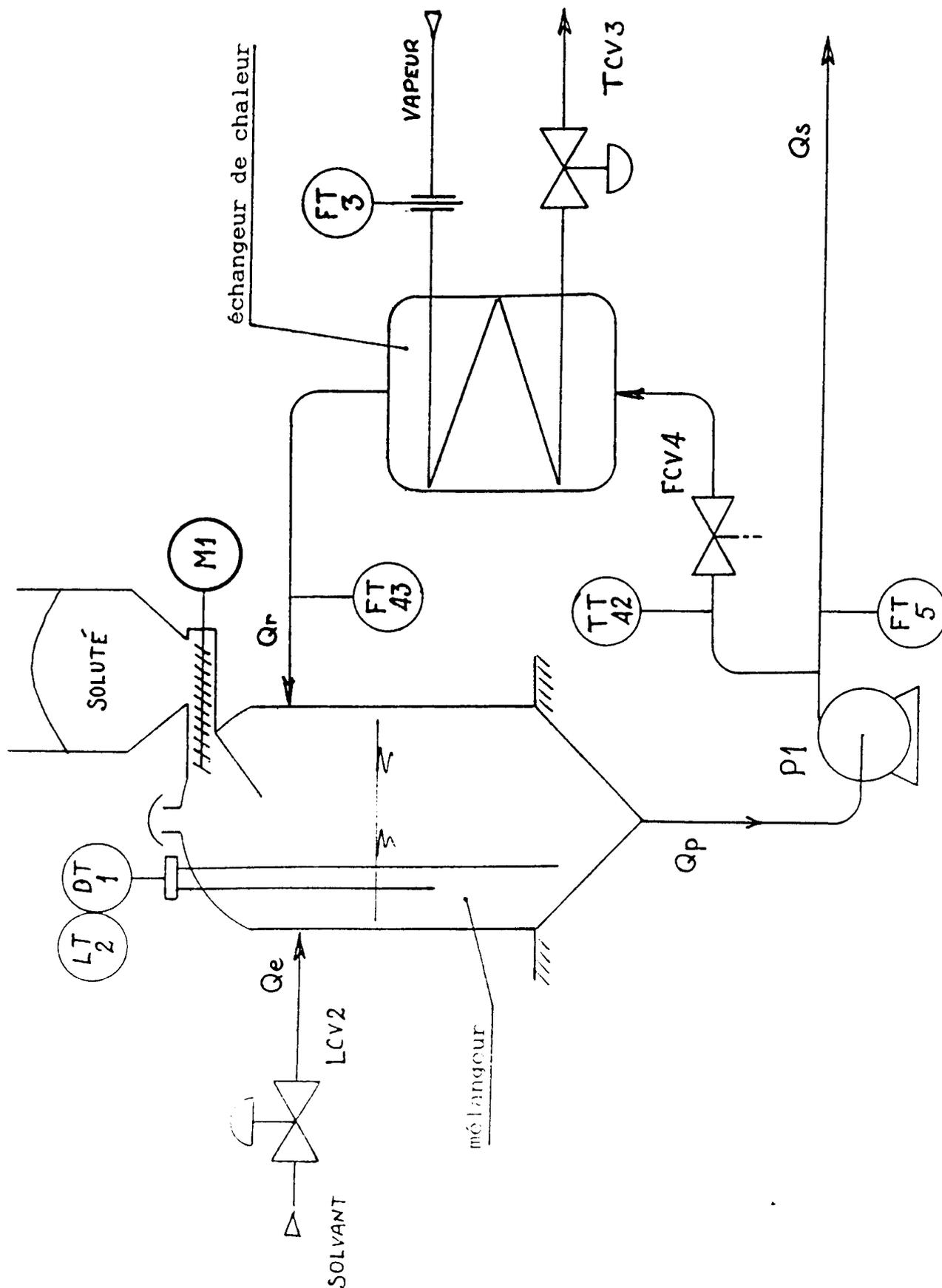
