

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

14/86

وزارة التعليم والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

1 ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

# PROJET DE FIN D'ETUDES

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

## SUJET

*Banc d'Essai de la  
Regulation de Niveau*

Proposé par :  
A. WERNER

Etudié par :  
Amar TAIBI

dirigé par :  
A. WERNER

PROMOTION JANVIER 1986

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَارْحَمْنَا

D E D I C A C E S

-A mon père, qui m'a enseigné comment croire en DIEU, et aimer avec force sa patrie; qui a travaillé dur pour satisfaire nos besoins.

-A ma mère

-A mes frères et soeurs

-A toute ma famille: TAIBI, BAIDA, BENLAGHA.

-A tous mes amis.

-A tout ceux qui croient en un DIEU unique, et en son prophète MOHAMED.

Je dédie ce modeste travail .

AMAR.

## REMERCIEMENT

Je tiens à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation d'ingénieur et particulièrement les professeurs de GENIE-MECANIQUE. Je réitère mes remerciements à Monsieur A. WERNER pour ses conseils et son suivi durant mon travail.

Je n'oublierai pas surtout de remercier mes amis et frères : NEKBIL, HADJ-ALI, ABDESLAM, AZIZ, MUSTAPHA, ALI, ABDELKADER, MOUSSA pour leur aide efficace lors de la réalisation.

Que tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la mise en forme de ce projet trouveront ici l'expression de ma profonde gratitude.

# T A B L E D E S M A T I E R E S

1-	INTRODUCTION	
1-1	Introduction.....	1
1-2	Analyse du sujet.....	2
1-3	Comportement dynamique du procédé.....	4
1-4	Mésure du débit.....	5
2-	PARAMETRES DU BANC D'ESSAI	
2-1	Paramètres du banc d'essai.....	7
2-2	Dimensionnement de la vanne de réglage.....	8
2-2-1	Dimensionnement théorique.....	9
2-2-2	Dimensionnement par les essais.....	12
2-3	Paramètre dynamique de la mesure du débit.....	14
3-	PARAMETRES DU BANC DE REGULATION	
3-1	Niveau bulle à bulle.....	18
3-2	Système de mesure .....	20
3-2-1	Rotamètre .....	20
3-2-2	Régulateur ( F.D) .....	21
3-3	Détermination du ressort de consigne .....	22
3-4	Régulateur (type ARCA) .....	25
3-4-1	Système buse-palette .....	25
3-4-2	Régulation (P) .....	26
-	Description-fonctionnement .....	27
-	Comportement dynamique .....	28
3-4-3	Régulation (P I°).....	28
-	Description .....	28
-	Fonctionnement.....	29
-	Merite des actions P et I;.....	32
-	Comportement dynamique PI.....	32
3-4-4	Régulation (P I D ).....	32
-	Description .....	33
-	Fonctionnement .....	33
-	Comportement dynamique .....	34
3-4-5	Vanne automatique.....	35
-	Servo-moteur, corps, vanne à clapet. type de vanne .....	37
-	Caractéristique d'une vanne linéaire.....	37
-	Choix de la caractéristique d'une vanne de réglage.....	38

4-	ANALYSE DE LA BOUCLE DE REGULATION.....	
4-1	Caracteristique de la vanne automatique...39	
	- Solution 1.....40	
	- Solution 2.....40	
4-2	Etude mathématique des transmittances	
	(P I et PID ) du régulateur .....44	

5- TRAVAUX EFFECTUES ET MODE D'EMPLOI

5-1	Travaux effectués.....	
5-2	Mode d'emploi.....	

- C O N C L U S I O N .....

## CHAPITRE 1

## 1.1- INTRODUCTION

La régulation automatique présente un domaine très vaste que l'industrie d'aujourd'hui ne peut progresser dans la réalisation des appareils complexes sans tenir compte de l'aspect régulation.

Le développement de la régulation automatique a contribué pour une part importante au progrès industriel.

Le problème de la régulation présente un facteur important dans l'étude d'un système, ce qui a incité les spécialistes de se pencher vers le côté mathématique, et en sortir avec des critères et lois. C'est pendant, et après la seconde guerre mondiale que c'est imposée la régulation comme science régie par des lois.

La régulation automatique consiste à maintenir à une valeur déterminée une quantité, en mesurant sa valeur existante en la comparant à la valeur prescrite, et en utilisant la différence entre ces deux valeurs pour actionner un dispositif qui tente à réduire cette différence.

La régulation automatique utilise donc une boucle fermée d'action et de rétro-action, fonctionnant sans intervention humaine.

La raison principale pour laquelle on utilise les procédés de régulation automatique dans l'industrie est l'économie qu'ils apportent dans l'exploitation des procédés industriels, économie qui est plus importante que les frais d'équipement qu'ils nécessitent.

Les dispositifs de régulation automatique sont utilisés à presque tous les stades des opérations industrielles. On les emploie dans les industries de transformation, de fabrication, des transports, les machines-outils, compresseurs, ...

Parmi les divers exemples de régulation, on trouve celui du niveau d'eau d'un réservoir. Avant l'apparition de la régulation pneumatique, on effectua la régulation du niveau à l'aide d'un levier mobile autour d'un axe fixe, qui porte dans une de ses extrémités un flotteur au contact du niveau de l'eau, et de l'autre extrémité l'obturateur de la vanne.

## 1.2- ANALYSE DU SUJET

Le département hydraulique dispose d'un réservoir utilisé dans les applications concernant les travaux pratiques d'orifices et ajutages. Le but de cette manipulation consiste à tracer expérimentalement la courbe donnant le débit  $Q$  en fonction de la hauteur de charge  $H$ , pour des éléments déprimogènes interchangeables. La variable est  $H$ , pour chaque valeur de  $H$ , on détermine la valeur du débit  $Q$  correspondant.

La variation de  $H$  s'effectue à l'aide d'un volet déversant réglable en altitude par inclinaison de son plan par rapport à l'horizontal. Dans ce TP après inclinaison du volet, on détermine (lecture) la hauteur  $H$  à partir d'un système à électrodes (témoin) immergé dans un petit réservoir lié à notre réservoir principal, puis lire la hauteur  $h$  du déversoir triangulaire, et en utilisant la table  $(h, Q)$  pour chaque valeur de  $h$  on détermine le débit correspondant.

L'écoulement de l'eau s'effectue dans un circuit fermé, l'eau est refoulée par la pompe à partir du réservoir du dessous vers le réservoir déversant du haut, qui alimente le banc d'essai avec une hauteur de chute de 5m. figure 1a.

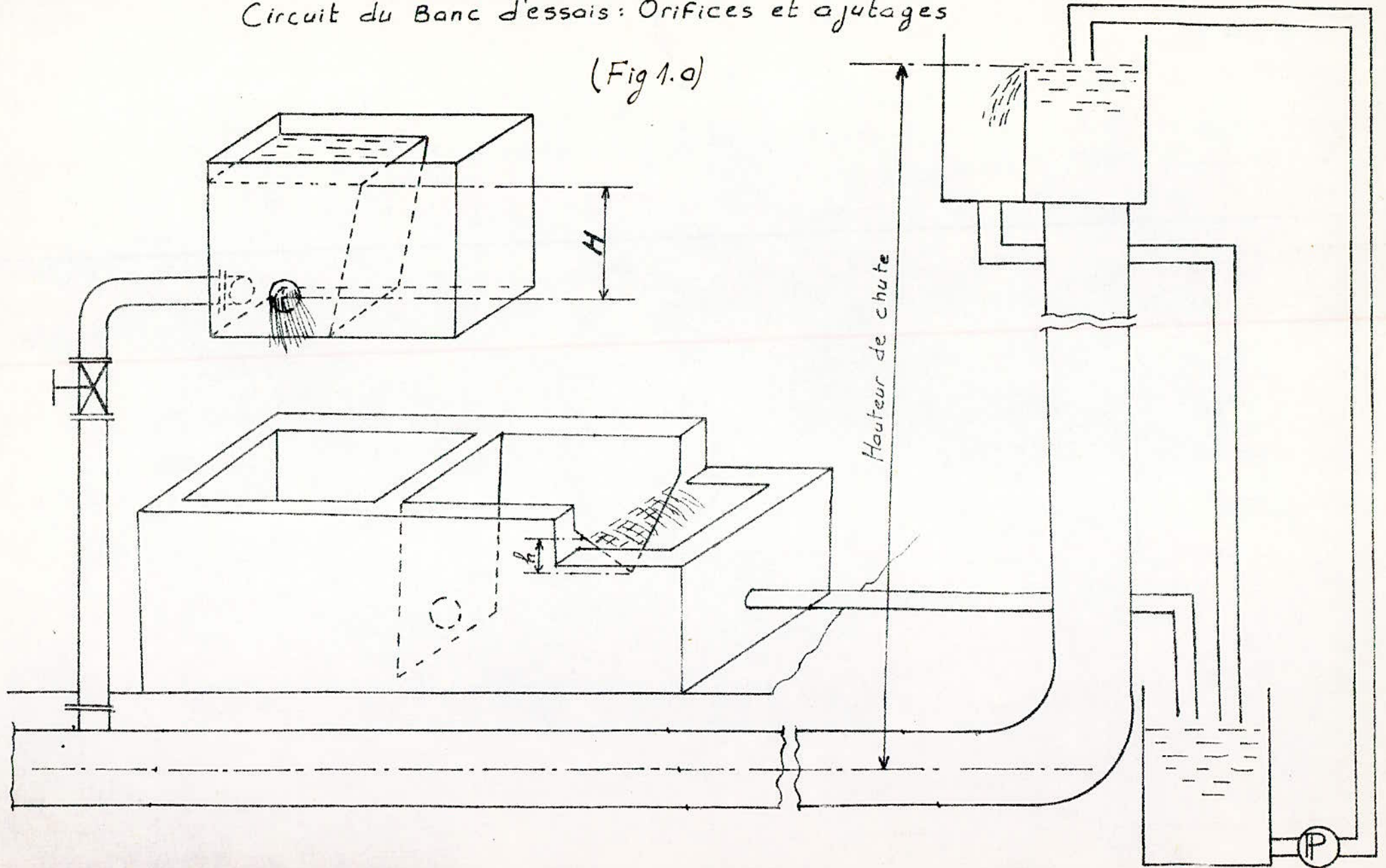
Le sujet veut adapter à ce réservoir une régulation pneumatique en laissant le système à volet fonctionnel.

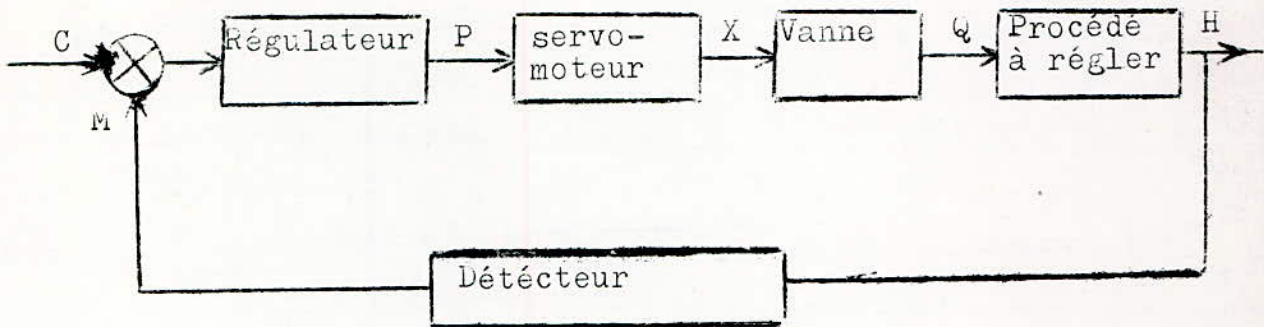
pour cela il nous faut un détecteur de niveau (tube de barbotage, immergé dans le réservoir) qui sera au contact avec  $H$ , Un régulateur qu'on lui communiquera la variation de  $H$ , et agira en conséquence sur l'alimentation du réservoir par l'intermédiaire d'un organe réglant qui est une vanne équipée d'un servo-moteur.



Circuit du Banc d'essais: Orifices et ajutages

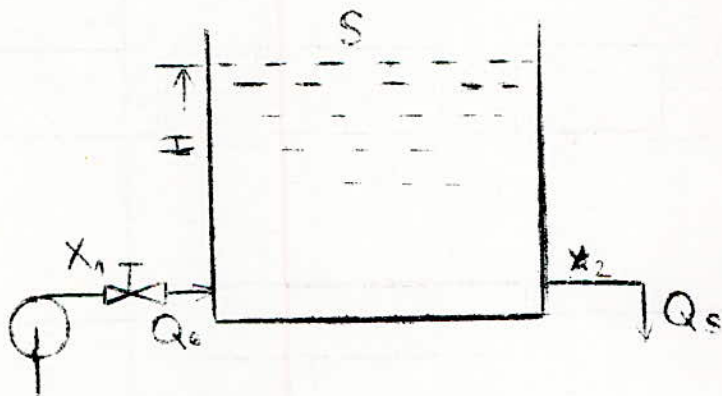
(Fig 1.a)





Par ce procédé de régulation, si on veut une hauteur  $H$ , on se donne une valeur de consigne correspondante  $C$ , en agissant sur une vis de réglage, on règle le débit d'air du tube immergé dans le réservoir, et on laisse le régulateur agir seul sur les différentes perturbations jusqu'à éliminer l'erreur, et obtenir la hauteur voulue.

### 1.3-COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU PROCÉDE



Considérons un réservoir muni d'une vanne d'entrée d'ouverture  $X_1$  et d'un orifice de sortie d'ouverture  $X_2$ . Pour une pression d'alimentation constante, le débit entrant  $Q_e$  est une fonction non linéaire de l'ouverture  $X_1$  de la vanne d'entrée et du niveau  $H$  du liquide. De même  $Q_s$  est fonction à la fois de  $X_2$  et de  $H$  (pression aval nulle). Dans le raisonnement qui suit on traite le débit d'entrée

comme un paramètre imposé.

Une variation du débit d'entrée à partir d'un état d'équilibre est donnée par l'équation:

$$Q_e + q_e = Q_s + q_s + S \frac{d}{dt} (H+h)$$

En régime établi,  $Q_e$  est égal à  $Q_s$  et  $H$  étant une constante

$$q_e = q_s + S \frac{dh}{dt} \quad (I)$$

Pour une ouverture constante pour le débit de sortie (pour un ajustage donné), le débit de sortie sera fonction de la hauteur d'eau instantanée dans le réservoir, et  $K$  étant un coefficient constant:

$$\begin{aligned} Q_s + q_s &= K \sqrt{2g(H+h)} \\ &= K \sqrt{2gH} \sqrt{1+\frac{h}{H}} \\ &= K \sqrt{2gH} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{h}{H} + \dots \right) \end{aligned}$$

On peut négliger les termes en  $h/H^2$  et au-delà.

$Q_s$  étant égal à  $K\sqrt{2gH}$ , on trouve:

$$q_s = K \sqrt{\frac{g}{2H}} \cdot h$$

$$q_s = \frac{Q_s}{\sqrt{2gH}} \cdot \sqrt{\frac{g}{2H}} \cdot h$$

$$q_s = \frac{Q_s}{2H} h$$

Si on revient à l'équation (I)

$$\frac{2H}{Q_s} S \frac{dh}{dt} + h = \frac{2H}{Q_s} q_e$$

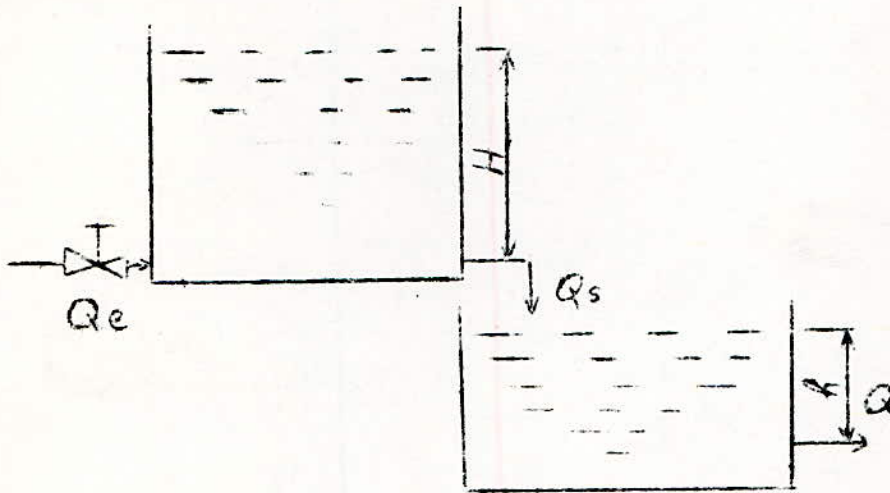
Nous avons employé un développement en série limité à deux termes. On note que la relation entre  $q_s$  et  $h$  où ( $q_e$  et  $h$ ) dépend du niveau moyen et change avec ce dernier.

Ceci signifie que, la relation ayant été linéarisée, les équations différentielles du système qui en résultent ne concerneront que de petites variations autour de la valeur moyenne choisie et qu'il faudra examiner attentivement les effets des variations importantes.

## 1.4-MESURE DU DEBIT

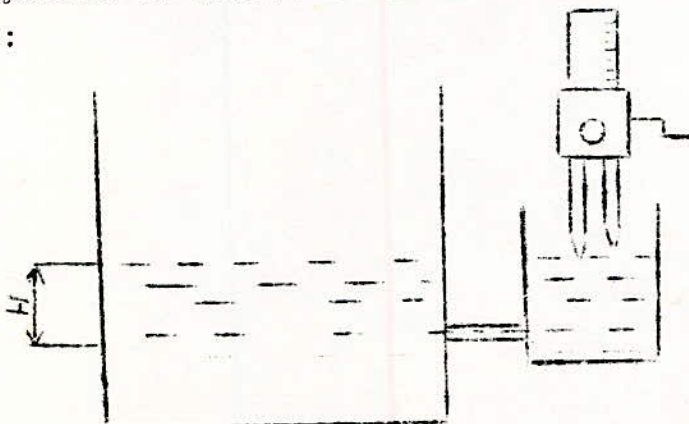
Notre banc d'essai est constitué de deux réservoir, le réservoir du haut est le principal, c'est le procédé à régler, et sur lui qu'on fait l'étude ( $H, Q$ ).

Le réservoir du bas est à déversoir triangulaire (angle  $27^\circ$ ), son rôle est la détermination du débit  $Q$  (entrant dans le réservoir triangulaire, sortant du réservoir du procédé) après lecture de la hauteur  $h$  dans le déversoir triangulaire, et faire la correspondance à partir de la table ( $h, Q$ ) qu'on possède



Notre système (procédé, système de mesure) est semblable à un système à deux capacités en série, la deuxième capacité est en retard par rapport à la première. En d'autres termes, la variation de  $h(t)$  est en retard par rapport à la variation de  $H(t)$ .

Le système de mesure de la hauteur du niveau est le suivant:



On mesure la hauteur ( $H$  ou  $h$ ) à l'aide d'un système à électrodes. Les deux extrémités de l'électrode ne sont pas sur la même horizontale, quand l'extrémité du premier électrode touche à peine l'eau, l'extrémité de l'autre électrode ne la touche pas, mais elle est prête à la toucher pour un très faible mouvement de descente de la règle de mesure, ou montée de l'eau. C'est cette position intermédiaire qui occasionne l'éclairage du témoin.

