

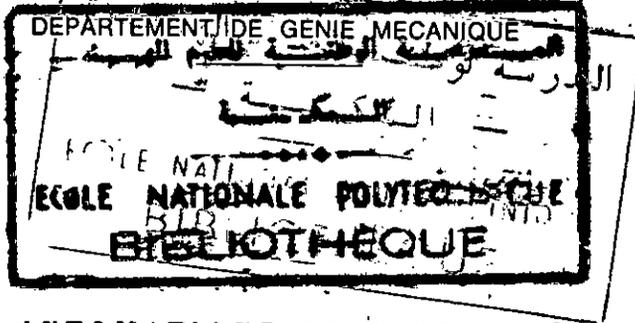
1/81

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

2/2

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR

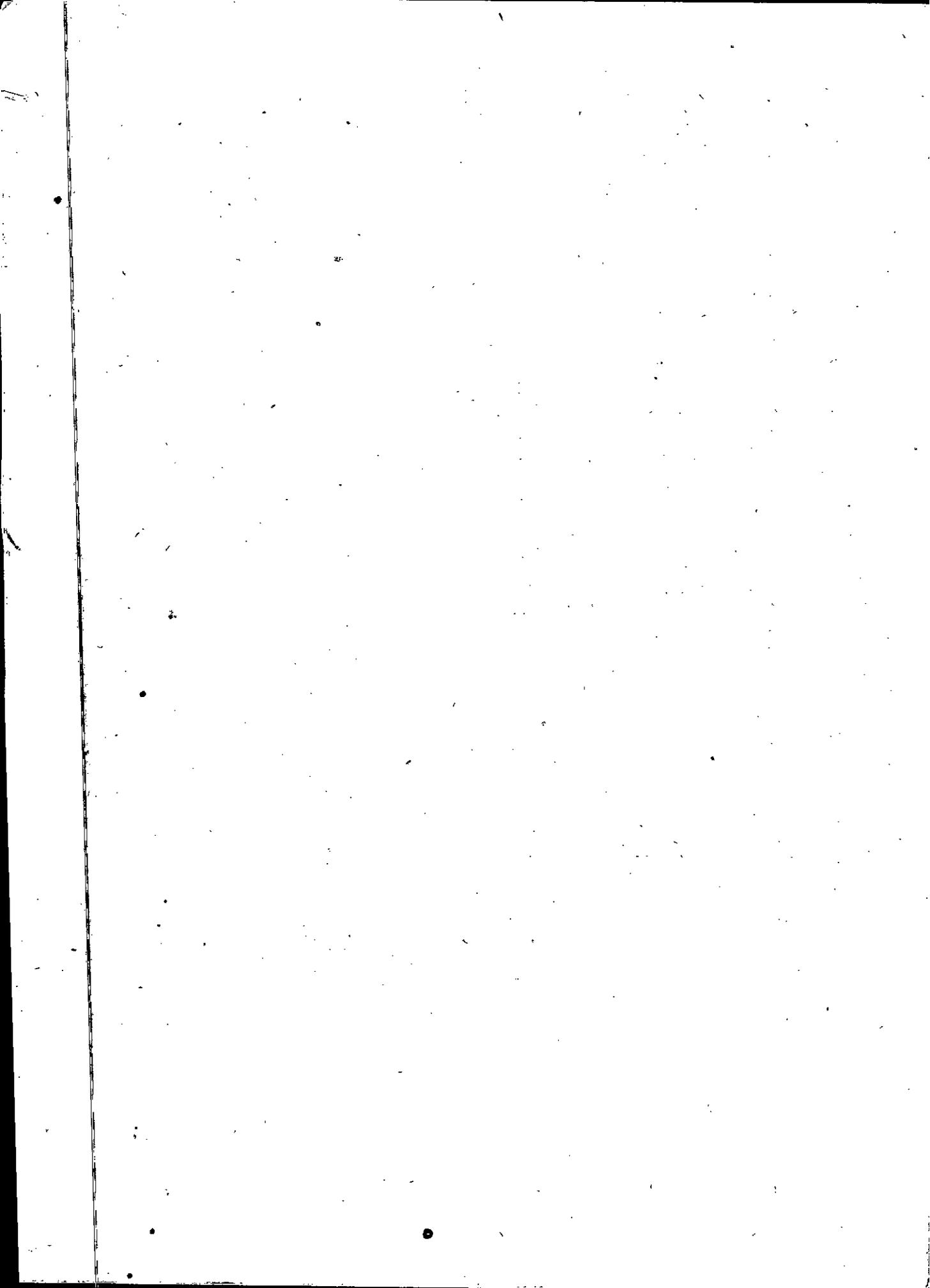


**CONTROLE AUTOMATIQUE DE NIVEAU D'EAU DANS
LE BALLON D'UNE CHAUDIERE**

1981

PROPOSE ET DIRIGE PAR :
Docteur Ing. A. WERNER

ETUDIE PAR :
Monsieur G. BAKIR



UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

**CONTROLE AUTOMATIQUE DE NIVEAU D'EAU DANS
LE BALLON D'UNE CHAUDIERE**

PROPOSE ET DIRIGE PAR :
Docteur Ing. **A. WERNER**

ETUDIE PAR :
Monsieur **G. BAKIR**

A mon père qui m'a montré les chemins de la Cité
A ma mère qui m'a appris les voies du Coeur

Ce modeste travail témoin de mon respect et
de mon affection.

- REMERCIEMENTS -

Il serait vain de citer les noms de tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué non seulement à ma formation mais aussi à l'élaboration du sujet.

Je tiens à remercier vivement Messieurs SMETNI, SEGOUR et LAMRAOUI d'avoir accepté d'être mes derniers examinateurs. Toutefois je prie sincèrement Monsieur WERNER de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma reconnaissance et de ma profonde admiration.

S U J E T

CONTROLE AUTOMATIQUE DE NIVEAU D'EAU

DANS LE BALLON D'UNE CHAUDIERE

- 1) Débit de l'eau : 20 Kg/s.
- 2) Température de l'eau d'alimentation : 250°C
- 3) La caractéristique de la pompe est linéaire définie par un débit de 0 Kg/s pour 120 b et de 20 Kg/s " 117 b
- 4) La pression de vapeur à la sortie de la chaudière est de 10 MPa; avec une perte de pression de 0,5 MPa aux conditions normales.
- 5) Dimensions du ballon $\phi = 1400\text{mm}$ et une longueur = 10000mm.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	I
	I-1-Définition.....	I
	I-2-Schéma d'une boucle de régulation	I
	I-3-La régulation dans l'industrie	2
	I-4-Les grandeurs réglées	2
II.	OBJET DE LA COMMANDE AUTOMATIQUE.....	4
	II-1-Description.....	4
	II-2-Les procédés de commande automatique dans une chaudière.....	5
	II-3-Description du comportement dynamique	5
	II-3-1-Un réservoir rempli d'eau.....	6
	II-3-2-Exemple d'un réservoir ouvert avec ébullition de l'eau..	7
	II-3-3-Fermeture du réservoir	10
III.	CHOIX DU SYSTEME DE REGULATION	16
IV.	CHOIX DU TUBE POUR TRONCON DE MESURE	20
	IV-1-Calcul du tube d'eau	20
	IV-2-Calcul du tube de Vapeur	21
	IV-3-Caractéristiques de ces tubes	22
V.	MESURE DE DEBIT	24
	V-1-Pression différentielle	24
	V-2-Organes déprimogènes	25
	V-3-Détermination de l'organe déprimogène	25
	V-3-1-Calcul	26
	V-4-Profil de la tuyère	31
	V-5-Conditions d'installation	34
	V-7-Construction des éléments primaires	56
	V-8-Soudures	38
VI.	VANNE AUTOMATIQUE	39
	VI-1-Définition	39
	VI-2-Détermination de la vanne	39
	VI-3-Servomoteur	44
VII.	TRANSMETTEURS DE DEBIT	46
	VII-1-Description	46
	VII-2-Fonctionnement.....	48

VIII. TRANSMETTEUR DE NIVEAU.....	51
IX. REGULATEUR.....	59
IX-1-Généralités.....	59
IX-2-Mode de fonctionnement du régulateur pas à pas	59
IX-3-Déscription du régulateur 30 S	60
X. Conclusion	63
ANNEXES	

I. INTRODUCTION

I-1- Definition:

La régulation automatique consiste à maintenir à une valeur bien déterminée, une ou plusieurs variables d'état. Elle leur permet aussi de suivre d'une façon permanente un ou plusieurs programmes, dictés par l'opérateur. Tout ceci est acquis sans intervention humaine.

La régulation automatique découle d'un principe simple de la physique qui est la loi de "l'action et la réaction".

Citons un exemple simple de réaction automatique:

En été lorsque le soleil donne une lumière intense (action) notre pupille se contracte (automatisme musculaire).

I-2- Schéma d'une boucle de régulation:

Soit un système unidimensionnel; comportant une consigne constante, représenté comme suit:

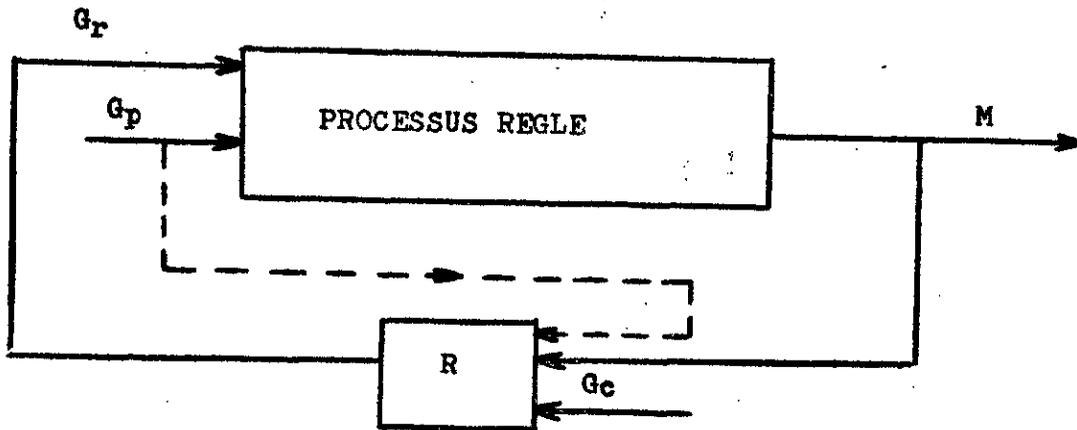


Fig.I.

M : Grandeur réglée.

R : Régulateur.

Gc : Grandeur consigne.

Gr : Grandeur réglante.

Gp : Grandeur perturbatrice.

Le mode de fonctionnement est le suivant:

- Le signal de M est transmis au régulateur R qui fait sa comparaison à la valeur consigne G_c . De la ressort une grandeur réglante G_r qui agit sur le processus à régler.

Dans la majorité des cas on a plusieurs grandeurs perturbatrices, mais elles sont toutes compensées par l'action du régulateur (soit G_r).

Les grandeurs physiques mesurées (le plus rencontrées) sont: PRESSION, NIVEAU, DEBIT, TEMPERATURE. (Elles sont appelées grandeurs de sortie.)

- Souvent nous rencontrons une liaison directe de G_p au régulateur pour l'informer de la perturbation qui aura lieu.

Ce dernier branchement nous permet de déterminer les retards, ou bien de les diminuer (Ce qui est très important en régulation automatique).

I-3- La régulation dans l'industrie:

Elle a fait son apparition dans l'industrie vers 1775, (régulateur à boules de la machine à vapeur de Watt). Mais ceci n'était que préliminaire.

Dans les années 1930-1940, la régulation automatique ou commande automatique, se montra indispensable pour le progrès de la technique; elle s'étalla à tous les stades de l'industrie. Mais aujourd'hui les installations sont de plus en plus compliquées, ce qui rend leur commande difficile et fragile (Une erreur peut coûter très cher).

La régulation automatique nous aide de différentes manières, par exemple, elle supprime des postes nécessitant du personnel qualifié (Cas de l'Algérie). Plus important encore elle élimine des causes humaines d'erreurs, et libère l'ouvrier de tâches serviles et lui apporte beaucoup d'autres avantages.

I-4- Les grandeurs réglées:

Les principales grandeurs physiques réglées sont:

- La température
- La pression
- Le débit

-Le niveau (cas de notre étude).

Leur information est communiquée au Régulateur à l'aide de Transmetteurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques etc ...

II. OBJET DE LA COMMANDE AUTOMATIQUE

La nécessité d'une régulation automatique entraîne une analyse détaillée et approfondie de l'aspect physique du processus industriel.

Dans notre projet ce processus, c'est le "Ballon d'une chaudière", qui est un accumulateur d'eau et de vapeur; le tout soumis à une certaine pression non négligeable qui est de 100 bar, et une température moyenne de 350 °C.

A l'intérieur de ce ballon s'effectue la séparation de la Vapeur de l'Eau restante.

Ce procédé implique la division du ballon en deux parties:

- Partie inférieure contenant de l'eau et des bulles de vapeur.
- Partie supérieure, renfermant de la vapeur saturée et des gouttes d'eau.

II-I- Description:

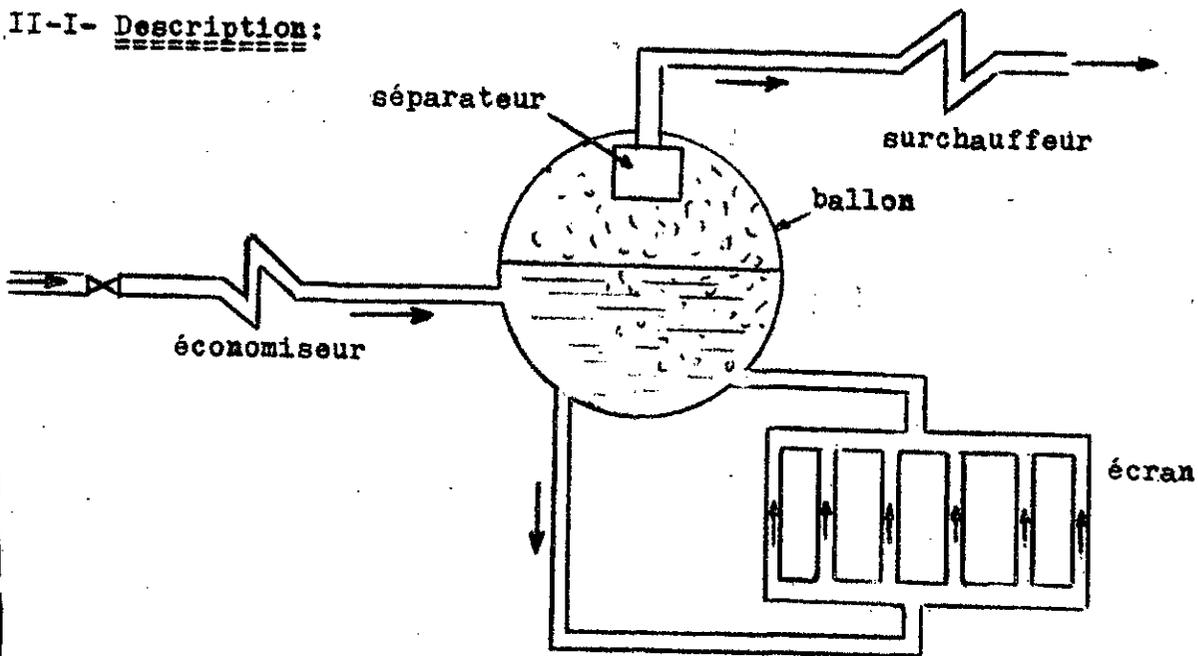


Fig.2.

Sur la figure 2 l'eau d'alimentation arrive par l'économiseur et s'emmagasine dans le ballon. Cette eau passe ensuite à travers le collecteur et circule dans les conduites de l'écran qui est exposé à une source de chaleur (Brûleurse ou autre).

Dans les tubes de l'écran, la température de l'eau augmente pour former

des bulles de vapeur qui se dégagent vers le ballon, par leur faible densité. Ces bulles regagnent la surface de l'eau et forment au dessus, un nuage de vapeur saturée qui passe à travers un séparateur pour être enfin dirigé au surchauffeur avant d'être distribué.

Dans une installation pareille, nous sommes obligés de veiller sur le niveau d'eau pour les raisons suivantes:

-Peu d'eau, engendrerait une cesse de circulation; d'où une élévation de la température des tubes des l'écran suivie d'une détérioration de matériel.

-Trop d'eau provoquerait des chocs thermiques dans le surchauffeur ou même plus donnerait naissance à de l'eau dans la turbine(Dégradation de celle-ci).

II-2- Les procédés de commande automatique dans une chaudière:

Des études et des expériences ont montré que le bon fonctionnement d'une chaudière est réalisé par une régulation judicieuse. De cela nous pouvons rencontrer plusieurs dispositifs de réglage qui sont relatifs aux grandeurs réglées et leurs grandeurs perturbatrices.

Voilà quelques exemples:

-La régulation de la pression de vapeur qui influe sur le débit combustible (ou flamme des brûleurs).

-La température de la vapeur saturée qui peut être réglée par injection d'eau au surchauffeur.

-La régulation du niveau dans le ballon est en corrélation avec le débit d'eau. (thème de notre sujet).

-La composition chimique (O_2) des fumées qui règle le débit d'air de soufflage.

-La pression dans la chambre de combustion est commandée par le débit de tirage.

Toutes ces régulations; comme la notre, peuvent faire l'objet d'une étude

II-3- Description du comportement dynamique:

Pour mettre en évidence tous les phénomènes dynamiques qui peuvent surgir

dans le ballon d'une chaudière, nous commençons notre description par un cas très simple qui est le suivant:

II-3-I- Un réservoir rempli d'eau (agent monophasé)

Soit un réservoir, exposé à l'air libre, comportant deux orifices: l'un sert de remplissage, l'autre de vidage; comme illustré ci-dessous.

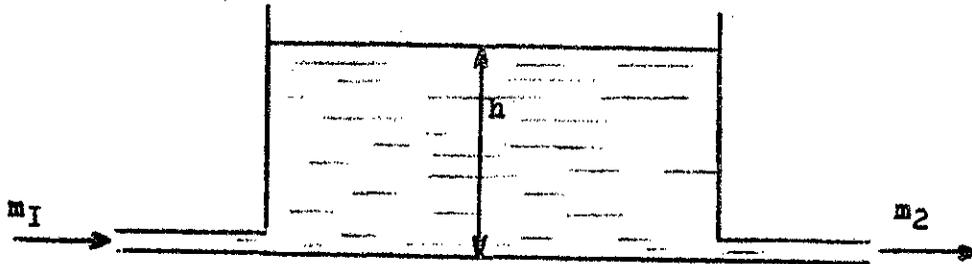


Fig.3.

La grandeur à régler est h.

son équation s'écrit sous forme intégrale:

$$h = \int_0^t (m_1 - m_2) dt + h_0$$

avec, m_1 : débit d'eau entrant

m_2 : débit d'eau sortant

Supposons $m_2 = Cte$, et regardons la réponse du niveau dans le réservoir après une perturbation supposée en "saut" de m_1 .

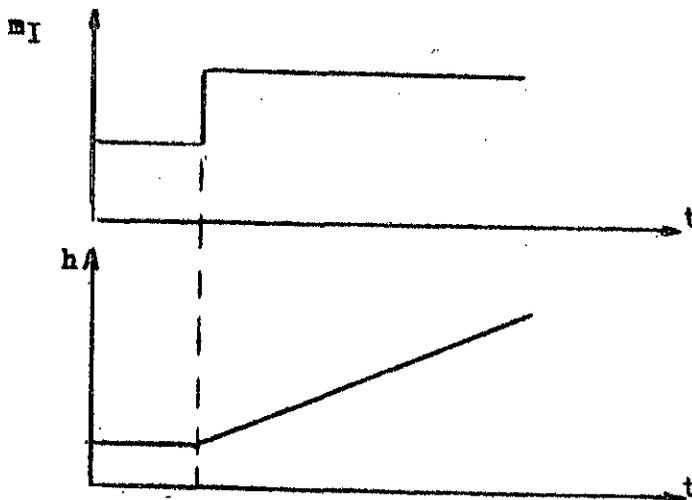


Fig.4.

La forme intégrale apparait dans $h=f(t)$.

II-3-2- Exemple d'un réservoir ouvert avec ébullition de l'eau.

Soit un autre réservoir qui renferme de l'eau et des bulles d'eau, comme sur la figure 4 .