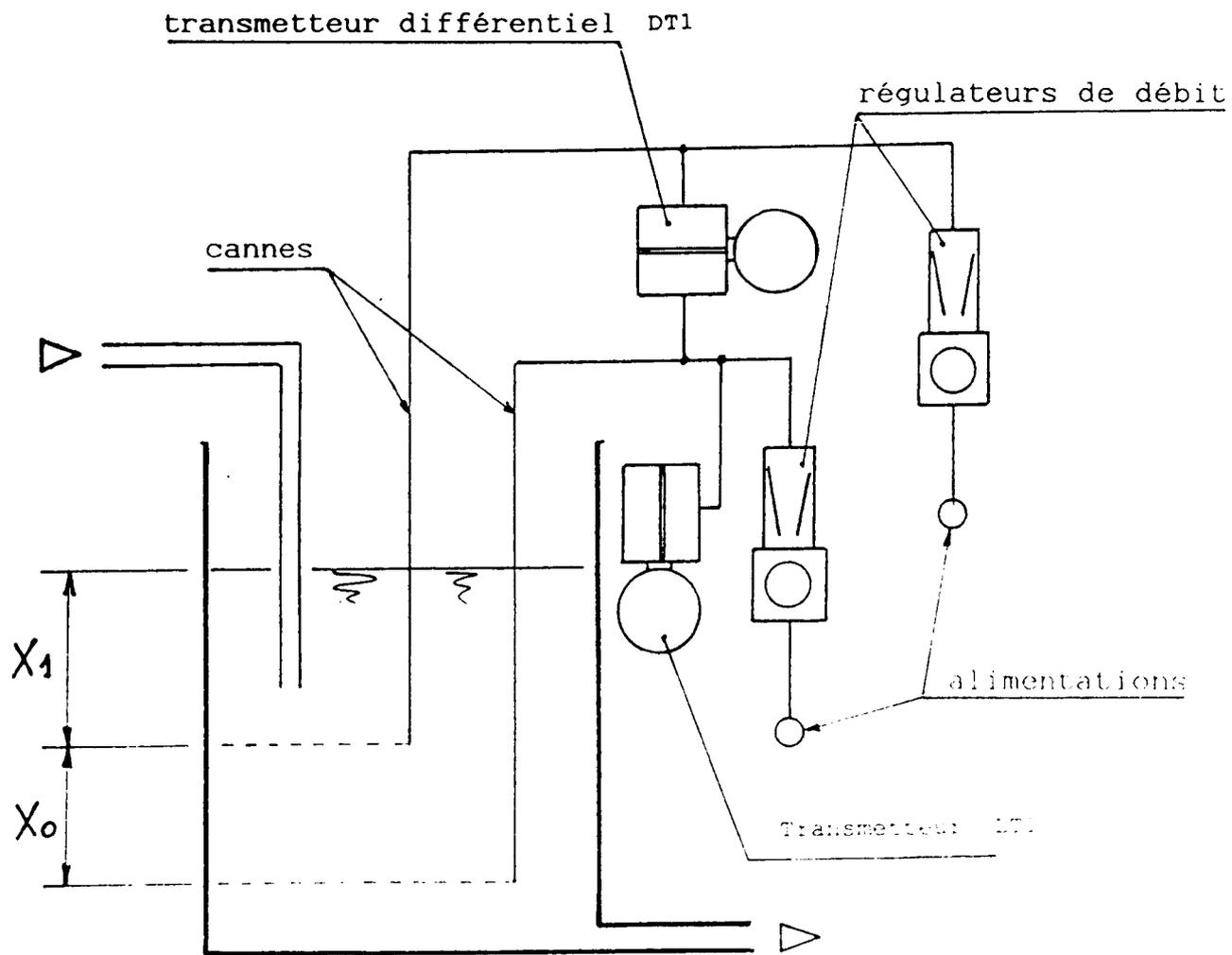


