

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

U41 – Instrumentation et régulation

Durée : 3 heures

Coefficient : 4

**L'utilisation d'une calculatrice réglementaire est autorisée.
Aucun document autorisé.**

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 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12

<p>Les annexes 2 et 3 sont à rendre agrafées avec la copie d'examen</p>
--

Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.

EXTRUDEUSE INDUSTRIELLE

L'extrusion est un procédé principalement utilisé en agroalimentaire, chimie-plastique et pâte à papier.

Un schéma d'une extrudeuse est donné en *Annexe 1, page 7/12*.

Une vis sans fin tourne à l'intérieur d'un fourreau en entraînant et mélangeant les matières brutes introduites dans la trémie.

Le profil de la vis est étudié en fonction du type de matière à transformer (ex : pâte à papier, farine pour les biscuits apéritifs, granules pour le plastique, etc.).

La matière brute durant son transport sera chauffée afin d'être fondue ou cuite suivant les cas. Un profil de température est établi suivant des zones.

Pour contrôler la température sur chaque zone, sont installés une résistance chauffante et un système de refroidissement à l'eau. La mesure de température de chaque zone est effectuée par thermocouple.

En fin de fourreau (ensemble des zones), une filière permet d'obtenir la forme désirée du produit.

La machine utilisée comme support pour cette étude est une extrudeuse de gamme moyenne utilisée pour fabriquer des biscuits apéritifs.

Grandeurs de fonctionnement pour le type de machine étudié :

Débit des matières introduites • farine + additif : 800 kg/h
• eau : de 5 à 15 % du débit massique : farine + additifs.

Température de travail de 120 °C à 150 °C suivant les zones.

Puissance des colliers chauffants : 15 kW

Vitesse des vis 250 tr/min

Pression en tête de filière : 60 bar

Temps de transfert de la matière : 35 s

Masse volumique de l'eau à 20 °C : 1 000 kg/m³

INSTRUMENTATION (7 points)

I1 : MESURE DE TEMPÉRATURE (*Documents en Annexe 5*)

- I1-1 Justifier le choix du thermocouple J.
- I1-2 Déterminer l'erreur absolue maximum pouvant être commise par un thermocouple J, classe de tolérance 2, autour de 150°C.
- I1-3 Pour une mesure à 150°C et une température ambiante de 20°C, déterminer la f e m délivrée par le thermocouple J.

I2 : MESURE DE DÉBIT D'EAU

On souhaite mesurer le débit d'eau introduite à l'entrée de l'extrudeuse avec un débitmètre électromagnétique *PROMAG 50 H* (*documents en Annexe 6*).

- I2-1 Déterminer le débit massique maximum d'eau introduit en kg/h.
- I2-2 Déterminer le débit volumique maximum d'eau introduit en m³/h.
- I2-3 Pour un débit de 0,08 m³/h et pour un DN de 4 mm, déterminer la vitesse du fluide en m/h puis en m/s.
- I2-4 Quelles sont les précautions à prendre quant à l'implantation d'un capteur de débit électromagnétique ?
- I2-5 Dans le cadre d'une modernisation de l'installation, l'implantation d'un SNCC est envisagée.
- expliciter le sigle SNCC
 - le capteur *PROMAG 50 H* peut-il être utilisé ? Justifier.

RÉGULATION (13 points)

R1 : RECHERCHE D'UN MODÈLE DU PROCÉDÉ

On s'intéresse à la régulation de température de la zone 2.

A partir d'un point de fonctionnement stable un échelon de commande de 10% sur l'organe de chauffe a permis d'obtenir la réponse donnée en *Annexe 2 (à rendre avec la copie)*.

R-1 Déterminer le modèle de BROÏDA (par la méthode de Broïda) que l'on notera

$$H(p) = \frac{K \cdot e^{-T \cdot p}}{1 + \tau \cdot p}$$

Avec : K = gain statique

T = retard en secondes

τ = constante de temps en secondes

R2 : RECHERCHE D'UN RÉGLAGE

Pour la suite de ce sujet on prendra pour H(p) : $H(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-30 \cdot p}}{1 + 240 \cdot p}$

Le correcteur utilisé est un PID de structure mixte de fonction de transfert notée C(p).

On choisit de réguler en **PI** avec $T_i = \tau$ (T_i est la constante de temps d'intégration).

L'amplification du régulateur sera notée A.

R2-1 Etablir la fonction de transfert en boucle ouverte notée T(p).

R2-2 Déterminer l'amplification critique du régulateur notée A_c qui met le système en oscillations entretenues.

R2-3 On désire fonctionner avec une marge de gain de 8dB. Donner la nouvelle valeur de A.