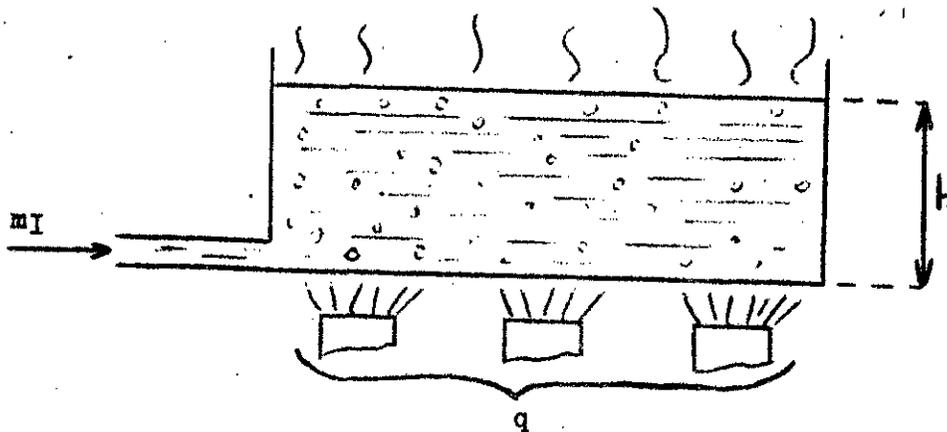


Fig.5.

Ce mélange change de densité suivant la température du débit d'eau d'alimentation m_I . Si l'eau qui arrive est relativement froide, il y aura condensation des bulles de vapeur existantes dans l'eau, ce qui entraîne une augmentation de la densité du mélange.

Cette densité peut rester invariable si l'eau arrive à la même température que l'eau du réservoir.

Nous pouvons écrire:

$$M = V \cdot \rho_m$$

d'où
$$V = \frac{M}{\rho_m}$$

Nous linéarisons cette dernière équation avec une petite variation de M et ρ_m

Soit l'équation différentielle:

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial V}{\partial \rho_m} \Delta \rho_m$$

ou
$$\Delta V = \frac{1}{\rho_m} \Delta M - \frac{M}{\rho_m^2} \Delta \rho_m$$

Mais
$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S}$$

Nous aurons donc:
$$\Delta h = \frac{I}{S} \left[\frac{I}{\rho_m} \Delta M - \frac{M}{\rho_m^2} \Delta \rho_m \right]$$

$$\Delta h = \frac{I}{S \rho_m} \Delta M - \frac{M}{S \rho_m^2} \Delta \rho_m \quad (I)$$

avec,

ρ_m : densité moyenne du mélange eau/vapeur.

S : Surfaces de l'eau.

M : Masse du mélange eau/vapeur.

V : Volume du mélange eau/vapeur.

ΔM étant la variation du mélange eau/vapeur. Nous pouvons l'exprimer autrement:

$$\Delta M = \int_0^t (m_I - \frac{q}{r}) dt \quad (2)$$

avec,

m_I : Débit d'eau d'alimentation.

r : Chaleur de vaporisation.

q : Débit de chaleur fourni par la flamme.

mais

$$m_I = m_{I0} + \Delta m_I \quad (3)$$

et

$$\frac{q}{r} = \frac{I}{r} (q_0 + \Delta q) \quad (4)$$

avec,

m_{I0} : quantité d'eau initiale.

q_0 : quantité de chaleur initiale.

De (3) et (4) nous avons

$$m_I - \frac{q}{r} = (m_{I0} - \frac{I}{r} q_0) + (\Delta m_I - \frac{I}{r} \Delta q)$$

Pour bien voir l'évolution du système, nous supposons que $m_{I0} = \frac{I}{r} q_0$ c'est à dire que la quantité d'eau évaporisé est compensée par l'eau à l'état initiale.

Donc:
$$m_I - \frac{q}{r} = \Delta m_I - \frac{I}{r} \Delta q$$

L'équation (2) s'écrira:

$$\Delta M = \int_0^t (\Delta m_I - \frac{I}{r} \Delta q) dt$$

Ce qui donne pour (I)

$$\Delta h = \frac{I}{S \rho_m} \int_0^t (\Delta m_I - \frac{I}{r} \Delta q) dt - \frac{M}{S \rho_m^2} \Delta \rho_m \quad (5)$$

L'équation (5) est composée de deux parties faisant objet des opérateurs A et B respectivement dans la figure (6).

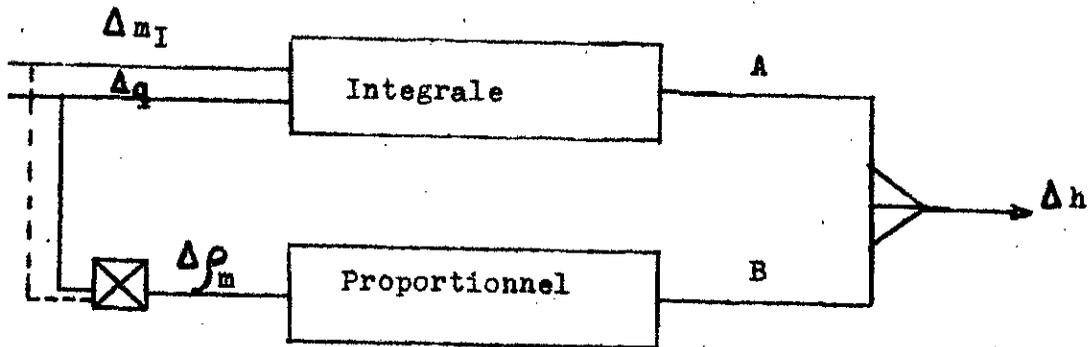


Fig.6.

⊗ représente l'influence mutuelle de Δq et Δm_I sur $\Delta \rho_m$ que nous spécifions par la suite.

- Δm_I et Δq confèrent au niveau un comportement intégrateur.

- $\Delta \rho_m$ confère au niveau un comportement proportionnel.

- Nous remarquons aussi que ces différentes quantités qui influent sur le niveau sont elles mêmes liées entre elles:

1) $\Delta m_I \longrightarrow \Delta \rho_m$: Le débit fait varier la densité du mélange eau/vapeur (Voir début de ce chapitre II-3-2).

2) $\Delta q \longrightarrow \Delta \rho_m$: Suivant l'apport de chaleur la densité du mélange varie. Nous pouvons dire que plus Δq augmente et moins $\Delta \rho_m$ augmente.

Explicitons l'effet de ces perturbations (Δm_I , Δq) sur les figures

ci-après:

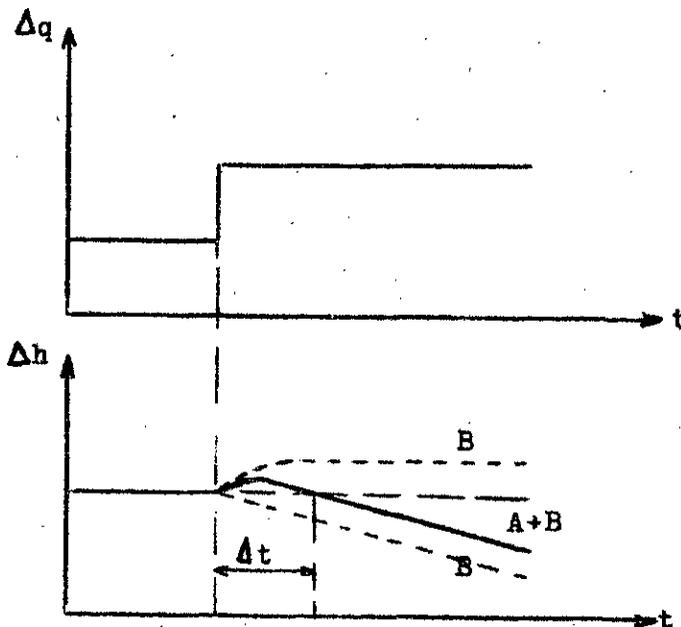


Fig.6.

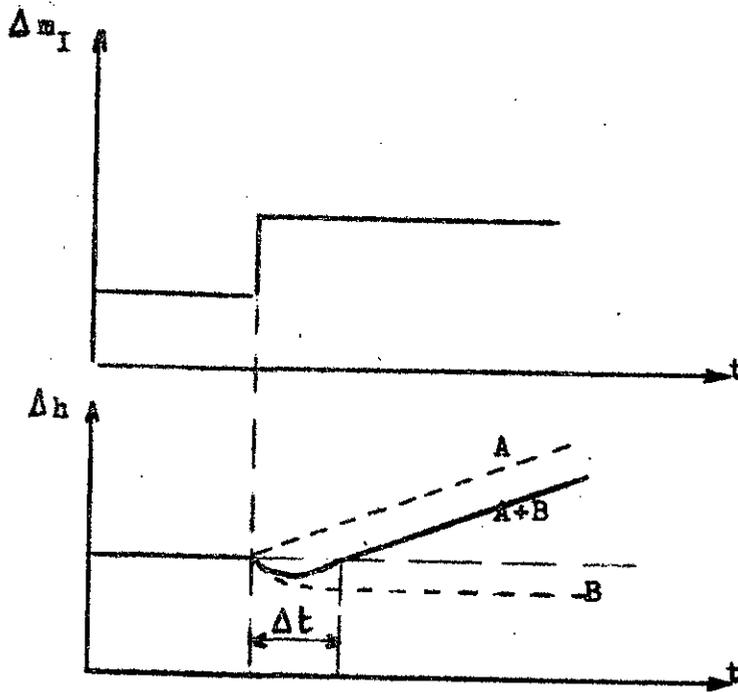


Fig.7.

La Fig.8. nous indique qu'une augmentation de Δq provoque une augmentation proportionnelle RETARDEE de Δh (droite B) et une diminution intégrale de Δh (droite A) ce qui résulte la droite A+B.

La Fig.7. nous montre qu'une augmentation de Δm_I entraîne une élévation du niveau Δh suivant la droite A+B. Remarquons à la même occasion que la croissance de Δh n'est pas immédiate; mais subit un retard pendant Δt .

II-3-3- Fermeture du réservoir.

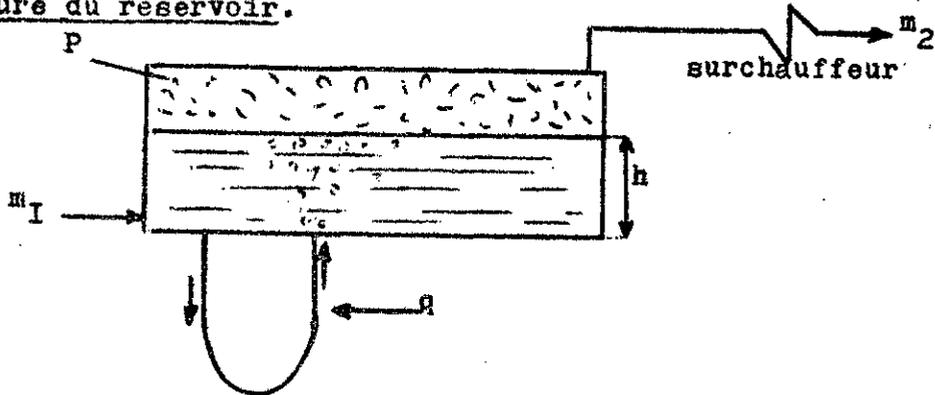


Fig.8.

P : pression dans le ballon

h : niveau

Nous voila arrivés au cas d'un ballon fermé où reigne une pression P et de l'eau à une certaine température de plusieurs degrés.

Soit m_1 : débit d'eau à l'entée

m_2 : débit de vapeur à la sortie du ballon

II-3-3-I- Première hypothèse: Le débit vapeur varie(m_2)

Quand m_2 augmente, nous obtenons une diminution de la pression P dans le ballon; ceci donne une formation amplifiée de bulles de vapeur dans l'eau, entraînant une élévation du niveau appelé: GONFLEMENT; alors que l'on pourrait croire à une baisse de niveau.

Ce phénomène se démontre comme suit:

Soit deux pressions $P_1=105$ bar et $P_2=104$ bar entre lesquelles s'effectue la baisse de pression. Nous pouvons dresser le tableau de correspondance:

	$P_1 = 105 \text{ b}$	$P_2 = 104 \text{ b}$
v' (m^3/Kg)	0,0014704	0,0014668
s' (KJ/KgK)	3,397	3,39
v'' (M^3/Kg)	0,01694	0,01714
s'' (MJ/KgK)	5,5835	5,5897

Tableau.I.

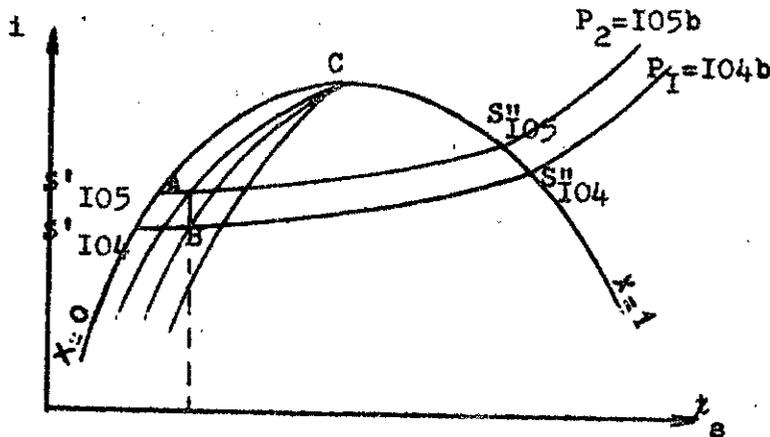


Fig.9.

Prenons pour titre $x_{AIO5} = 0,001$ (Les bulles de vapeur sont dans un rapport de 1/1000 par rapport au reste de l'eau).

La variation de A vers B se passe sans variation de chaleur, donc elle est isentropique; avec une baisse de Ibar.

Voyons ce que nous obtenons comme résultat numérique:

$\Delta S = 0$ Donc $S_{IO4} = S_{IO5}$

On peut écrire $S_{IO5} = S'_{IO5} + x_{AIO5} (S''_{IO5} - S'_{IO5})$

A.N. $S_{IO5} = 3,397 + 10^{-3} (5,5835 - 3,397)$

$S_{IO5} = 3,3991 \text{ KJ/KgK}$

Et $V_{IO5} = V'_{IO5} + x_{AIO5} (V''_{IO5} - V'_{IO5})$

A.N. $V_{IO5} = 14704 \cdot 10^{-7} + 10^{-3} (1694 - 147,04) 10^{-5}$

$V_{IO5} = 148587 \text{ m}^3/\text{Kg} \cdot 10^{-8}$

Pour le point B de même:

$S_{IO4} = S'_{IO4} + x_{BIO4} (S''_{IO4} - S'_{IO4})$

Tirons la valeur de x_{BIO4} :

$$x_{BIO4} = \frac{S_{IO4} - S'_{IO4}}{S''_{IO4} - S'_{IO4}}$$

ou encore:

$$x_{BIO4} = \frac{S_{IO5} - S'_{IO4}}{S''_{IO4} - S'_{IO4}}$$

Calculons V_{IO4} :

$V_{IO4} = V'_{IO4} + x_{BIO4} (V''_{IO4} - V'_{IO4})$

ou encore:

$$V_{IO4} = V'_{IO4} + \frac{S_{IO5} - S'_{IO4}}{S''_{IO4} - S'_{IO4}} (V''_{IO4} - V'_{IO4})$$

A.N.

$$V_{IO4} = 14668 \cdot 10^{-7} + \frac{3,3991 - 3,39}{5,5897 - 3,39} (1714 - 146,68) 10^{-5}$$

$V_{IO4} = 153164 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$

Conclusion:

$$\frac{V_{IO4}}{V_{IO5}} = 1,03$$

ce qui prouve que le volume a augmenté de 3% .

Cette augmentation de volume pendant un certain temps, provoque une croissance de niveau. Ce phénomène dynamique résultant d'une augmentation de m_2 , qui en ^{est} corrélation avec la pression P , est illustré ci-après:

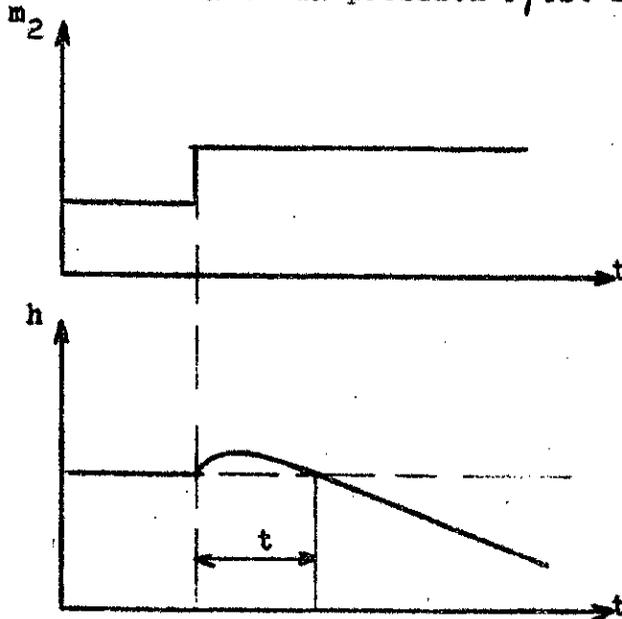


Fig.10.

Le retard à décroissance subsiste toujours résultant du gonflement décrit ci-haut.

II-3-3-2- Deuxième hypothèse: Le débit d'eau varie (m_1)

L'aspect dynamique de cette variation est plus simple à expliquer: Un apport d'eau relativement froid diminue la vapeur en émulsion dans l'eau du ballon (Voir Chp II-3-2). Donc le niveau baisse avant de remonter

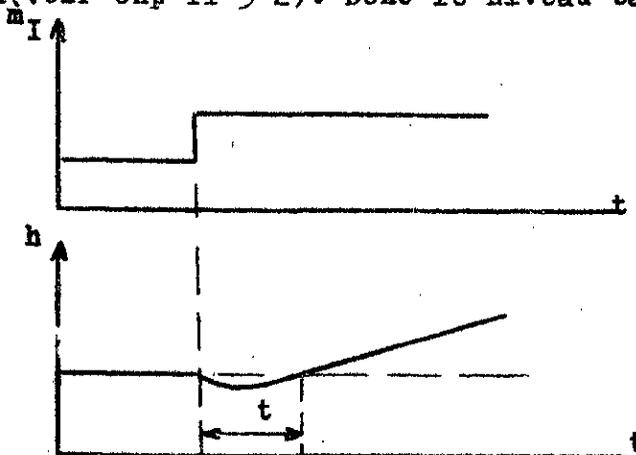


Fig.11.

Le retard apparaît encore comme à la première hypothèse.

Malheureusement nous n'avons pas trouver de documentation traitant les temps de retard d'une chaudière équivalente à la notre; mais illustrer cette partie importante de l'aspect dynamique nous avons relevé ces tableaux pour des chaudières plus grandes.

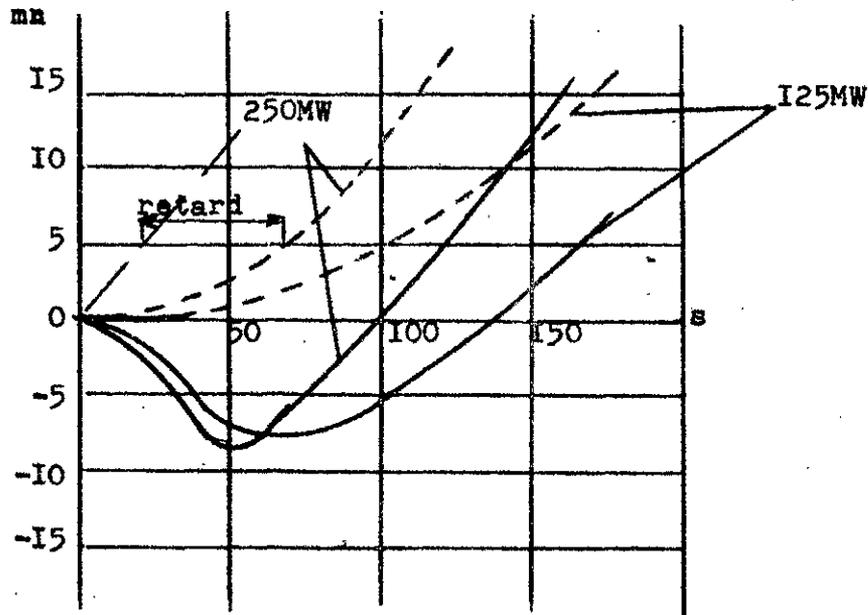


Fig.12.

Les courbes - - - - correspondent à une croissance du débit d'eau
 Les courbes ——— correspondent à une diminution du débit vapeur
 Pour la vapeur les temps de retards sont encore plus importants.
 Les retards varient de 50s à 100s (Imm à Imm30).

A titre d'information notre ballon peut se vider en cas d'absence d'eau d'alimentation en:

Volume d'eau:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\pi D^2}{4} \times l \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi \times 1,4^2}{4} \times 10 \right) = 21,9m^3 \approx 22m^3$$

qui correspondent à: $\frac{22}{0,00124} = 17742Kg$

La 2^e moitié contient de la vapeur : $\frac{22}{0,02974} = 739Kg$

Total: $17742+739= 18481Kg$

Le temps de vidage est: $\frac{18481}{20} = 924s \approx 15s$

En réalité une chaudière est un système multivariable. Ce qui résulte l'emploi de régulateur très sophistiqué (pour une régulation idéale).