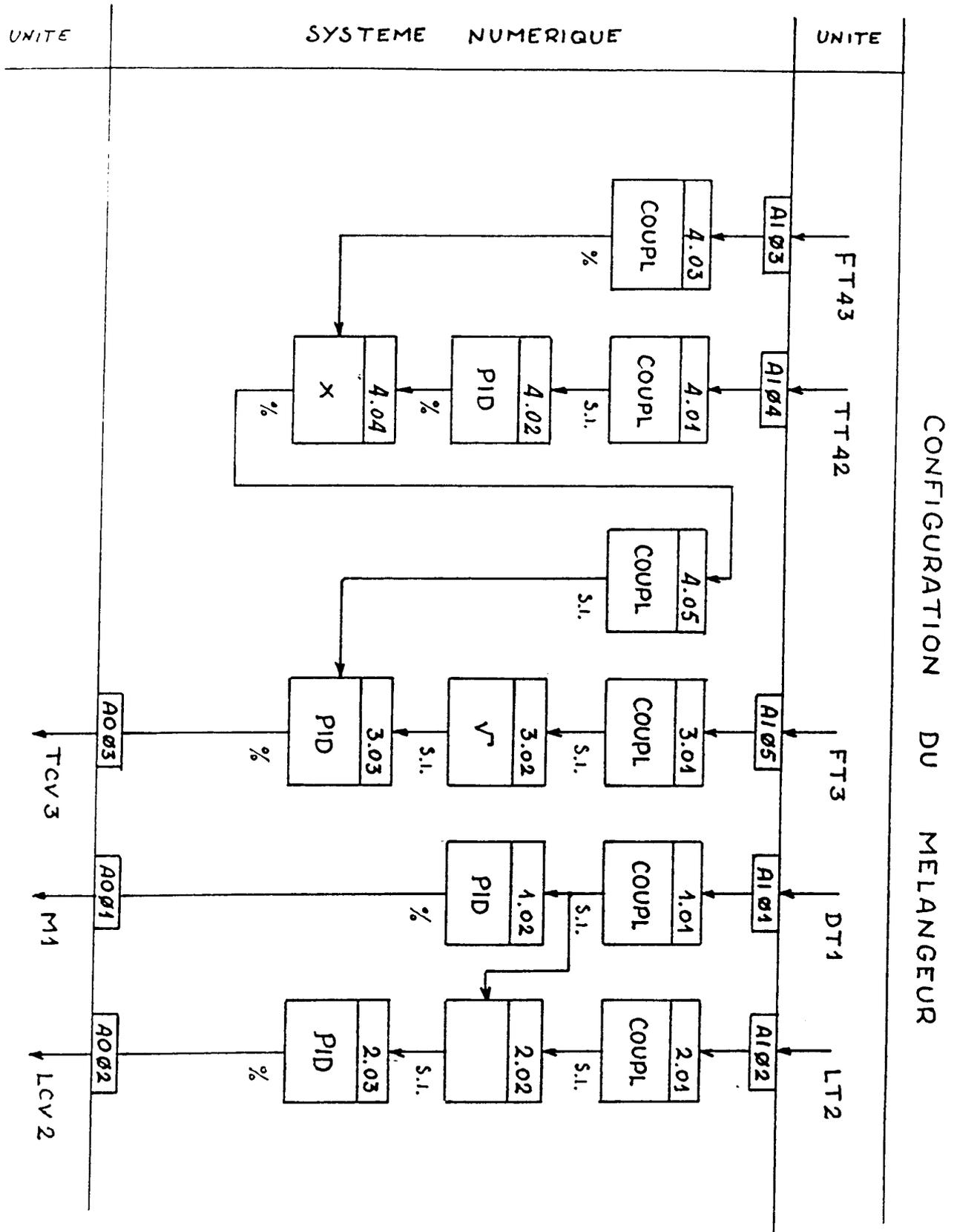
Schéma de principe du capteur DT1 et du transmetteur LT1