R2-4 Préciser qualitativement ce qu'apporterait une action dérivée.

R3 : RÉGULATION DE TENDANCE

La température d'une zone amont influe sur sa zone aval du fait notamment du transport de matière. Voir l'*Annexe 3*.

On se propose de mettre en place une régulation de tendance afin de limiter ce problème.

R3-1 Justifier le choix de cette stratégie.

R3-2 Compléter, sur le schéma TI de l'*annexe 3 (à rendre avec la copie)*, les fonctions des blocs FY1 et FY2.

- R3-3 A partir du schéma fonctionnel de l'*Annexe 3*. Calculer l'expression de $M(p)$ en fonction de $W(p)$, $Z(p)$, $C(p)$, $Hr(p)$, $H_z(p)$, $G(p)$. Donner le résultat sous la forme $M(p)=F1(p).W(p)+F2(p).Z(p)$
- R3-4 Donner l'expression de $G(p)$ qui permet théoriquement de s'affranchir de l'effet de la perturbation $Z(p)$ sur la mesure en fonction de $Hr(p)$ et $H_z(p)$.
- R3-5 On choisit de prendre pour $G(p)$ une simple amplification notée A_K que l'on cherche à calculer.
On réalise pour cela deux essais en charge dont les résultats sont présentés ci-dessous.

L'échelle des transmetteurs de température utilisés est de 0 +400°C.

ESSAI n°1 :

Situation de départ :

- zone amont en automatique température de consigne 150°C
- zone aval en manuel température stabilisée à 150°C.

On passe la consigne de la zone amont de 150 à 180°C

Après stabilisation :

- zone amont en automatique température de consigne 180°C
- zone aval en manuel température stabilisée à 155°C.

ESSAI n°2 :

Situation de départ :

- zone amont en automatique température de consigne 150°C
- zone aval en manuel température stabilisée à 150°C ; $Y_r=30\%$.

On passe Y_r de 30 à 35%

Après stabilisation :

- zone amont en automatique température de consigne 150°C
- zone aval en manuel température stabilisée à 157,5°C.

R3-5-1 A partir de l'essai n°1, déterminer le gain statique sans unités de la fonction de transfert $H_z(p)$. On le notera K_z .

R3-5-2 A partir de l'essai n°2, déterminer le gain statique sans unités de la fonction de transfert $Hr(p)$. On le notera K .

R3-5-3 Calculer l'amplification notée A_K de la fonction de transfert $G(p)$.

R4 : RÉGULATION A ÉCHELLE PARTAGÉE

Le profil de la vis est tel que dans certaines zones la matière est en compression. Cela a pour effet d'accentuer les efforts mécaniques de cisaillement qui dégagent de la chaleur. Il est alors nécessaire de refroidir. Nous sommes ici en présence d'une régulation de type chaud/froid.

CAE4IR

Les actionneurs sont pilotés par un signal analogique. La sortie du régulateur est commune aux deux actionneurs. Voir l'*Annexe 4*. Le partage est réalisé sur les actionneurs.

L'objectif est de rechercher une valeur judicieuse de Y_{r0} sur le diagramme de partage d'échelle.

Pour cela on réalise deux essais en charge dont les résultats sont présentés ci-après. Le point de partage initial est $Y_{R0} = 60 \%$.

L'échelle du transmetteur de température utilisé est toujours de $0 +400^{\circ}\text{C}$.

ESSAI n°1 :

A partir d'un point de fonctionnement stable, on passe le régulateur en manuel puis l'on effectue un échelon de $+10 \%$ sur Y_r . La température s'élève de $15,4^{\circ}\text{C}$.

ESSAI n°2 :

A partir du même point de fonctionnement stable, on passe le régulateur en manuel puis l'on effectue un échelon de -5% sur Y_r . La température chute de 18°C .

- R4-1 Déterminer le gain statique sans unités du procédé chaud noté K_{ch}
- R4-2 Déterminer le gain statique sans unités du procédé froid noté K_{fr}
- R4-3 Comment décaler le point de partage Y_{R0} pour équilibrer les 2 gains statiques.