Nous représentons ci-dessous les différentes variables:

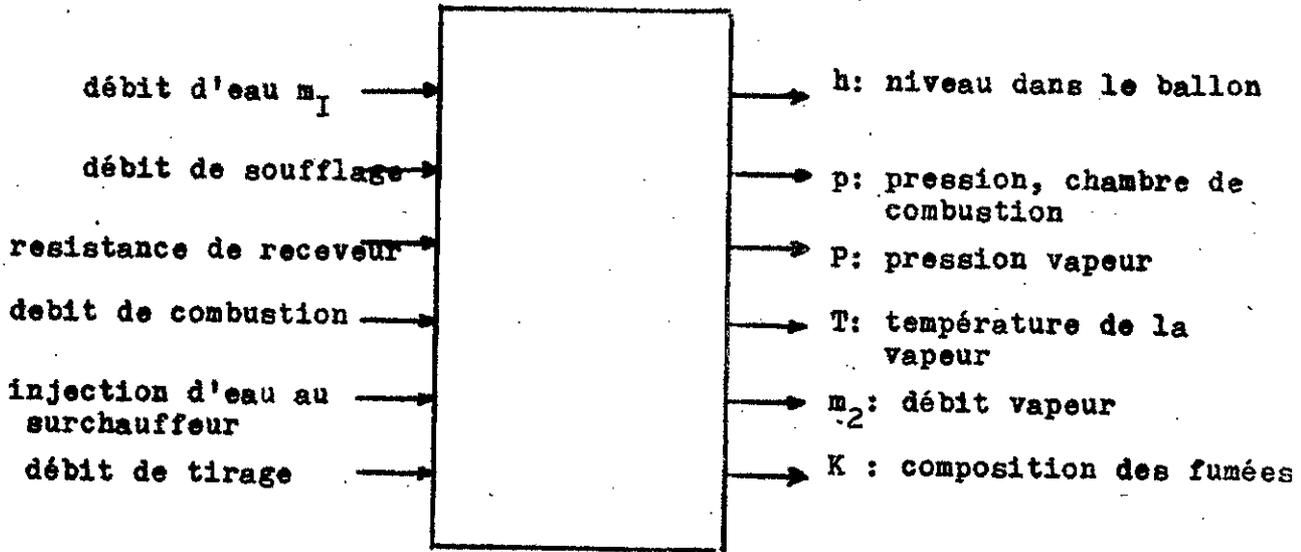


Fig.I3.

L'expérience a montré que les liaisons étaient plus ou moins fortes entre les différentes variables.

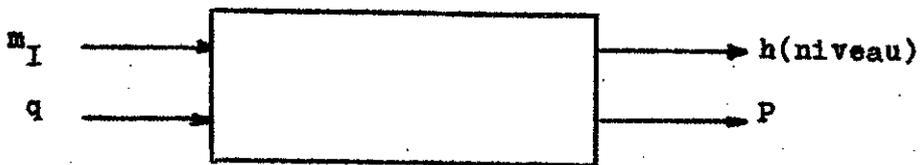


Fig.I4.

Note: On a autant de variables réglées que de variables réglantes; pour obéir à la norme de régulation.

III. CHOIX DU SYSTEME DE REGULATION.

Suite à l'étude faite dans le chapitre précédent; nous laisserons les exemples II-3-1 et II-3-2 qui peuvent être réglés par simple commande automatique.

Par contre; dans le présent chapitre, nous établirons une régulation de l'exemple II-3-3 où la mesure de m_2 (principale grandeur perturbatrice) peut être effectuée par action propre de commande automatique. Avec cela nous cherchons le maintien du niveau ou la stabilité du niveau h , à la valeur voulue. Pour aboutir à cette hypothèse, nous devons égaliser les débits: eau (m_1) et vapeur (m_2); mais pour un raisonnement purement théorique. La solution, la plus simple à envisager est la suivante:

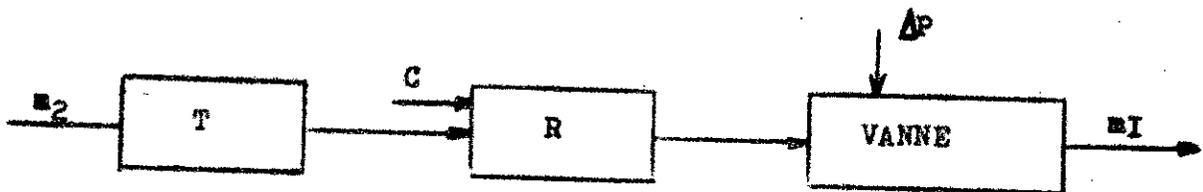


Fig. 15.

La pratique nous a montré qu'une telle égalité n'est qu'utopique, car grand nombre de facteurs nuisibles entrent en jeu, comme les frottements qui subsistent au niveau de la Vanne, ou même encore les caractéristiques de cette dernière peuvent influencer l'égalité recherchée.

Nous pouvons apporter une amélioration à cette solution en insérant une lecture directe de m_1 , reliée au régulateur de la manière suivante:

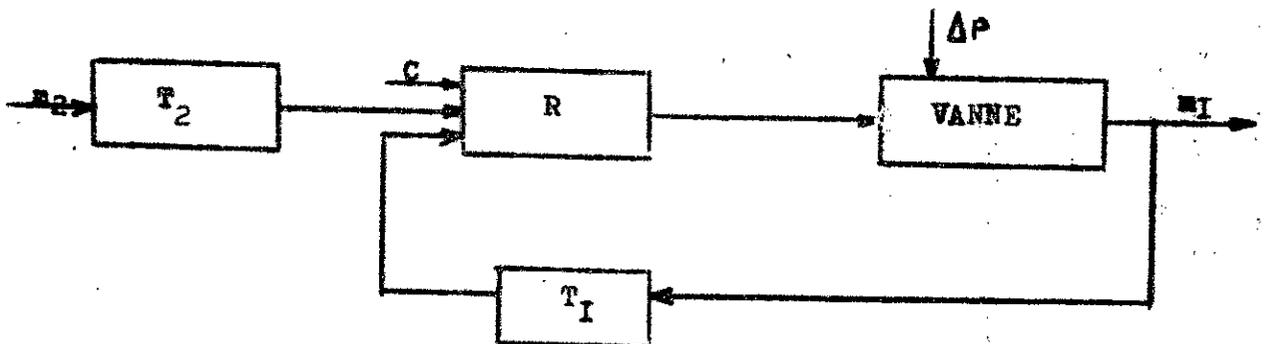


Fig. 16.

Cette présente boucle nous permet de contrôler la mesure de m_I qui n'obéit pas toujours à la valeur que nous désirons lui donner; à cause des aléas décrits plus haut. Ce nouveau branchement permet au régulateur d'ajuster la position de la Vanne afin d'atteindre l'égalité requise des deux débits.

Dans ce cas notre régulateur sera du type Proportionnel-Intégrale (PI) dont les caractéristiques sont:

Proportionnel: pour accélérer l'action sur la Vanne

Intégrale : Pour annuler l'écart entre m_I et m_2

Cette deuxième solution n'est que partielle, parce qu'elle ne fait pas intervenir la grandeur principale qui est le niveau dans le ballon; ce qui est le but essentiel de notre recherche.

Pour répondre à cette exigence, nous ferons appel à la régulation en Cascade. Elle se distingue par la présence de deux boucles; une intérieure et l'autre extérieure, et surtout par la présence de deux régulateurs consécutifs (Respectivement: Principale et secondaire)

Son application dans notre cas est comme suit:

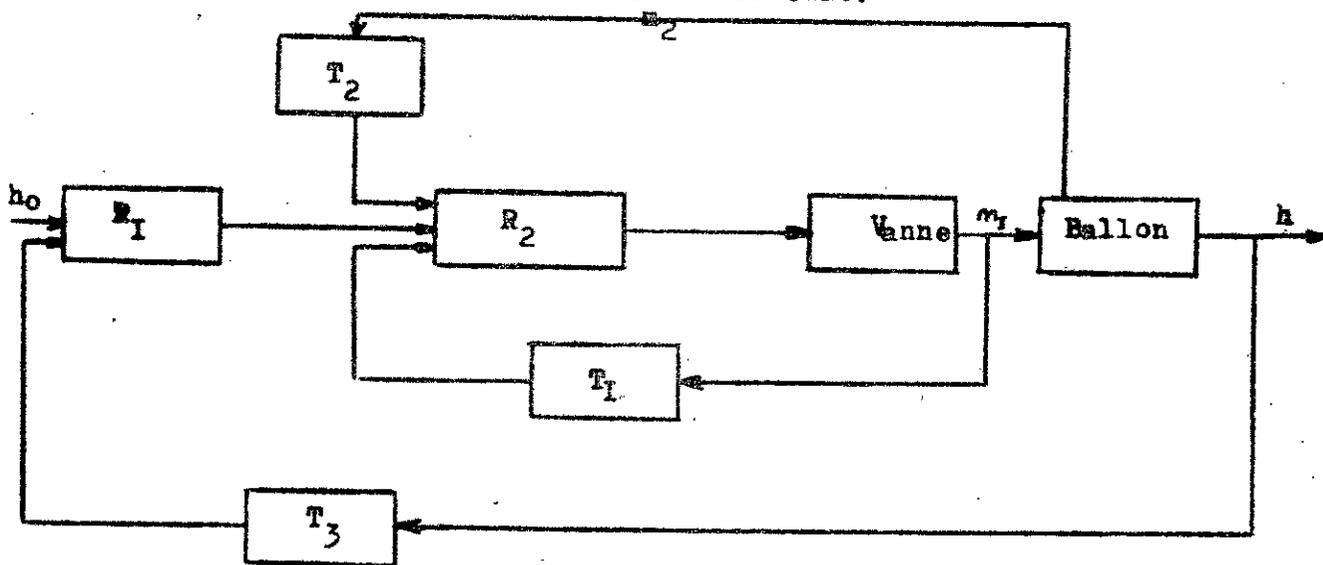


Fig.I7.

Le signal de sortie du régulateur R_I devient consigne du régulateur R_2

Le régulateur principale R_I annule l'écart existant entre le niveau h , et la valeur consigne H_0 (l'action intégrale existe). Par conséquent notre régulateur R_I peut être du type P, PI, ou PID (proportionnel, intégral et dérivé)

Les deux boucles intérieures procurent une réaction plus rapide que la

boucle extérieure (h, T_3, R_1) puisque c'est le régulateur R_2 qui est informé de l'état futur du niveau h , dans le ballon ceci par l'introduction du signal de m_1, m_2 au régulateur R_2 .

Par contre la boucle extérieure nous procure une bonne exactitude dans le maintien de h .

Mais cette forme de prédiction qui est la régulation en cascade, nous offre en revanche un passage très compliqué du manuel à l'automatique.

De plus un blocage de l'action Intégrale du régulateur R_1 est à prévoir le cas dans où l'on atteint une position extrême de la Vanne d'eau d'alimentation.

Ces dernières propriétés non adéquates, nous ont conduit à aboutir au choix suivant qui est plus simple et commode à l'exploitation; surtout pour une chaudière moyenne comme la notre.

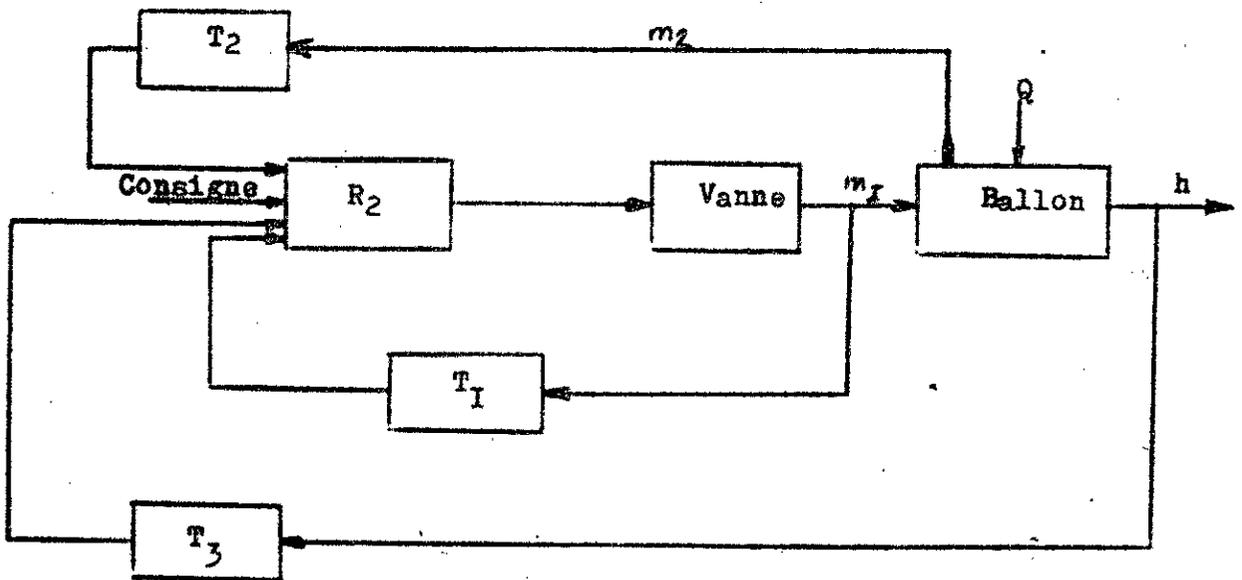


Fig.I8.

Cette solution finale est équivalente à celle qui la précède, mais avec une action P dans la boucle extérieure.

Description du régulateur

Nous schématisons notre régulateur de la manière suivante, avec les trois entrées des signaux électriques des grandeurs: m_1, m_2 et $\Delta h = h - h_0$

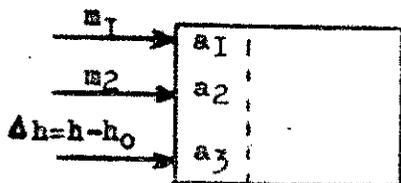


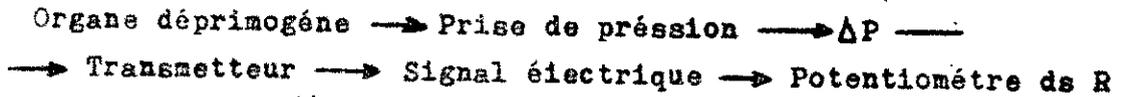
Fig.I9.

Les particularités d'entrées de ce régulateur sont:

$$a_1 m_1 + a_2 m_2 + a_3 \Delta h = \mathcal{E}$$

Les coefficients a_i englobent toutes les transformations de signaux, à partir de la grandeur à mesurer jusqu'au noeud de sommation dans le régulateur.

Par exemple:



1) Si le niveau est stable $\Delta h = 0$

alors: $a_1 m_1 + a_2 m_2 = 0$

donc: $m_1 = m_2$ et $a_1 = a_2$

2) Si $m_1 = m_2$, mais $h \neq 0$ (c-à-d, h varie)

Dans ce cas le régulateur agit sur m_1 bien sûr;

$$a_1 (m_1 + \Delta m_1) + a_2 m_2 + a_3 \Delta h = 0$$

$$a_1 m_1 + a_1 \Delta m_1 + a_2 m_2 + a_3 \Delta h = 0$$

$$a_1 m_1 = a_2 m_2 \text{ d'où : } a_1 \Delta m_1 + a_3 \Delta h = 0$$

$$\text{résultat : } \Delta m_1 = -\frac{a_3}{a_1} \Delta h \quad (\Delta m_1 \text{ est proportionnel à } \Delta h)$$

Ceci est un détail très important au niveau du régulateur R; c'est à dire que quand le rapport: $\frac{a_3}{a_1}$ est grand, Δh sera petit pour donner un Δm_1 élevé ce qui nous confère une bonne exactitude de travail. Cette perfection acquise, et la stabilité du niveau h sont antagonistes; donc nous seront contraints de limiter cette élévation.

De plus la diminution de Δh augmente la vitesse de régulation:

$$\Delta h = \int (m_1 - m_2) dt + h_0$$

$$\frac{d \Delta h}{dt} = \Delta m_1$$

IV. CHOIX DU TUBE, POUR TRONCON DE MESURE.

Dans notre installation, où l'arrivée d'eau et la sortie de la vapeur s'effectuent à travers des conduites; nous devons établir un choix de tubes avec beaucoup de précautions, compte tenu de la forte pression (100b) et de la haute température à laquelle nous travaillons (250° à 450°C).

Cette exigence découle des phénomènes existants:

- La dilatation due à la température du fluide.
- La rugosité des parois internes, qui influe sur la précision de mesure.
- Les caractéristiques mécaniques des tubes de conduite.
- Et bien sur sans oublier un meilleur prix de revient.

Pour obtenir ce choix judicieux; nous nous sommes référés à la Norme Française NF A 49-213 (Juin79).

IV-I- Calcul du tube d'eau:

Le tube doit travailler dans les conditions suivantes:

$$t=250^{\circ}\text{C}$$

$$P=105b$$

$$\text{Débit}=Q_m = 20 \text{ Kg/s}$$

Avec une vitesse d'écoulement du fluide: $V=2,5\text{m/s}$ environ

La masse volumique de l'eau dans ces conditions est de: $\rho, [X]$

$$\rho = \frac{1}{0,00124} \text{ Kg/m}^3$$

Rappel: $I_{bar} = 0,1 \text{ MPa}$

Donc

$$105b = 105 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Nous avons:

$$Q_m = .V.S$$

(S: section interne de la conduite)

$$S = \frac{Q_m}{\rho \cdot V}$$

$$\text{AN. } S = \frac{20 \times 0,00124}{2,5}$$

$$S=0,00992 \text{ m}^2$$

$$\text{ou } S=99,2 \text{ cm}^2$$

Bonc:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

$$\text{AN. } D = \sqrt{\frac{4 \times 99,2}{\pi}} = 11,24 \text{ cm}$$

$$D=112,4 \text{ mm}$$

Conversion:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-6} \text{ N/mm}^2$$

Ce qui donne pour P: $105b = 105 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 10,5 \text{ N/mm}^2$

Soit σ : la contrainte élastique

D'après [X], nous prenons un tube de nuance Tu §2-c en Acier non allié; dont la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2%; à la température 250°C de référence: $R_{p0,2} = 245 \text{ N/mm}^2$.

Soit a: l'épaisseur du tube

Nous aurons:
$$\sigma = \frac{P \cdot (D_{ext} - 2a)}{2a}$$

Avec D_{ext} : diamètre extérieur

Le diamètre extérieur et l'épaisseur (Normalisés) qui donnent une contrainte relative à un coefficient de sécurité de l'ordre de $K \geq 2$

Sont: $D_{ext} = 133 \text{ mm}$ et $a = 6,3 \text{ mm}$

Vérifions ceci:

AN.
$$\sigma = \frac{10,5 \cdot (133 - 2 \cdot 6,3)}{2 \cdot 6,3} = 100,33 \text{ N/mm}^2$$

$$K = \frac{R_{p0,2}}{\sigma}$$

AN,
$$K = \frac{245}{100,33} = 2,4 \text{ (conforme)}$$

D'après la Norme ce résultat s'écrira comme suit:

Tube 133-6,3 NF A49-213 en acier non allié Tu §2-c

IV-2- Calcul du tube de vapeur:

Les conditions d'emploi de ce tube sont autres, mais la méthode de calcul reste identique.

$t = 450^\circ\text{C}$ $P = 100b = 10 \text{ N/mm}^2$

puis, Débit vapeur $Q_m = 20 \cdot 1,15 = 2,3 \text{ Kg/s}$ (1,15: relatif à l'apport d'eau au surchauffeur)

La vitesse de la vapeur est de l'ordre de: $V = 40 \text{ m/s}$

La masse volumique de la vapeur d'eau dans ces conditions est de:

$$\rho = \frac{1}{0,02974} \text{ Kg/m}^3$$

De même que IV-I:

AN.
$$S = \frac{Q_m}{40 \cdot \rho} = \frac{2,3}{40 \cdot 1,15 \cdot 0,02974} = 0,0171 \text{ m}^2$$

ou $S = 171 \text{ cm}^2$

D'où $D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$

AN. $D = \sqrt{\frac{4 \times 171}{\pi}} = 14,75 \text{ cm}$

$D = 147,5 \text{ mm}$

D'après [X], le tube est de nuance Tu 52-c en acier non allié. La limite conventionnelle d'élasticité à 0,2% de son matériau est: $R_{p0,2} = 157 \text{ N/mm}^2$; pour une température correspondante de 450°C.

σ : est toujours de la forme:

$$\sigma = \frac{P (D_{\text{ext}} - 2a)}{2a}$$

Pour garder un coefficient de sécurité de l'ordre K=2, nous avons choisi les dimensions suivantes:

$D_{\text{ext}} = 168,3 \text{ mm}$ avec $a = 10 \text{ mm}$

ce qui donne $\sigma = \frac{10 \cdot (168,3 - 2 \times 10)}{2 \times 10} = 74,15 \text{ N/mm}^2$

Vérifions $K = \frac{R_{p0,2}}{\sigma} = \frac{157}{74,15} = 2,1$

Ainsi nous aboutissons au tube:

Tube 168,3-10 NF A 49-2I3 en acier non allié de nuance Tu 52-c

IV-3- Caractéristiques de ces tubes:

- Les tubes sont façonnables et soudables dans les conditions normales de mise en oeuvre.
- Ils sont fabriqués par un procédé sans soudure, et sont commandés finis à chaud. Ce qui leur donne l'indice L₂ (L: fini à chaud et 2: indice de contrôle mis en oeuvre).
- Leur élaboration peut s'effectuer:

- au four Martin
- à l'oxygène pur
- au four électrique

(Mais ce choix est laissé à l'initiative du fabricant)

Dans notre installation, ces deux tubes d'eau et de vapeur sont destinés à être soudés à d'autres organes additifs, pour cette raison nous mentionnons la composition du Tu 52-c:

C = 0,22%

Mn= 0,95+ 1,6%

S = 0,045%

Si= 0,13+ 0,55%

Cu= 0,25%

Sn= 0,03%

V. MESURE DE DEBIT.

La norme internationale AFNOR X-10-102, homologuée par ISO; spécifie la forme et le mode d'emploi des organes déprimogènes qui permettent de passer de la pression différentielle mesurée au débit du fluide monophasique qui traverse la conduite.