Il est clair qu'on ne peut pas voir directement les fluctuations de  $h$  dans le petit réservoir à électrodes, ni constater la stabilité de  $h$ , mais tant que le témoin fonctionne on peut corriger l'erreur.

On a installé en parallèle avec le système à électrode un tube en verre gradué, qui ne présente aucune difficulté d'utilisation, ni perte de temps, ni ambiguïté dans les mesures.

Avec le système à volet, on faisait le TP pour quatre positions de  $H$ , parce que le TP est long (si on le fait rigoureusement, en respectant les constantes de temps). Le but du présent travail est la simplification des opérations ce qui nous permettra de gagner du temps, d'ou élargir le domaine de variation de  $H$ .

Aussi on<sup>a</sup> voulu introduire la régulation pour montrer l'intérêt de celle ci dans les procédés industriels. On ajoute aussi, la faible consommation de l'eau, et commodité des opérations.

CHAPITRE 2  
PARAMETRES DU BANC D'ESSAI

La dimension convenable d'une vanne est un facteur très important du fonctionnement d'une régulation automatique.

Si les dimensions sont trop grandes, par exemple, la vanne doit fonctionner avec une faible ouverture, et le débit minimal réglable est trop élevé, de plus la partie inférieure de la caractéristique débit-ouverture est de forme assez irrégulière. Par contre, si la vanne est trop petite, le débit maximal prescrit pour le fonctionnement d'un processus peut ne pas être obtenu.

Alors, on commence par la détermination de la plage de variation du débit en procédant comme on le faisait avec le système volet.

Les résultats sont dans le tableau T.1





Element	Hmax mm	Hmin mm	hmax mm	hmin mm	Qmax l/s	Qmin l/s
 40	731	409	174	160	4,27	3,85
 38	735	502	153	140	3,12	2,75
 40	740		130		2,42	
 20	742	612	80	32	0,97	0,64

Tableau T.1

D'après les résultats obtenus, on trouve que la plage de variation du débit est comprise entre  $Q_{\min}=0,641/s$ , et  $Q_{\max}=4,271/s$ , et c'est cette dernière valeur du débit maximal qui nous est nécessaire.

## 2.2-DIMENSIONNEMENT DE LA VANNE DE RÉGLAGE

Lavanne de réglage constitue l'un des éléments principaux d'une chaîne de réglage. Du choix correct d'une vanne dépend souvent la qualité du résultat obtenu en régulation.

Le rôle d'une vanne de réglage est de créer sur la circulation d'un fluide une perte de charge telle que le débit ou la pression du fluide à la sortie de la vanne atteigne la valeur désirée par le point de consigne du régulateur.

Le dimensionnement des vannes de réglage est basé sur le calcul du  $C_v$ , pour qu'il puisse être effectué correctement, il est nécessaire de prendre en considération un certain nombre de facteurs.

La connaissance approfondie des conditions de service est nécessaire pour le dimensionnement rigoureux d'une vanne de réglage. Celles-ci conditionnent non seulement la dimension de l'obturateur et du corps, mais aussi le type de vanne approprié auquel il sont associés.

Toutefois, dans la pratique usuelle, on est forcé de constater qu'il est souvent nécessaire de faire des approximations sur une ou même parfois plusieurs de ses conditions. C'est pourquoi, dans la détermination finale de la vanne, l'expérience alliée au bon sens joue un rôle essentiel.

Par ailleurs, le choix de la dimension d'une vanne est lié aux renseignements techniques disponibles, relatifs aux capacités des différents types de vannes et mis à disposition des utilisateurs par les constructeurs.

## 2.2.1-DIMENSIONNEMENT THEORIQUE

Le dimensionnement théorique de la vanne de réglage fait appel à la détermination du Cv de cette vanne.

Par définition, le Cv exprime le nombre de gallons U.S d'eau par minute s'écoulant à travers une restriction donnée, en créant une perte de charge de 1PSI.

Où, le Cv exprime le débit d'eau en litres passant par minute dans la vanne grande ouverte et y créant une perte de charge de 18,5 millibar.

Autrement, le Cv est donné par:

$$Cv = 1,16Q \sqrt{\frac{d}{\Delta P}} \cdot \frac{1}{Fp}$$

Q: débit (m/h)

d: densité par rapport à celle de l'eau

$\Delta P$  : chute de pression à travers la vanne, (bar)

Fp : facteur de correction dû au convergent-divergent de part et d'autre de la vanne, pour notre cas Fp=1

$$Cv = 1,16Q \sqrt{\frac{d}{\Delta P}}$$

P our le débit Q, on prend le débit maximal majoré de 20% .

$$\text{Soit: } Q = 4,27 + ( 4,27 \cdot 0,2 ) = 5 \text{ l/s}$$

$$d = 1$$

La différentielle de pression motrice est :

$$P_{mot} = ( H_1 - H_2 )$$

Le système est en équilibre quand

$$P(\text{motrice}) = P(\text{résistante})$$

pour un débit Q .

La hauteur du réservoir source ne varie pas :  $H_1$

La hauteur du réservoir récepteur varie de :

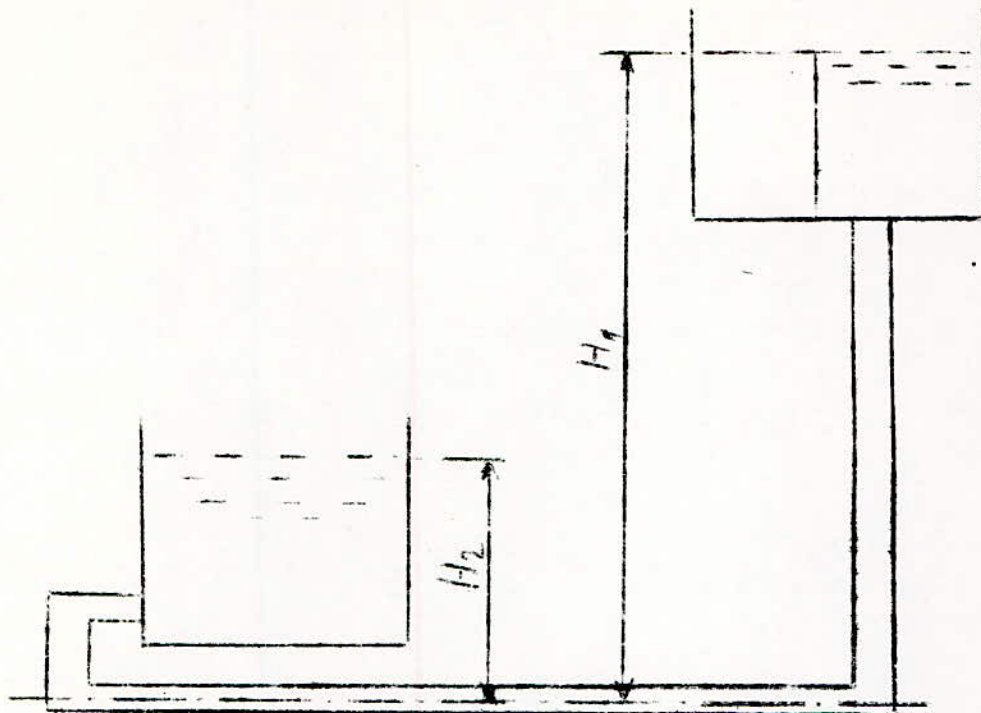
$$H_{2 \max} \text{ à } H_{2 \min}$$

La différence de pression motrice varie de :

$$( H_1 - H_{2 \min} ) \text{ à } ( H_1 - H_{2 \max} )$$



Le débit maximal doit être possible à obtenir pour une différence de pression minimale  $\Delta P = (H - H_{\max}) = 3 \text{ m}$ .



$$\begin{aligned} \text{On a : } \Delta P_{\text{motrice}} &= \Delta P_{\text{resistance}} \\ &= \Delta P_{\text{tuyauterie}} + \Delta P_{\text{vanne}} \\ \Delta P_v &= \Delta P_{\text{mot}} - \Delta P_{\text{tuy}} \end{aligned}$$

Pour la chute de pression dans la tuyauterie, nous nous n'avons pas de renseignement tel que : dimensions, coefficient de rugosité, ...

On utilise approximativement des courbes de perte de charge linéaire par mètre de tuyau pour différents diamètres (Réf 1)

On a :

Longueur du tuyau (m)	Diamètre (mm)	$\Delta P/m$ (mbar)	$\Delta P$ totale (mbar)
26	270	0,01	0,26
0,75	80	1	0,75
0,28	26	100	28

$$\Delta P_{\text{lin}} = 29,01 \text{ mbar}$$

Notre tuyauterie comprend aussi des pertes de charge singulières (dans les coudes, et convergences brusques)

$$\text{Coudes: } \Delta P = K_c \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Diamètre du coude (mm)	Angle (°)	Kc	V (m/s)	$\Delta P$ (m)
270	90	0,5	0,074	1,4.10
270	90	0,5	0,074	1,4.10
20	90	0,5	8	1,6

$$\Delta P(\text{coude}) = 1,60028 \text{ m}$$

$$\text{Convergence brusque: } \Delta P = K \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	K	V m/s	$\Delta P$ m
270/80	0,43	0,85	0,0155
80/26	0,43	8	1,37

$$\Delta P_{\text{conv}} = 1,385 \text{ m}$$

$$\Delta P_{\text{sing}} = 2,905 \text{ m} = 0,208 \text{ bar}$$

$$\Delta P_{\text{totale}} = 0,317 \text{ bar}$$

Note: K, Kc 5 (Ref.2)

$$\text{Donc: } \Delta P_{\text{vanne}} = 0,5 - 0,317 = 0,183 \text{ bar}$$

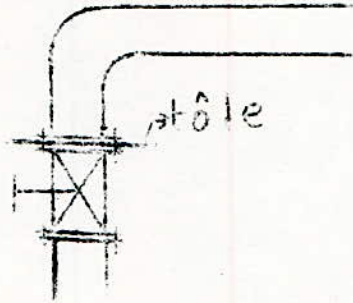
$$Q = 15,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_v = 1,16 \cdot 15,37 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,183}} = 41,6$$

Maintenant, qu'on a le  $C_v \approx 42$ , on peut chercher notre vanne dans les catalogues. Par exemple si on utilise le catalogue (Réf.3), on trouve que le  $C_v=42$  correspond à une valeur de diamètre  $1\frac{1}{2}$  c.a.d 40mm.

## 2.2.2-DIMENSIONNEMENT PAR LES ESSAIS

On détermine le débit pour différente ouverture, en intercalant une tôle munie d'un orifice dans la tuyauterie. On détermine plusieurs débits, pour différents orifices.

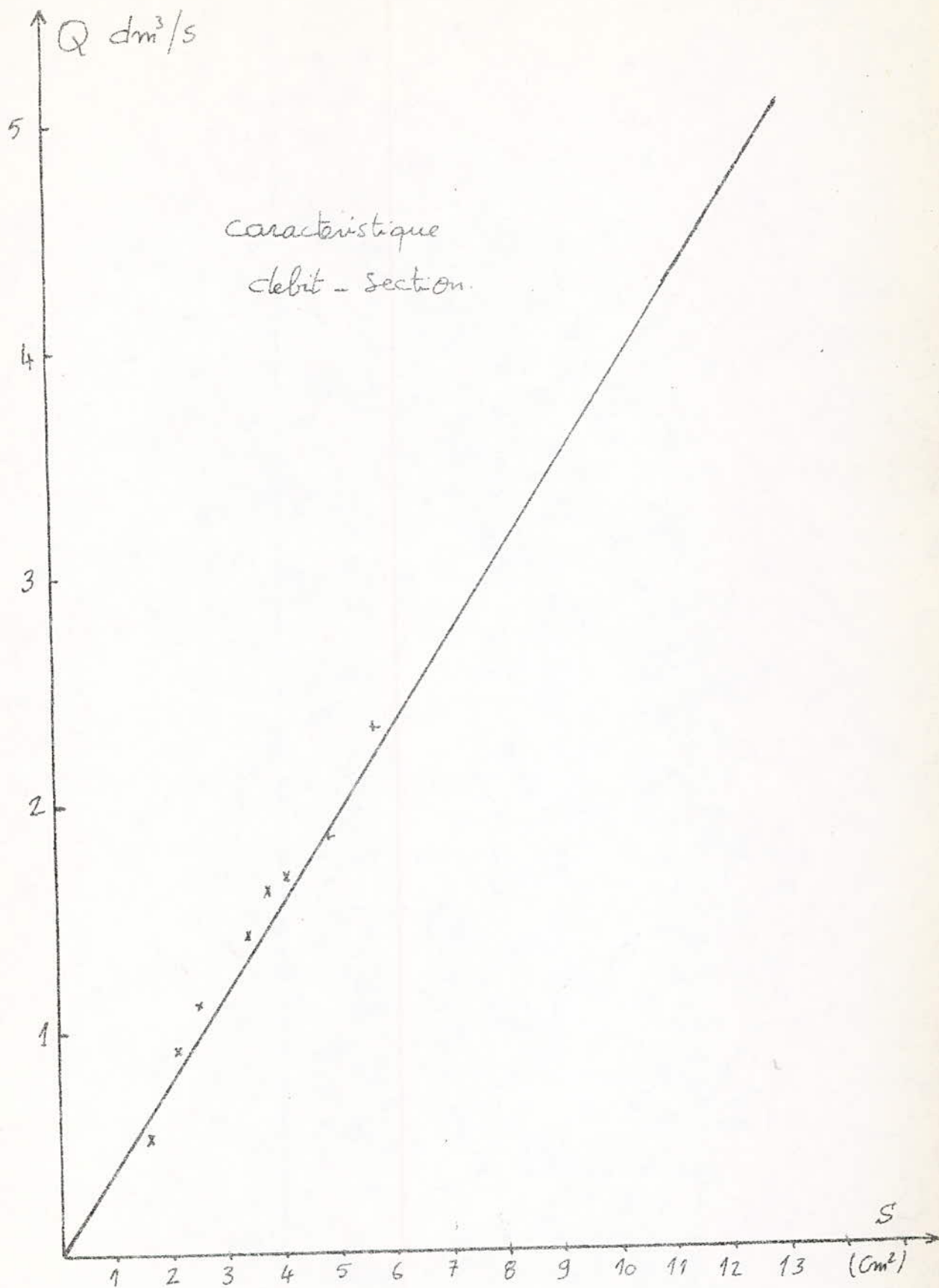


Diamètre ( mm )	Débit ( dm/s )
14,5	0,53
16,5	0,92
18	1,11
21	1,43
22	1,63
23	1,69
25	1,86
27	2,34

Tableau 2

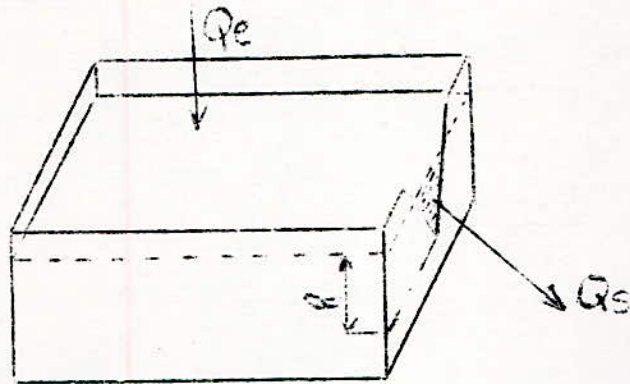
On trace sur papier millimètre le débit en fonction de la section de passage. On remarque que la variation ( S, Q ) est presque linéaire, une interpolation est justifiée, et pour  $Q = 5 \text{ dm}^3/\text{s}$   $S = 13 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1300}{\pi}} = 40,7 \text{ mm}$$



### 2.3- PARAMETRE DYNAMIQUE DE LA MESURE DU DEBIT PAR UN DEVERSOIR TRIANGULAIRE

On mesure la hauteur  $h$  à partir d'un état permanent, stable. C'est pour cela on détermine la constante de temps qui est liée à la solution transitoire et qui révèle l'amortissement de la composante transitoire.



$Q_s$  est fonction de  $h$

$$\text{On a: } dV_e - dV_s = A dh$$

$$Q_e dt - Q_s dt = A dh$$

$$A \frac{dh}{dt} + Q_s(h) = Q_e$$

C'est une équation non linéaire que nous allons linéariser, et reste valable seulement pour des petites variations de  $h$ .

A l'équilibre  $Q_e = Q_s$

Pour une petite variation de  $h$  et en utilisant le développement en série limité à partir (autour) d'une valeur moyenne  $h_0$ :

$$A \frac{dh}{dt} + Q_s(h) + Q'_s(h_0) \cdot h = Q_{e0} + \Delta Q_e$$

$$A \frac{dh}{dt} + Q'_s(h_0) \cdot h = \Delta Q_e$$

$$\frac{A}{Q'_s(h_0)} \cdot \frac{dh}{dt} + h = \frac{\Delta Q_e}{Q'_s(h_0)}$$

$$T \frac{dh}{dt} + h = \frac{Q_e}{Q'_s(h)}$$

Avec:  $T = \frac{A}{Q'_s(h_0)}$  constante de temps

$$Q'_s(h_0) \cong \frac{\Delta Q}{\Delta h} = \frac{Q - Q(h_0)}{h - h_0} \quad \text{Et } A = 1,69 \text{ m}^2.$$

Q [dm<sup>3</sup>/s]

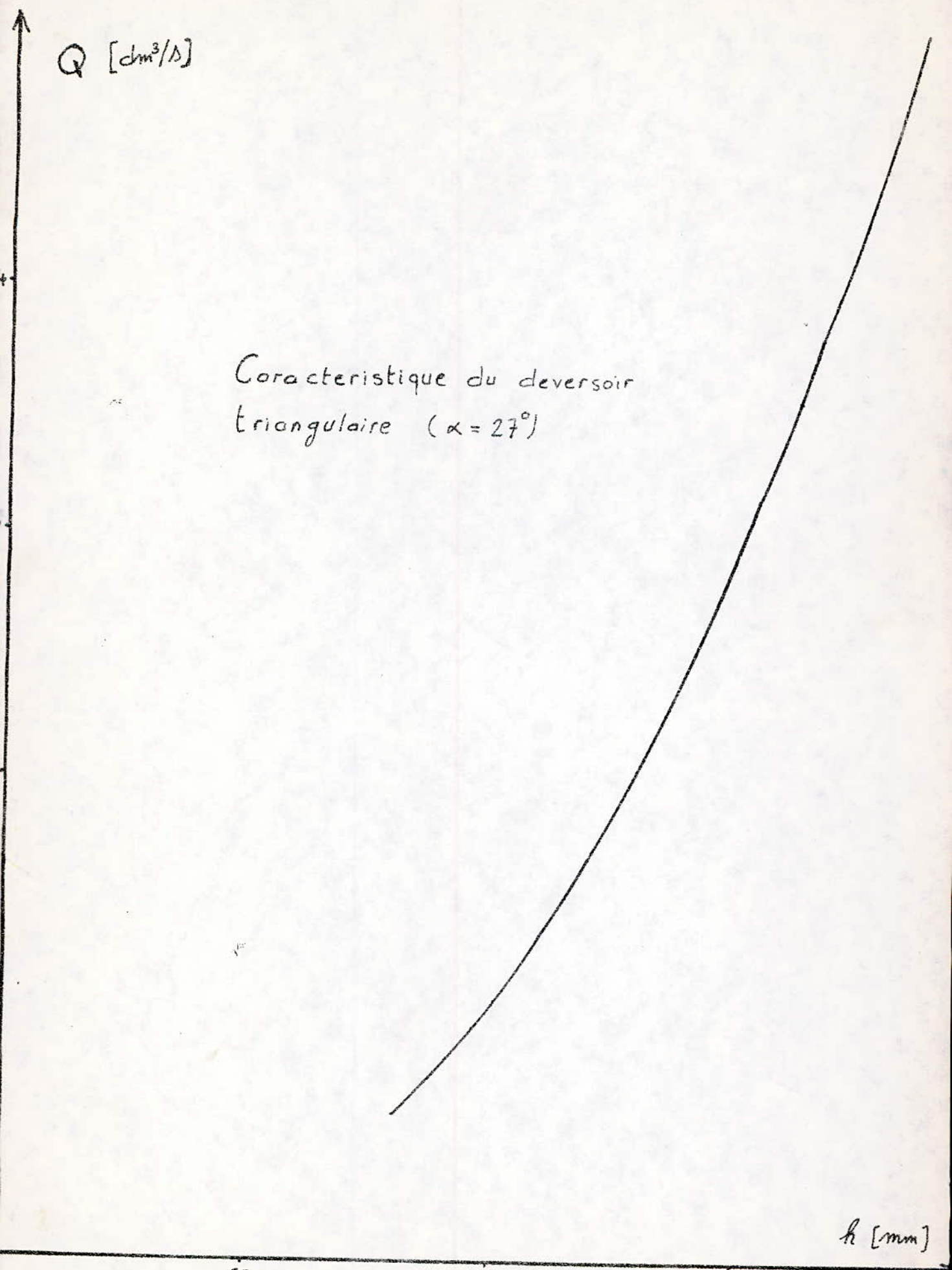
Caractéristique du déversoir  
triangulaire ( $\alpha = 27^\circ$ )

h [mm]