R5 : RÉGULATION MODULÉE

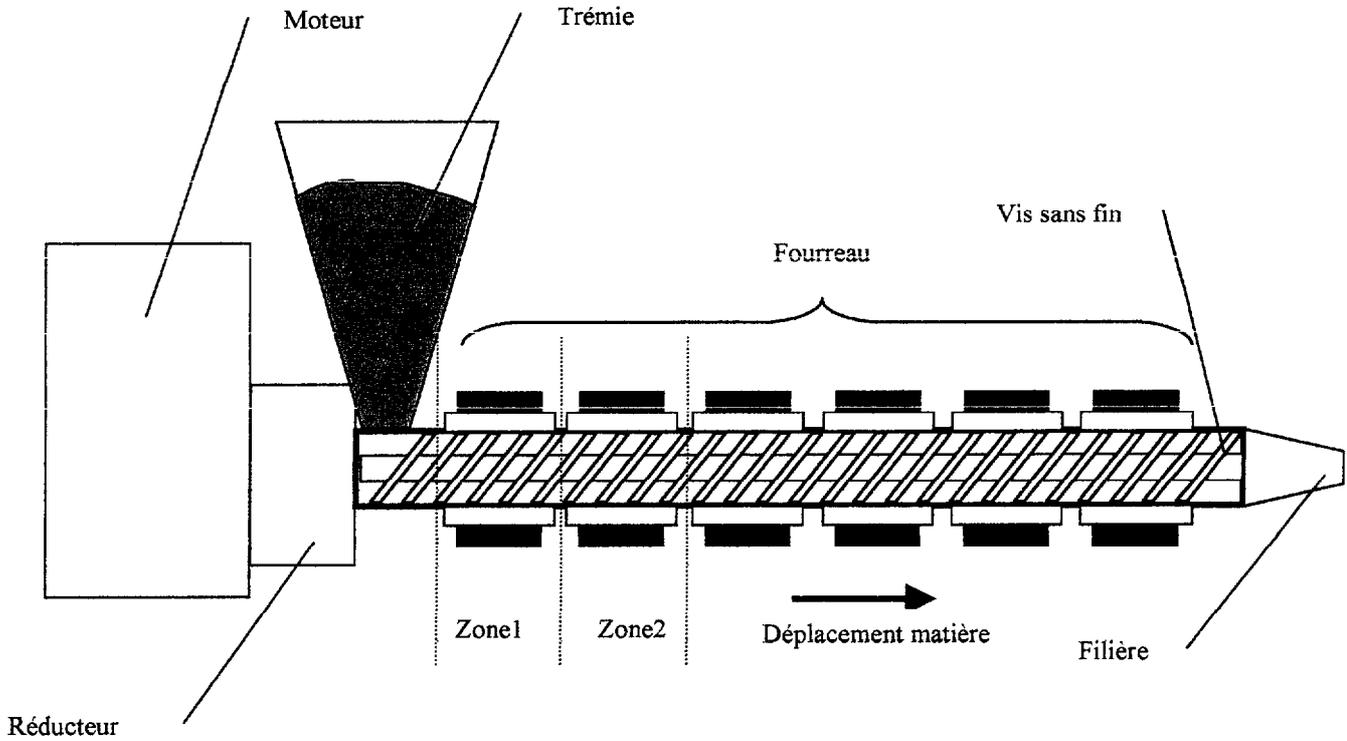
On s'intéresse ici à la commande du chauffage. Des colliers chauffants alimentés en 220V monophasé sont pilotés par des contacteurs.