Pour dimensionner ces organes déprimogènes, nous partons de la formule de mécanique des fluides ci-après:

$$Q_m = \alpha \beta \epsilon S \sqrt{2\Delta P \cdot \rho} = \alpha \epsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\Delta P \cdot \rho}$$

- avec: Q_m : Débit massique
 α : Coefficient de débit
 ΔP : Pression différentielle
 ϵ : Coefficient de détente
 S : Section de la conduite
 ρ : Masse volumique du fluide
 d : Diamètre du col de l'organe déprimogène

Remarque:

$\epsilon = 1$ fluide incompressible

$\epsilon < 1$ fluide compressible

Les appareils déprimogènes sont appelés d'après la norme "éléments primaires" et tous les autres instruments ou dispositifs nécessaires à l'accomplissement de la mesure: "appareils secondaires".

V-I- Pression différentielle:

C'est la différence des pressions statiques l'une située en amont et l'autre en aval d'un élément primaire interposé dans une conduite où s'écoule un fluide.

Pour obéir à la norme internationale, ces deux pressions ne sont pas quelconque; mais il faut que:

$$r = \frac{P_2}{P_1} \geq 0,75$$

avec: P_2 : pression aval

P_1 : pression amont

V-2- Organes déprimogènes:

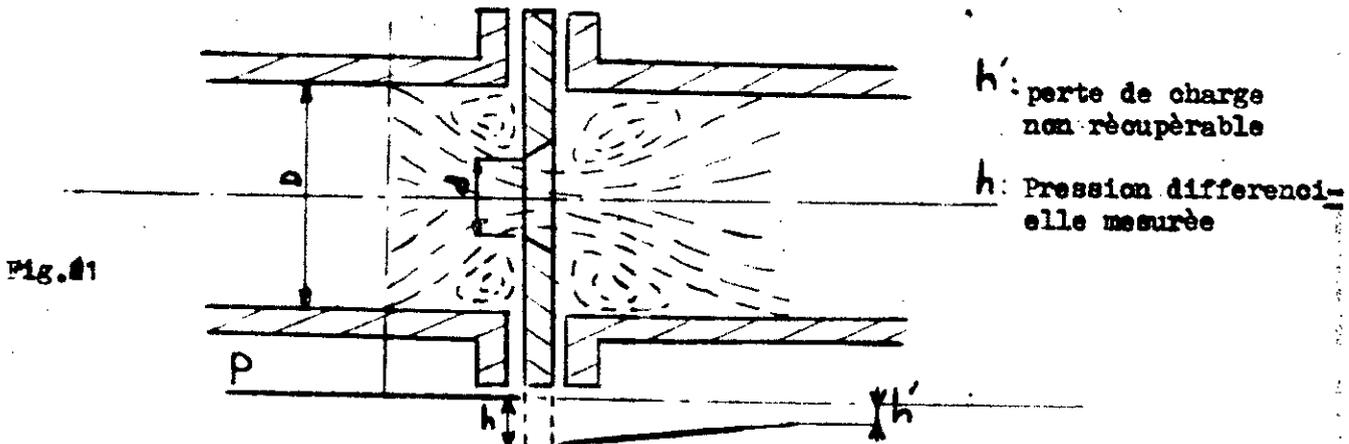
Dans l'industrie actuelle, nous rencontrons les éléments primaires suivants:

- Les diaphragmes: Plaque métallique mince percée d'un orifice circulaire appelé Col.
- Les tuyères: Dispositifs convergents terminés par une partie cylindrique ou Col.
- Les venturis: Dispositifs convergents suivis d'une partie cylindrique ou Col et d'un évasement tronconique dit "divergent".
- Les dérivés de ces systèmes: Tuyère à long rayon; Venturi-tuyère etc...

On ne peut utiliser chacun de ces appareils que dans les limites spécifiées de diamètre de canalisation et du Nombre de Reynolds Re puis du rapport des diamètres $\beta = \frac{d}{D}$. Leur choix respectif réside aussi dans le degré de perfection l'on recherche (perte de charge; endurance etc...)

V-3- Détermination de l'organe déprimogène:

La présence d'un élément primaire dans une conduite où s'écoule un fluide, crée une perte de charge non récupérable.



L'une des compétitions existantes entre les différents modèles d'appareils déprimogènes est l'atténuation de cette perte de charge.

Dans le tube de Venturi et la Venturi-tuyère ou la Tuyère ISA 1932 cette perte de pression est 4 à 6 fois plus faible que dans le Diaphragme.

Dans notre étude; le choix s'est fixé sur la Tuyère ISA 1932 pour des raisons de prix de revient et de simplicité de construction.

Notre Tuyère se distingue du diaphragme par la stabilité de ses coefficients

car ceux-la peuvent varier de façon continue. L'arête du diaphragme s'érousse quand le fluide circulant est corrosif (eau, vapeur d'eau).

La tuyère résiste mieux à l'usure et de plus, elle est insensible aux dépôts. Une soudure peut bien lui être adaptée, alors que celle-ci pourrait provoquer un voilage dans le cas d'un diaphragme.

Toutes ces conditions avantageuses réunies nous ont permis de choisir la tuyère ISA 1932.

V-3-I- Calcul

a) EAU:

D'après la Norme X-10-104 nous établirons la formule ci-après relative au diamètre intérieur de la conduite du tube I33-6,3 NF A49-213

$$D = D_{ext} - 2 \times 6,3 = 120,4 \text{ mm}$$

à partir de la première formule de ce chapitre, nous pouvons écrire:

$$\alpha \beta^2 = \frac{4 Q_m}{\varepsilon \pi D^2 \sqrt{2 \Delta P} \cdot \rho}$$

avec $\beta = \frac{d}{D}$

et $\varepsilon = 1$

Soit $\Delta P = 0,5 \text{ bar} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (cette valeur de ΔP est optimale et permet un bon fonctionnement du transmetteur)

A.N.
$$\alpha \beta^2 = \frac{4 \times 20}{\pi (120,4 \cdot 10^{-3})^2 \sqrt{\frac{2 \times 0,5 \cdot 10^5}{120 \cdot 10^{-5}}} = 0,1956$$

La figure.22 nous donne la valeur correspondante de β^2 en fonction de $\alpha \beta^2$

$\beta^2 = 0,2$

Verifions que $r \geq 0,75$:

$$r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{105 - 0,5}{105} = 0,995$$

$$\beta^2 = \frac{d^2}{D^2} \quad \text{donne} \quad d = D \sqrt{\beta^2} = 120,4 \sqrt{0,2} = 53,84 \text{ mm}$$

d'après la norme nous devons arrondir cette valeur.

Donc d = 53 mm

Courbe représentative de β^2 en fonction de $\alpha\beta^2$ pour la tuyère ISA

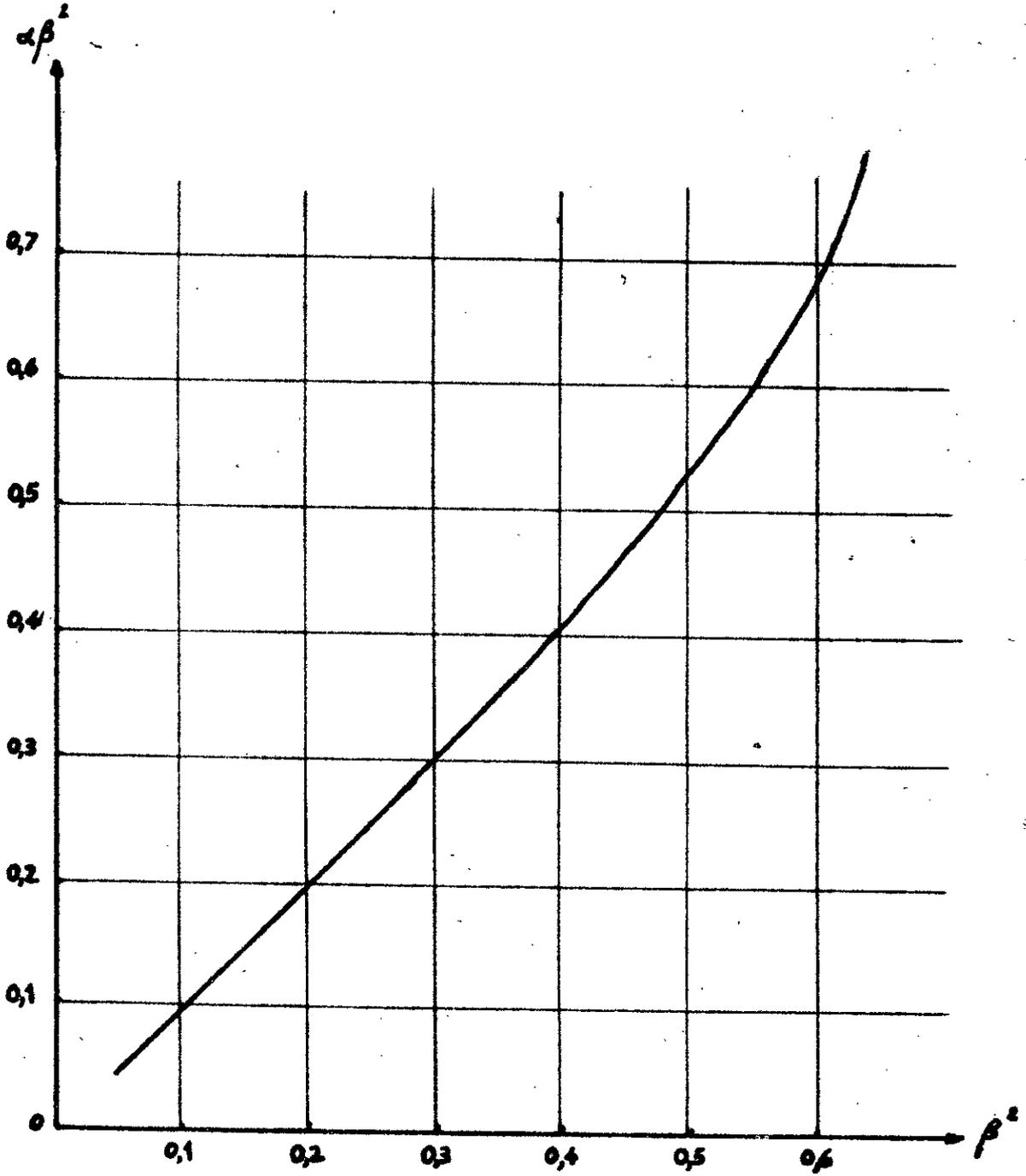


Fig.22.

Vérification:

$$Re = \frac{Q_m}{S} \cdot D \cdot \frac{I}{\nu} \cdot \frac{I}{\rho} \quad (I)$$

avec ν : Viscosité cinématique

μ : Viscosité dynamique

$$\mu = \nu \cdot \rho = 1084 \cdot 10^{-7} \quad [X]$$

(I) s'écrira alors:

$$Re = \frac{Q_m}{\frac{D^2}{4}} \cdot D \cdot \frac{I}{\mu}$$

A.N
$$Re = \frac{20 \times 4}{4204 \cdot 1084 \cdot 10^{-7}} = 1,95 \cdot 10^6$$

Si nous nous référons à la norme, nous constatons que la valeur du nombre de Reynolds est bien comprise dans le domaine correspondant à la tuyère ISA et pour un $\beta = \sqrt{0,2} = 0,447$

$$[VI] \quad \left\{ \begin{array}{l} 0,30 \leq \beta \leq 0,44 \\ 0,44 \leq \beta \leq 0,80 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 7 \cdot 10^4 \leq Re \leq 10^7 \\ 2 \cdot 10^4 \leq Re \leq 10^7 \end{array}$$

Le tableau 31 [VII] donne $\alpha = 1,0010$

Mais $\epsilon = 1$ (fluide incompressible)

Tous ces coefficients ainsi déterminés, nous conduisent à évaluer la pression différentielle existante quand l'organe primaire sera installé. [VI]

$$\Delta P = \frac{8 \times Q_m^2}{\pi^2 \times \epsilon^2 \times \alpha^2 \times d^4}$$

A.N
$$\Delta P = \frac{8 \times 20^2 \times 0,00124}{\pi^2 \times 1 \times (1,0010)^2 \times (53 \cdot 10^{-3})^4} = 50851 \text{ Pa}$$

Cette valeur de ΔP est bien acceptable, parce qu'elle est de l'ordre de la valeur souhaitée pour $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$

Conclusion:

Notre tuyère sera définie à partir des dimensions trouvées ci-dessus.

Regardons la perte de pression relative à notre installation

$$\Delta \bar{u} = \frac{1 - \alpha \beta^2}{1 + \alpha \beta^2} \times \Delta P$$

A.N
$$= \frac{1 - 1,0010 \times 0,4402^2}{1 + 1,0010 \times 0,4402^2} \times 50851 = 34326 \text{ Pa}$$

b) VAPEUR:

La méthode de calcul pour la détermination du diamètre du col de la tuyère est la même que celle établie pour l'eau.

$$D = D_{ext} - 2x_a$$

$$D = 168,3 - 2 \times 10 = 148,3 \text{ mm}$$

$$\alpha \beta^2 = \frac{4 \times Q_m}{\epsilon \pi D^2 \sqrt{2 \Delta P} \rho}$$

A.N

$$\alpha \beta^2 = \frac{4 \times 20 \times 1,15}{(0,1483)^2 \pi \sqrt{\frac{2 \times 0,5 \times 10^5}{2974 \cdot 10^{-5}}}} = 0,7261$$

Remarque: dans cette application nous avons choisis $\epsilon=1$, mais la pression différentielle est gardée la même c-à-d $\Delta P=0,5 \text{ bar}$

$$d = D \sqrt{\beta^2} = 148,3 \sqrt{\beta^2}$$

Cette fois-ci la fig.22. nous donne : $\beta^2=0,62$

$$A,N \quad d = 148,3 \sqrt{0,62} = 116,77 \text{ mm}$$

De même nous arrondissons cette valeur

$$\text{Donc } \underline{d = 116 \text{ mm}}$$

Vérification:

$$Re = \frac{Q_m}{S} \times D \times \frac{1}{\mu}$$

A.N.

$$Re = \frac{4 \times 20 \times 1,15}{\times 148,3 \cdot 10^{-3} \times 267 \cdot 10^{-7}} = 7,396 \cdot 10^6$$

$$\text{avec } \mu = 267 \cdot 10^{-7} \quad [X]$$

La valeur de Re est acceptable du fait qu'elle soit comprise dans le domaine

Calculons la nouvelle valeur de β

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{116}{148,3} = 0,782$$

partant du coefficient isentropique $K=1,3$ et du rapport des pression $r \geq 0,75$

nous nous reportons aux tableau 31 et 48 [VII] pour avoir comme valeur de α et ϵ

$$\alpha = 1,1446$$

$$\text{et } \epsilon = 0,995$$

ainsi nous calculons ΔP avec plus d'exactitude,

$$\Delta P = \frac{8 \times Q_m^2}{\pi^2 \times \rho \times \epsilon^2 \times \alpha^2 \times d^4}$$

A.N.

$$\Delta P = \frac{8 \times 20^2 \times 1,15 \times 0,02974}{2 \times (0,995)^2 \times (1,1446)^2 \times (0,116)} = 54300 \text{ Pa}$$

$$\Delta \bar{\omega} = \frac{1 - \alpha \beta^2}{1 + \alpha \beta^2} \Delta P$$

A.N.

$$\Delta \bar{\omega} = \frac{1 - 1,1446 \times 0,782^2}{1 + 1,1446 \times 0,782^2} \times 54300 = 9585 \text{ Pa}$$

Conclusion:

Pour la tuyère de l'eau $\beta = 0,447$ $Re = 1,95 \cdot 10^6$

Pour la tuyère de la vapeur $\beta = 0,782$ $Re = 7,396 \cdot 10^6$

Critère de rugosité

Comme nous l'avons signalé auparavant, la rugosité des parois influe sur la précision de mesure; pour satisfaire cette exigence, nous nous référons à la Norme Française NF X 10-102

TABLEAU: I

β	0,35	0,36	0,38	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5	0,6	0,7	0,77	0,8
$10^4 \frac{K}{D}$	25	18,6	13,5	10,6	8,7	7,5	6,7	6,1	5,6	4,5	4	3,9	3,9

avec $10^4 \frac{K}{D}$: rugosité relative

La hauteur de rugosité équivalente K des parois des conduites étirées à chaud est comme suit:

$$0,05 \leq K \leq 0,10$$

Nous choisirons $K = 0,05$ pour des raisons de réalisation et de prix de revient. Vérifions ce choix:

EAU $10^4 \frac{K}{D} = 10^4 \frac{0,05}{120,4} = 4,15$ pour $\beta = 0,44$

VAPEUR $10^4 \frac{K}{D} = 10^4 \frac{0,05}{148,3} = 3,37$ pour $\beta = 0,782$

Ainsi l'état de surface des parois des tubes est bien défini puisque leur rugosité relative est inférieure à celle recommandée par la Norme

Coefficient de dilatation:

Les diamètres des cols trouvés, respectivement pour l'eau et la vapeur sont à la température d'utilisation; c'est à dire 250°C et 450°C.

la NF X 10-104 donne pour les coefficients de dilatation

TABLEAU II:

Acier ordinaire	1,0054	1,0118
Acier inox-18-8	1,0081	1,0159
Température C	250	450

Donc les diamètres à réaliser au cours de la fabrication qd les tuyères sont en acier inoxydable seront quelque peu inférieurs à ces diamètres trouvés et au cours de l'exploitation ils pourront prendre les dimensions normalisées.

Pour l'eau: $d = \frac{53}{1,0081} = 52,57 \text{ mm}$

d=52,57mm

Pour la vapeur $d = \frac{116}{1,0159} = 114,18 \text{ mm}$

d=114,18mm

V-4- Profil de la tuyère:
=====

La norme NF X-10-102 nous offre deux profils pour la même tuyère ISA suivant la valeur de d comparée à $\frac{2}{3}D$.

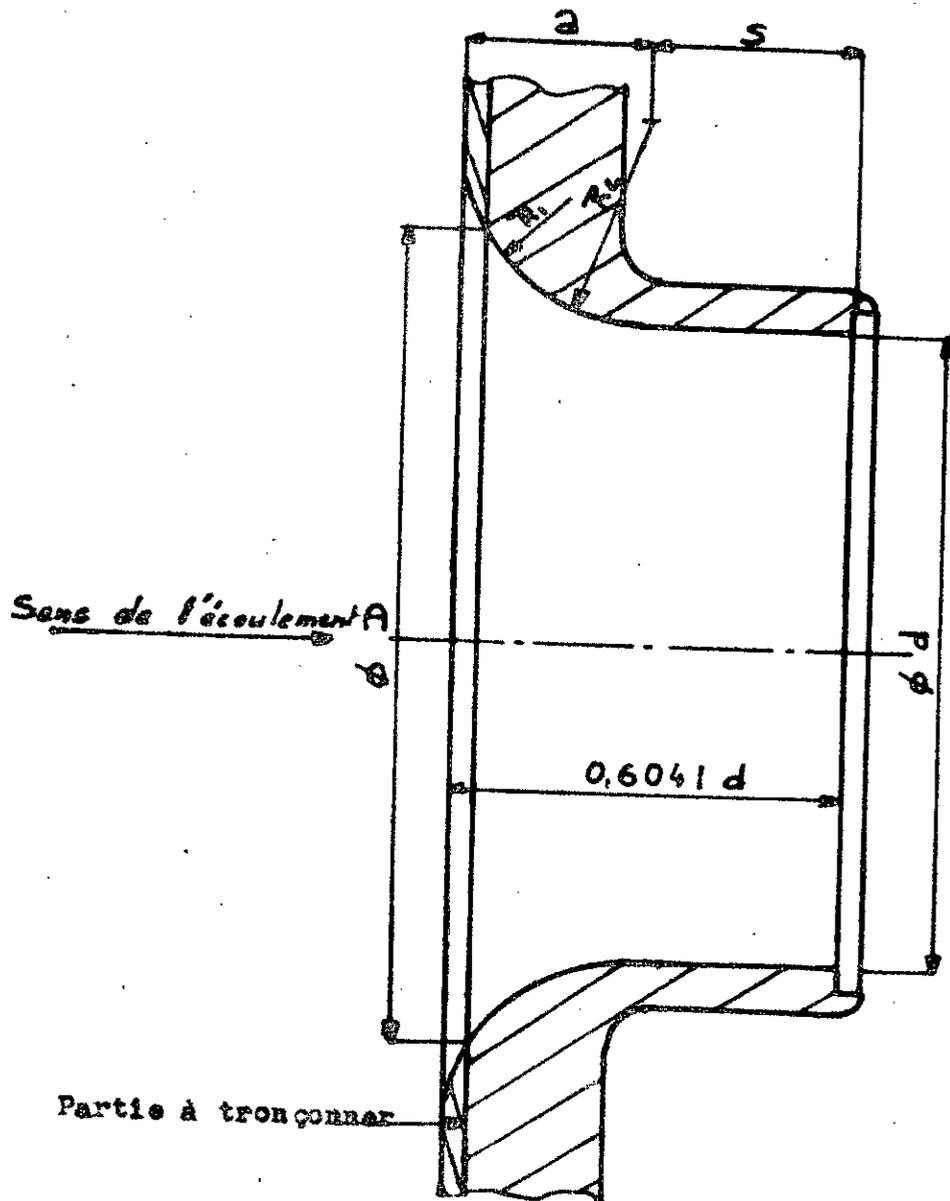
Regardons ce que l'on peut avoir pour l'eau et la vapeur :

EAU: $\frac{2}{3}D = \frac{2}{3} 120,4 = 80,266\text{mm}$ qui est supérieur à $d=52,57\text{mm}$

la forme de cette tuyère a la forme représentée sur la Fig:23

VAPEUR: $\frac{2}{3}D = \frac{2}{3} 148,3 = 98,866\text{mm}$ qui est inférieur à $d=114,18\text{mm}$

la forme de cette tuyère diffère légèrement de la précédente, sa forme est représentée sur la Fig:24



$$d > \frac{2}{3} D$$

FIG. 24.