50

100

150



On a la courbe qui donne  $Q = f(h)$ . Courbe 2.2

On calcule la constante de temps sur des portions qu'on suppose linéaire de cette courbe. Pour chaque centre de portion on calcule la constante de temps (à 63,2%), et aussi à 98% de la réponse finale (à  $t = 4T$ )

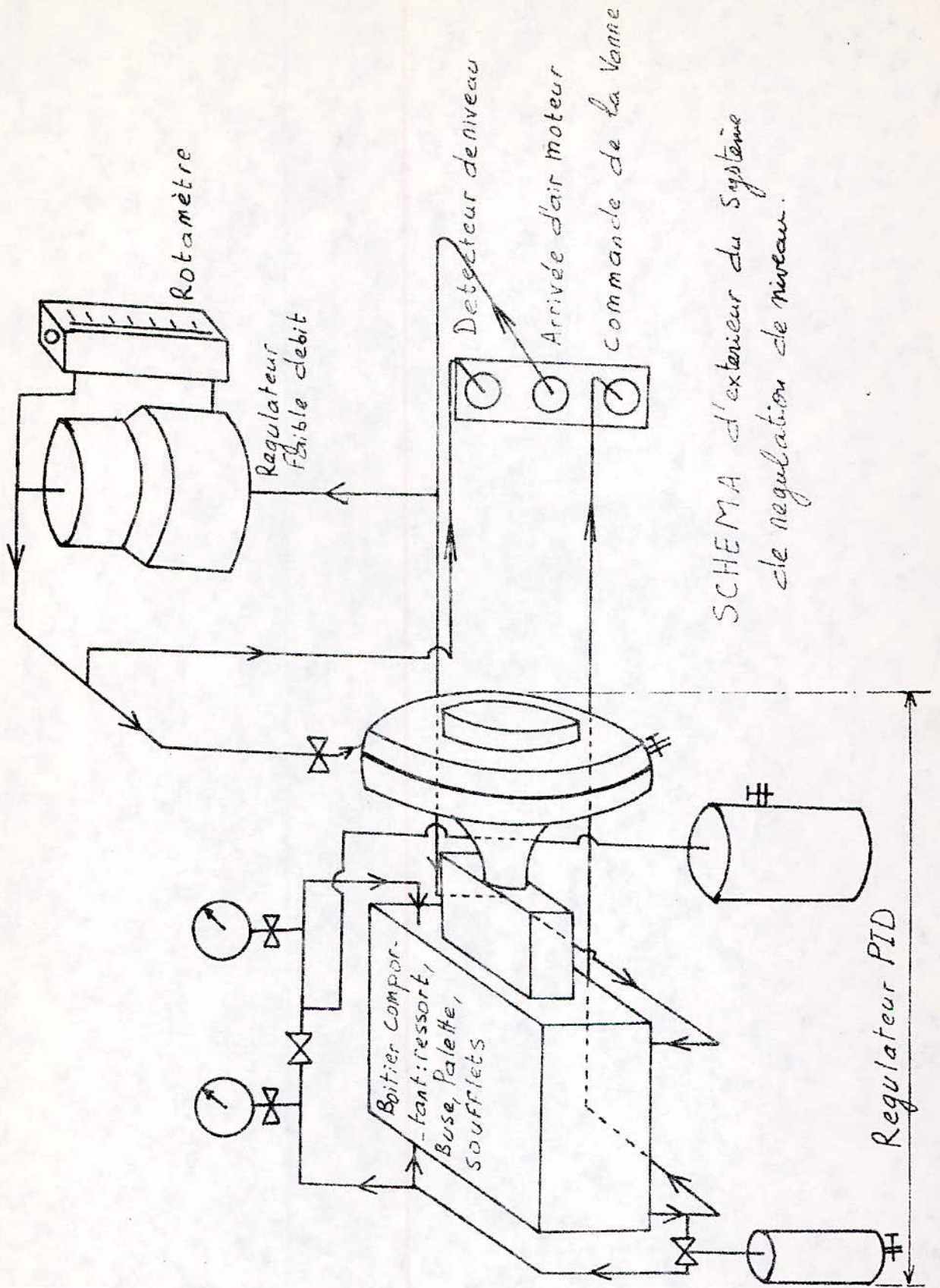
Donc :

$$T = \frac{A}{Q(h)} = \frac{A}{\frac{\Delta Q}{\Delta h}} = A \cdot \frac{\Delta h}{\Delta Q} = 1,69 \cdot \frac{\Delta h}{\Delta Q}$$

Centre de linéarisation	T (s)	4T	
		(s)	(min)
Debit ( dm <sup>3</sup> )			
0,73	84,5	338	5,64
0,97	65,7	263	4,40
1,36	53,8	215	3,57
1,77	46,9	188	3,13
2,14	40,2	161	2,68
2,60	36,4	146	2,42
3,46	31	124	2,07
4,39	26,5	106	1,77

Tableau

On remarque que la constante de temps est très importante pour les faibles débits, et les faibles hauteurs. La constante de temps commence à s'affaiblir pour les valeurs importantes de  $Q$  et  $h$ . Donc, si on veut que la manipulation soit courte, on doit éviter les faibles débits.



SCHEMA d'exterieur du Systeme  
de regulation de niveau.



### 3.1-NIVEAU BULLE A BULLE (Detecteur de niveau)

Un tube plonge dans le liquide(eau), son extrémité ouverte à la hauteur de référence, on prévoit que le niveau est toujours plus haut. Un tube en U est pris en dérivation sur ce tube. On fait inculer avec un faible débit, de l'air dans le tube. (fig 3.1)

Pour qu'il y ait débit il faut que la pression de l'air servant à faire la purge soit très légèrement supérieure à la pression:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H$$

$\rho \cdot g$  = poids volumique du liquide

L'air se dégage à l'extrémité du tube qui plonge dans le liquide, d'où son nom.

Si le débit reste dans des marges tolérables la pression indiquée par le tube en U sera:  $\Delta P = \rho \cdot g \cdot H$

Pour une variation du niveau de  $\Delta H$ , on aura une variation de la pression dans l'extrémité du tube plongeur de  $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$ , et, cette variation de pression dans le circuit détecteur entraînera une variation de la pression dans le circuit membrane de mesure (dans le régulateur)

L'alimentation du tube détecteur passe par le régulateur à membrane, à faible débit. L'importance de ce régulateur réside dans son faible débit, parce que, à faible débit (faible vitesse) les pertes de charge dans les conduites sont négligeables, et constantes.

Pratiquement, au régulateur arrive une pression:

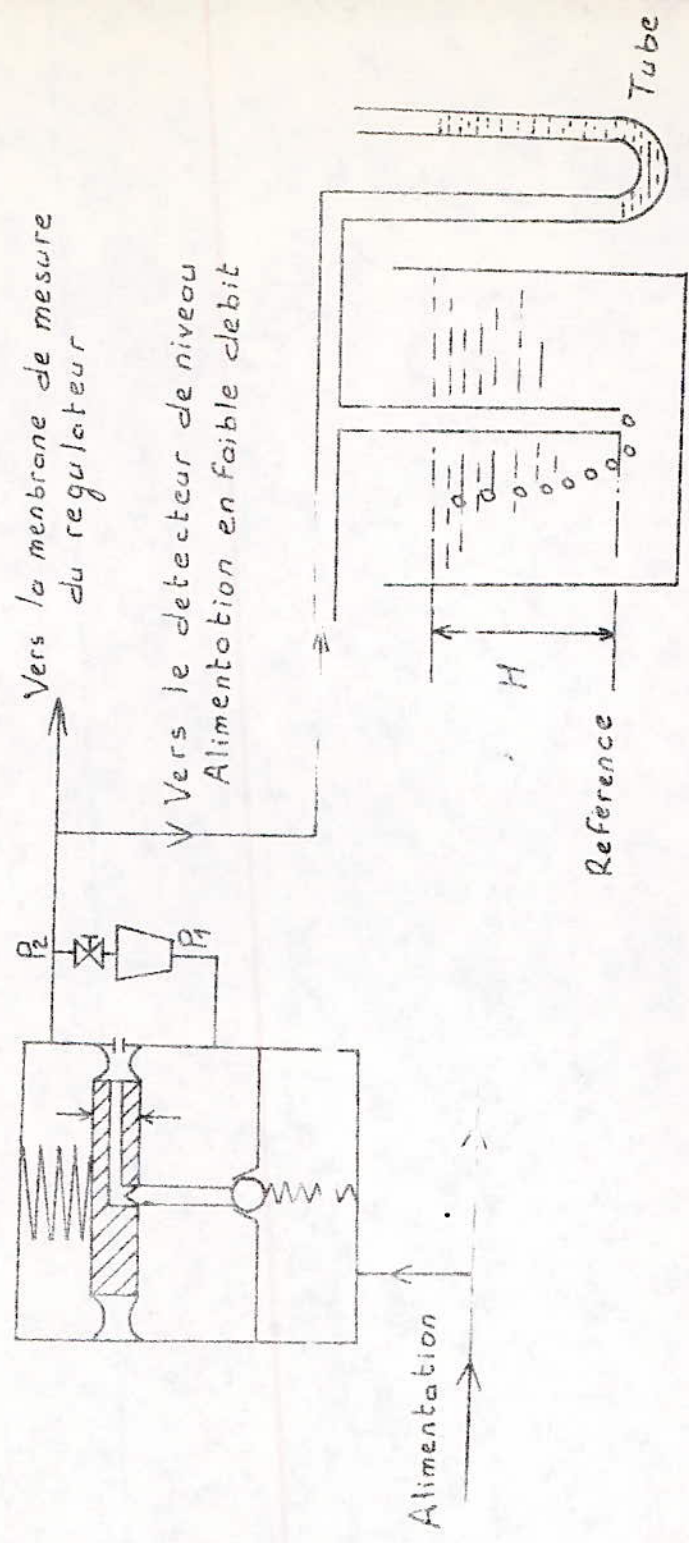
$$P = \rho \cdot g \cdot H + \Delta P$$

$\Delta P$ : c'est la perte de charge dans la ligne (régulateur faible débit, extrémité du tube plongeur) que l'alimentation doit vaincre.

$$\Delta P = f(Q)$$

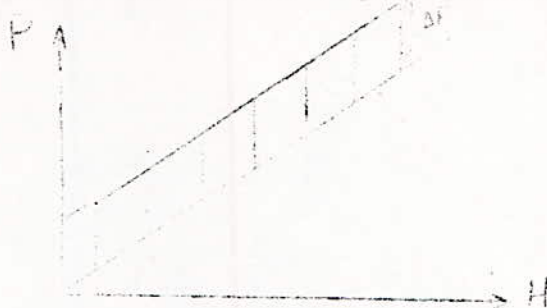
Si  $Q$  est faible, cela implique que  $\Delta P$  l'est aussi. De même si  $Q$  est constant,  $\Delta P$  est aussi constante.

On fixe le débit, en fixant le nombre de bulles dégagées par seconde.

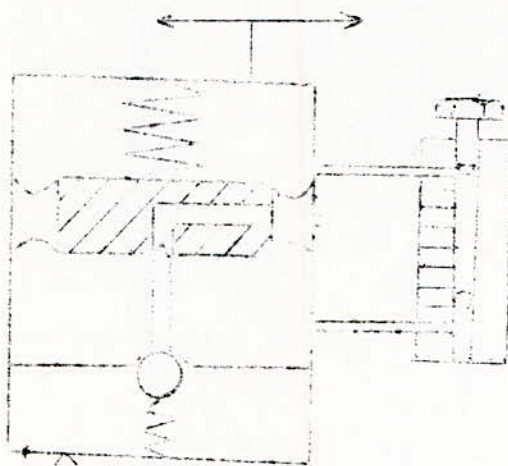


Circuit de mesure, faible débit

On peut donner la courbe représentative:



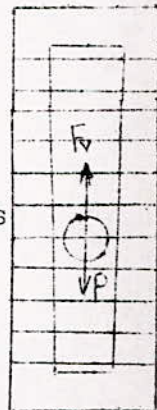
### 3.2-SYSTEME DE MESURE (Régulateur F.D, rotamètre)



notre système de mesure, en outre du tube plongeur se compose d'un rotamètre et un régulateur.

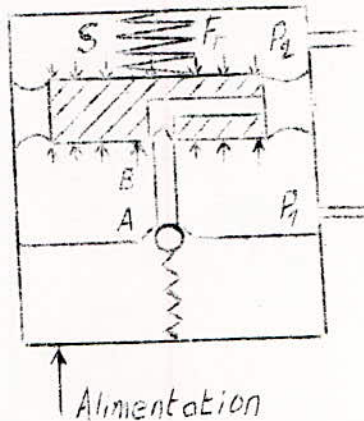
#### 3.2.1- ROTAMÈTRE

Le rotamètre (ou débitmètre) est constitué par un tube de verre monté verticalement. Ce tube est tronconique, la section la plus faible vers le bas. À l'intérieur du tube un flotteur de forme sphérique. Le tube de verre porte des graduations à partir du bas et correspondantes au débits à mesurer, ici des le fluide pénètre par le bas et s'écoule dans le tube de verre du bas en haut et sort par la partie supérieure.



Sous l'action de la pression dynamique due à la vitesse  $Fv$ , le flotteur se souleve dans le tube jusqu'à une position d'équilibre sous l'action de son poids  $P$  d'une part et de la force due à la vitesse d'écoulement  $Fv$  d'autre part.

### 3.2.2-REGULATEUR FAIBLE DEBIT (F.D)



Le regulateur à faible débit a pour rôle de s'opposer aux perturbations, et régulariser l'écoulement.

Si on a une perturbation:

Dans le cas d'équilibre idéal  $P_1 = P_2 + \frac{Fr}{S}$

1)  $\frac{Fr}{S} + P_2 > P_1$  On aura ouverture de A et  $P_1$  augmente jusqu'à  $P_1 = P_2 + \frac{Fr}{S}$

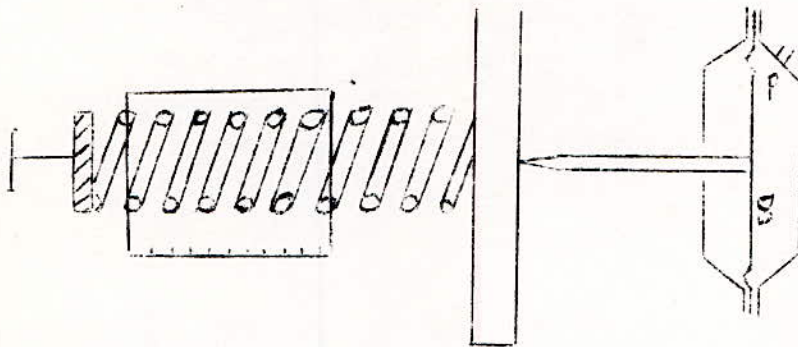
2)  $\frac{Fr}{S} + P_2 < P_1$  On aura ouverture de B et  $P_1$  diminue jusqu'à  $P_1 = P_2 + \frac{Fr}{S}$

### 3.3-DETERMINATION DU RESSORT (De la consigne)

Les régulateurs sont des organes à équilibre de force. Une palette mobile autour d'un point fixe est soumise à l'action de la pression de mesure d'une part, et de la valeur de consigne d'autre part. Cette valeur de consigne est représenté par la compression d'un ressort logé dans le régulateur, et manoeuvré par une vis de réglage.

Notre ressort recherché doit satisfaire:

Une longueur voisine de 81 mm pour permettre le contact permanent, et assurer toute la plage échelle de la règle.