La puissance de chauffe demandée par le régulateur va de 0% (aucun chauffage contacteur ouvert) à 100% (chauffage maximum contacteur fermé en permanence).

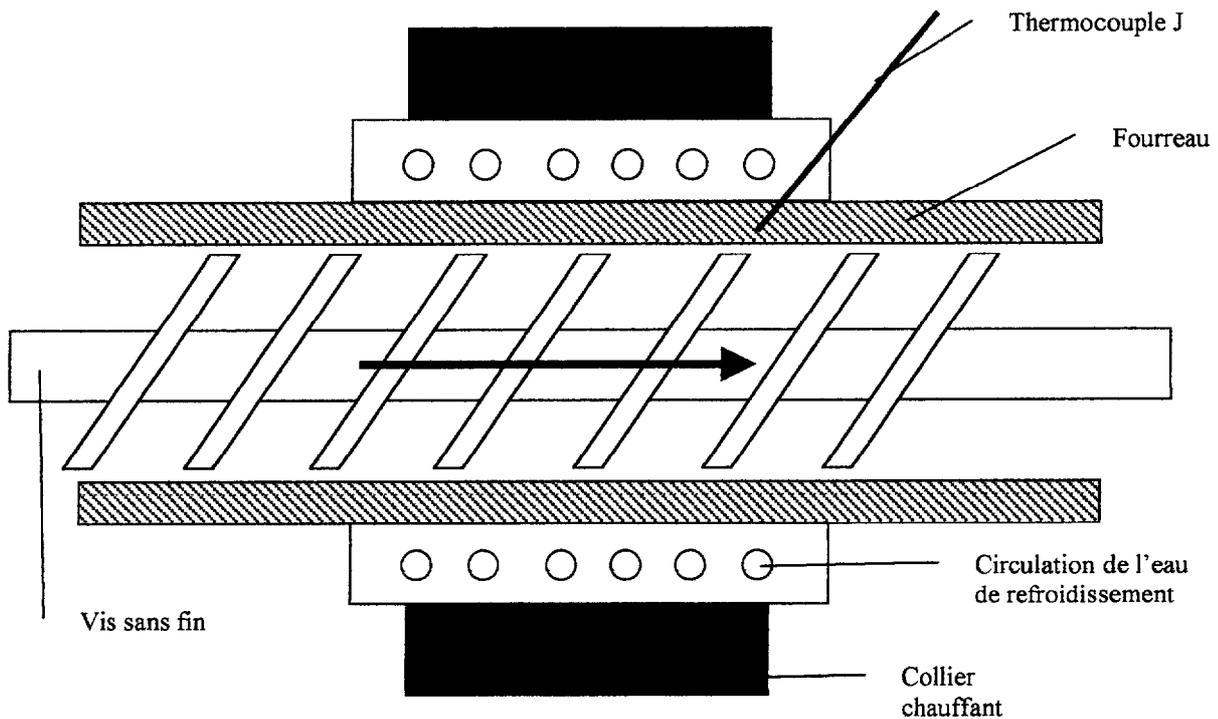
Le temps de cycle C_y est fixé à 10s.