V-5- Conditions d'installation:
=====

Dans le sujet que nous étudions, il nous a pas été précisé quels seront les organes placés sur la conduite ou le circuit de la centrale. Les chemins ou bien les formes qu'auront les conduites avant ou après les organes primaires doivent obeir à certaines distances normalisées.

Pour cela nous citerons ci-dessous les distances à respecter à partir de l'organe primaire pour d'éventuels branchements ou formes de conduites qui peuvent avoir lieu.

Ces valeurs sont directement liées à la valeur de β

Dimensions données en multiples de D(diamètre int/cond)	$\beta=0,44$	$\beta=0,78$
- Coude simple à 90° ou Té	14.D	46.D
- Deux coudes ou plus à 90° dans le même plan	18 "	50 "
- Deux coudes ou plus à 90° dans des plans \neq	38 "	80 "
- Réduction de 2D à D sur une longueur de 1,5D à 3D	5 "	30 "
- Evasement à 0,5D sur une longueur de 1D à 2D	17 "	54 "
- Robinet à soupape grand ouvert	20 "	44 "
- Robinet à opercule grand ouvert	12 "	30 "
- Brusque réduction symétrique de rapport de diamètre 0,5	30 "	30 "

Ces distances sont données pour réaliser des mesures avec une erreur presque nulle.

En résumé de toutes ces possibilités, nous avons adopté les dimensions qui peuvent être lues sur les dessins.

V-6- Prises de pression:(ou tubes de liaison)
=====

Les prises de pression seront exécutées directement sur les bagues piézométriques à l'aide d'un orifice circulaire où rentre un tube de diamètre intérieur d=9mm ceci pour être en accord avec les dimensions du robinet de sécurité choisi dans le catalogue Siemens.

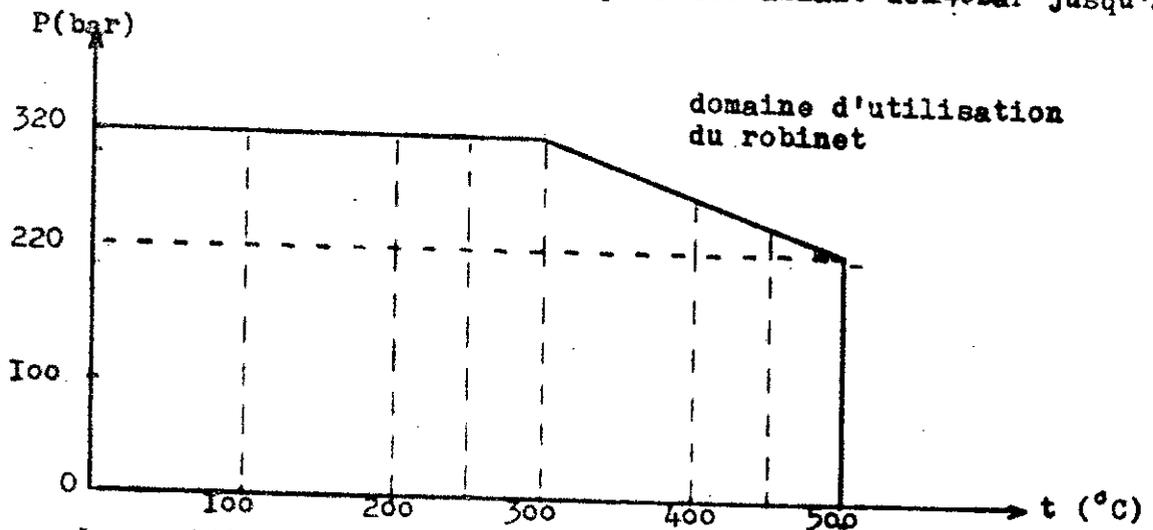
Dans le cas de prise de pression de vapeur, cette liaison doit passer d'abord par un vase de condensation. Ce raccordement est assuré par un tube 25-5 NF A I9-3IO en acier inoxydable. (voir dessin)

Pour des raisons de simplicité de construction nous avons élaboré le vase de condensation par un cylindre 82-5 NF A 49-213 fermé par deux couvercles en acier XC-18. Pour leur dimensionnement, voir dessin d'ensemble.

Le tronçon robinet-transmetteur (pour les deux mesures) est assuré par un tube I4-2,6 NF A 49-330 qui est en acier sans soudure, étiré à froid; de plus il est cintrable à froid et peut être soudé dans les conditions normales de mise en oeuvre.

Les robinets ont été établis d'après le catalogue Siemens MP-I7 et ont les particularités suivantes:

- ils peuvent travailler à une pression allant de 240 bar jusqu'à 320 bar.



- leur référence est 7MF9007-OBA

Ce choix a été fonction des températures et pressions de travail. Nous remarquons bien que la plage d'utilisation de ces robinets 7MF9007-OBA englobe nos exigences de réalisation (vapeur et eau). Ces robinets ont été choisis communs aux deux mesures, pour des facilités de montage, d'encombrement de poids (800gr) et bien entendu de prix de revient.

V-7- Construction des éléments primaires:

Nous avons vu que pour l'eau, la valeur de \sqrt{d} était inférieur à $\frac{2}{3}D$; donc nous nous reportons à la Fig.23.

La partie de la tuyère située à l'intérieur de la conduite présente une symétrie de révolution. La tuyère se compose d'une partie convergente à profil arrondi et d'un col cylindrique.

PROFIL DE LA TUYERE

Elle comporte:

- Une partie plane d'entrée A perpendiculaire à l'axe; limitée par deux circonférences: D et I,5d
c-à-d 120,4 A 78,85mm
- Un convergent défini par deux arcs de circonférences B et C :
 - * L'arc de circonférence B est tangent à la partie plane d'entrée A son rayon $R_1 = 0,2d = 10,51\text{mm}$. Son centre est situé à $0,2d = 10,51\text{mm}$ de la partie plane A et à $0,75d = 39,42\text{mm}$ de l'axe de révolution.
 - * L'arc de circonférence C est tangent à l'arc de B et au col E. Son rayon $R_2 = \frac{d}{3} = 17,52\text{mm}$. Son centre est situé à $\frac{5d}{6} = 43,8\text{mm}$ de l'axe de révolution et $a = 0,304Id = 15,98\text{mm}$ de la partie A.
- Un col cylindrique E qui a un diamètre $d = 52,57\text{mm}$ et une longueur $s = 0,3d = 15,77\text{mm}$.
- Un chambrage F (si l'on craint d'endommager l'arête f) a un diamètre C au moins égal à $1,06d = 55,72\text{mm}$ et une longueur inférieure ou égale à $0,03d = 1,57\text{mm}$.
Le rapport de la hauteur de chambrage $\frac{c-d}{2}$ sur la longueur axiale doit être inférieure ou égale à 0,2 :
A.N. $\frac{55,72 - 52,57}{2} / 1,52 = 1,03$
- La longueur totale de la tuyère non compris le chambrage est égale à $0,604Id = 31,75\text{mm}$
- La surface de la face amont et du col doivent être polies de telle sorte que la rugosité soit conforme à la Norme.
- L'épaisseur de la tuyère H ne doit pas dépasser $0,1D = 12,04\text{mm}$.
- Le profil et l'état de surface de la face aval sont quelconques.

- Les prises de pression s'effectuent à l'aide de bagues piézométriques pour éviter les turbulances; reliées au fluide par une fente annulaire sur toute sa périphérie interne.

La longueur de la fente est déterminée en pratique par le souci d'éviter un blocage accidentel et par celui de rechercher un comportement dynamique satisfaisant.

Le diamètre de la bague piézométrique est supérieur ou égal à D (égal dans notre cas) afin de s'assurer qu'elle ne fait pas saillie dans la conduite.

- L'épaisseur des bagues amont (p et p') et aval est inférieure ou égale $0,5.D=60,2\text{mm}$.

- La longueur $L \geq 2q$.

- L'aire de la section libre dans la chambre annulaire $g \times h > 0,5$ de la section totale de passage reliant cette chambre à l'intérieur de la tuyauterie c-à-d : $\frac{\pi \times D \times q}{2} = \frac{\pi \times 120,4 \times 2}{2} = 378,24\text{mm}^2$

nous adoptons $g = 26\text{mm}$ puis $h = 16\text{mm}$.

- Toutes les surfaces de la bague destinées à entrer en contact avec le fluide mesuré doivent être propres et bien usinées.

En ce qui concerne la vapeur, nous avons trouvé un $d > \frac{2}{3}D$ ce qui nous conduit à adopter une tuyère de la forme représentée sur la Fig.24. Sa description est comme suit:

- Sa partie plane A est limitée entre les valeurs D et $1,5d$
c-à-d: $148,3$ et $222,45\text{mm}$.

- Les deux arcs B et C du convergent seront définis par:

* Arc B : $R_1 = 0,2d = 0,2 \times 114,18 = 22,83\text{mm}$

son centre à $0,2d = 22,83\text{mm}$ de A

et $0,75d = 85,63\text{mm}$ de l'axe

* Arc C : $R_2 = \frac{d}{3} = 38,06\text{mm}$

son centre à $\frac{5 \cdot d}{6} = 95,15\text{mm}$ de l'axe

et à $0,3041d = 34,72\text{mm}$ de A

- Le col a un diamètre $d = 114,18\text{mm}$ et un $s = 0,3d = 34,25\text{mm}$.

- Le diamètre C du chambrage F au moins égal à $1,06d = 121,03\text{mm}$ et sa longueur inférieure ou égale à $0,03d = 3,42\text{mm}$.

vérifions le rapport $\frac{c-d}{2}$ / longueur axiale :

$$\text{A.N.} \quad \frac{121 - 114,18}{2} / 3 = 1,13 \leq 0,2$$

- La longueur totale de la tuyère égale à $0,604 I_d = 68,97 \text{ mm}$
- H ne doit pas dépasser $0,1 \cdot D = 14,83 \text{ mm}$.
- p et p' sont inférieures ou égales à $0,5 \cdot D = 74,15 \text{ mm}$
- $L \geq 2 \cdot q = 2 \times 3 = 6 \text{ mm}$
- $g \times h \geq 0,5 \times \frac{\pi \times D \times q}{2} = \frac{\pi \times 148,3 \times 3}{2} = 698,84 \text{ mm}^2$

Toutes les autres caractéristiques (état de surface, prises de pression etc...) sont identiques à celles de la tuyère de l'eau.

Ces deux tuyères et leurs bagues piézométriques sont réalisées en acier inoxydable ceci pour remédier aux facteurs corrosifs existants dans le fluide.

V-8- Soudures:

- L'assemblage des bagues piézométriques se fait par soudage manuel en utilisant le procédé T-I-G (Tungstein, inerte, gaz). On utilisera l'Argon comme gaz protecteur.

Vérifions cette soudure dans le cas de l'eau:

$$\sigma = \frac{F}{l \times a}$$

avec: F : force agissant dans la bague
l : longueur du cordon de soudure
a : épaisseur du cordon

$$F_1 = P \times S = P \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

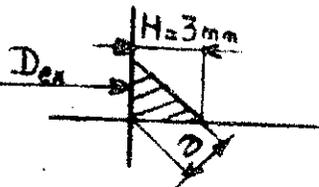
$$F_1 = 10^7 \times \frac{10^6}{4} (162,4^2 - 130,4^2) \pi = 73588,6 \text{ N}$$

$$F = 2 \times F_1 = 2 \times 73588,6 = 147177,2 \text{ N}$$

$$= \frac{F}{\pi \cdot D_{ex} \times a} = \frac{147177,2 \cdot 10}{\pi \times 180 \times 9} = 28,91 \text{ N/mm}^2$$

ce qui est très petit devant la contrainte ad

- Calculons la soudure d'angle sans chanfrein, du tube de prise de pression à l'organe primaire.



$$\alpha = 0,7 H$$

$$\sigma = \frac{F}{l \times a}$$

$$F = P \times S = 10^7 \times \frac{\pi}{4} (16^2 - 9^2) \cdot 10^{-6} = 1374,4 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{\pi \cdot D_{ex} \times a}$$

$$\sigma = \frac{1374,4}{\pi \times 0,7 \times 3 \times 18} = 11,57 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_a$$

Ces applications ont été faites, pour bien montrer que les contraintes au niveau des soudures sont très petites pour ne pas dire négligeables. D'autant plus que nous savons qu'une soudure est beaucoup plus résistante que le matériau lui même.

VI. VANNE AUTOMATIQUE

VI-I- Définition:

Pour rendre notre système gouvernable la présence d'une vanne est indispensable. Elle sera automatique puisqu'elle reçoit un signal de commande d'ouverture ou de fermeture, délivré par le régulateur. Elle commandera le débit d'eau, ainsi elle assurera le maintien du niveau d'eau dans le ballon à la valeur h_0 .

Mais elle doit avoir des caractéristiques bien précises lui permettant de compenser les excès provoqués par la chaudière qui peuvent aller jusqu'à 130% de régime optimal.

VI-II- Détermination de la vanne:

Le calcul de cette vanne se fait à partir de son Kv (EUR), que nous définissons de la manière suivante:

Kv: Grandeur caractéristique de vanne, qui exprime un débit en m^3/h de l'eau; généralement d'un fluide de masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ et de viscosité cinématique $\mu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; quand la chute de pression dans la vanne est de 1 bar.

La grandeur analogique employée par les USA est Cv

Rappel: $1 \text{ Cv} = 1,17 \text{ Kv}$

ou $1 \text{ Kv} = 0,86 \text{ Cv}$

Pour des liquides quelconques nous avons la formule:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{1000}} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}$$

avec: Q : Débit volumique en m^3/h

ρ : Masse volumique

ΔP : Chute de pression au niveau de la vanne

Avant d'utiliser cette formule, nous devons faire le bilan de toutes les pertes de charge occasionnées dans le circuit de circulation d'eau; ceci à partir de la pompe allant jusqu'au surchauffeur en passant par l'économiseur, la vanne et la ballon.

Remarque: La pression après surchauffeur est maintenue grâce au système de régulation de pression.

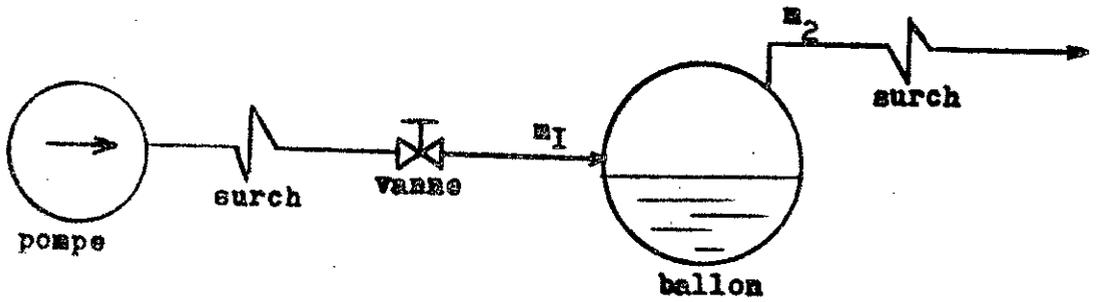


Fig.25.

D'après les données, la pompe a une caractéristique linéaire définie par une pression de 120b pour un débit nul; puis par une pression de 117b pour le débit maximum (100%).

Toutes les autres pertes de pression sont considérées comme fonction quadratique du débit.

Nous estimons que pour la charge nominale (100%), la perte de pression est de 2bars pour l'économiseur, et de 5bars pour le surchauffeur.

Ces pertes de charges sont représentées sur le diagramme suivant:

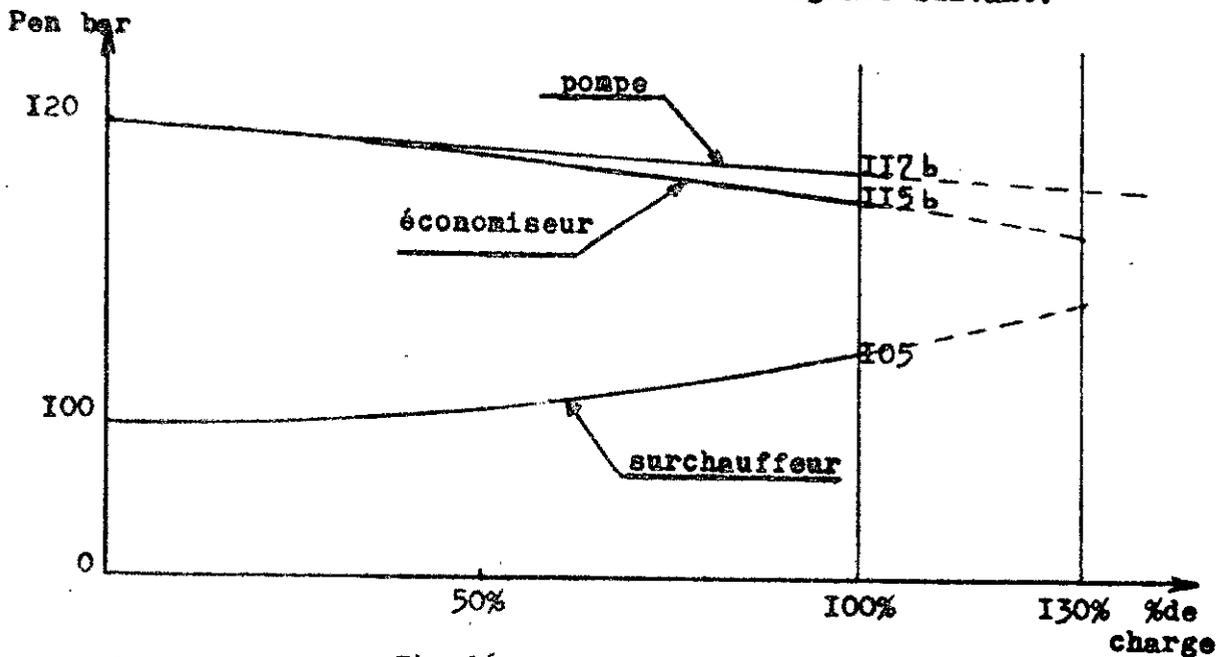


Fig.26.

Relevant l'équation de ces trois courbes, nous déduisons la perte de charge au niveau de la vanne d'alimentation en eau.

$$\Delta P = 120 - 3\left(\frac{x}{100}\right) - 2\left(\frac{x}{100}\right)^2 - 100 - 5\left(\frac{x}{100}\right)^2$$

$$\Delta P = 20 - 3\left(\frac{x}{100}\right) - 7\left(\frac{x}{100}\right)^2$$

Q = 20Kg/s , sa conversion en m³/h donne pour la formule de Kv:

$$Kv = \frac{Q \times 0,00124}{\sqrt{1000}} \times 3600 \sqrt{\frac{1}{0,00124 \cdot \Delta P}}$$

$$Kv = 4,01 \times \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$$

Nous dressons le tableau suivant pour tracer la courbe du Kv désiré en fonction des différents régimes ou charges de la chaudière.