Surface de la membrane: S

Diamètre de la membrane D= 114 mm

Donc S= 102 cm<sup>2</sup>

La pression dans la membrane varie entre un minimum (zéro) et un maximum correspondant à:

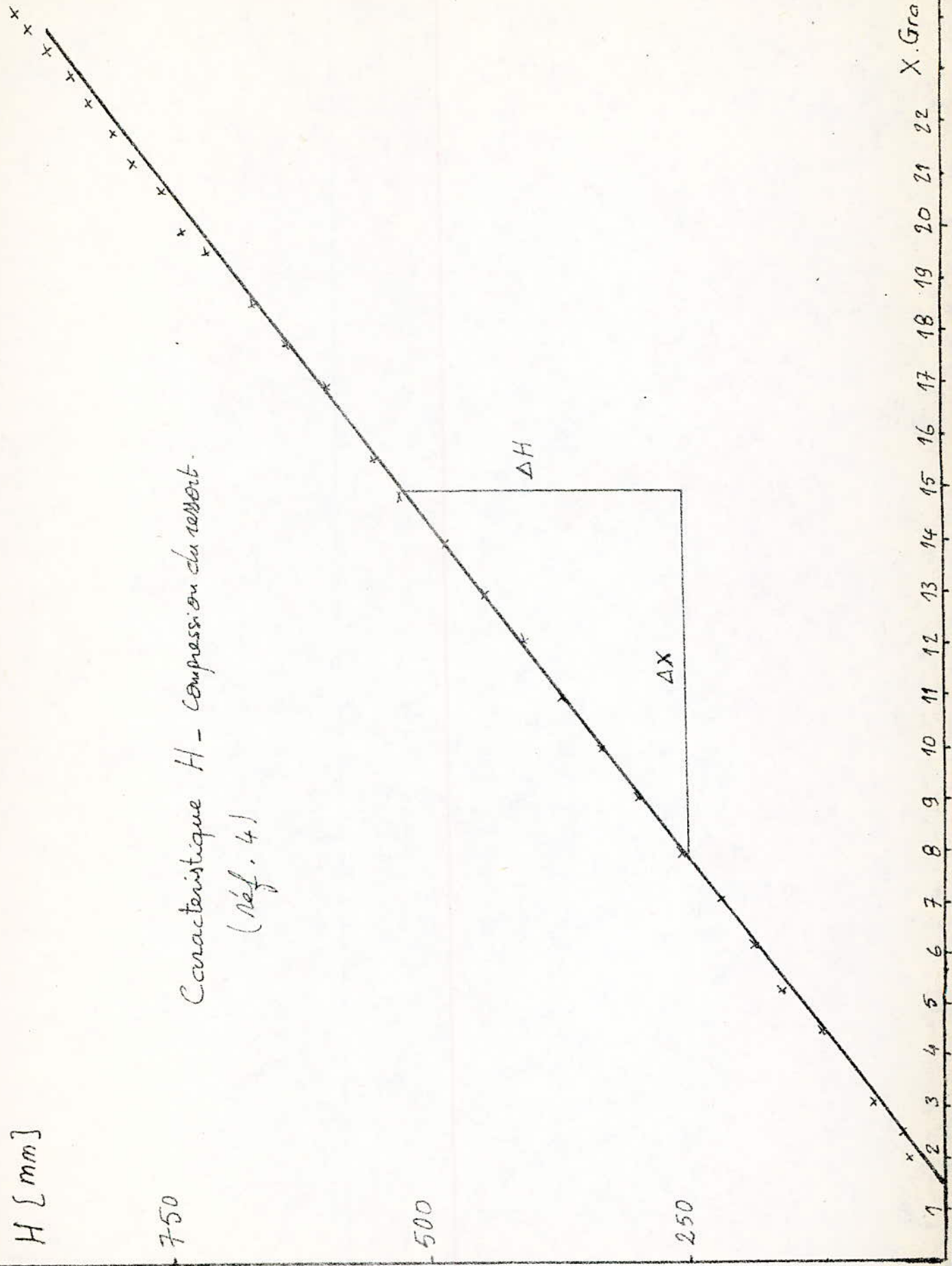
$$H_{\max} = 399 \text{ mm} \quad P_{\max} = \rho \cdot g \cdot H_{\max}$$

La graduation varie entre 24,2 et 1,2 graduation (mm) d'après la courbe: pression de mesure-graduation correspondante, on peut calculer le coefficient de rigidité K du ressort qui représente la pente:

$$K = \frac{P \cdot S}{X} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot S}{X} = \rho \cdot g \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta X}$$

$$K = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0102 \cdot (55,5/7,1)$$

$$K = 3,87 \cdot 10^3 \text{ N/m}$$



Caractéristique H - Compression du ressort.  
(Néf. 4)

H [mm]

X-Graduation

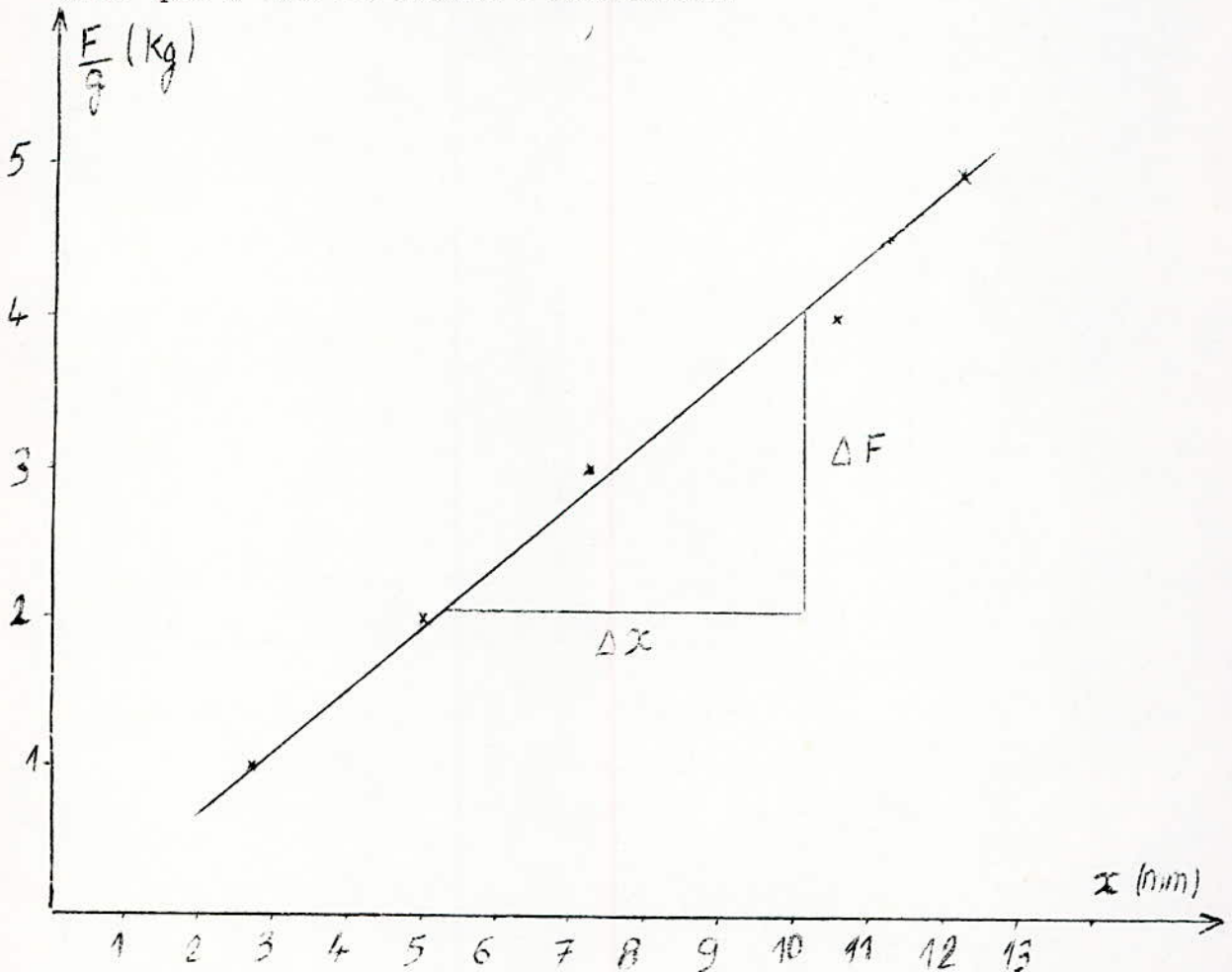
Les essais le ressort trouvé ont donné:

CHARGE F		ALLONGEMENT X
kg	N	
1	9,81	2,7
2	19,62	5
3	29,43	7,2
4	39,24	10,5
5	49,05	12,2

On trace la courbe et on calcule K

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{19,6}{4,7 \cdot 10^{-2}} = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

En tenant compte des erreurs de mesure, on peut dire que c'est le ressort recherché.



### 3.4-REGULATEUR (Type ARCA )

Par la simple réalisation des élément de régulation pneumatique, à l'aide d'excellents organes tels que les soufflets métalliques; les régulateurs pneumatiques sont imbattables tant par leur sécurité de fonctionnement que par leur prix. Les servomoteurs à membrane, permettant de réaliser des forces importantes pour des vitesses de positionnement élevées, sont un atout majeur du système pneumatique.

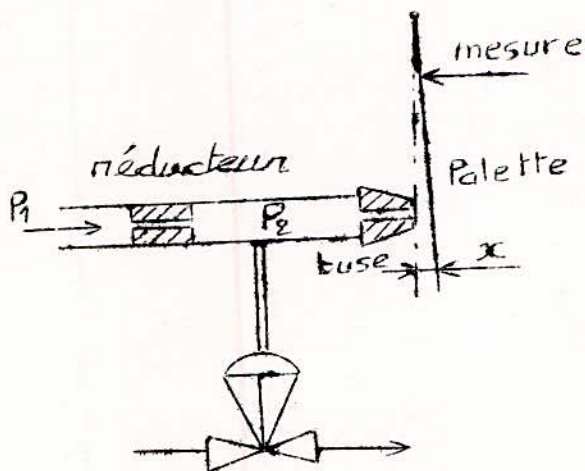
Le système pneumatique conduit par suite, dans les chaînes de régulation rapides, toujours à de meilleurs résultats, d'autant plus que l'on peut utiliser des régulateurs montés sur le servomoteur. Un autre avantage essentiel du système pneumatique réside dans sa sécurité en milieu explosif.

Les limitations du système pneumatique résident par contre surtout dans les distances. De longues canalisations donnent de véritables temps morts et, par suite, un affaiblissement de la dynamique de réglage.

Le principe général des régulateurs pneumatiques est de créer, sur un circuit d'air comprimé, une fuite stable déterminant une diminution de la pression proportionnelle à la position relative d'une valeur de mesure et d'une valeur de consigne.

#### 3.4.1-SYSTEME BUSE -PALETTE

Ce système, commande un débit d'air par le moyen d'une palette mobile qui obture plus ou moins l'orifice





d'une buse de quelques dixièmes de millimètres.

L'air comprimé, arrivant à la pression  $P_1$ , est détendu à la pression  $P_2$ , au moyen de la restriction.

Quand la palette est éloignée de la buse, la pression  $P_2 = 0$ . Lorsque la palette se rapproche de la buse, la pression  $P_2$  augmente dans le circuit buse.

En fait, à toute variation de la distance  $x$  entre la palette et la buse, correspond une variation de la pression  $P_2$ , donc dans la zone d'utilisation pratique, ces variations peuvent être considérées comme proportionnelles aux variations de la distance  $x$ , c'est-à-dire aux rotations de la palette. En dehors de cette zone d'utilisation pratique, la pression  $P_2$  et le déplacement  $x$  de la palette ne sont pas linéaires.

La zone de variation pratique est la zone utile, elle détermine le déplacement maximal de la palette pour une variation de pression  $P_2$  correspondante. Cette course utile nous allons constater qu'elle est très petite, donc la sensibilité est très grande. Le rôle de la restriction est de limiter le débit d'air en créant une perte de charge importante.

### 3.4.2-LA REGULATION A ACTION PROPORTIONNELLE

L'équation caractéristique d'un régulateur proportionnelle (P) est:

$$S = K_p \cdot \xi + s$$

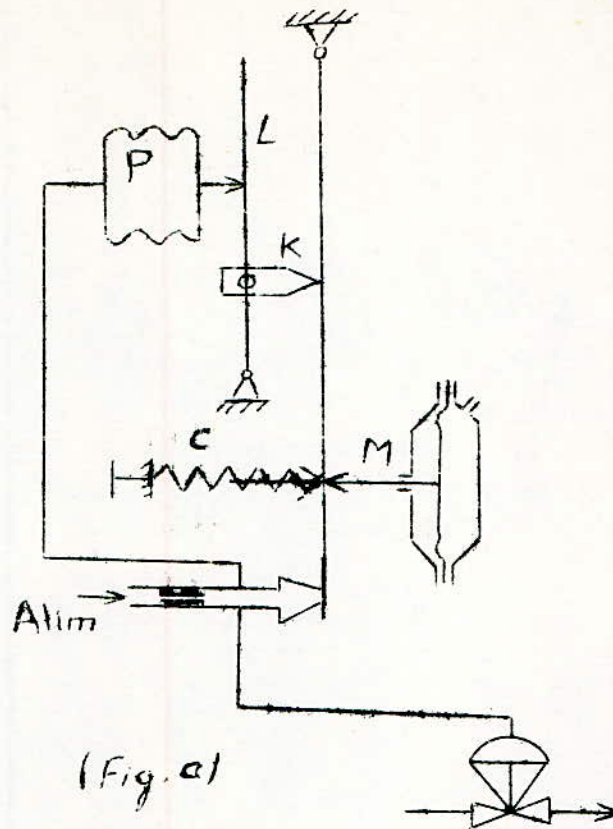
S : Grandeur de sortie

$K_p$  : Coefficient de proportionnalité.

$K_p > 0$  Régulation (P) directe (Notre cas)

$K_p < 0$  Régulation (P) inverse

$\xi$  : Ecart  $\xi = M - C$



## DESCRIPTION

Le régulateur à action (P)-Type ARCA-comprend:

- Système buse palette
- Membrane de mesure (qui déplace une tige)
- Ressort (de la consigne)
- Soufflet de l'action (P)
- Curseur K (détermine par sa position la valeur de  $K_p$  ).

## FONCTIONNEMENT DU REGULTEUR (voir fig. a)

Lorsque la variable (pression) augmente dans la membrane M, ceci se traduit par une compression du ressort C, la palette se rapproche de la buse, la pression augmente dans le circuit buse; l'air pénètre dans le circuit vanne, ainsi qu'instantanément dans le soufflet (P). Le résultat est un mouvement de rotation du bras réglable L, qui par l'intermédiaire du curseur K, repousse la palette.

L'action du soufflet (P) sur la palette est donc opposée à celle produite par l'action de la variation de la mesure.

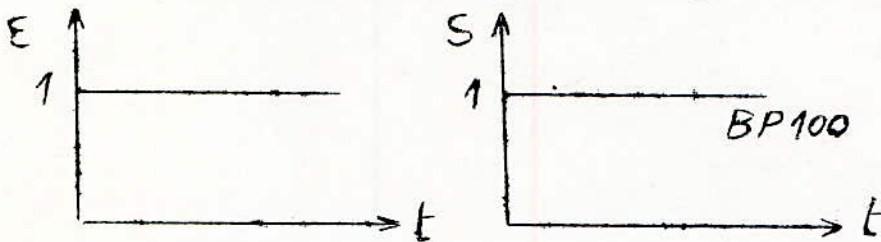
Le rapport du mouvement du curseur K au mouvement de la palette est déterminé par le réglage de l'action proportionnelle.

L'amplitude de l'action négative peut être ajustée en déplaçant le curseur K sur le levier L.

Grâce à ce soufflet de compensation (P), la palette sera repositionnée sur la buse à une position bien déterminée de façon telle que la pression d'air modulé sur la vanne soit rendue proportionnelle à l'écart de la variable.

#### COMPORTEMENT DYNAMIQUE ( R.I )

La réponse indicielle d'un tel régulateur est :



#### 3.4.3-REGULATION A ACTION PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE

Dans ce cas le régulateur élabore un signal de sortie proportionnelle au produit :

- 1) De l'écart  $\mathcal{E} = M - C$
- 2) Du temps pendant lequel celui-ci existe.

Le deuxième terme oblige le régulateur à exercer sa correction tant que subsiste l'écart.

Le régulateur (P.I) a pour équation :

$$S = k_p \cdot \mathcal{E} + k_i \int \mathcal{E} \cdot dt + s$$

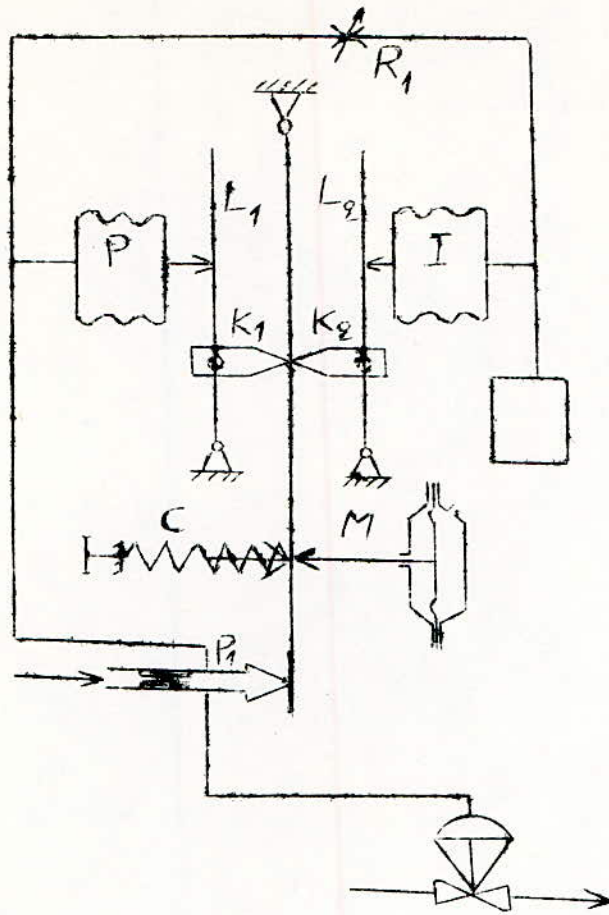
$k_i$  : Paramètre de l'action intégrale

$s$  : Valeur initiale (avant la perturbation)

$S$  : Valeur de sortie finale

#### DESCRIPTION:

Le régulateur à action intégrale comprend tous les éléments du régulateur à action proportionnelle, avec, en plus, un soufflet du type tube plissé, en opposition avec celui de l'action proportionnelle.



Ces deux soufflets sont réunis entre eux par une restriction réglable, et une capacité .

#### FONCTIONNEMENT DU REGULATEUR (P.I)

Le régulateur (P.I) a le même fonctionnement que le régulateur (P), seulement, il a en plus un soufflet à action positive, qui après un retard tend à repositionner la palette dans son état d'équilibre initial, tant que celle-ci ne l'est pas.

Le rôle de l'action intégrale est très apparent quand il y a une variation de la pression d'alimentation (variation de la bande proportionnelle), accompagnée toujours d'une erreur statique subsistante.

Supposons que la variable (pression de mesure) étant face au point de consigne, nous ayons une pression de 0,8 bar sur le servo-moteur de la vanne automatique, donc aussi 0,8 bar dans les soufflets (P) et (I) qui sont en équilibre (Fig. I)

Si nous avons un écart instantané de la variable de 20% de l'échelle de mesure et que la (B.P) du régulateur soit réglée à 100%, l'augmentation de pression sur la vanne sera de :

$$0,2 \cdot (0,8 - 0,2) = 0,12 \text{ bar}$$

La pression vanne sera donc:  $0,8 + 0,12 = 0,92 \text{ bar}$

L'écart de la variable ayant été rapide, les pressions n'auront pas eu le temps de s'équilibrer en (P) et (I) à travers la restriction réglable, nous aurons ainsi 0,92 bar dans le soufflet (P) et toujours 0,8 bar dans le soufflet (I) (Fig. II)

La vanne souvrant, la variable revient vers le point de consigne, mais seulement d'une valeur de 10% car nous admettons qu'il n'ya pas eu seulement une perturbation passagère, mais une variation de charge dans le procédé.