- R5-1 Quel est l'intérêt de ce genre d'actionneurs ?
- R5-2 Quel pourcentage de la constante de temps du système représente ce temps de cycle ? Que se passe-t-il si le temps de cycle est trop important ?
- R5-3 Pour $Y_r = 40 \%$ puis $Y_r = 60 \%$ et un temps de cycle de 10 sec, tracer sur votre copie deux chronogrammes représentant la commande du contacteur en fonction du temps (0 : ouvert ; 1 : fermé).
Echelles : en abscisse 1 cm correspond à 1s et en ordonnée 5 cm correspondent à 1.

Annexe 1 : Schéma de principe de l'extrudeuse

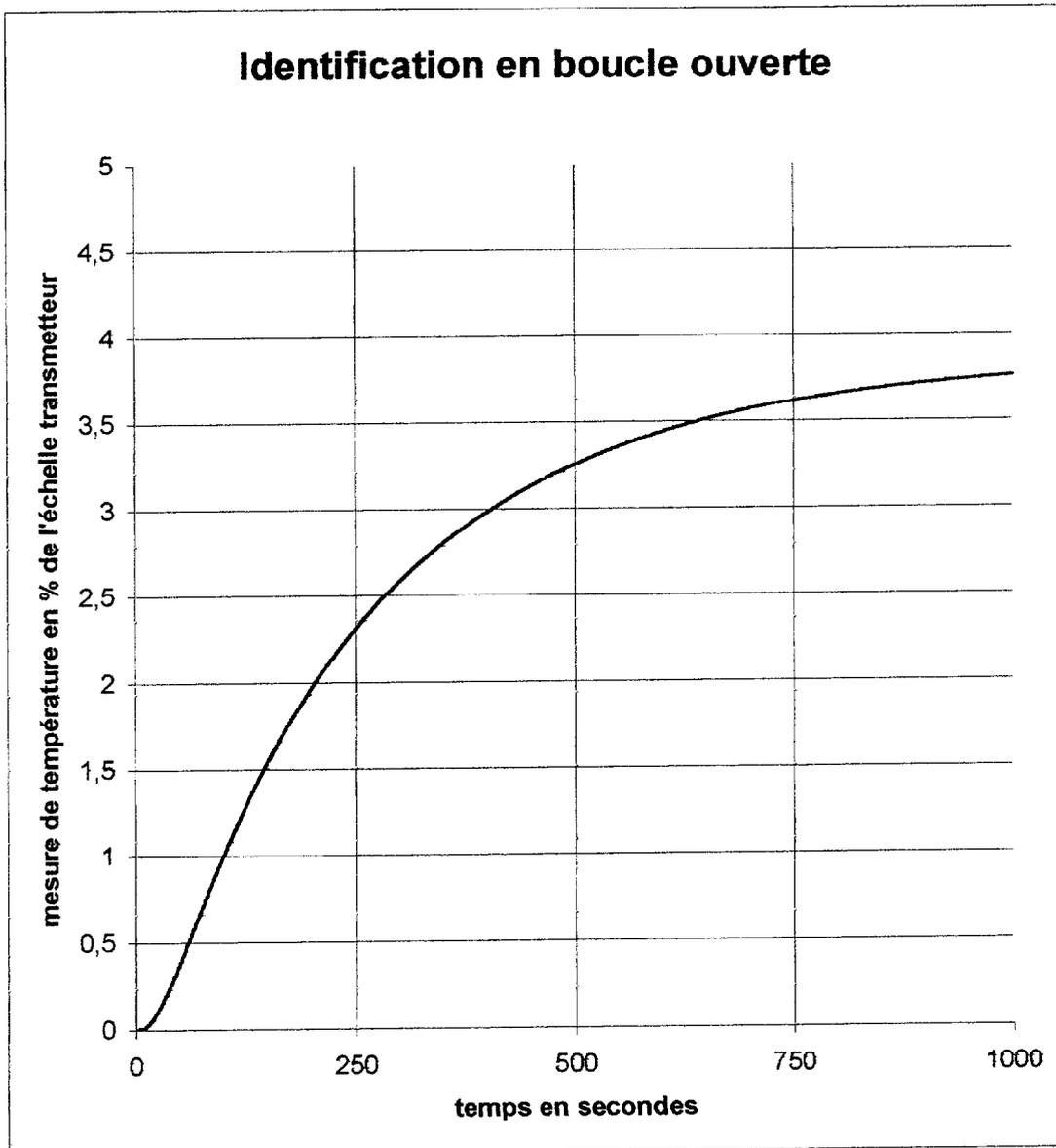


Détail d'une zone



A rendre avec la copie

Annexe 2 : Identification en boucle ouverte



Note : après stabilisation, la variation totale de la mesure est de 3,85 % de l'échelle transmetteur.

A rendre avec la copie

Annexe 3 : Régulation de tendance

Schéma TI (à compléter)