Annexe 3 : Notice technique du transmetteur de pression différentielle.

Code des modèles	Plage de réglage de l'étendue de mesure		Limites du décalage de zéro (mbar)
	minimale (mbar)	maximale (mbar)	
8 DMC	5	10	- 100 à + 100
8 DMD	5	15	- 50 à + 150
8 DME	5	25	- 50 à + 150
8 DMF	10	30	- 30 à + 180
8 DMG	20	40	0 à 200
8 DMH	100	120	0 à 250
8 DMI	100	150	0 à 300
Précision en % de l'étendue de mesure maximale	± 1%		
Signal de sortie	4 - 20 mA		
Tension d'alimentation u	12 à 53 Vcc		
Charge admissible en Ω	$R = \frac{u - 12}{0,02}$		
Pression statique minimale	34 mbar absolus		
Pression statique maximale	20 bar absolus		

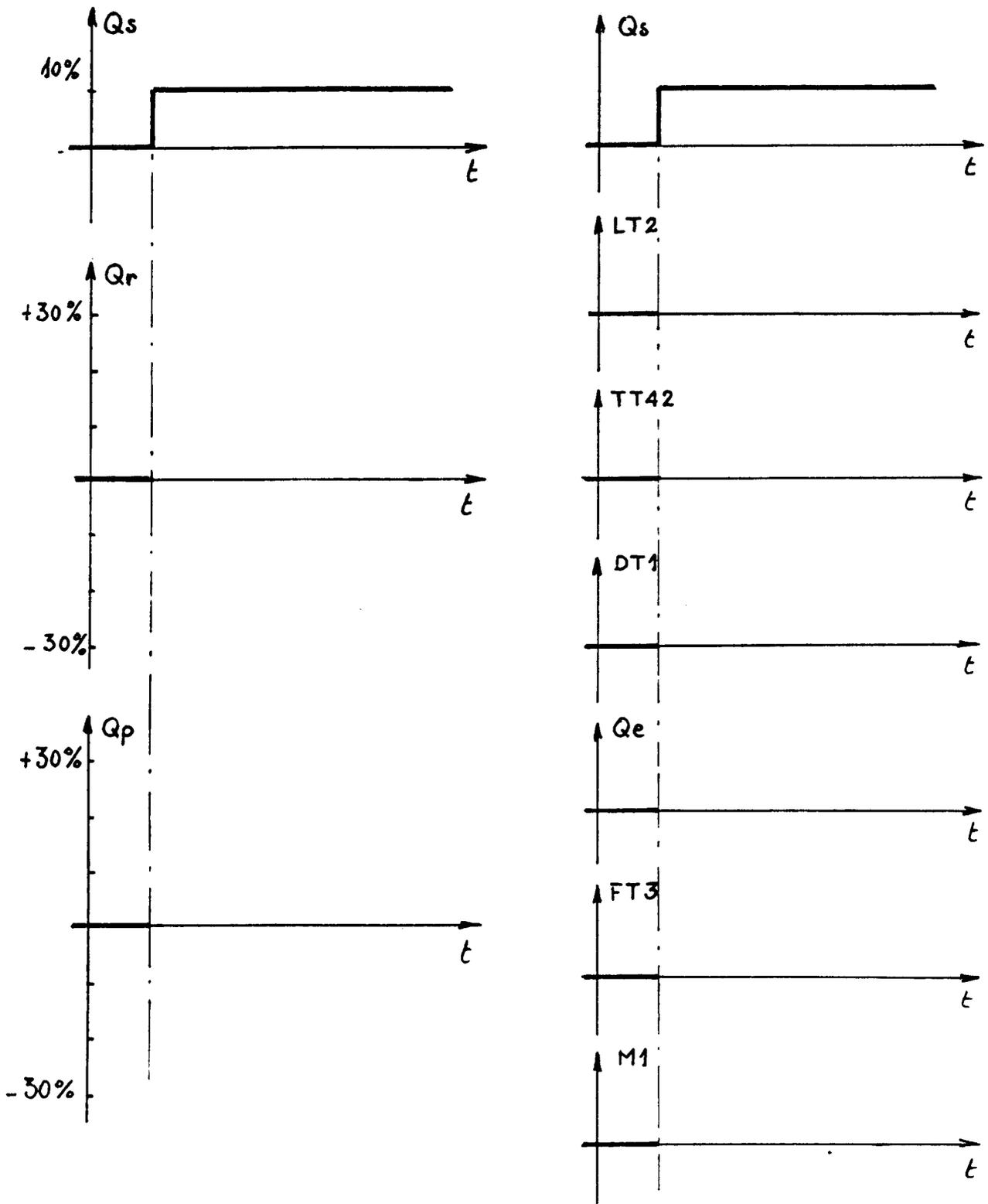
Annexe 4 : Configuration du mélangeur.