TABEAU III:

charge	20%	40%	60%	80%	100%	120%	130%
ΔP	19,12	17,68	15,68	13,12	10	6,32	4,27
Kv _s	3,65	7,61	12,12	17,66	25,29	38,18	50,32

- a) L'ouverture complète de la vanne (100%) correspond à une charge de chaudière égale à 130%
- Le tableau ci-dessus nous donne les valeurs de Kv_s souhaitées pour la vanne, en fonction de la charge.
- Cette dépendance est représentée sur la Fig.27. par la courbe a relative à l'abscisse inférieure (130%).
- b) Dans la pratique, nous devons adopter une vanne dont les caractéristiques sont les plus rapprochantes de nos exigences. Pour cette raison nous nous référons au catalogue Siemens [XI]. Cette firme nous propose des vannes d'alimentation avec libre choix du Kv_s ainsi que deux types de caractéristiques d'ouverture:
- Linéaire : dépendance linéaire entre Kv et position de vanne.
 - Exponentielle (ou égal %): dépendance exponentielle entre Kv et position de vanne; avec ouverture initiale égale à 4% de Kv maxi.

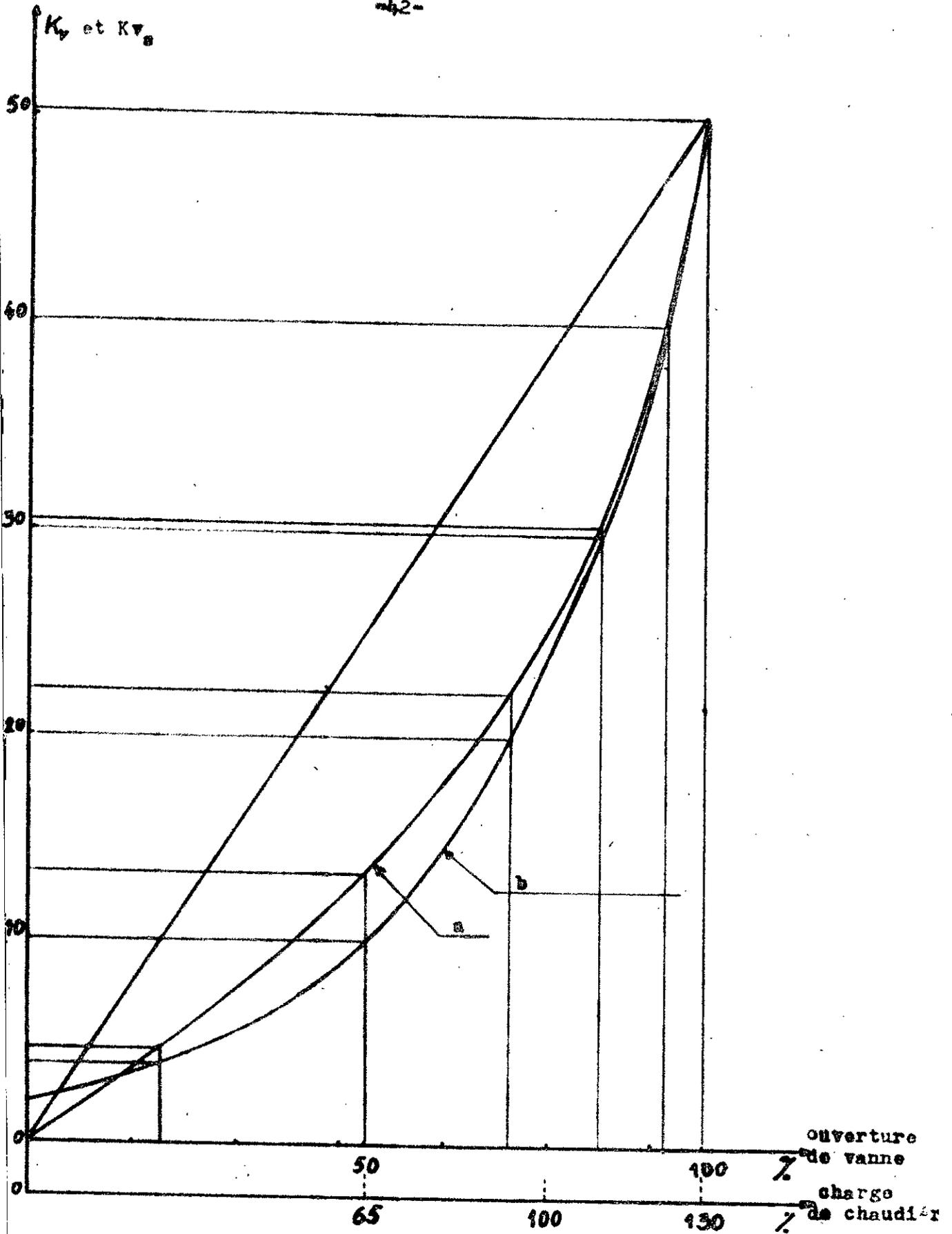


Fig. 27.

La formule équivalente s'écrit comme suit:

$$Kv = \frac{Kv_a}{25} \times 25 \left(\frac{x}{100} \right)$$

avec $Kv_s = 50,32 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{Donc: } Kv = \frac{50,32}{25} \times 25 \left(\frac{x}{100} \right)$$

De là nous établissons le tableau suivant donnant Kv(Vanne) en fonction du pourcentage d'ouverture.

TABLEAU IV:

% ouverture	20%	40%	60%	80%	100%
Kv	3,83	7,29	13,88	26,43	50,32

Le tracé de cette courbe est représenté sur la même Fig.27. que la courbe du Kv_s exigé. De même on obtient la courbe linéaire en joignant l'origine à l'extrémité(50,32).

Mais nous constatons que la courbe Kv(b) est beaucoup plus voisine de Kv_s (a). Donc notre Vanne aura la caractéristique égal pourcentage(ou exponentielle). La référence de la vanne à employer est alors:

VANNEg, M77454-F3210.

Elle peut travailler à une pression maximum de 160b avec une levée de soupapes égal à 30mm.

Sa caractéristique à deux soupapes réduit la poussée quand les pressions existant sur les clapets créent des forces opposées qui tendent à s'annuler. Le seveau-moteur de commande de la tige aura une poussée faible égale à 20KN. L'inconvénient de cette vanne est d'être peu étanche, ceci pour des raisons de construction facile à comprendre. Toutefois, il ne faut pas demander une étanchéité parfaite à une vanne de régulation, car ce n'est pas son rôle principal.

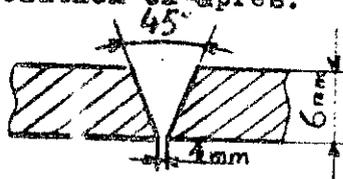
Nous donnerons la signification des lettres et chiffres après le tiré:

F3 : Indique le diamètre nominale à l'entrée de la vanne c-à-d $\varnothing 150\text{mm}$ et son Kv est inférieur à $100\text{m}^3/\text{h}$

2 : La soudure de la vanne aux reste des éléments peut se faire

sur chanfreins en V avec ou sans méplat et un angle aigu de 40° à 60°.

Nous adoptons la solution ci-après:



IO: Signifie égal pourcentage levée-débit

Nous ajoutons à cette référence:

M77454-F32IO $Kv_g = 50,32 \text{ m}^3/\text{h}$ (pour pleine ouverture)

$\phi_{da} = 133 \text{ mm}$ (ϕ de bout de vanne égal au tube d'eau)

$s = 6,3 \text{ mm}$ (épaisseur)

VI-III- Servomoteur:

Les servomoteurs sont de trois types, généralement employés dans l'industrie actuelle:

- Servomoteurs électriques
- " pneumatiques
- " hydrauliques

Mais ce type de vannes, nous conduit à prendre le servomoteur électrique qui est robuste et facile à entretenir et enfin économique, référence:

Servomoteur M76344-L2307-DIOI

[XI]

avec un temps d'action de $t=50s$

Nous signalons ci-dessous la signification des lettres et chiffres:

L23 : Le temps de positionnement est de 60s pour une course maxi de 35mm.

La puissance du servomoteur électrique à translation avec moteur triphasé est de 0,12.KW et un courant nominal de 0,44A sous 380V.

Sa taille selon DIN 42673 est de 63mm, avec un poids de 37Kg.

O : Le servomoteur est sans lanterne parce que la course de la vanne n'est pas trop grande ce qui évite le guidage.

7 : Il dispose d'un moteur frein 220/380V qui assure la proportionnalité entre la longueur d'impulse et le moteur.

D : L'accouplement a une tige de filetage R^{3/8}".

I : Le raccordement électrique est exécuté sur bornier de 24 bornes, dans le boîtier de signalisation.

OI : Le dispositif de commutation et de signalisation est réalisé

par un limiteur à cames pour la fin de course et dispose
aussi de 2 contacts limiteurs de couple
et 2 " de fin de course.

VII. TRANSMETTEURS DE DEBIT.

Le type de transmetteur que nous allons choisir est commun aux deux mesures de débit, eau et vapeur. Ces transmetteurs sont nommés par T_1 et T_2 Fig.18.

VII-I- Description:

Le transmetteur sera lié à l'organe déprimogène par deux tubes de prise de pression. Il relèvera la pression différentielle existante, puis la transforme en un signal électrique destiné au régulateur R (Fig.18)

Auparavant, nous savons que le débit est une fonction quadratique de la pression différentielle (Première équation du Chap.V.)

$$Q = K\sqrt{\Delta P}$$

avec K: coefficient de proportionnalité

La représentation parabolique de cette équation est comme ci-dessous:

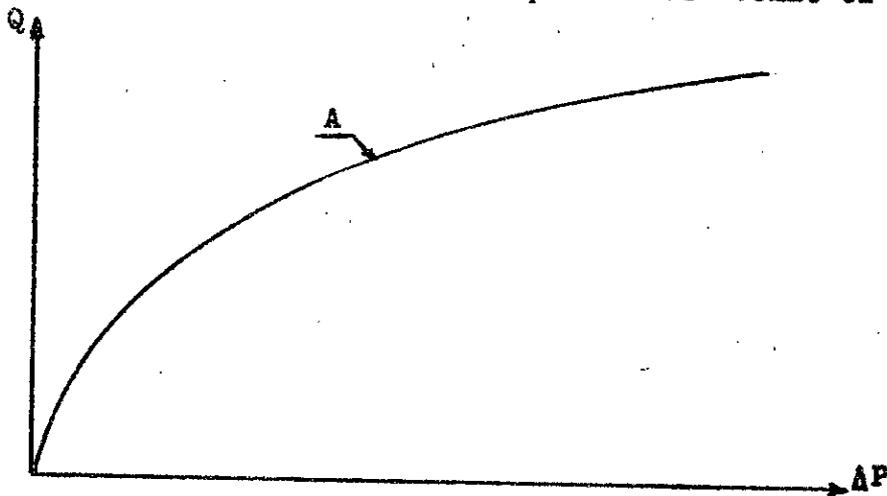


Fig.28.

La plus part du temps; dans un circuit de régulation, nous cherchons à avoir une correspondance LINEAIRE entre les valeurs mesurées et leurs signaux standardisés correspondants; ceci pour maintenir le système stable pour les différents régimes.

En prenant un transmetteur avec un pouvoir d'extraction de racine, nous

avons la relation:

$$i = K_2 \sqrt{\Delta P}$$

En écrivant ces deux relation simultanément:

$$Q = K_1 \sqrt{\Delta P} \quad (1)$$

$$i = K_2 \sqrt{\Delta P} \quad (2)$$

et en faisant leur rapport, on obtient:

$$i = \frac{K_2}{K_1} Q$$

ce qui montre la dépendance linéaire entre le courant i et le débit Q .
Les équations (1) et (2), sont représentées ci-après:

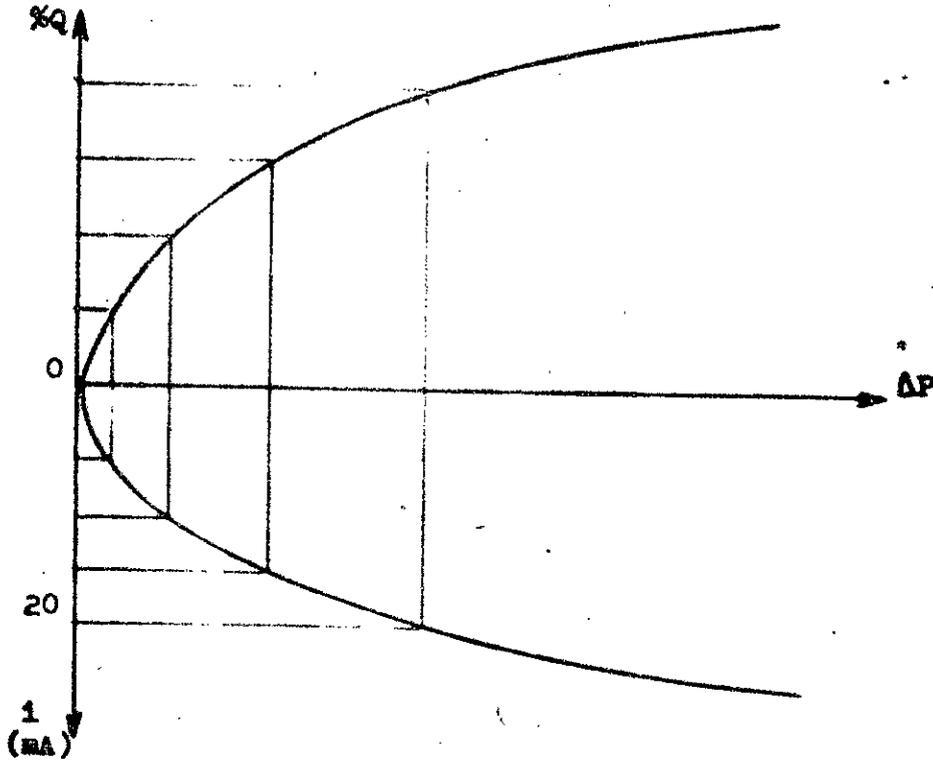


Fig.29.

D'où la correspondance linéaire de i et Q

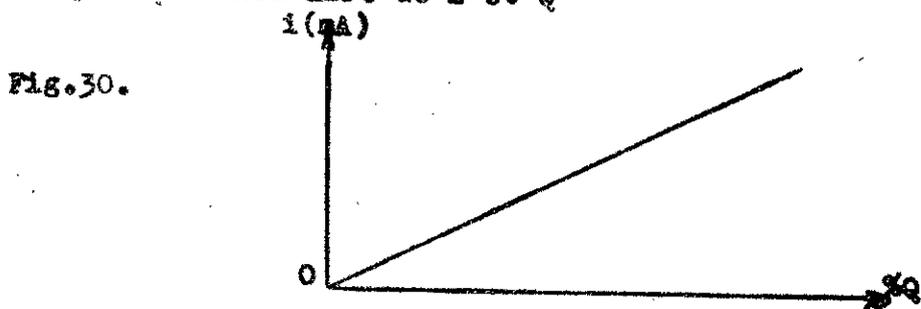


Fig.30.

Conformément au Chap.III, les coefficients a_1 et a_2 à l'entrée du régulateur doivent être égaux, parce que dans le cas contraire notre régulateur ne peut ajuster ces deux valeurs.

VII-II- Fonctionnement:

Comme nous l'avons signalé précédemment; le débit vapeur est majoré par le surchauffeur (QXI, I5) Voir Chap.IV-2.

Les pressions différentielles correspondantes pour l'eau et la vapeur sont données respectivement dans le Chap.V-3-I

EAU: débit 20 Kg/s \longrightarrow $\Delta P = 50851$ Pa

VAPEUR: " (20.I, I5) Kg/s \longrightarrow $\Delta P = 54300$ Pa

Mais par mesure de sécurité nous avons prévu un fonctionnement allant jusqu'à 130% du régime nominal.

D'après la relation:

$$Q_1 = K\sqrt{\Delta P}$$

nous avons $\Delta P = \frac{Q_1^2}{K^2}$

pour

$$Q = 1,3 \cdot Q_1 \quad \text{et} \quad \Delta'P = \frac{Q^2}{K^2}$$

On obtient: $\Delta'P = 1,3^2 \cdot \Delta P$

De ce dernier résultat, nous évaluerons les pressions différentielles réelles:

EAU: $\Delta P \cdot (1,3)^2 = 85938$ Pa ou 859,38mb

VAPEUR: $\Delta P \cdot (1,3)^2 = 91767$ Pa ou 917,67mb

Pour obéir à la caractéristique d'égalité des signaux à l'entrée du régulateur, nous devons correspondre ces deux valeurs extrêmes à un courant maximum de 20mA

Ainsi les pressions différentielles causées par l'eau et la vapeur évoluent chacune à sa manière, mais leur signal à l'entrée du régulateur sera le même; nous illustrons ce phénomène par le graphe suivant:

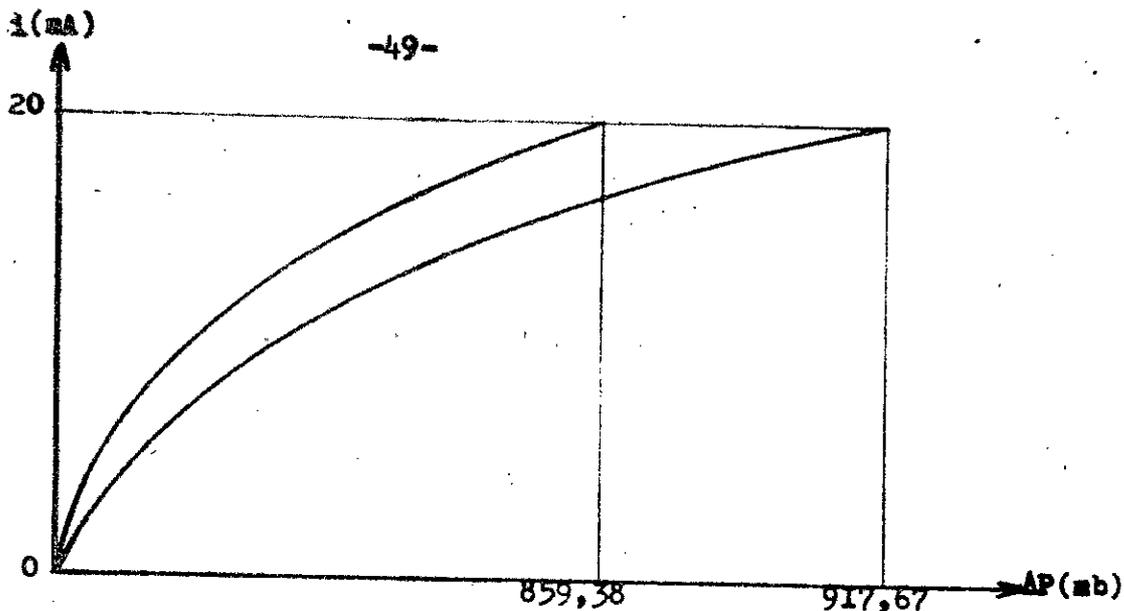


Fig.31.

Après avoir fait cas de toutes les caractéristiques exigées; nous passons à la référence de notre transmetteur. Ceci par consultation du catalogue Siemens MPI7.

TRANSMETTEUR , 7MP1104-3AA22-1AG1 avec bande de mesure de travail: 859,38 à 917,67 mb

La signification des lettres et chiffres après tiré est;

- 3 : Transmetteur avec extraction de racine, fonctionne jusqu'à PN500
- A : Son courant varie de 0 à 20mA
- A2 : Deux prises sous 220V
- 2 : Avec cadran de signalisation
- 1A : Bonne constitution du transmetteur
- G1 : T pouvant fonctionner dans la bande 250 à 1000mb

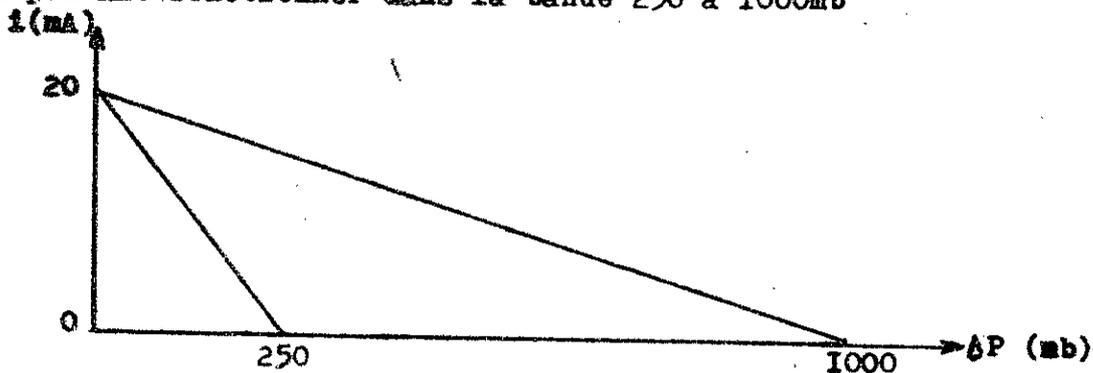


Fig.32.

D'après la fig.32. nous constatons que notre bande de travail 859,38 à 917,67mb est bien comprise dans la plage de fonctionnement de notre transmetteur.

Remarquons bien qu'il est de caractéristique descendante c-à-d que le courant diminue ^{AP} augmente; ceci va être expliqué dans le chapitre suivant.