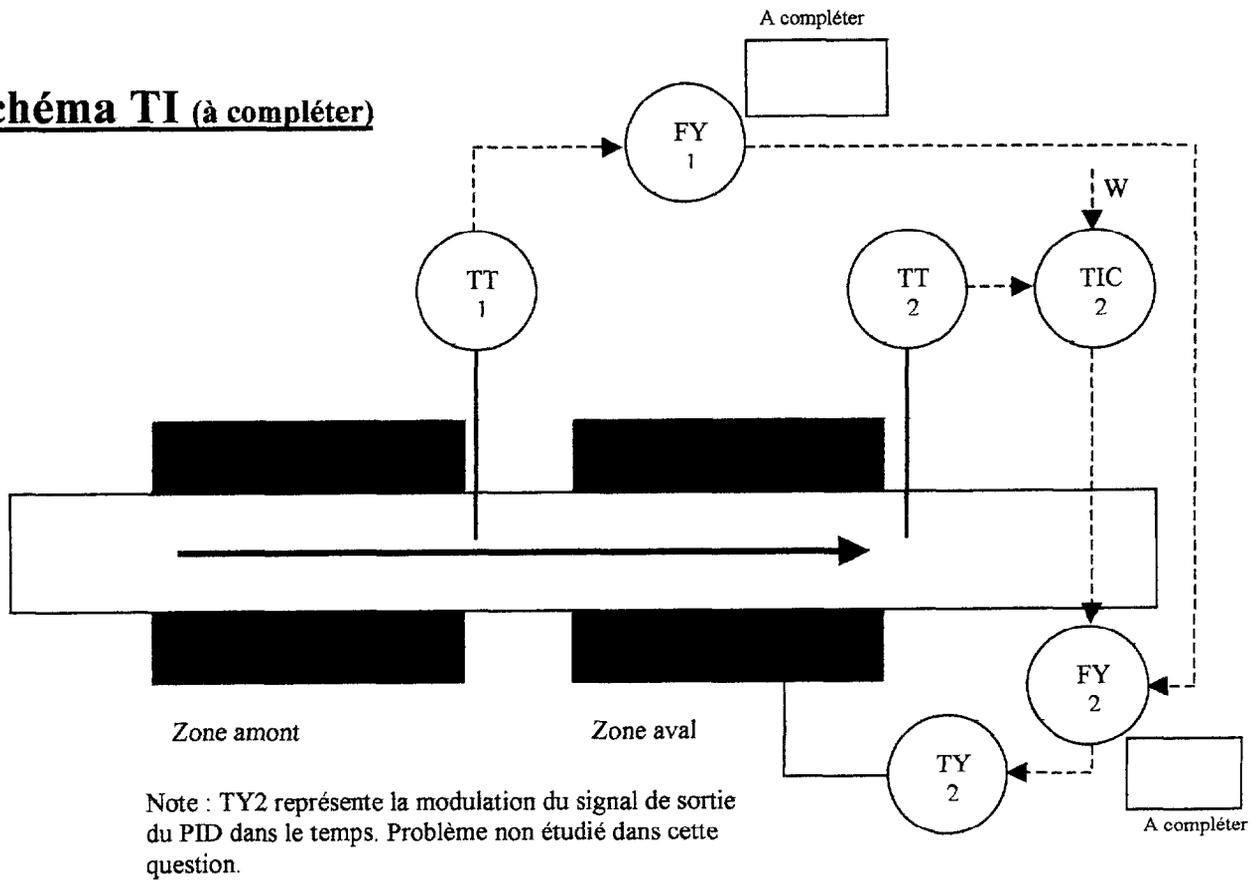
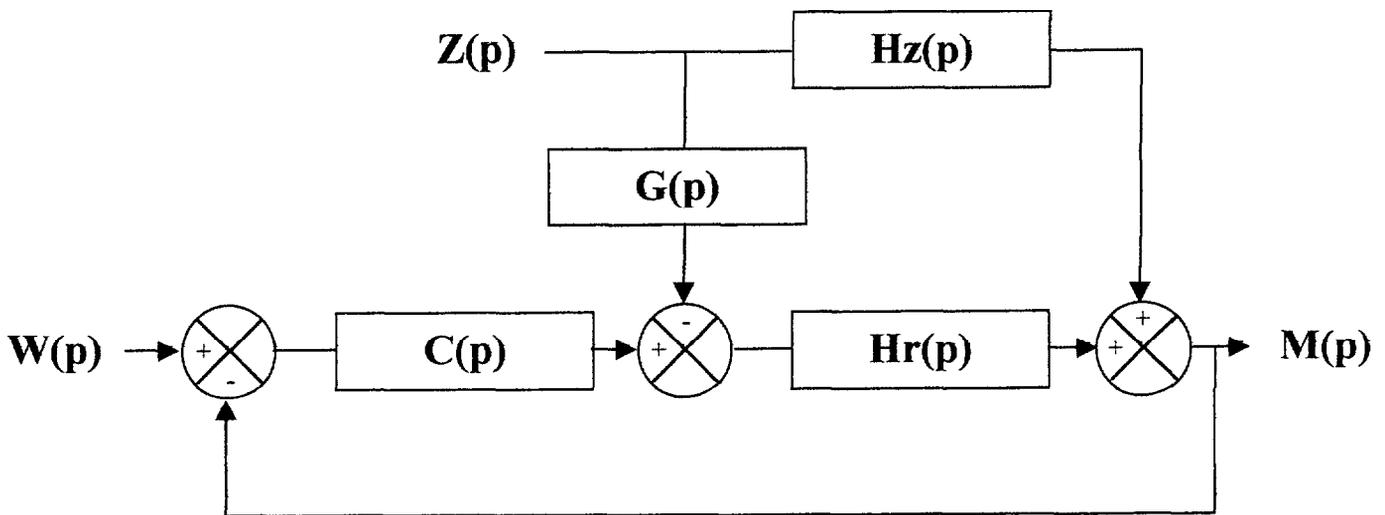