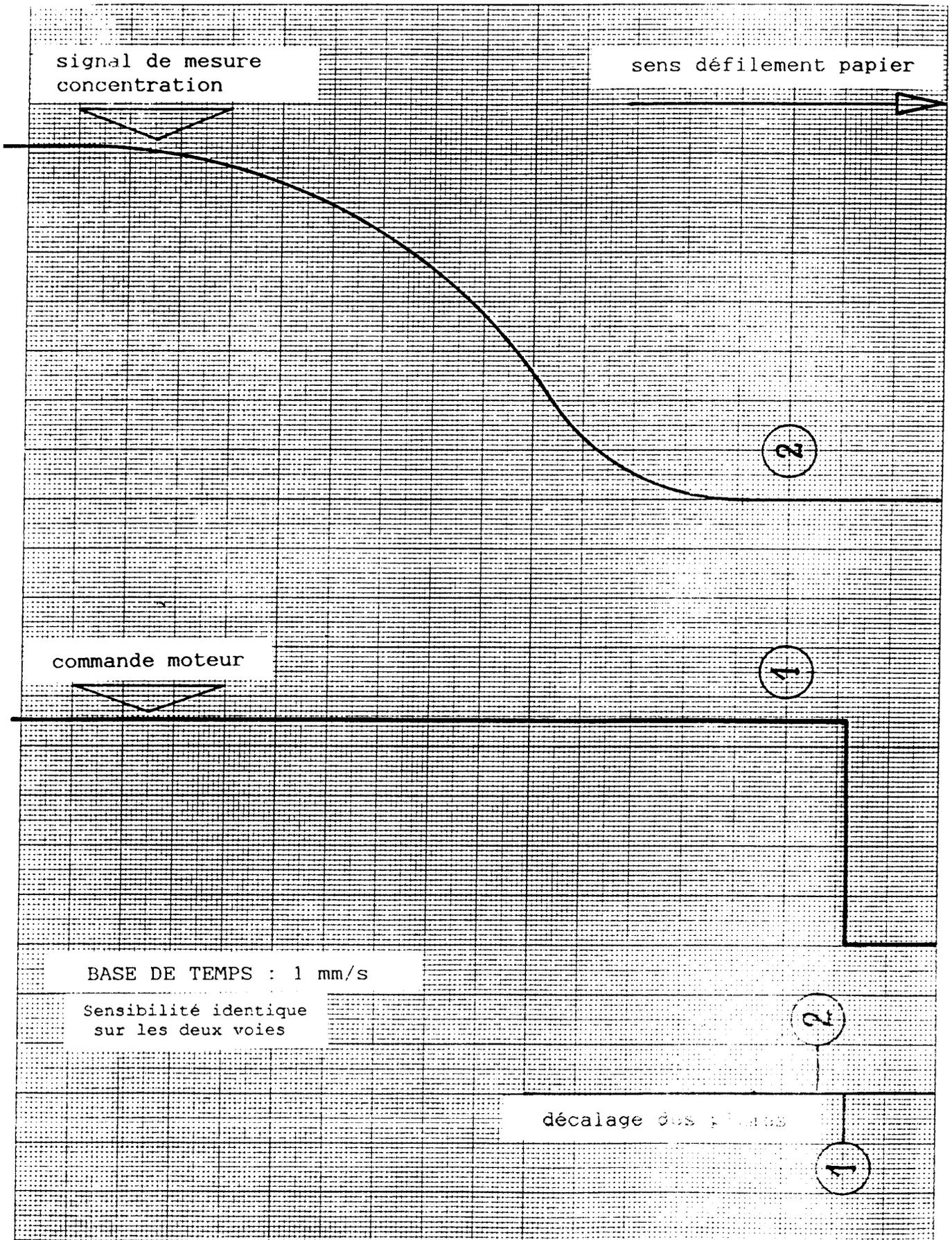
Annexe 5 (à rendre avec la copie)

Évolution des grandeurs physiques

(voir question II-B-3)