VIII. TRANSMETTEUR DE NIVEAU.

Comme nous l'avons signalé précédemment; que la pression dans le Ballon était susceptible de varier entre 100 et 105 bar

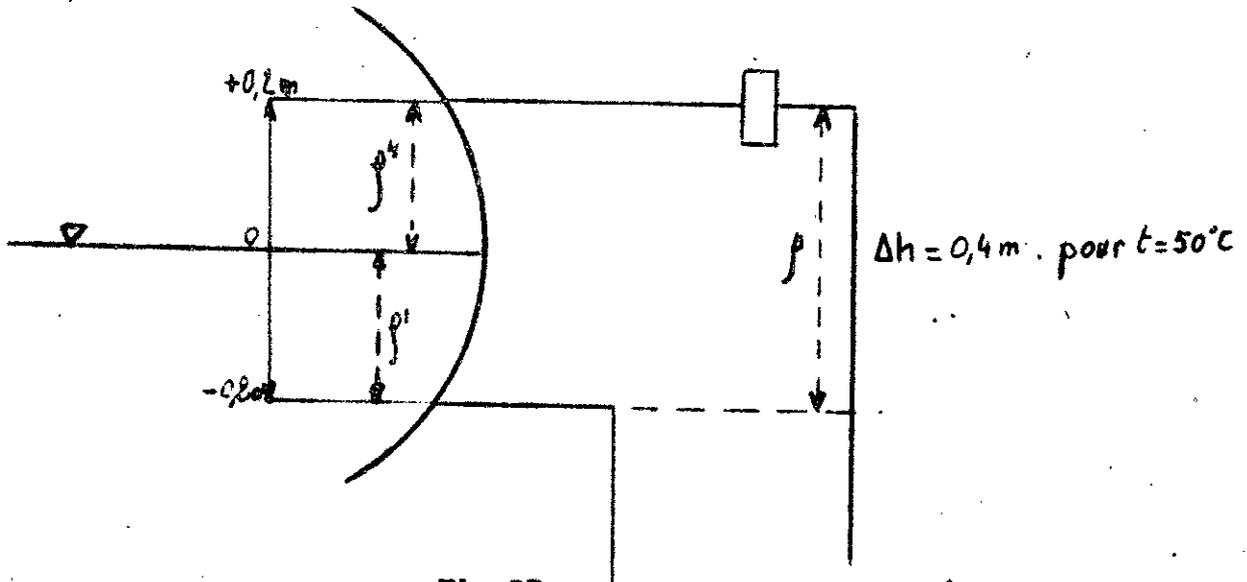


Fig.33.

Nous faisons évoluer le niveau d'eau entre -0,1m et +0,2m par rapport au niveau consigne.

De là résulte une différence de distance entre les prises de pression égale à 0,2m

A partir de cette hypothèse regardons l'évolution de différence de pression entre ces 2 limites quand le niveau change de position dans cet interval.

Respectivement l'eau ou la vapeur peut occuper ce volume intermédiaire ou bien les deux simultanément.

Pour évaluer cette ΔP de pression, nous utiliserons la formule:

$$\Delta P = h.(\rho' - \rho'').g$$

avec

ρ' : masse volumique de l'eau

ρ'' : " " " la vapeur

g : accélération de la pesanteur = $9,81m/s^2$

Dont les valeurs aux pressions correspondantes sont:

Tableau V:

$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \backslash \text{bar}$	100	105
ρ'	$\frac{1}{0,0014526}$	$\frac{1}{0,0014705}$
ρ''	$\frac{1}{0,18}$	$\frac{1}{0,01694}$

Pour 100 bar on a : $\Delta P_{100} = 0,2 \left(\frac{1}{0,0014526} - \frac{1}{0,018} \right) 9,81 = 1240,4 \text{ Pa}$
 $= 12,4 \text{ mb}$

$\Delta P_{105} = 0,2 \left(\frac{1}{0,0014704} - \frac{1}{0,01694} \right) 9,81 = 1217,3 \text{ Pa}$
 $= 12,17 \text{ mb}$

Comparons ces deux valeurs de ΔP :

$$\frac{\Delta P_{100} - \Delta P_{105}}{\Delta P_{100}} = 0,0186 = 1,86 \% \text{ d'erreur}$$

Ce qui revient à: 1,86% de 0,2m c-à-d: 0,0037m = 3,7mm

- Cette erreur est très réduite et cependant, elle entre dans la plage d'utilisation du transmetteur; ce qui évite un appareil de correction de pression.

- De plus ces pressions différentielles ΔP_{100} et ΔP_{105} entrent dans l'intervalle de pression du transmetteur désigné par Siemens.

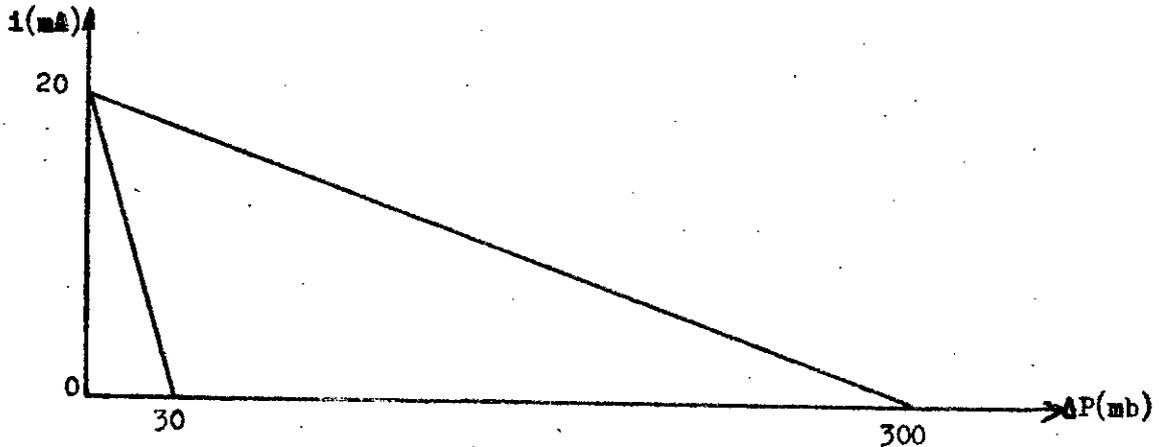


Fig.34.

Nous avons choisi la caractéristique descendante pour les raisons suivantes:

P diminue quand h augmente

P diminue quand h augmente

P " " " 1 "

De ces deux conclusions résulte une caractéristique linéaire montante entre le courant i et h.

Pour être compatibles avec notre transmetteur de niveau, nous devons élever ces différences de pression. Pour réaliser ceci, nous élargissons l'écart entre les deux prises de pression. Nous adoptons la valeur h = 0,4m.

Mais cette fois-ci nous tenons compte de la pression au niveau du tube extérieur où la masse volumique = $\frac{1}{0,00101} \text{ Kg/m}^3$ pour une température de 50 C environ.

De là résulte quatre combinaisons possibles pour P:

$$P_{0,100b} = 0,4 \times 9,81 \left(\frac{1}{0,00101} - \frac{1}{0,018} \right) = 3667,14 \text{ Pa}$$

$$P_{0,4,100b} = 0,4 \times 9,81 \left(\frac{1}{0,00101} - \frac{1}{0,0014526} \right) = 1183,78 \text{ Pa}$$

$$P_{0,105b} = 0,4 \times 9,81 \left(\frac{1}{0,00101} - \frac{1}{0,01694} \right) = 3653,50 \text{ Pa}$$

$$P_{0,4,105b} = 0,4 \times 9,81 \left(\frac{1}{0,00101} - \frac{1}{0,0014704} \right) = 1216,48 \text{ Pa}$$

Résumé:

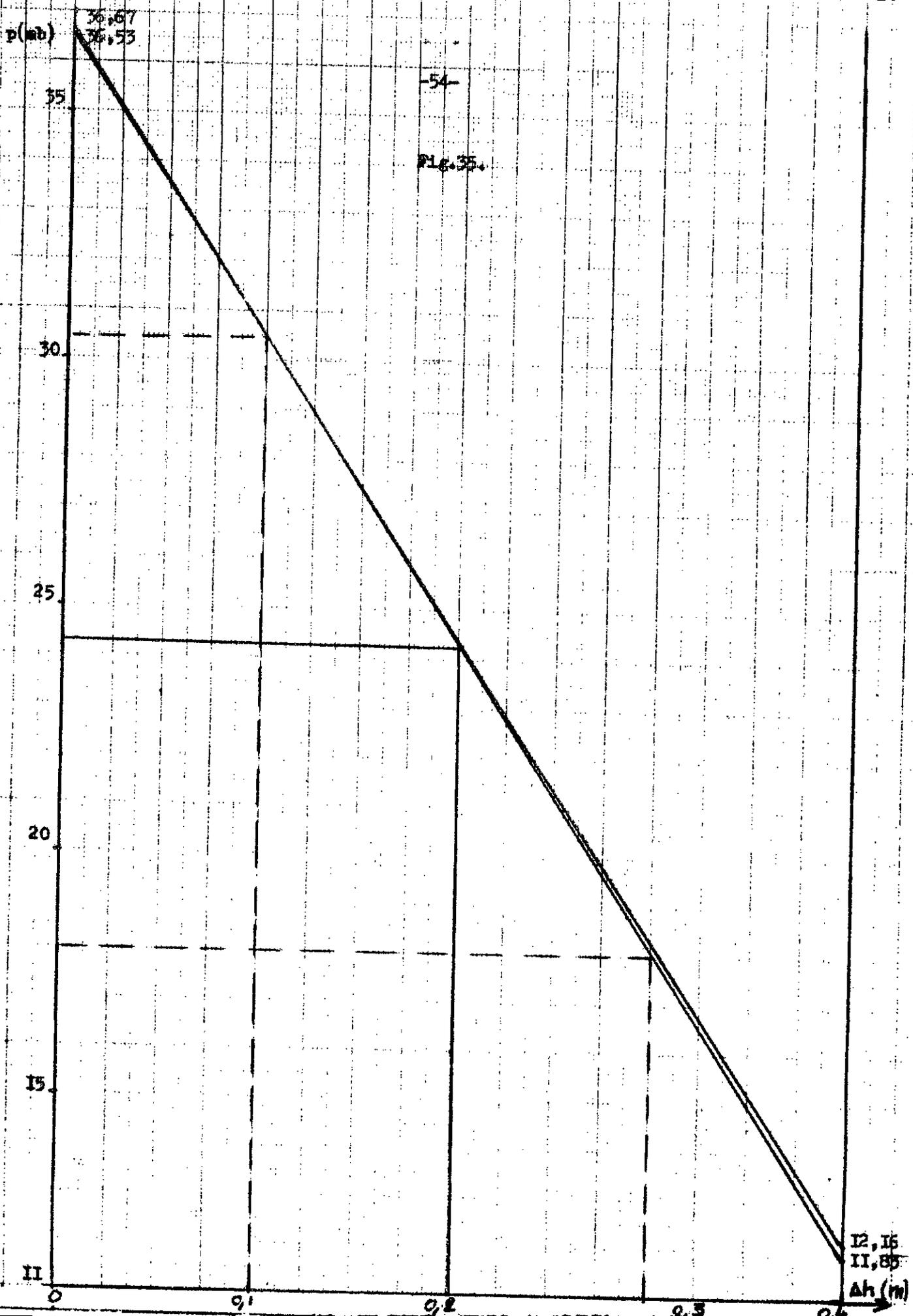
$$P_{0,100b} = 36,67 \text{ mb}$$

$$P_{0,4,100b} = 11,83 \text{ mb}$$

$$P_{0,105b} = 36,53 \text{ mb}$$

$$P_{0,4,105b} = 12,16 \text{ mb}$$

La dépendance entre P et h est linéaire, par cela traçons les droites définies ci-haut Fig.35.



Remarquons que les deux droites sont très voisines l'une de l'autre ce qui nous confirme la non nécessité de compensation de pression.

Sur la Fig.35 nous relevons les P relatives à 0,1m et 0,3m :

0,1m donne P = 30,5 mb
0,3m " P = 18 mb

Le milieu entre ces deux valeurs est à :

$$\frac{30,5 + 18}{2} = 24,25 \text{ mb}$$

Nous conservons cette valeur moyenne pour la bande du transmetteur dont la droite de plus grande pente passe par 30mb Fig.34.

Quand on centre cette valeur de 30 mb au point 24,25 mb 0,2m Fig.35 ; nous obtenons la bande réelle de fonctionnement du transmetteur.

Ces deux valeurs sont :

$$24,25 + 15 = 39,25 \text{ mb}$$

et

$$24,25 - 15 = 9,25 \text{ mb}$$

Regardons ce que nous donne ces deux pressions différentielles point de vu électrique cette représentation est donnée Fig.36.

Entre les deux niveaux 0,1m et 0,3m le courant transmis évoluera entre 5,8mA et 14,2mA

Maintenant passons au choix du Transmetteur :

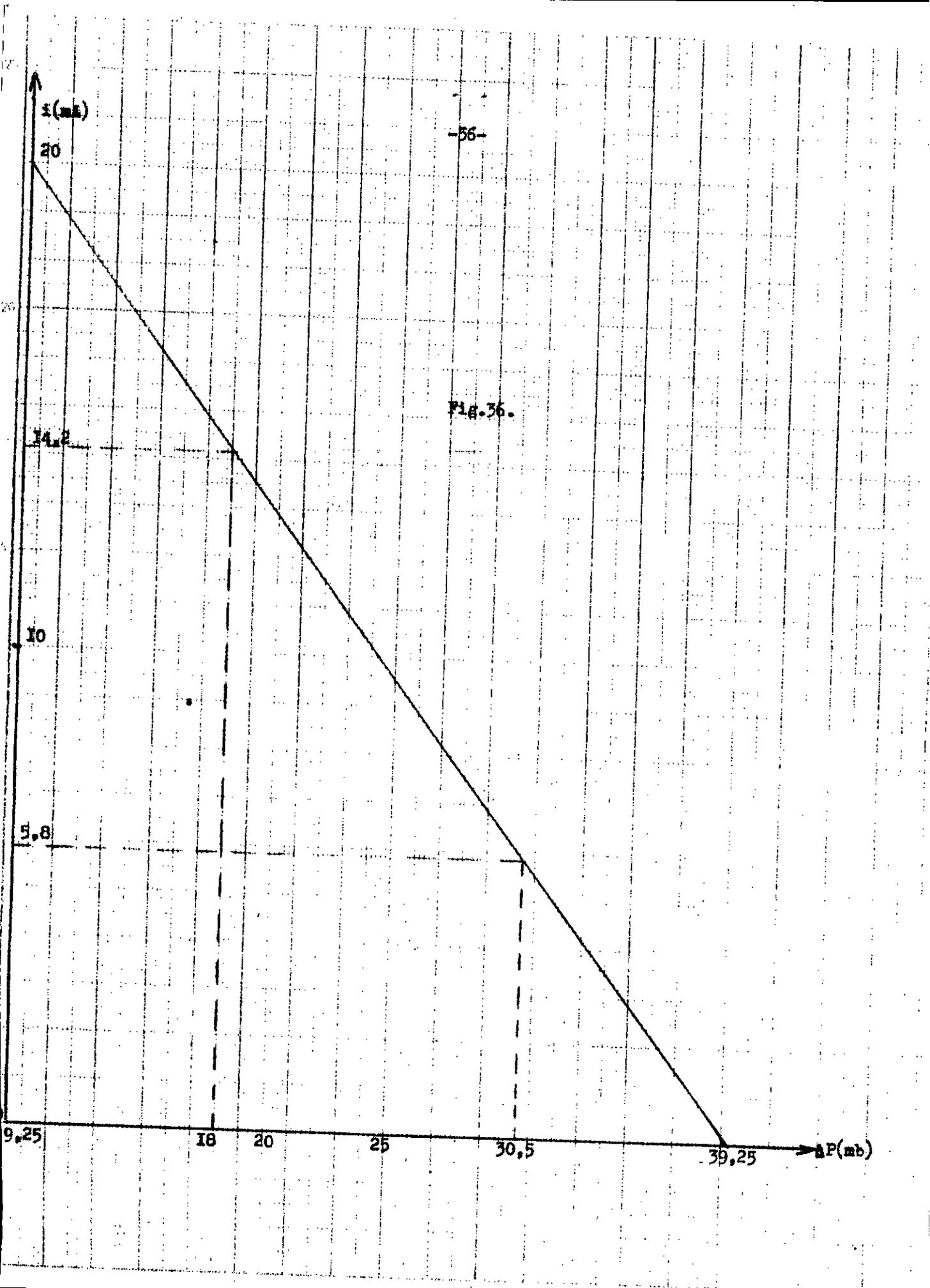
Compte fait de toutes les exigences désirées, nous nous sommes reportés au catalogue Siemens MP-17 pour désigner notre transmetteur. Sa référence est la suivante :

7MP1104-2AA22-LAEI- avec plage de mesure allant de 9,25 à 39,25 mb

De même nous donnerons des précisions sur la signification des lettres et chiffres :

- 2 : Transmetteur à caractéristique linéaire descendante
- A : Son courant varie de 0 à 20 mA
- A2 : Connexions directes sous 220V
- 2 : Avec cadran indicateur de courant
- IA : Bonne constitution du transmetteur
- EI : T, pouvant fonctionner dans la bande 30 à 300mb

La particularité de ce transmetteur est illustrée sur la Fig.37.



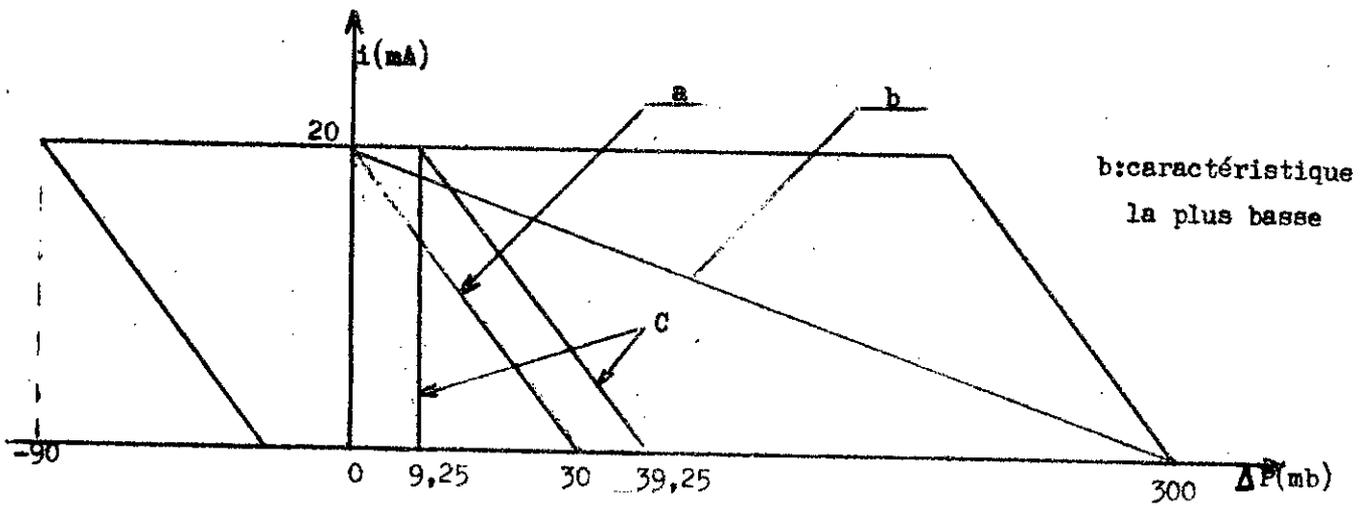
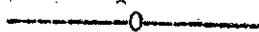


Fig.37.

Les positions limites sont obtenues par translation de la droite (a) grande pente entre les positions extrêmes de -30% de la valeur maxi c-à-d -90mb et 100% de celle-ci c-à-d 300mb.

Remarquons que notre caractéristique C est bien contenue dans cette bande.



Pour la liaison Organe déprimogène-Transmetteur nous avons adopté la solution suivante qui présente beaucoup de possibilités:

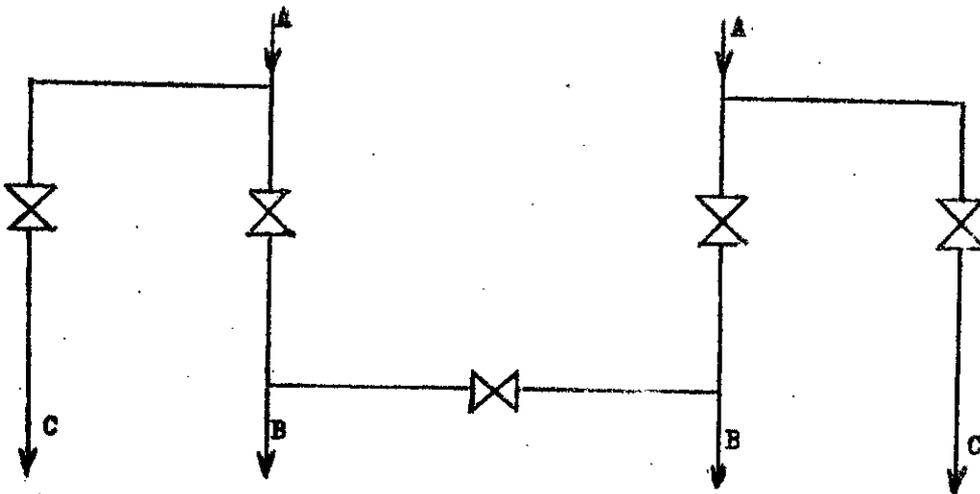


Fig.38.