Schéma fonctionnel de la régulation de tendance



Annexe 4 : Régulation à échelle partagée

Schéma TI

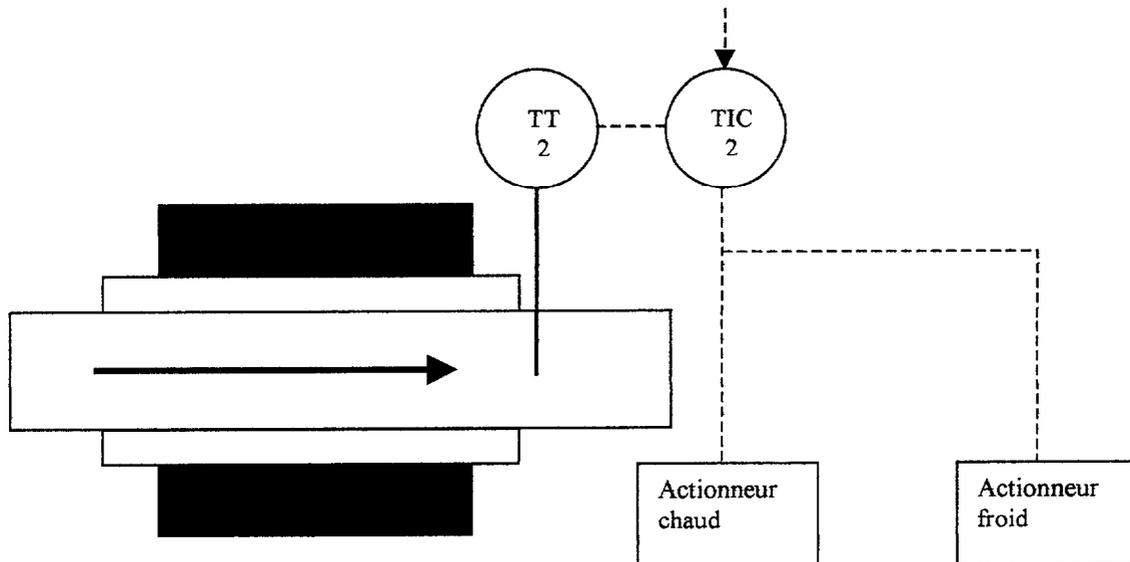
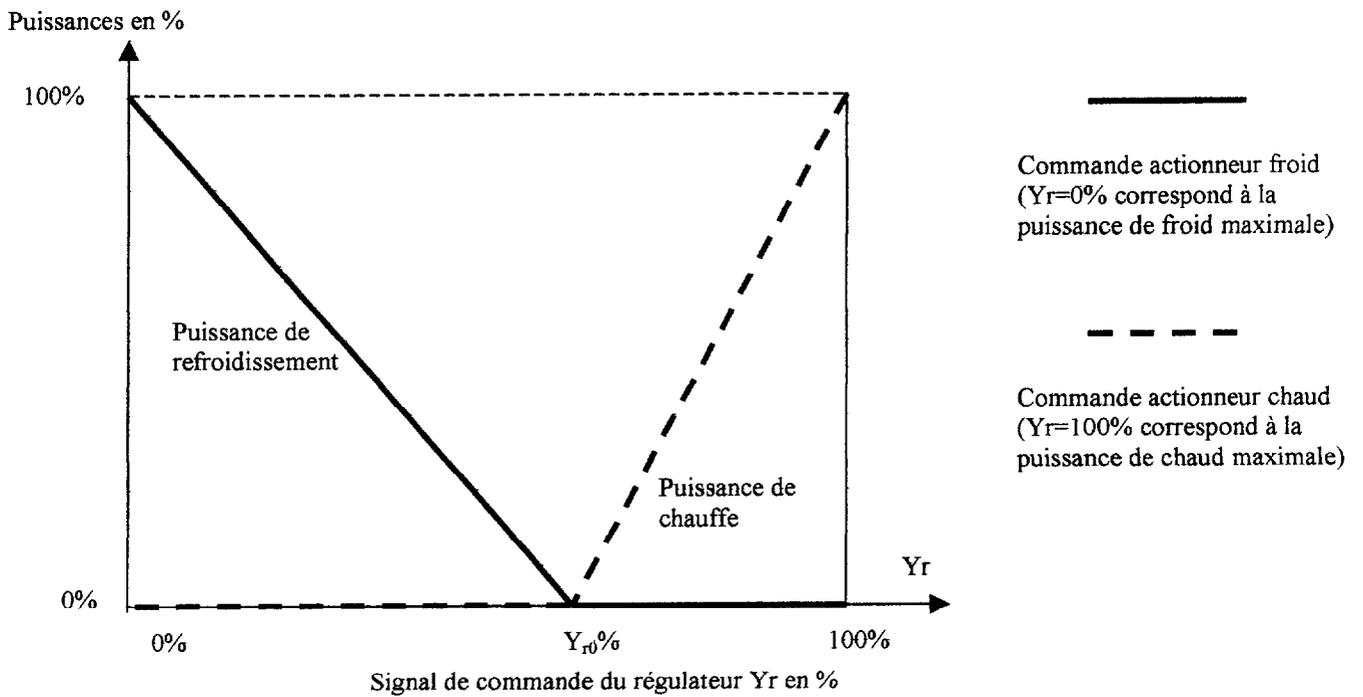


Diagramme de partage d'échelle



Annexe 5 : Données thermocouples

TABLEAU 1 : GAMMES DE TEMPÉRATURES ET SENSIBILITÉS

Type du thermocouple	Gamme de température	Sensibilité autour de 150°C
T	-40 à +350 °C	50.2 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
J	-40 à +750 °C	55.15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
K	-40 à +1000 °C	40.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
S	0 à +1600 °C	7.95 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