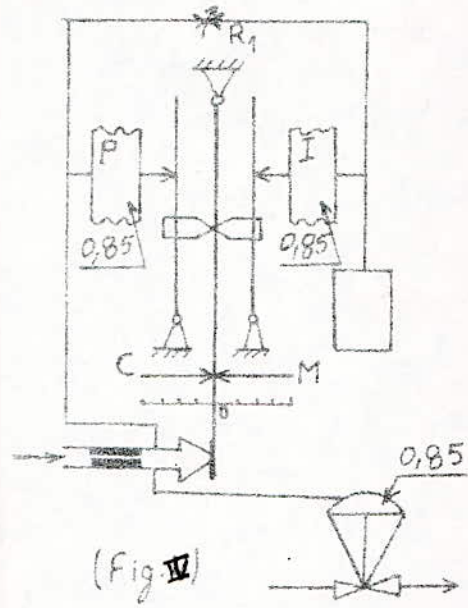
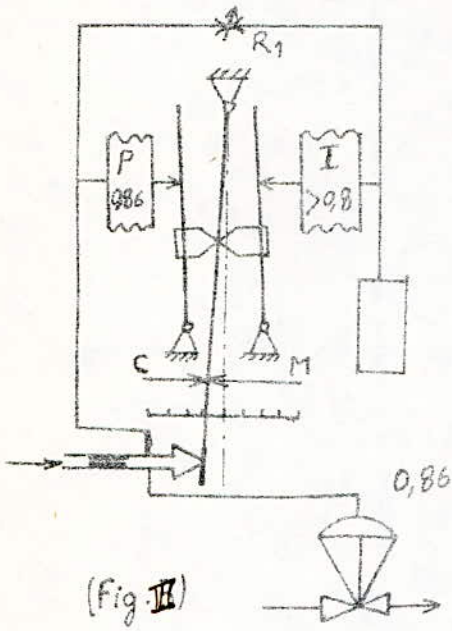
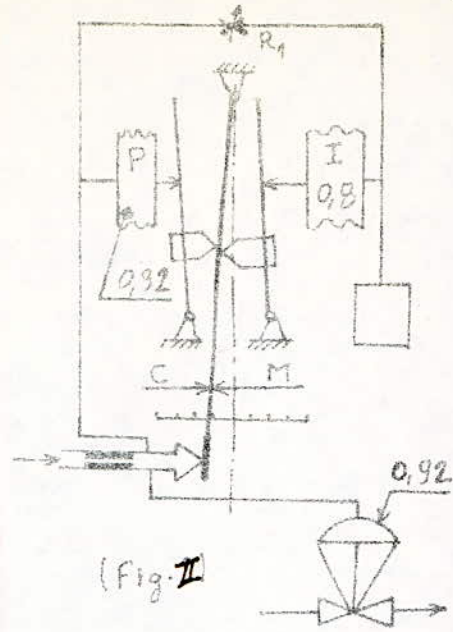
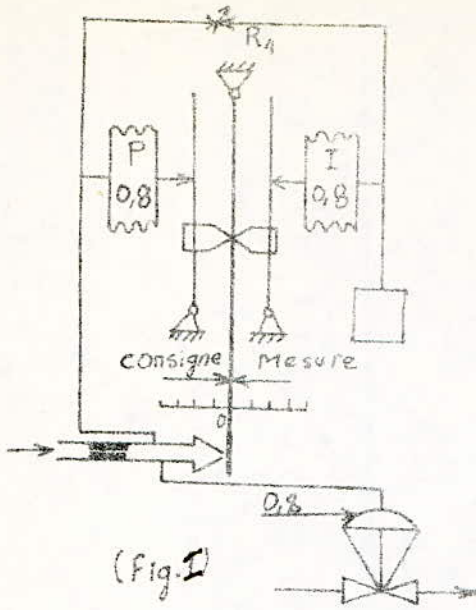
La variable se rapprochant de son point de consigne, la palette se rapproche de la buse, d'où la pression vanne rediminue d'une valeur proportionnelle, soit 10%

La diminution de la pression vanne est de:

$$0,1 \cdot (0,8 - 0,2) = 0,06 \text{ bar}$$

La pression vanne passe à:  $0,92 - 0,06 = 0,86 \text{ bar}$  (Fig. III)

Les pressions étant différentes dans les deux soufflets (P) et (I), ils vont tendre à s'équilibrer par le robinet réglable. Il en résultera de nouvelles actions sur la palette et, par conséquent sur la vanne jusqu'à ce que la variable étant revenue à son point de consigne, les deux soufflets soient de nouveau en équilibre. Le nombre de ces actions additionnelles par minute dépendra de l'ouverture de la vanne réglable de communication entre ces deux soufflets.



## MÉRITES DES ACTIONS P ET I

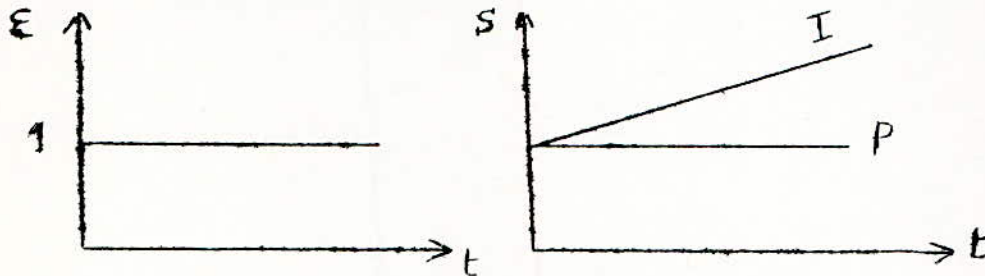
La régulation P est franche et immédiate, puisqu'un échelon unité est accompagné d'un saut de position de l'organe de contrôle, aussi rapide que possible. Par contre elle laisse subsister une erreur statique variant avec la charge de la boucle, gênante pour la qualité de régulation. On estime qu'elle est dynamiquement supérieure.

La régulation I démarre lentement pour devenir finalement plus énergique. Elle intervient constamment pour éliminer tout écart résiduel. On dit qu'elle est statiquement supérieure.

Les propriétés des deux régulations P et I sont complémentaires et incitent à envisager leur combinaison en un seul régulateur.

## COMPORTEMENT DYNAMIQUE (R.I)

La réponse est la somme de deux réponses indicielles à un même échelon unité



## 3.4.4- RÉGULATION À ACTION (P.I.D)

Dans certaines applications, les variations de la grandeur contrôlée sont rapides et les temps de réponse de la régulation lents. Il est possible de perfectionner le fonctionnement d'une régulation P.I par l'adjonction d'une action dérivée (D).

La réponse d'un régulateur (P.I.D) est:

$$S = K_p \cdot \varepsilon + K_i \int \varepsilon \cdot dt + K_d \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + s$$

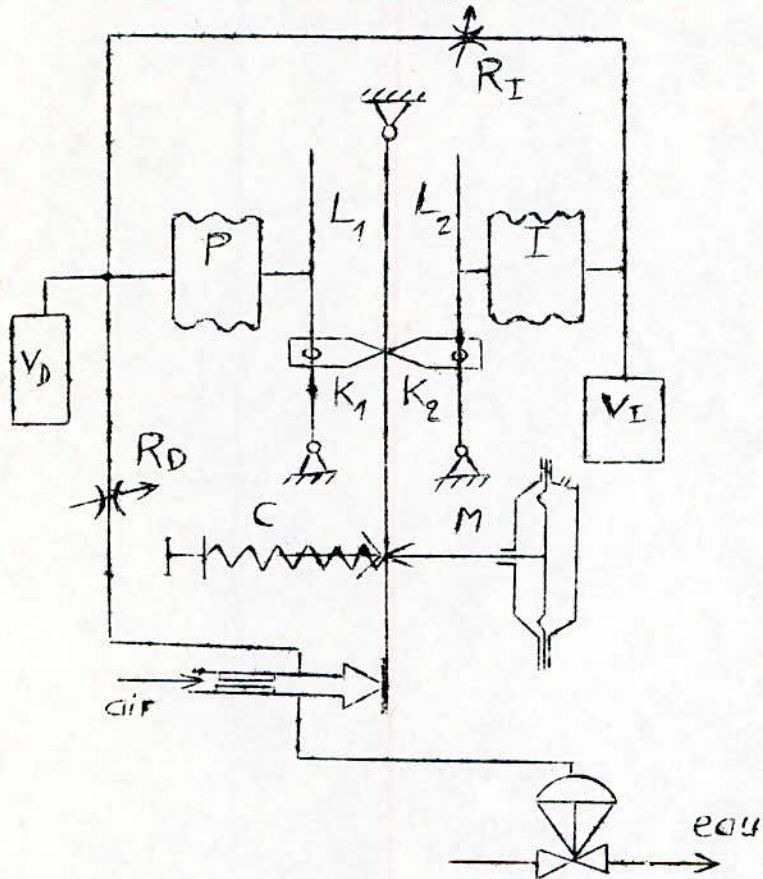
$K_d$  : Paramètre de l'action dérivée

L'effet de l'action dérivée est de relancer les actions dues à la proportionnelle et l'intégrale,

donc de faire agir, pendant un court instant la vanne en "tout ou rien". L'amplitude de variation de pression sur la vanne sera d'autant plus grande que la variable s'éloignera rapidement de son point de consigne.

DESCRIPTION :

Il comprend tous les éléments à action proportionnelle et intégrale, avec, en plus une restriction variable située avant ses deux soufflets, et une capacité.



FONCTIONNEMENT DU REGULATEUR (P.I.D)

Supposons un accroissement de la pression dans le circuit buse, correspondant à un écart de la variable de son point de consigne; cet accroissement de pression agit sur l'élément d'action dérivée qui admet une faible partie seulement de la pression dans les soufflets Pet I. Le reste de la pression agit sur la membrane du servo-moteur en créant une variation importante dans l'ouverture

Le reste de l'accroissement de pression continue d'être admis sur les soufflets, les déplaçant progressivement vers la droite.

La buse est progressivement ouverte, et la pression



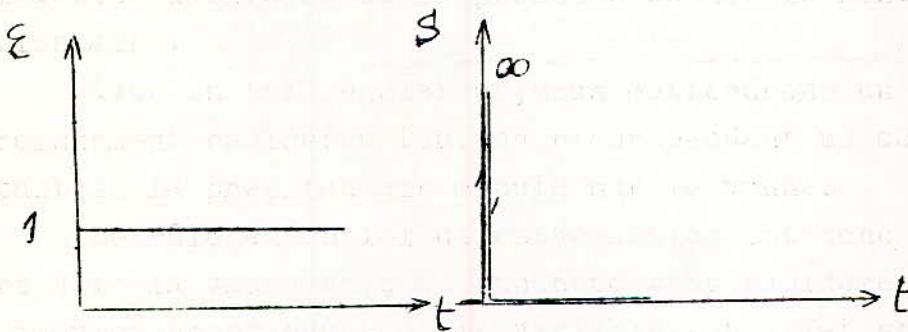
de sortie est réduite jusqu'à ce que la même pression existe dans les deux côtés de la restriction variable de l'action dérivée. D'où la pression de sortie reste stationnaire.

Avec un tel régulateur, nous obtiendrons un accroissement rapide (du "tout ou rien" pendant un court instant) de la pression air modulé sur la vanne.

Le rôle essentiel de cette action est donc de faire agir la vanne vite, de répondre très rapidement aux impulsions brusques de la variable. Son effet sera de les stopper et ainsi d'empêcher l'auto-oscillation. Avec un régulateur sans action dérivée, en cas de perturbation soudaine et d'amplitude importante, le mécanisme d'action proportionnelle peut limiter la variation de la grandeur à régler, mais celle-ci conserve malgré tout une amplitude notable, qui n'est ensuite que progressivement réduite par l'action intégrale.

#### COMPORTEMENT DYNAMIQUE (De l'action dérivée)

La réponse indicielle théorique est un pic de hauteur infinie, épaisseur (temps) nulle.



### 3.5-VANNE AUTOMATIQUE

La vanne automatique est un organe d'exécution qui a pour but de faire varier, par l'impulsion d'un régulateur la section de passage d'un fluide dans une conduite.

La variation pouvant aller de l'ouverture à la fermeture totale. La vanne automatique comprend deux parties bien distinctes:

a) LE SERVOMOTEUR: Le servomoteur est l'organe qui recevant le signal du régulateur, le convertit en une force de valeur telle qu'elle peut déplacer le clapet, et vaincre la force de rappel d'un ressort.

b) LE CORPS: Le corps est l'élément de la vanne automatique à l'intérieur duquel le fluide peut être arrêté, ou, au contraire, circuler plus ou moins librement.

On trouve plusieurs types de vanne, ceux qui nous intéressent sont les vannes à clapets, ces vannes sont couramment employées en régulation. Elles peuvent être soit à simple, soit à double siège. Le clapet peut prendre différentes formes, suivant les caractéristiques du processus et du débit que l'on veut obtenir

#### VANNE A CLAPET

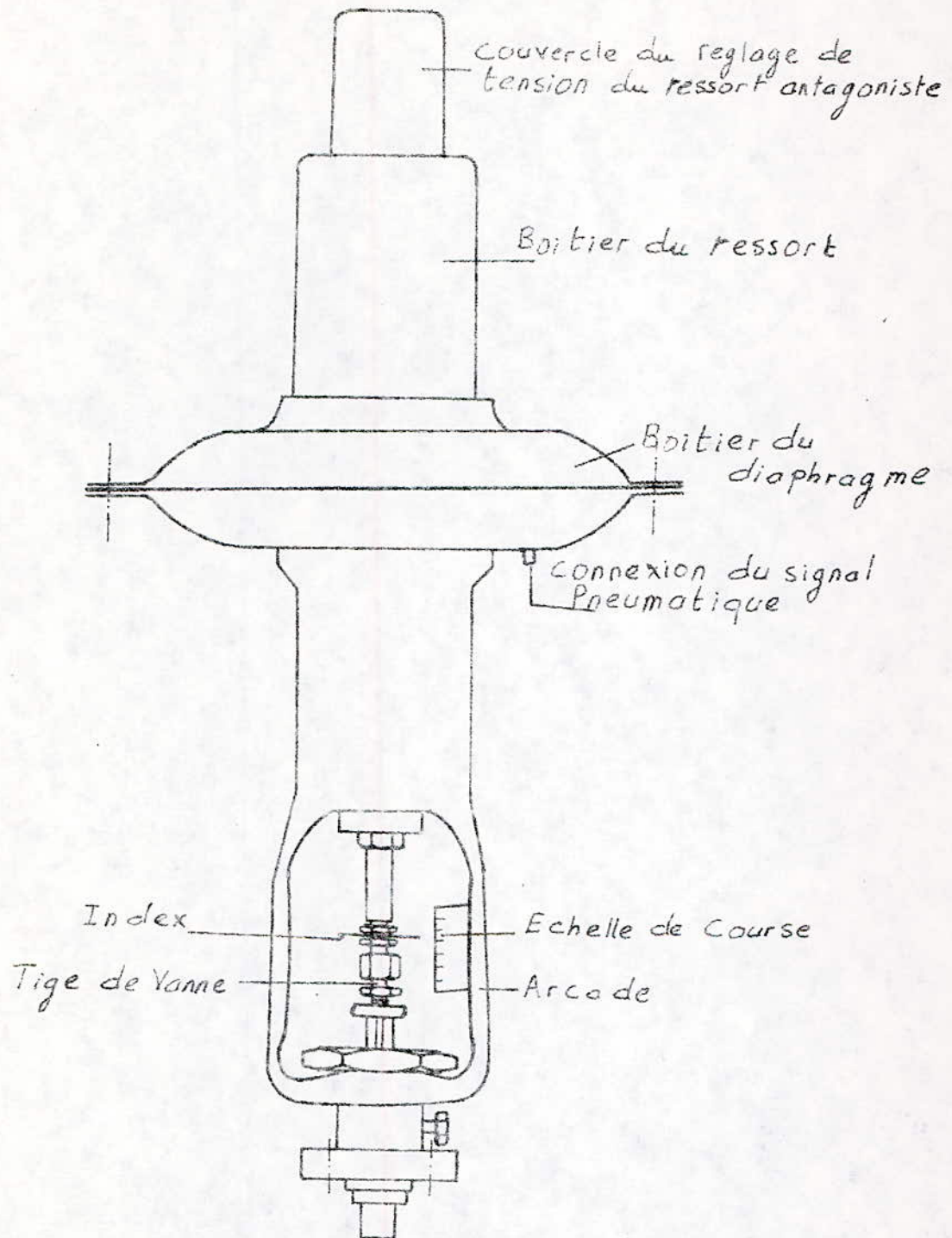
Le servomoteur comprend:

- a) La chambre de la membrane
- b) La chambre du ressort avec sa butée
- c) La vis et l'écrou de réglage du ressort
- d) L'arcade qui relie le servomoteur au corps et protège la tige.

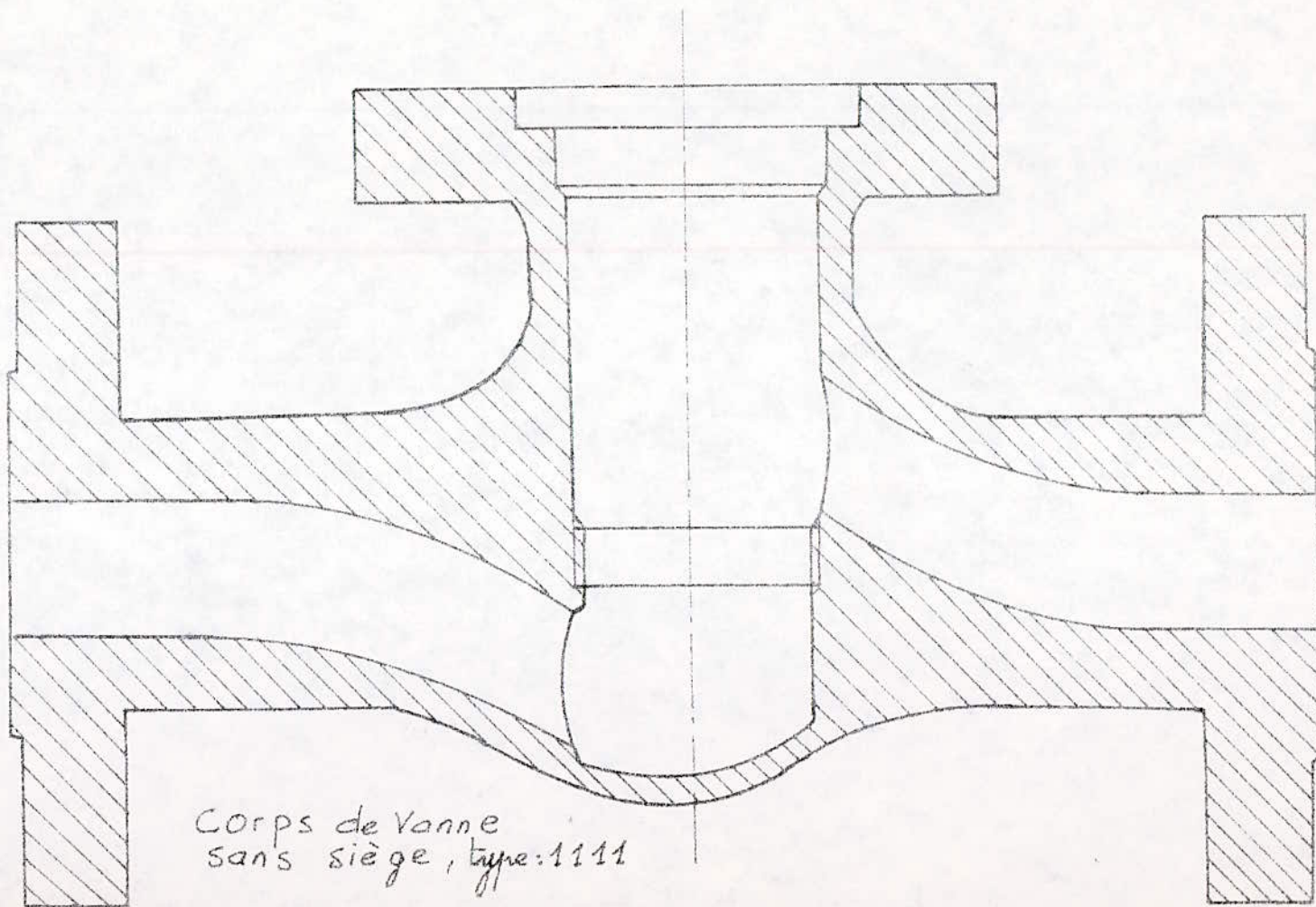
#### TYPE DE VANNE:

On l'appelle à action directe quand elle ouvre par manque d'air sur le servomoteur.