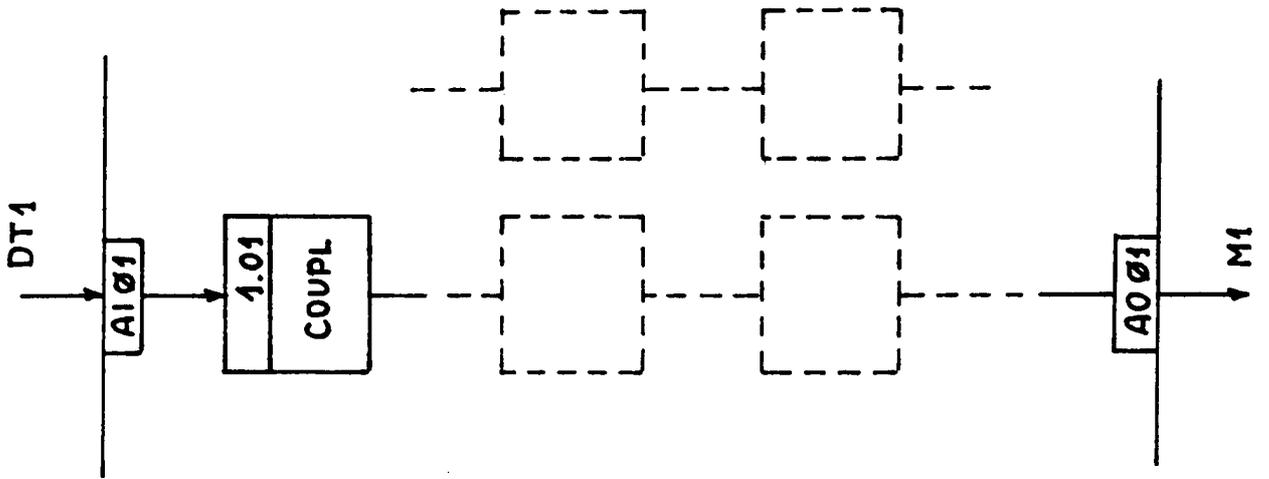


Annexe 6 (à rendre avec la copie)

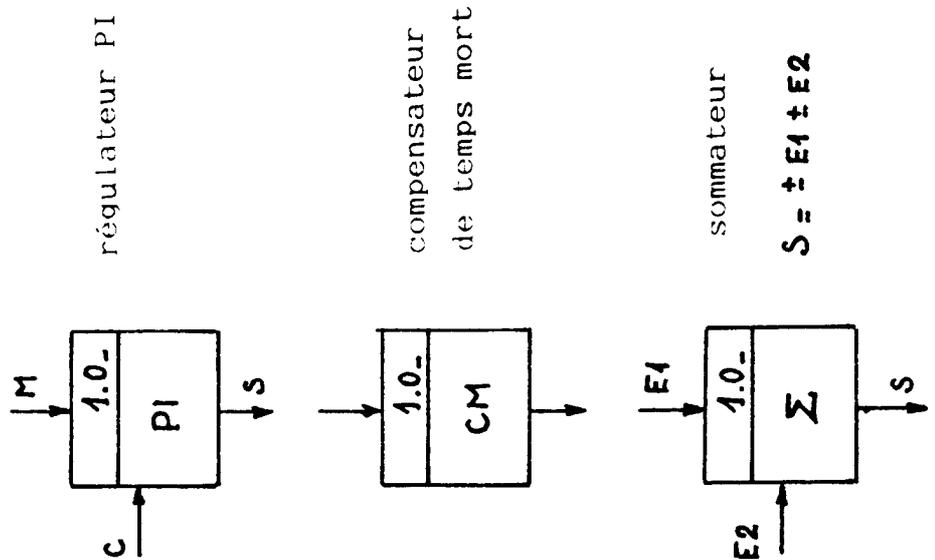


Annexe 7 (à rendre avec la copie)

Schéma de configuration (à compléter)



BLOCS A POSITIONNER



Annexe 8

Table des transformées

f(t)	F(p)	F(z)
(t)	1	1
u(t)	$\frac{1}{p}$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
t	$\frac{1}{p^2}$	$\frac{Te \times z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{p+a}$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
$1 - e^{-at}$	$\frac{a}{p(p+a)}$	$\frac{(1-z^{-1})z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-z^{-1})}$
te^{-at}	$\frac{1}{(p+a)^2}$	$\frac{Te \times z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$

avec $z^{-1} = e^{-aTe}$