TABLEAU 2 : CLASSES DE TOLÉRANCE DES THERMOCOUPLES J

Thermocouple J	Tolérance classe1	Tolérance classe2
Gamme de température	-40 à +375 °C	-40 à +333°C
Valeur de la tolérance	$\pm 1.5^\circ\text{C}$	$\pm 2.5^\circ\text{C}$
Gamme de température	375 à +750 °C	333 à +750 °C
Valeur de la tolérance	$\pm 0.004.t$	$\pm 0.0075.t$

t représente la température en °C

TABLEAU 3 : TABLE DES THERMOCOUPLES J

EXTRAIT de la table des thermocouples J

FEM en microvolts

Jonction de référence à 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	101	151	202	253	303	354	405	456
10	507	558	609	660	711	762	813	865	916	967
20	1019	1070	1122	1174	1225	1277	1329	1381	1432	1484
30	1536	1588	1640	1693	1745	1797	1849	1901	1954	2006
40	2058	2111	2163	2216	2268	2321	2374	2426	2479	2532
50	2585	2638	2691	2743	2796	2849	2902	2956	3009	3062
60	3115	3168	3221	3275	3328	3381	3435	3488	3542	3595
70	3649	3702	3756	3809	3863	3917	3971	4024	4078	4132
80	4186	4239	4293	4347	4401	4455	4509	4563	4617	4671
90	4725	4780	4834	4888	4942	4996	5050	5105	5159	5213
100	5268	5322	5376	5431	5485	5540	5594	5649	5703	5758
110	5812	5867	5921	5976	6031	6085	6140	6195	6249	6304
120	6359	6414	6468	6523	6578	6633	6688	6742	6797	6852
130	6907	6962	7017	7072	7127	7182	7237	7292	7347	7402
140	7457	7512	7567	7622	7677	7732	7787	7843	7898	7953
150	8008	8063	8118	8174	8229	8284	8339	8394	8450	8505
160	8560	8616	8671	8726	8781	8837	8892	8947	9003	9058
170	9113	9169	9224	9279	9335	9390	9446	9501	9556	9612
180	9667	9723	9778	9834	9889	9944	10000	10055	10111	10166
190	10222	10277	10333	10388	10444	10499	10555	10610	10666	10721
200	10777	10832	10888	10943	10999	11054	11110	11165	11221	11276

Annexe 6 : Données techniques débitmètre

Débitmètre électromagnétique promag 50/53 H

Mesure de débit de liquides dans les applications agroalimentaires, pharmaceutiques et industrielles.

<p>Avantages en bref</p> <ul style="list-style-type: none"> •Diamètres nominaux DN 2... 100 •Revêtement PFA pour températures de nettoyage jusqu' à +150 °C (+180 °C en préparation) •Compatible nettoyage NEP/SEP ou à l'écouvillon •Boîtier en inox garantissant une grande sécurité bactériologique •Agrément 3A et test EHEDG •Robuste boîtier de protection en IP 67 •Boîtier pour montage mural en IP 67 pour un montage simple de la version séparée •Faible incertitude de mesure pour une optimisation du process : -Promag 50 : $\pm 0,5\%$(Option: $\pm 0,2\%$) -Promag 53 : $\pm 0,2\%$ •Promag 53 avec "Touch Control": Commande de l'extérieur sans ouverture du boîtier 	<ul style="list-style-type: none"> •Packages de logiciels : -pour applications dosage -pour la maintenance préventive et une sécurisation du process •Menus "Quick Setup" pour une mise en service simplifiée sur site •Interfaces pour la liaison à tous les systèmes de conduite de procédé usuels: -en standard avec HART -Promag 50 : PROFIBUS-PA -Promag 53 : PROFIBUS-PA/-DP, FOUNDATION Fieldbus <p>Domaines d'application Tous les liquides avec une conductivité minimale $\geq 5S/cm$ peuvent être mesurés :</p> <ul style="list-style-type: none"> •Boissons, par ex. jus de fruits, bière, vin •Produits laitiers, mélanges de fruits •Solutions salines •Acides, bases, etc.
---	--

Plage de débit

Le diamètre de la conduite et le débit déterminent le diamètre nominal du capteur. La vitesse d'écoulement optimale se situe entre 2...3 m/s.

Diamètre nominal		Débit en [m ³ /h]		
[mm]	[inch]	Débit pour v =0,3 m/s	Réglage usine pour v =2,5 m/s	Débit pour v =10 m/s
2	1/12"	0,0034	0,0283	0,1131
4	5/32"	0,0136	0,1131	0,4524
8	5/16"	0,0543	0,4524	1,810
15	1/2"	0,1909	1,590	6,362
25	1"	0,5301	4,418	17,67
32	1 1/4"	0,8686	7,238	28,95
40	1 1/2"	1,357	11,31	45,24
50	2"	2,121	17,67	70,69
65	2 1/2"	3,584	29,87	119,5
80	3"	5,429	45,24	181,0
100	4"	8,482	70,69	282,7