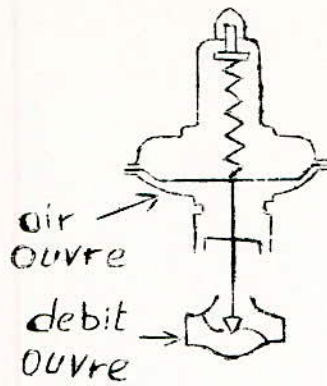
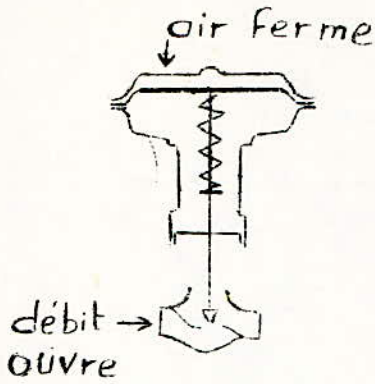
La vanne à action inverse est la vanne qui ferme par manque d'air.



SERVO-MOTEUR PNEUMATIQUE



Corps de Vanne  
sans siége, type: 1111



#### CARACTERISTIQUE D'UNE VANNE:

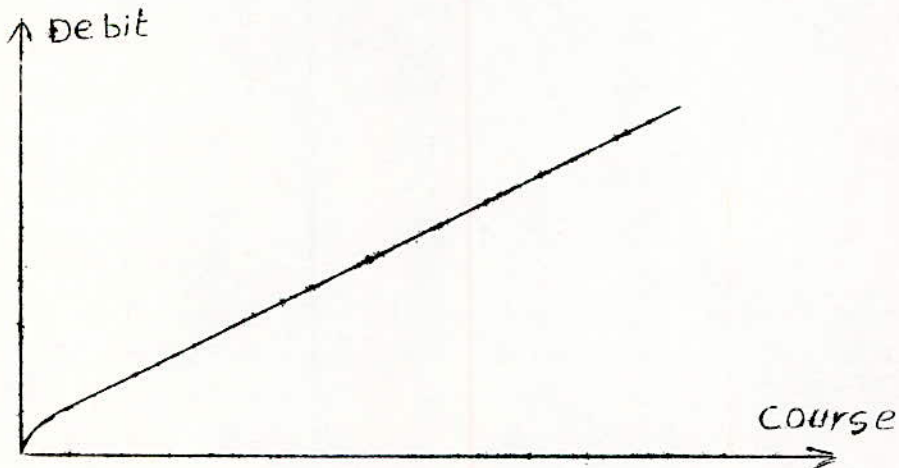
On appelle caractéristique d'une vanne la relation, liant le débit et la course du clapet à perte de charge constante. On a le choix entre deux caractéristiques:

- linéaire
- égal pourcentage
- parabolique

#### CARACTERISTIQUE LINEAIRE

Le débit de la vanne (à perte de charge constante) est proportionnelle à la course.

Un accroissement donné de la course, provoque une variation de débit, constante quel que soit le débit existant avant la variation de la course.



## CHOIX DE LA CARACTERISTIQUE D'UNE VANNE DE REGLAGE

La vanne idéale est celle qui possède une caractéristique de débit effective susceptible d'assurer à la boucle de régulation une stabilité constante sur toute la plage de fonctionnement, indépendamment des variations de la charge, ce qui s'obtient si le gain total de la boucle reste constant et que l'on a :

$$K_v \cdot K_p = \text{const}$$

Où  $K_v$  le gain de la vanne et  $K_p$  le gain du procédé.

En d'autres termes, le gain de la vanne doit pouvoir varier tout au long de la course du clapet de manière à compenser les variations de gain (à la fréquence de fonctionnement) des autres éléments de la boucle.

## CHOIX DE LA CARACTERISTIQUE D'UNE VANNE DE REGLAGE

La vanne idéale est celle qui possède une caractéristique de débit effective susceptible d'assurer à la boucle de régulation une stabilité constante sur toute la plage de fonctionnement, indépendamment des variations de la charge, ce qui s'obtient si le gain total de la boucle reste constant et que l'on a :

$$K_v \cdot K_p = \text{const}$$

Où  $K_v$  le gain de la vanne et  $K_p$  le gain du procédé.

En d'autres termes, le gain de la vanne doit pouvoir varier tout au long de la course du clapet de manière à compenser les variations de gain (à la fréquence de fonctionnement) des autres éléments de la boucle.

## CHAPITRE 4

Les calculs, et les essais ont montré que pour satisfaire les conditions demandées: niveau maximal, et ajustage important on devrait se procurer une vanne à clapet de nom nominal 40 mm. Or il s'avère qu'en ce temps-ci le marché ne dispose pas des vannes de 40 mm à siège droit, et, c'est un problème qu'on est obligé à résoudre; D'abord, on commence par la mise de la vanne automatique en état maximal de ses capacités qui est  $3\frac{1}{4}$  (20mm). On a remarqué que le siège du corps de la vanne ne forme pas une même pièce avec le corps, mais il est assemblé par filetage, et qu'on est devant un siège qui fait partie d'un ensemble de sièges allant de  $1\frac{1}{64}$  à  $3\frac{1}{4}$  prêtent à se monter sur ce corps.

De cette constatation, on peut choisir la caractéristique de la vanne, dessiner le siège et le clapet, et les fabriquer, après avoir prouvé par le calcul que notre servo-moteur peut supporter les efforts de l'eau sur un siège de 20mm de diamètre.

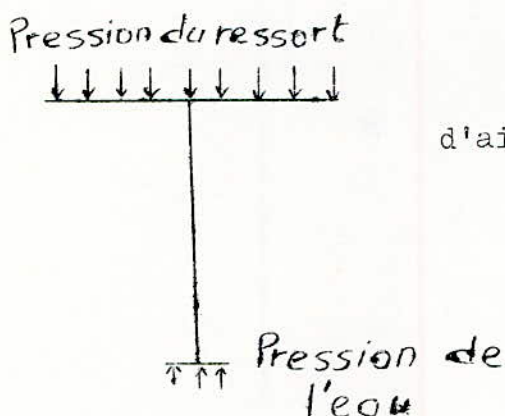
CARACTERISTIQUES DU SERVO-MOTEUR: type 1111-

course 16 mm

Alimentation: 1,4 bar

Ressort: 0,2/1 bar

Vanne ferme par manque d'air le fluide tend à ouvrir



On doit vérifier qu'à l'état de fermeture:  $F_{\text{ressort}} > F_{\text{eau}}$   
 Pression fournie par le ressort (cas: fermeture)  $\approx 0,2$  bar  
 Pression fournie par l'eau: 4m ou 0,4 bar

$$F_{\text{ressort}} = 0,2 \cdot 10^5 \cdot \frac{(290 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 100 \text{ N}$$

$$F_{\text{eau}} = 0,4 \cdot 10^5 \cdot \frac{(20 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 12,5 \text{ N}$$

$F_{\text{ressort}} > F_{\text{eau}}$  ; c'est vérifié

Maintenant nous avons deux solutions à discuter, et on choisira une.

#### SOLUTION 1

Tout simplement changer l'ajutage de 40 mm, par un autre de 20 mm de diamètre. Dans ce cas comme le montre le tableau ( ), on a besoin d'un débit  $Q = 0,97$  l/s. La courbe ( ) montre qu'un diaphragme de 20 mm, nous offre un débit de 1,2 l/s, ce qui est satisfaisant. Le chapitre 2, montre que pour un faible débit (ajutage petit) la constante de temps devient très importante ; c'est le seul inconvénient, mais qui reste majeur, car il nous donne un système très lent. C'est une constante de temps qui varie entre (50 et 84) s à 63,2%, ET entre (3 et 5,5) min à 98%.

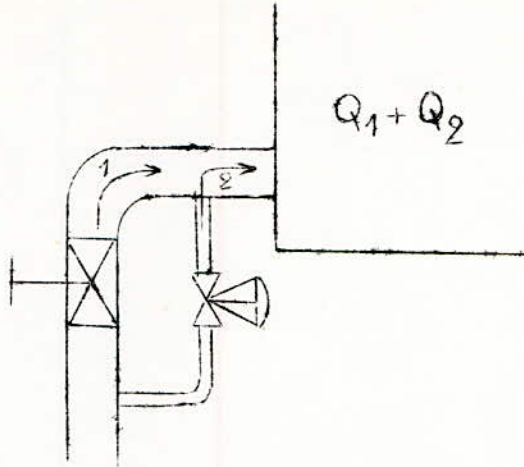
#### SOLUTION 2

On prévoit là l'aide de la vanne d'arrêt, et au lieu de travailler avec la vanne automatique seule, on travaille avec les deux vannes, d'arrêt, et, automatique.

La vanne d'arrêt donne la charge d'eau pour remplir les conditions de travail, la vanne automatique donne la régulation.

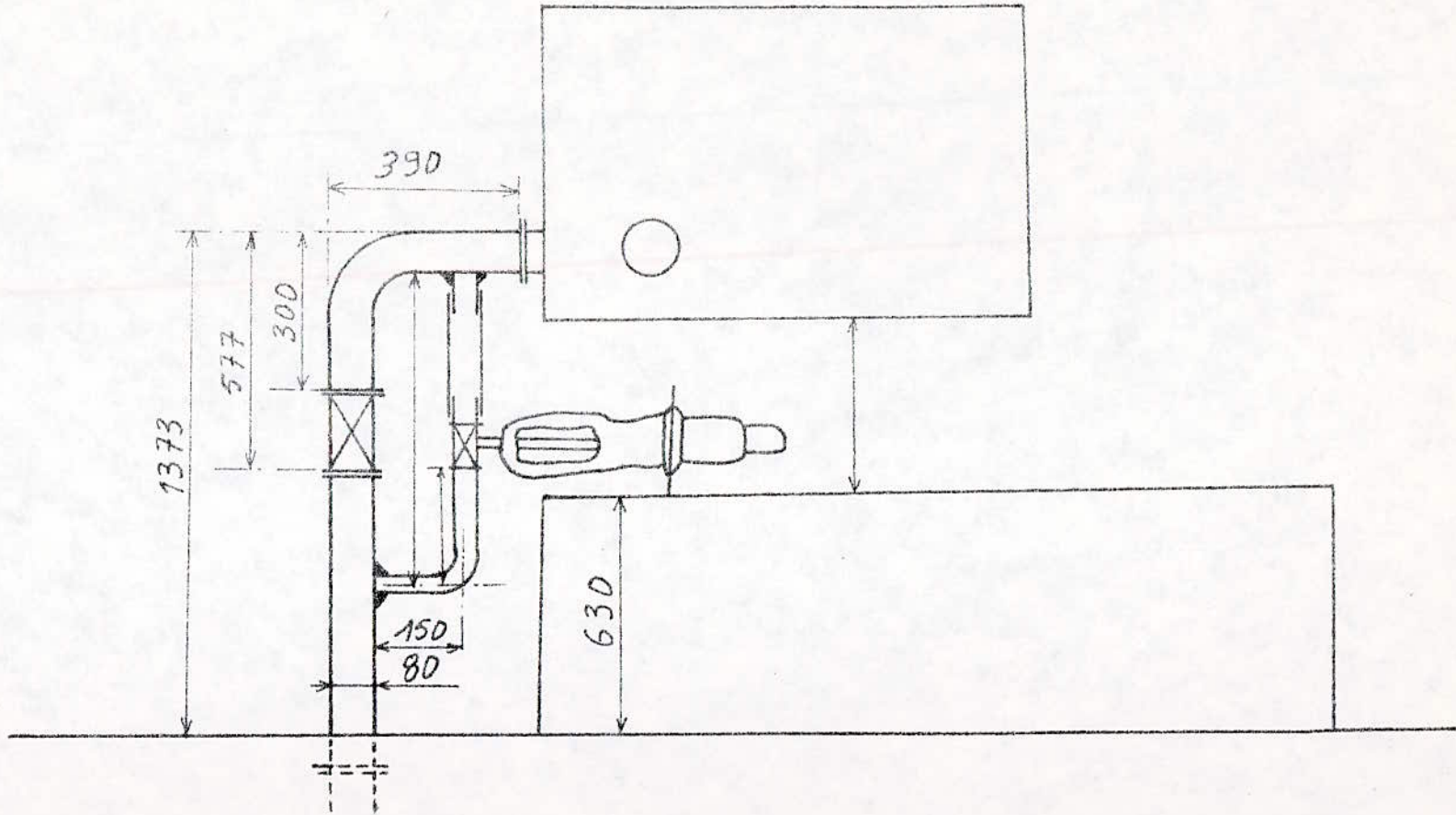
Dans ce cas l'ouverture de la vanne d'arrêt doit être partielle, dans les marges limitées pour permettre la régulation à la vanne automatique.





Si on travaille dans la marge (par exemple) des hauteurs maximales du niveau; la vanne automatique nous donne comme débit maximal  $1,21 \text{ l/s}$ , et on a besoin de  $4,27 \text{ l/s}$ , le reste du débit est fourni par la vanne d'arrêt, soit  $3,5 \text{ l/s}$ .

Sur une variation de débit de  $1,2 \text{ l/s}$ , qui correspond à une variation de hauteur donnée, on a pas besoin de manoeuvrer la vanne d'arrêt, et sur toute cette plage la vanne automatique travaille seule. Au-delà de cette variation on diminue le débit de la vanne d'arrêt en diminuant l'ouverture de celle-ci.



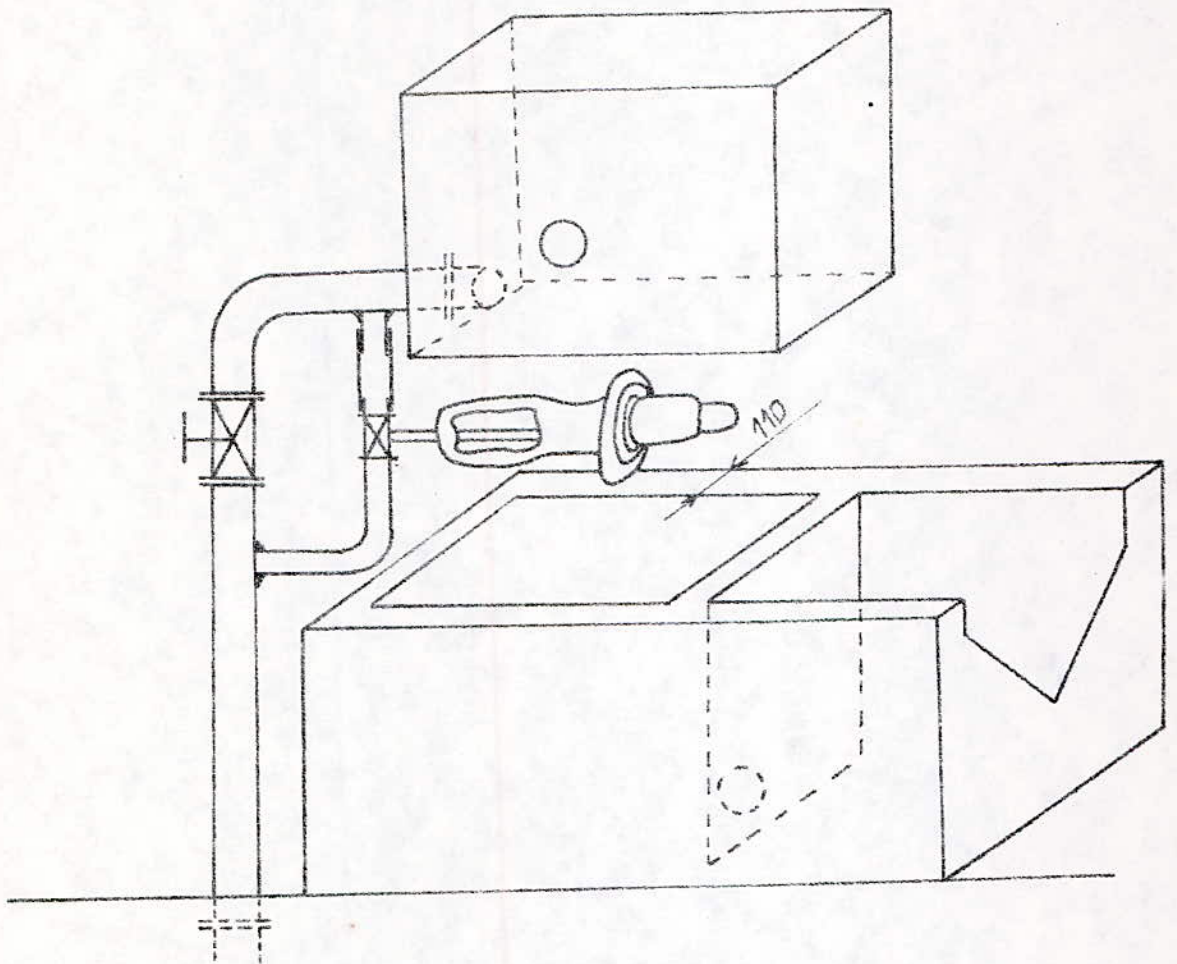
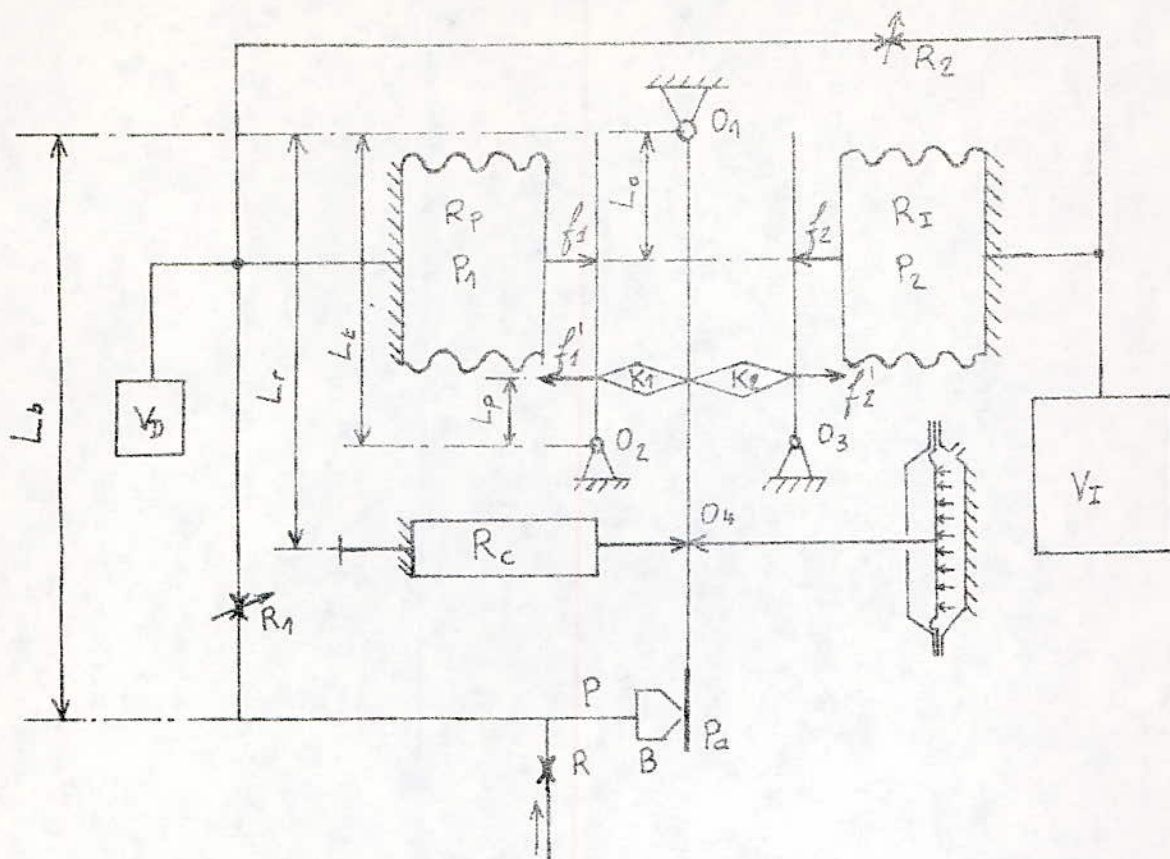


Schéma de la conception

## 4-2 Etude mathématique des transmittances idéale (PI et PID).



$R_p$ : Contre réaction négative "Proportionnelle"

$R_i$ : Contre réaction positive "Intégrale"

$K_1, K_2$ : curseurs. rôle: variation du gain proportionnel du régulateur, ils augmentent ou diminuent la force reçue avant de la communiquer à  $O_1$ .

$P_a$ : Palette       $B$ : Buse

$$\sum M/O_2 = 0; f_1 (L_t - L_0) - f_1' L_p = 0$$

$$f_1' = \frac{L_t - L_0}{L_p} f_1 \quad (\text{I})$$

$$\sum M/O_3 = 0; f_2 (L_t - L_0) - f_2' L_i = 0$$

$$f_2' = \frac{L_t - L_0}{L_i} f_2 \quad (\text{II})$$

$$\sum M/O_1 = 0$$

$$f_1' (L_t - L_p) + f_4 \cdot L_r - f_2' (L_t - L_i) - f_3 \cdot L_r = 0 \quad (\text{III})$$

En remplaçant (I) et (II) dans (III)

$$\frac{L_t - L_0}{L_p} (L_t - L_p) f_1 - \frac{L_t - L_0}{L_i} (L_t - L_i) f_2 = (f_3 - f_4) \cdot L_r$$

En pratique  $L_p = L_i = L$

$$\frac{L_t - L_0}{L} (L_t - L) (f_1 - f_2) = (f_3 - f_4) \cdot L_r$$

$$f_1 = P_1 \times S_1 \quad f_2 = P_2 \times S_2$$

$S_1 = S_2 = S$  : section active du soufflet.

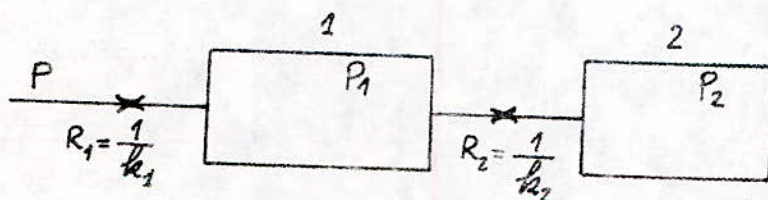
$$\frac{1}{L} (L_t - L_0) (L_t - L) (P_1 - P_2) S_1 = (f_3 - f_4) \cdot L_r$$

$$\text{soit } (f_3 - f_4) = \varepsilon(t) \times S_0$$

$\varepsilon(t)$  : variation de la pression au point  $O_4$ , ou écart entre consigne et mesure.

$$\frac{1}{L} (L_t - L_0) (L_t - L) S_1 (P_1 - P_2) = S_0 \cdot L_r \cdot \varepsilon(t)$$

Calcul de  $(P_1 - P_2)$



Le débit massique à travers la résistance est par hypothèse proportionnel à la différence de pression

$$G = k(P - P_1)$$

$k$  : coefficient de proportionnalité  $[Kg / Pa \cdot s]$

Pour la capacité 1, la variation de masse est :

$$dm_1 = (G - G_2) dt$$

$$dm_1 = [k_1 (P - P_1) - k_2 (P_1 - P_2)] dt \quad (IV)$$

En assimilant l'air à un gaz parfait et en supposant

que la transformation est isothermique, on peut écrire :

$$P_1 V_1 = m_1 r T_1 \quad m_1 = \frac{V_1}{r T_1} P_1 \quad dm_1 = \frac{V_1}{r T_1} dP_1 \quad (\text{V})$$

$$\frac{V_1}{r T_1} dP_1 = [k_1 (P - P_1) - k_2 (P_1 - P_2)] dt$$

$$\frac{V_1}{r T_1} \cdot \frac{dP_1}{dt} = k_1 (P - P_1) + k_2 (P_2 - P_1)$$

$$\left(\frac{V_1}{r T_1}\right) \cdot \frac{dP_1}{dt} = \frac{P - P_1}{1/k_1} + \frac{P_2 - P_1}{1/k_2}$$

en posant :  $C_1 = \frac{V_1}{r T_1}$  ;  $\frac{1}{k_1} = R_1$  ;  $\frac{1}{k_2} = R_2$

$$C_1 \frac{dP_1}{dt} = \frac{P - P_1}{R_1} + \frac{P_2 - P_1}{R_2} \quad (\text{VI})$$

Pour le réservoir 2 :  $dm_2 = k_2 (P_1 - P_2) dt$

$$dm_2 = \frac{V_2}{r T_2} dP_2$$

$$\frac{V_2}{r T_2} \cdot \frac{dP_2}{dt} = \frac{P_1 - P_2}{1/k_2} \quad \text{soit : } \frac{V_2}{r T_2} = C_2$$

$$C_2 \cdot \frac{dP_2}{dt} = \frac{P_1 - P_2}{R_2} \quad (\text{VII})$$

multiplions (VI) par  $R_1 R_2$  :

$$R_1 R_2 C_1 \frac{dP_1}{dt} = R_2 P - R_2 P_1 + R_1 P_2 - R_1 P_1$$

$$R_1 R_2 C_1 \frac{dP_1}{dt} + (R_1 + R_2) P_1 = R_2 P + R_1 P_2$$

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 \frac{dP_1}{dt} + P_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} P + \frac{R_1}{R_1 + R_2} P_2 \quad (\text{VIII})$$

de (VII) :  $P_1 = P_2 + R_2 C_2 \frac{dP_2}{dt}$

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{dP_2}{dt} + R_2 C_2 \frac{d^2 P_2}{dt^2}$$

revenons à (VIII) :

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 \left( \frac{dP_2}{dt} + R_2 C_2 \frac{d^2 P_2}{dt^2} \right) + P_2 + R_2 C_2 \frac{dP_2}{dt} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} P + \frac{R_1}{R_1 + R_2} P_2$$

$$\frac{R_1 R_2 C_1 C_2}{R_1 + R_2} \frac{d^2 P_2}{dt^2} + \left( \frac{R_1 R_2 C_1}{R_1 + R_2} + R_2 C_2 \right) \frac{dP_2}{dt} + \left( 1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) P_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} P$$

On pose :  $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 = T_{12}$        $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = m_2$  et on a :  $R_2 C_2 = T_2$

$$T_{12}T_2 \frac{d^2 P_2}{dt^2} + (T_{12} + T_2) \frac{dP_2}{dt} + m_2 P_2 = m_2 P$$

En passant aux transformées de Laplace :

$$T_{12}T_2 [S^2 P_2(s)] + (T_{12} + T_2) S P_2(s) + m_2 P_2(s) = m_2 \cdot P(s)$$

$$P_2(s) [S^2 T_{12}T_2 + S(T_{12} + T_2) + m_2] = m_2 \cdot P(s)$$

$$P_2(s) = \frac{P(s)}{\frac{T_{12}T_2}{m_2} S^2 + \frac{T_2 + T_{12}}{m_2} S + 1}$$

de (VII) :  $P_1(s) = P_2(s) + T_2 S P_2(s)$

$$P_1(s) = P_2(s) [1 + T_2 S]$$

donc : 
$$P_1(s) = \frac{1 + T_2 S}{\frac{T_{12}T_2}{m_2} S^2 + \frac{T_2 + T_{12}}{m_2} S + 1} \cdot P(s)$$

On remarque que :  $\frac{T_2}{m_2} = \frac{C_2 R_2}{R_2} (R_1 + R_2) = C_2 R_2 + C_2 R_1 = T_2 + C_2 R_1$

$$\frac{T_{12}}{m_2} = C_1 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = C_1 R_1 = T_1$$

alors : 
$$P_2(s) = \frac{P(s)}{T_1 T_2 S^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) S + 1}$$

$$P_1(s) = \frac{(1 + T_2 S) \cdot P(s)}{T_1 T_2 S^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) S + 1}$$

$$P_1(s) - P_2(s) = \frac{T_2 S}{T_1 T_2 S^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) S + 1} \cdot P(s)$$

$$\frac{T_2 S}{T_1 T_2 S^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) S + 1} P(s) = \underbrace{\frac{L \cdot L_r \cdot S_0}{(L_L - L_0)(L_L - L) \cdot S_1}}_G \cdot \varepsilon(t)$$

$$P(s) = G \cdot \frac{T_1 T_2 S^2 + (T_1 + C_2 R_1 + T_2) S + 1}{T_2 S} \cdot \varepsilon(t)$$

$$P(s) = G \left[ T_1 S + \left( \frac{T_1}{T_2} + \frac{R_1}{R_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 S} \right] \cdot \varepsilon(t)$$

en appliquant la transformée inverse :

$$P(t) = G \left[ T_1 \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \left( \frac{T_1}{T_2} + 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \varepsilon(t) + \frac{1}{T_2} \int_0^t \varepsilon(t) dt \right]$$

On voit bien les trois actions du régulateur PID.

$$T_{12}T_2 \frac{d^2 P_2}{dt^2} + (T_{12} + T_2) \frac{dP_2}{dt} + m_2 P_2 = m_2 P$$

En passant aux transformées de Laplace :

$$T_{12}T_2 [s^2 P_2(s)] + (T_{12} + T_2) s P_2(s) + m_2 P_2(s) = m_2 P(s)$$

$$P_2(s) [s^2 T_{12}T_2 + s(T_{12} + T_2) + m_2] = m_2 P(s)$$

$$P_2(s) = \frac{P(s)}{\frac{T_{12}T_2}{m_2} s^2 + \frac{T_2 + T_{12}}{m_2} s + 1}$$

de (VII) :  $P_1(s) = P_2(s) + T_2 s P_2(s)$

$$P_1(s) = P_2(s) [1 + T_2 s]$$

donc :

$$P_1(s) = \frac{1 + T_2 s}{\frac{T_{12}T_2}{m_2} s^2 + \frac{T_2 + T_{12}}{m_2} s + 1} \cdot P(s)$$

On remarque que :  $\frac{T_2}{m_2} = \frac{C_2 R_1}{R_2} (R_1 + R_2) = C_2 R_2 + C_2 R_1 = T_2 + C_2 R_1$

$$\frac{T_{12}}{m_2} = C_1 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = C_1 R_1 = T_1$$

alors :  $P_2(s) = \frac{P(s)}{T_1 T_2 s^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) s + 1}$

$$P_1(s) = \frac{(1 + T_2 s) \cdot P(s)}{T_1 T_2 s^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) s + 1}$$

$$P_1(s) - P_2(s) = \frac{T_2 s}{T_1 T_2 s^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) s + 1} \cdot P(s)$$

$$\frac{T_2 s}{T_1 T_2 s^2 + (T_2 + C_2 R_1 + T_1) s + 1} P(s) = \underbrace{\frac{L \cdot L_r \cdot S_0}{(L_t - L_0)(L_t - L) \cdot S_1}}_G \cdot \varepsilon(t)$$

$$P(s) = G \cdot \frac{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + C_2 R_1 + T_2) s + 1}{T_2 s} \cdot \varepsilon(t)$$

$$P(s) = G \left[ T_1 s + \left( \frac{T_1}{T_2} + \frac{R_1}{R_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot \varepsilon(t)$$

en appliquant la transformée inverse :

$$P(t) = G \left[ T_1 \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \left( \frac{T_1}{T_2} + 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \varepsilon(t) + \frac{1}{T_2} \int_0^t \varepsilon(t) dt \right]$$

On voit bien les trois actions du régulateur PID.



$G(T_1 s)$ : action D

$G\left(\frac{1}{T_2 s}\right)$ : action I

$G\left(\frac{T_1}{T_2} + 1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$ : action P

Reponse Indicielle:

Appliquons un échelon unité  $\varepsilon(t) = 1$   
soit  $\varepsilon(s) = \frac{1}{s}$ , et voyons la réponse.

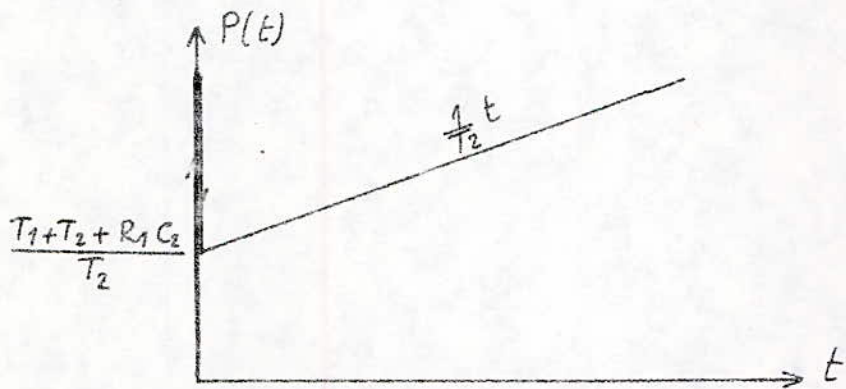
$$P(s) = G\left[T_1 s + \frac{T_1 + T_2 + R_1 C_2}{T_2} + \frac{1}{T_2 s}\right] \cdot \frac{1}{s}$$

$$P(s) = G\left[T_1 + \frac{T_1 + T_2 + R_1 C_2}{T_2} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{T_2 s^2}\right]$$

transformée inverse:

$$P(t) = G\left[T_1 \delta(t) + \frac{T_1 + T_2 + R_1 C_2}{T_2} + \frac{1}{T_2} t\right]$$

$\delta(t)$  impulsion de Dirac



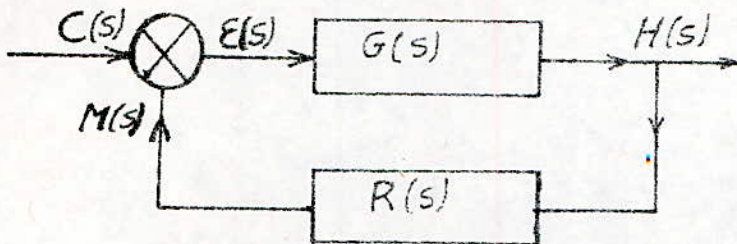
Pour un échelon unité appliqué comme fonction d'entrée la réponse du régulateur P I D est anticipée par l'action dérivée, pour  $t=0$  la réponse est une impulsion de DIRAC c.à.d, un pic vertical qui tend vers une pression infinie puis revient à la valeur de l'amplitude de l'action proportionnelle qui est  $G \cdot \frac{t_1 + T_2 + R_1 \cdot C_2}{T_2}$ , et, à partir de là et pour tout autre  $t \neq 0$ , c'est  $t^2$  la réponse de l'action intégrale qui se développe; c'est une droite de pente  $-\frac{1}{T_2}$ .

On remarque que l'action dérivée est en avance par rapport à l'action proportionnelle, tandis que l'action intégrale est en retard.

Si on élimine l'action dérivée, l'équation de la réponse du régulateur montre que pour  $t=0$ , nous n'aurions que la réponse proportionnelle avec une amplitude qui a diminué de  $\frac{T_1}{T_2}$ , puis la réponse de l'action intégrale de pente  $-\frac{1}{T_2}$  pour  $t \neq 0$ .

# REGULATION : PI et PID

## Etude comparative



$G(s)$  : transformée de la fonction de transfert de la chaîne d'action directe.

$R(s)$  : transformée de la fonction de transfert des éléments de la chaîne de réaction.

$$G(s) = G_1 \text{ (régulateur)} \times G_2 \text{ (vanne automatique)} \times G_3 \text{ (Procédé)}$$

$$R(s) = R \text{ [détecteur (tube plongeur)]}$$

D'après la figure ci dessus :

$$H(s) = G(s) \cdot E(s) \quad \text{(I)}$$

$$E(s) = C(s) - M(s) \quad \text{(II)}$$

$$M(s) = H(s) \cdot R(s) \quad \text{(III)}$$

De (I), (II), (III) :

$$H(s) = \frac{G(s) \cdot C(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)}$$

$$G_1(s) = G \left[ T_1 s + \left( \frac{T_1}{T_2} + \frac{R_1}{R_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \text{ Pour un régulateur PID}$$

$$G_1(s) = G \left[ 1 + \frac{1}{T_2 s} \right] \text{ Pour un régulateur PI}$$

$$G' = \frac{L \cdot L_r \cdot S_0}{(L_t - L_0)(L_t - L) \cdot S_1}$$

$$L_r = 80 \text{ mm} \quad L_t = 52 \text{ mm} \quad L_0 = 30 \text{ mm}$$

$L$  : Position du curseur (variable).

$$S_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad S_0 = 102 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$G' = \frac{L \cdot 80 \cdot 102}{(52 - 30)(52 - L) \cdot 5} \quad \text{(avec } L \text{ en mm)}$$

$$G' = 74 \frac{L}{52 - L} \quad 0 \leq L \leq 52$$

$G_2$  : transmittance de la vanne automatique.

$$Q(s) = G_2(s) \cdot P(s) \quad [\text{entrée Pression; sortie débit}]$$

$$G_2(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} = 1,5 \cdot 10^{-8}$$

Procédé

L'équation du procédé est:  $K_3 \frac{dh}{dt} + h = K_4 q_e$

$$\text{avec: } K_3 = \frac{2H}{Q_s} \cdot A \quad ; \quad K_4 = \frac{2H}{Q_s}$$

On passe à la transformée:  $K_3 [sH(s)] + H(s) = K_4 Q_e(s)$

$$\frac{H(s)}{Q_e(s)} = \frac{K_4}{1 + K_3 s}$$

si on opère autour d'une hauteur moyenne  $H = 612 \text{ mm}$

avec un ajutage de  $20 \text{ mm}$  de diamètre, et si la

section du réservoir  $A = 0,87 \text{ m}^2$ .  $Q_s = 0,64 \text{ dm}^3/\text{s}$

$$K_3 = \frac{2 \cdot 0,612}{0,64 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,87 = 1664 \quad K_4 = 1912,5$$

$$\text{donc } G_3(s) = \frac{1912,5}{1 + 1664s}$$

$$G(s) = 74 \cdot \frac{L}{52 - L} \left[ T_1 s + \left( \frac{T_1}{T_2} + \frac{R_1}{R_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1912,5}{1 + 1664s}$$

Pour un régulateur PID

$$G(s) = 2,12 \cdot 10^{-3} \frac{L}{52 - L} \left[ T_1 s + \left( 6 \frac{T_1}{T_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot \frac{1}{1 + 1664s}$$

$$\text{avec: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{C_2}{C_1} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{V_2}{V_1} \quad V_2 = 4 \text{ dm}^3 \quad V_1 = 0,8 \text{ dm}^3$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{4}{0,8} = 5 \frac{T_1}{T_2}$$

$$\text{où: } G(s) = 1,3 \cdot 10^{-6} \frac{L}{52 - L} \left[ T_1 s + \left( 6 \frac{T_1}{T_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot \frac{1}{s + 6 \cdot 10^{-4}}$$

Pour un régulateur PI on a:

$$G(s) = 1,3 \cdot 10^{-6} \frac{L}{52 - L} \left[ 1 + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot \frac{1}{s + 6 \cdot 10^{-4}}$$

$R(s) = \frac{M(s)}{H(s)} = f.g = 9,8 \cdot 10^3$  transformée de la chaîne de réaction.

La transformée de la boucle fermée est :

$$H(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s) \cdot R(s)} \cdot C(s).$$

$$H(s) = \frac{1,3 \cdot 10^{-6} \frac{L}{52-L} \left[ T_1 s + \left( 6 \frac{T_1}{T_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot \frac{1}{s + 6 \cdot 10^{-4}}}{1 + 9800 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} \frac{L}{52-L} \left[ T_1 s + \left( 6 \frac{T_1}{T_2} + 1 \right) + \frac{1}{T_2 s} \right] \cdot \frac{1}{s + 6 \cdot 10^{-4}}} \cdot C(s)$$

$$H(s) = \frac{1,3 \cdot 10^{-6} \cdot L \left[ T_1 T_2 s^2 + (6 T_1 + T_2) s + 1 \right]}{D(s)} \cdot C(s)$$

$$D(s) = (52 - L + 0,01274 \cdot L \cdot T_1) T_2 s^2 + (0,0312 T_2 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot L \cdot T_2 + 0,07644 L T_1 + 0,01274 L T_2) s + 0,01274 \cdot L$$

On remarque bien que la transmittance de cette boucle est fonction de :  $T_1$ ,  $T_2$ , et  $L$  (Position du curseur).

Reponse Indicielle :  $C(s) = \frac{1}{s}$

Notre équation est de la forme :

$$H(s) = \frac{A s^2 + B s + C}{s^2 + d s + e} \cdot \frac{1}{s} \quad (I)$$

Si  $\Delta = d^2 - 4e > 0$  notre équation (I) prendra la forme (pour résolution) :  $H(s) = \frac{A_1}{s + s_1} + \frac{A_2}{s + s_2} + \frac{A_3}{s}$

$$\text{et } h(t) = (A_1 e^{-s_1 t} + A_2 e^{-s_2 t} + A_3) \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot L$$

$$s_{1,2} = \frac{-d \pm \sqrt{\Delta}}{2}$$

$$A_1 = \frac{s_1^2 s_2 A - s_1 s_2 B + s_2 C}{s_1 s_2 (s_1 + s_2)}$$

$$A_2 = \frac{s_1 s_2^2 A - s_1 s_2 B - s_1 C}{s_1 s_2 (s_1 + s_2)}$$

$$\text{et } A_3 = \frac{C}{s_1 s_2}$$

$$\text{si } \Delta = d^2 - 4e = 0$$

$$s_{1,2} = -d/2$$

$$H(s) = \frac{A_1}{s + s_1} + \frac{A_2}{(s + s_1)^2} + \frac{A_3}{s}$$

$$h(t) = (A_1 e^{-s_1 t} + A_2 t e^{-s_1 t} + A_3) \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot L$$

avec :

$$A_1 = A - \frac{c}{s_1^2} \quad A_2 = B - A s_1 - \frac{c}{s_1}$$

$$A_3 = c / s_1^2$$

$$\text{Si : } \Delta = d^2 - 4e < 0$$

$H(s)$  prendra la forme :

$$H(s) = \frac{a_1 s + a_0}{(s + \alpha)^2 + \beta^2} + \frac{a_2}{s}$$

et on aura :

$$h(t) = \left[ e^{-\alpha t} (a_1 \cos \beta t + f \sin \beta t) + a_2 \right] \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot L.$$

$$\text{avec : } f = \frac{a_0 - a_1 \alpha}{\beta} \quad \alpha = d/2 \quad \beta = \sqrt{e - d^2/4}$$

et :

$$a_1 = A - \frac{c}{e} ; \quad a_2 = c/e ; \quad a_0 = B - d \frac{c}{e}$$

On note que :

$$A = T_1 T_2 \quad B = (G T_1 + T_2) \quad \text{et } C = 1.$$

$$d = \frac{0,0312 T_2 - 6 \cdot 10^{-6} L T_2 + 0,07644 L T_1 + 0,01274 L T_2}{(52 - L + 0,01274 L T_1) T_2}$$

$$e = \frac{0,01274 \cdot L}{(52 - L + 0,01274 L T_1) T_2}$$

Le paramètre de dérivation  $T_1$  est faible devant le paramètre d'intégration  $T_2$ . Dans le cas d'une régulation

Par action (PI)  $T_1 = 0$ .

On remarque que  $h(t) = f(T_1, T_2, L)$  est fonction de trois paramètres indépendants  $T_1, T_2$  et  $L$ . Et  $h(t)$  change avec la variation de un de ces trois paramètres.

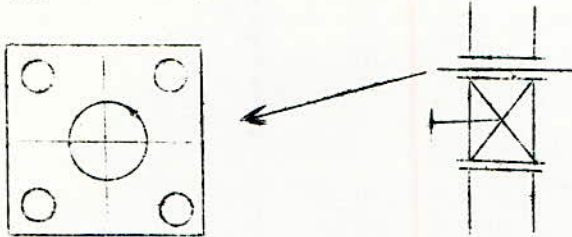
D'autre part une comparaison en fonction de  $(L, T_1, T_2)$  est impossible à cause de la forme complexe de  $h(t)$ , aussi une application (devant une infinité d'applications) ne nous donne pas le droit de conclure un résultat général.

Pour un cas où  $L, T_1, T_2$  sont connus, le calcul précédent nous offre une méthode de comparaison PI, PID.

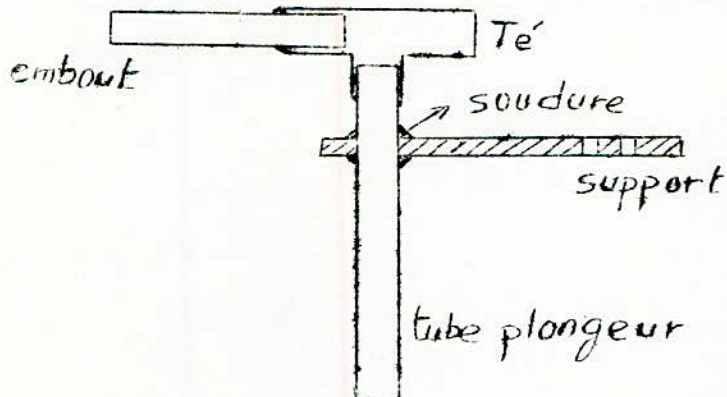
## CHAPITRE 5

Le calcul du débit correspondant aux différentes sections nous a incité l'utilisation de deux tôles minces.

Le premier travail effectué été le perçage de ces tôles à partir du diamètre 14,5 mm à 27 mm



- Realisation du tube plongeur
- Assemblage d'un tube en cuivre 12-10 avec un Té pour derivation
- Fixation d'un embout pour maintenir correctement le tuyau transportant l'air de mesure.
- Utilisation d'un fer plat percé comme support du tube plongeur



- Realisation de huit embouts en laiton, l'assemblage est par soudure ou par collage.
- Mise au point de deux regles en "PLIXIGLAS", puis fixation sur support du tube de mesure de niveau.
- realisation d'un support en tôle mince pour la règle et le tube en verre.
- Realisation d'une dérivation sur tube conduisant vers le reservoir à electrodes. On a utilisé un Té 18-20 en cuivre assemblé par soudure

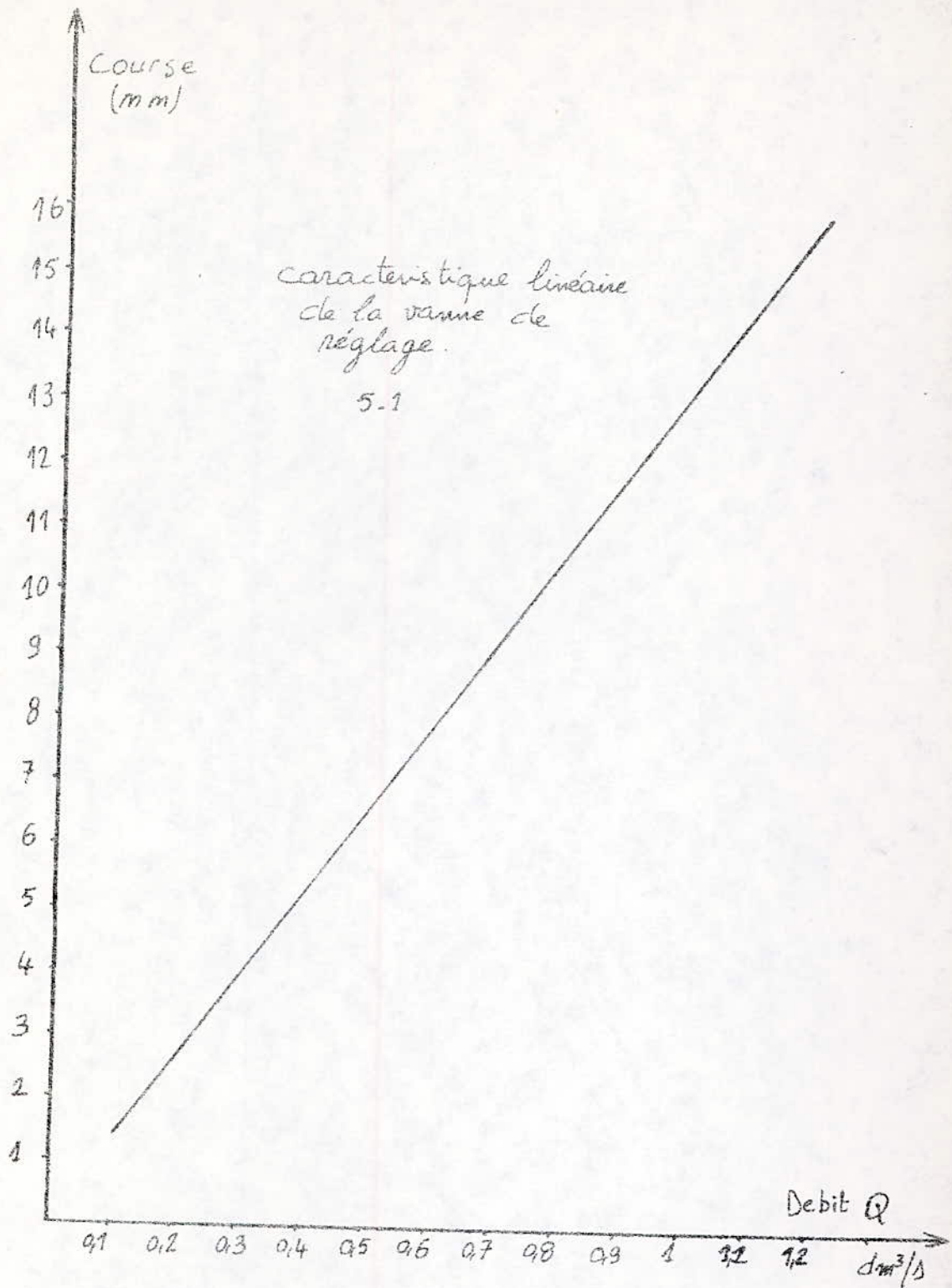


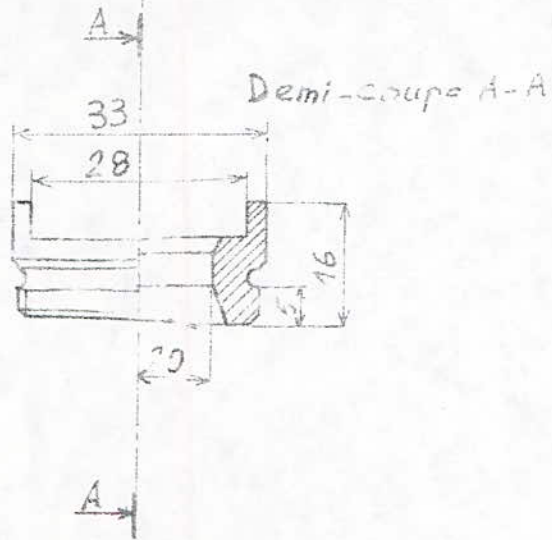
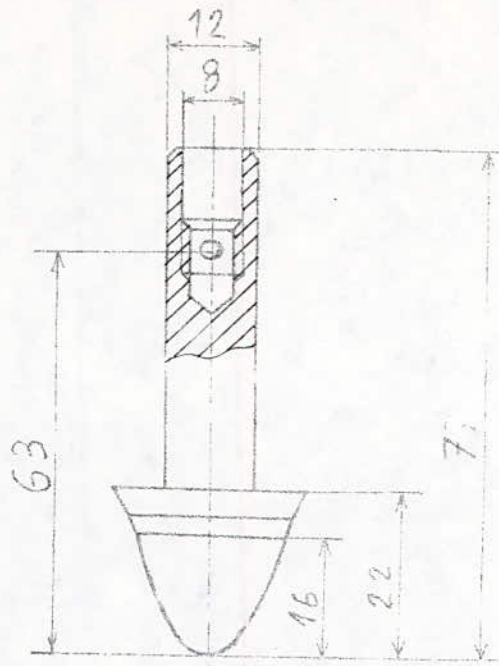
- Usinage du clapet et du siege de vanne en utilisant de l'acier
- Cuifrage , puis CHromage pour eviter la rouille.

Pour le dessin du clapet on a utilisé la courbe course-débit ( ). pour chaque valeur de la course , on a calculé le rayon de passage correspondant (voir tableau ). La tige du clapet porte un taraudage M08 et un trou de diamètre 2,5mm ( voir dessin ).

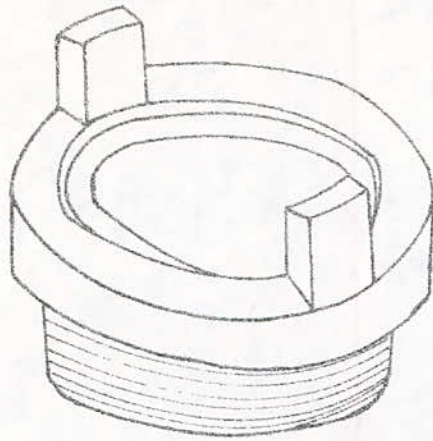
L'usinage du clapet a été réalisé par tournage , par petits éléments lineaires, pour chaque élément on change la conicité .

course (mm)	débit (l/s )	rayon (mm )
1	0,075	9,67
2	0,150	9,34
3	0,225	9,00
4	0,300	8,63
5	0,375	8,50
6	0,450	7,86
7	0,525	7,55
8	0,600	7,11
9	0,675	6,72
10	0,750	6,23
11	0,825	5,76
12	0,900	5,17
13	0,975	4,52
14	1,05	3,75
15	1,125	2,77
16	1,200	1,15





Clapet et Siege.



Siege

- Usinage de deux brides de diamètre 100mm.
- Coudage du tube 26-34
- Soudage brides-tubes (à l'arc électrique )
- Perçage des deux tuyaux 80-92 , puis piquage des deux tubes 26-34 par soudure à l'arc électrique.
- Interposition de joints entre vanne et brides .
- Fixation de deux fer plats sur le bord en béton pour supporter le poids du servo-moteur
- Reparation de la membrane déchirée de l'élément de mesure
- Recherche et mise en place du ressort de consigne
- Interposition des cales d'appuis sous servo-moteur.
- Réparation des fuites d'air dans le banc de régulation.
- Changement de l'action du régulateur(permutation entre membrane de mesure et loge du ressort)
- Graissage du servo-moteur
- Montage de l'installation et mise en marche
- Réalisation d'un ajutage de diamètre 20mm .

## MODE D'EMPLOI

Le montage doit être fait suivant les normes bien précises, permettant au procédé de fonctionner dans des conditions satisfaisantes.

L'étanchéité devra être contrôlée. Tous les joints, brides, raccords, presse étoupe doivent être parfaitement étanches.

Les lignes et orifices seront soufflés à l'air pour les débarrasser de la rouille, poussière ou autres corps étrangers. Un soufflage à l'air est indispensable pour éviter que celui-ci véhicule des poussières ou de la rouille qui viendrait obstruer les orifices des éléments de régulation (restrictions, buse, ...) contrôle aussi de l'étanchéité de tout le circuit.

### OPERATIONS PRELIMINAIRES :

- 1) Vérifier la pression d'alimentation (1,4 bar)
- 2) Purger les capacités et circuits.
- 3) Vérifier si les vannes sont fermées.
- 4) Contrôler le bon fonctionnement de la vanne automatique, en la faisant manoeuvrer par le régulateur (en déplaçant le point de consigne).

### MARCHE DU PROCÉDE DE REGULATION.

- 1) Amener le point de consigne au minimum de l'échelle.
- 2) Ouvrir la grande vanne partiellement autour du niveau  $H=612$  mm .
- 3) Ouvrir le robinet d'alimentation en air.
- 4) Ouvrir le robinet d'alimentation en air de la vanne automatique.
- 5) Régler la position des deux robinets pointeaux d'intégration et de dérivation.
- 6) Donner une valeur de consigne.
- 7) Relever la hauteur qu'indique le tube de mesure pour chaque valeur de consigne, en maintenant chaque mesure un instant pour stabilité.
- 8) Remarquer la correspondance de la variation (consigne-hauteur) jusqu'à insensibilité de la vanne automatique

aux variations de la consigne.

- 9) Ouvrir partiellement la grande vanne.
- 10) Continuer les mesures: consigne, H, h.
- 11) Chaque fois qu'on remarque le manque de charge, on augmente l'ouverture de la grande vanne.

## CONCLUSION

L'étude du banc d'essai que je viens d'en terminer est très intéressante; la régulation du niveau est l'exemple adéquat à en offrir une bonne compréhension de la notion régulation, et montrer ses effets, et son intérêt.

Cette étude m'a permis de voir de près, et d'assimiler:

- Les trois actions de régulation P, I, et D.
- La construction du régulateur PID (type ARCA)
- La construction des servo-moteurs.
- Le dimensionnement des vannes de réglage .
- Et même l'obtention des solutions pratiques dans des cas critiques.

D'autre part, la réalisation pratique qui a accompagnée l'étude théorique m'a permis de voir surgir des problèmes techniques rencontrés dans les procédés industriels.

Avec ce sujet, j'ai donné à la partie théorique, acquise pendant notre formation, un aspect pratique.



## B I B L I O G R A P H I E

- Réf 1 : Cours CM4 (enseigné a
- Réf 2 : Schaum RANALD.GILES Mécanique des fluides
- Réf 3 : Cathalogue SCHLUMBERGER  
Cathalogue SCHLUMBERGER
- Réf 4 : Thèse : Bancs d'essais " ABDESSATAR
  - - Cours de régulation pneuma tique Y.LACOMBE
  - -Instrumentation industrielle Michel Cerr
  - Calcul théorique et pratique  
des systèmes asservis P.NASLIN