- Les deux flèches A indiquent l'arrivage des deux prises de pression à partir de l'organe déprimogène.
- C pour la purge
- B vers le transmetteur
- La vanne du milieu sert de mise à zéro du transmetteur (elle égalise les 2 pressions)

Cette solution est adoptée aux deux Transmetteurs de Débit et le Transmetteur de Niveau.

Pour un choix judicieux de cet organe d'assemblage; et pour être en concordance avec les tubes Rp7 et Rp2 sur les dessins d'ensemble, nous avons pris l'élément de référence :

7MF9006-4CA

IX. REGULATEUR.

IX-I- Généralités:

Parmi toutes les possibilités offertes par Siemens, nous choisissons le TELEPERM 30 qui est destiné à des systèmes de régulation autonomes; sans nécessité d'emploi de fonction mathématique compliquée ou sophistiquée.

Dans cette série TELEPERM 30, existent deux familles: une d'indice K et l'autre S.

- K : Continu
- S : Pas à pas

Notre régulateur qui travaillera avec un servomoteur par liaison directe sera du type PAS à PAS.

Cependant cette solution est plus économique que le TELEPERM 30 K parcequ'elle évite l'utilisation d'organes supplémentaires ou positionneurs.

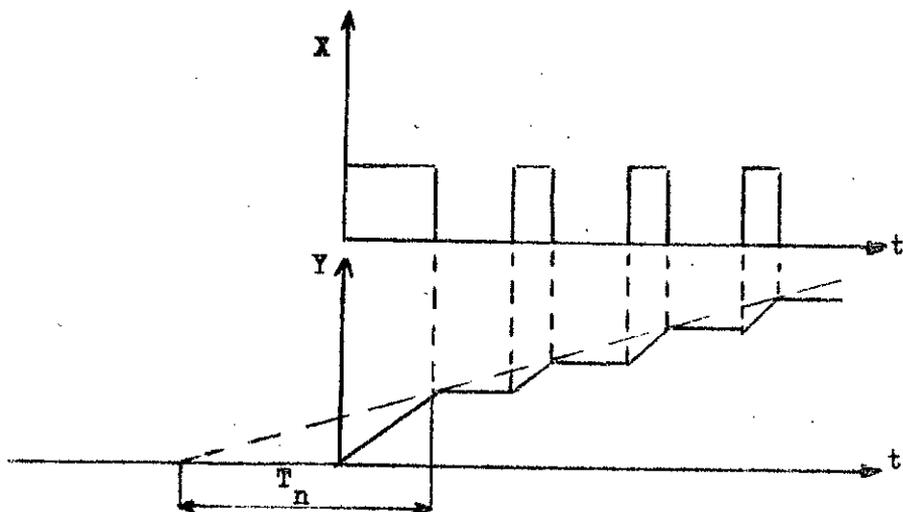
La particularité du régulateur 30 S est d'être PI, ce qui est conforme à notre choix de régulation Chap III.

IX-II- Mode de fonctionnement du régulateur pas à pas:

A la sortie du régulateur il n'y a que des impulsions de temps divers et des signaux + ou - qui provoquent le déclenchement du servomoteur suivant deux sens de rotations qui permettent d'avoir soit une élévation ou un abaissement de la Vanne.

Ainsi la caractéristique PI n'est formulée qu'après le servomoteur.

En appliquant une fonction en saut à l'entrée du régulateur, nous aurons:



X: grandeur de réglage

Y: grandeur de positionnement
(moteur)

Fig.39.

Au début le régulateur fait une action en saut correspondant à la fonction P; ensuite, elle est suivie de petites pentes correspondantes aux périodes de mouvement intercalées par des temps d'arrêt.

Le temps T_n correspond à un même saut si le régulateur était seulement de fonction-
-nement Intégrale.

IX-III- Description du régulateur 30 S :

Il est monté directement dans le pupitre de commande. Sa face avant présente:

- Un poussoir pour le fonctionnement manuel
- Un indicateur de positionnement du servomoteur
- Une aiguille de la valeur mesurée
- Une " " Consigne
- Un indexeur pour fixer la valeur Consigne
- Un commutateur de mode de fonctionnement (manuel ou automatique)

Les différents emplois du R 30 S:

Ils peuvent assurer plusieurs modes de travail; soit

- Régulateur à Consigne constante
- " " 3 composantes
- " " pilotage de consigne par calculateur
- " " rapport fixe
- " " en cascade (signal analogique)

Les rentrées à ces régulateurs sont de différentes manières:

- Par courant de 0 à 20mA (ou de 4 à 20mA aux USA)
- " différence de potentiel de 0 à 10V
- " " " force électromotrice d'un thermo-couple
- " " " résistance d'un thermomètre à résistance ($\approx 100\Omega$)
- " potentiomètre

Dans notre étude, les grandeurs d'entrée sont trois (m_1 , m_2 , et Δh). Elles sont transformées en signal électrique par le Transmetteur; alors notre Régulateur sera du type à trois composantes:

$$\begin{aligned} E_1 &\rightarrow \Delta h \\ E_2 &\rightarrow m_1 \\ E_3 &\rightarrow m_2 \end{aligned}$$

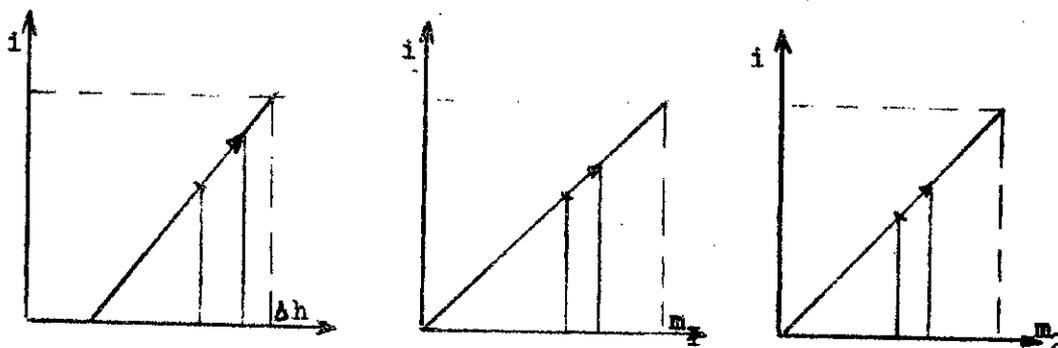
Ainsi à l'entrées du régulateur, se trouve un convertisseur destiné à transformer ces trois signaux en Un seul qui sera comparé à la valeur Consigne.

Ceci est établi d'après la formule:

$$X = E_I + 3b (E_2 - E_3)$$

avec 0 b I

Pour expliquer le sens physique de cette formule, nous faisons appel aux réponses des Transmetteurs T_I , T_2 , T_3 (Chap III.) après une croissance électrique:



Transmetteur:

$T_3 \searrow$ (fermeture) Fig.40.

$T_I \searrow$ (fermeture)

$T_2 \nearrow$ (ouverture)

- Pour le T_3 : Cette augmentation de i est causée par une augmentation de h , qui doit entraîner une fermeture de Vanne.
- " " T_I : Cette \nearrow de i est causée par \nearrow de débit m_I , pour rétablir l'équilibre le R doit fermer la Vanne.
- " " T_2 : Cette \searrow de i est causée par \searrow de débit vapeur, qui au contraire ordonne une ouverture de la Vanne pour compenser le niveau.

La disposition des termes dans l'équation n'est pas quelconque. Ce qui est entre parenthèses est destiné aux débits.

Nous remarquons que dans l'équation, deux termes sont de même signe E_I et E_2 . Donc logiquement ils correspondront respectivement au niveau h et au débit m_I

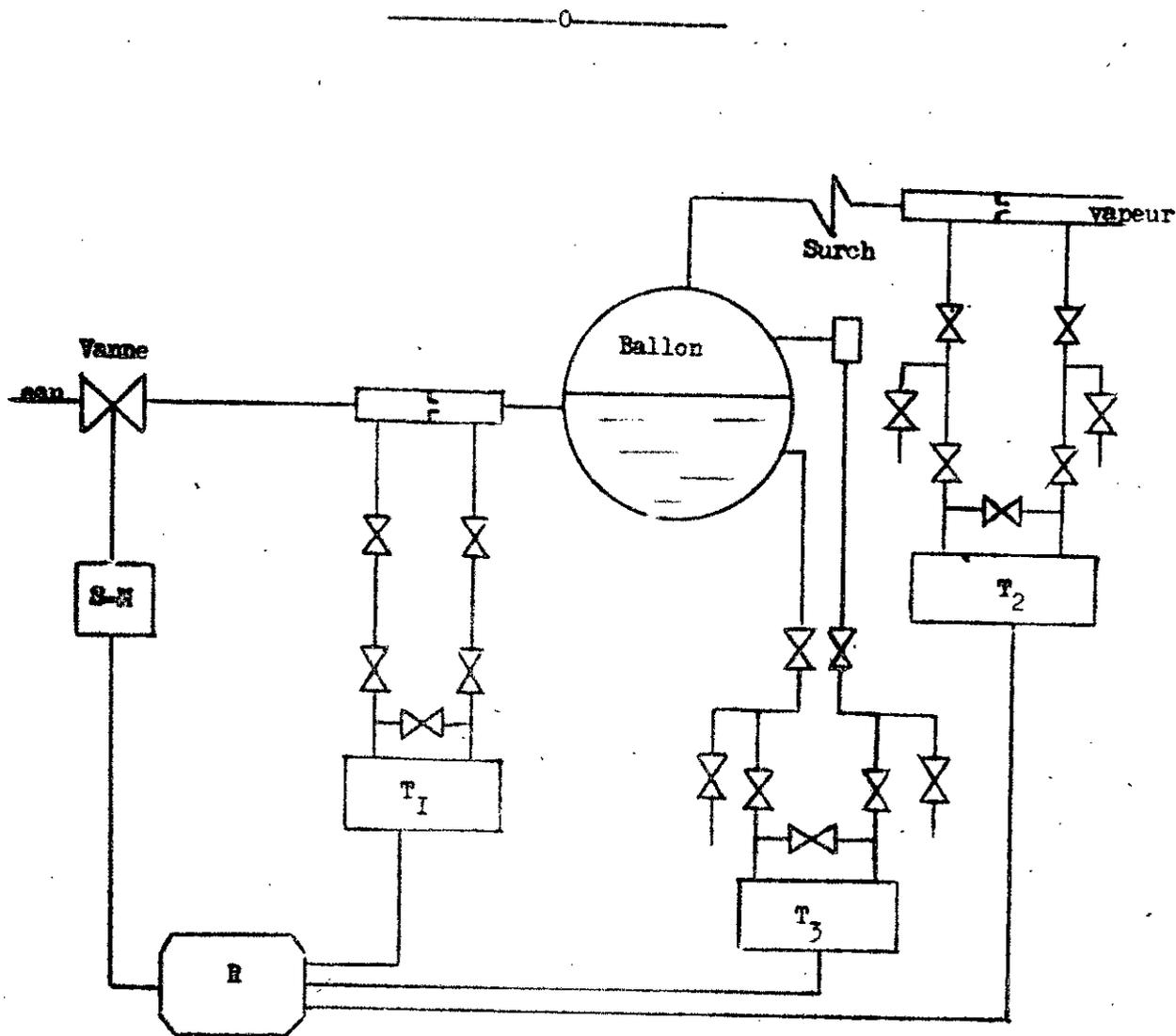
Remarque:

Le rapport $\frac{a_I}{a_3}$ Chap III. peut être modifié à l'aide d'un potentiomètre

donnant la variation de b dans le régulateur.

Le régulateur pouvant accomplir toutes ces exigences a les références suivantes chez Siemens:

Régulateur pas à pas TELEPERM 30 S Ref: M74913-B1100-EI20



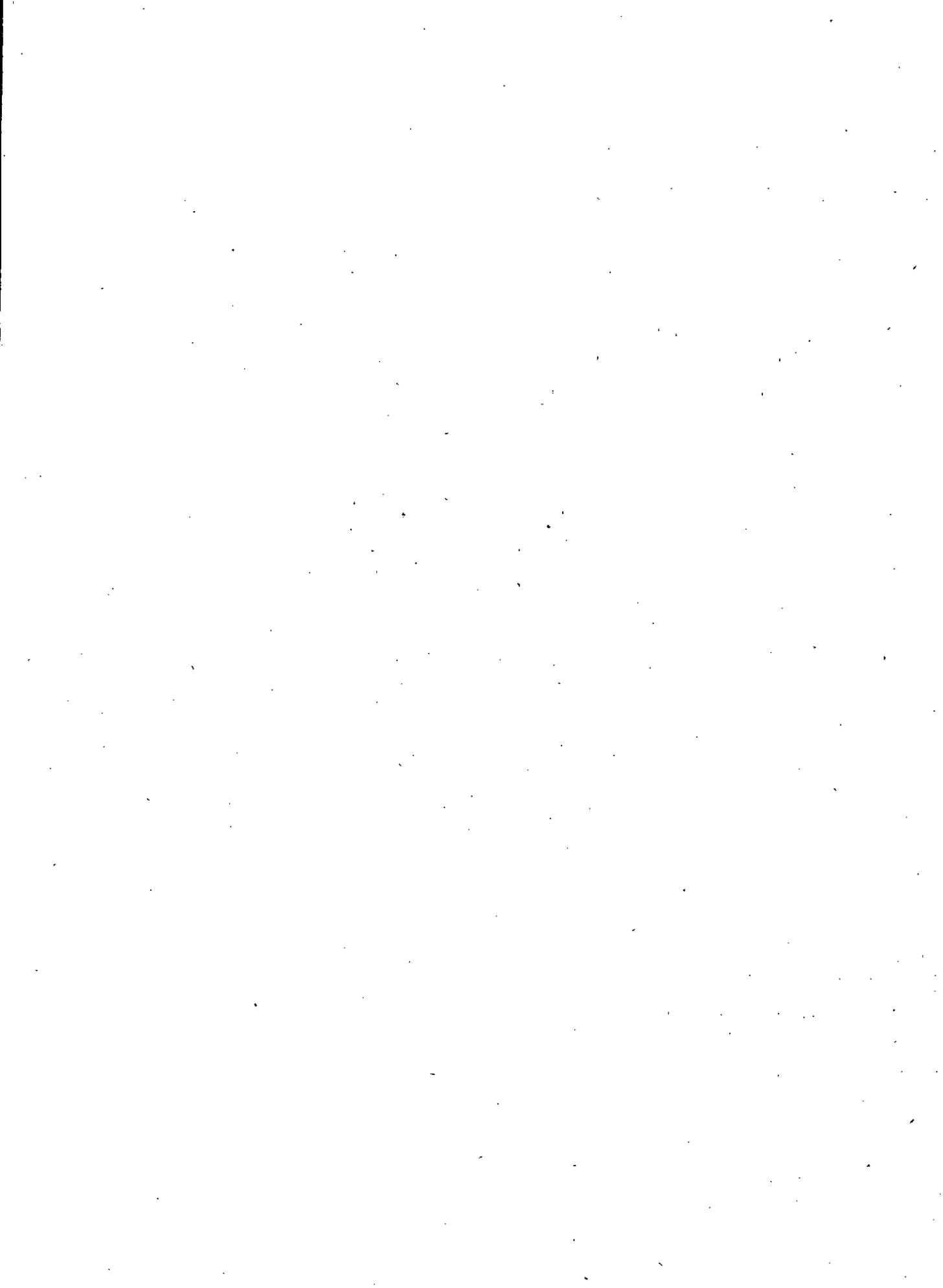
SCHEMA DE L'INSTALLATION

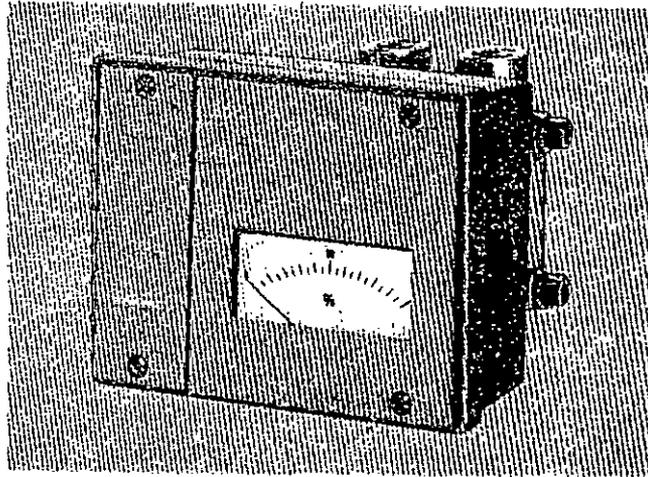
X. CONCLUSION.

Le travail accompli au cours de cette étude a été fort intéressant pour moi ceci par l'aide du Docteur Ingénieur Mr A.WERNER qui m'a appris le passage, de toute la théorie acquise pendant ma scolarité, à la pratique de la recherche.

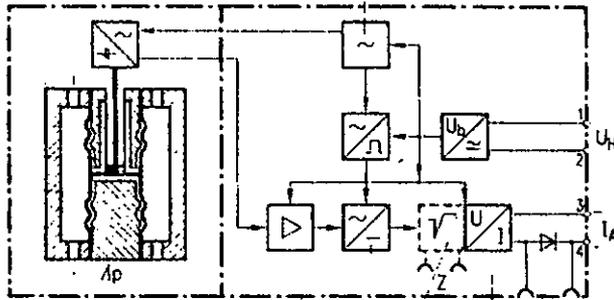
Je souhaite que dans l'avenir, il y aurait des étudiants intéressés par la régulation industrielle auxquels je propose le sujet suivant qui peut être accompli que par un groupe, vu l'importance de son volume:

Comme nous l'avons signalé au Chap II-3-3-2 , Fig.I3 qu'une chaudière est un système multivariable. Alors, je pense que la résolution d'un tel système ferait l'objet d'une étude bien constructive.

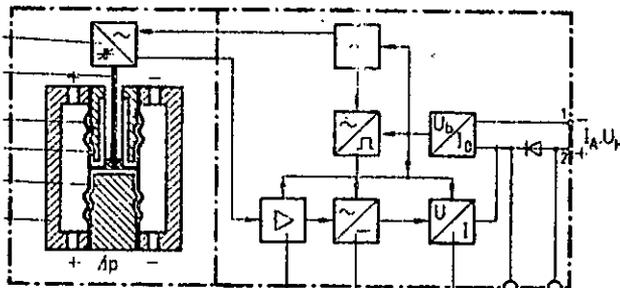




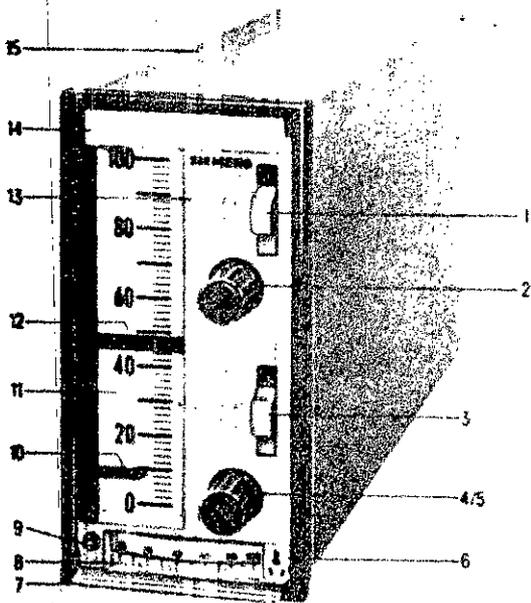
TRANSMETTEUR



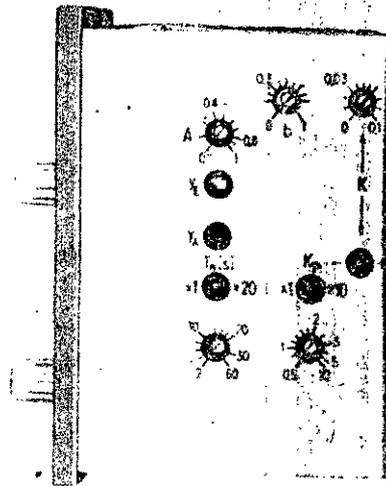
SCHEMA FONCTIONNEL DU TRANSMETTEUR
DE DEBIT (Extraction de racine)



SCHEMA FONCTIONNEL DU TRANSMETTEUR
DE NIVEAU



- 1 Commutateur de grandeur pilote
- 2 Indexeur de consigne (vert)
- 3 Commutateur de mode de fonctionnement
- 4 Poussoir rotatif (noir) pour fonctionnement manuel (régulateur pas à pas)
- 5 Indexeur de courant de réglage manuel (noir) (régulateur continu)
- 6 Symbole de vanne
- 7 Languette d'extraction
- 8 Indicateur de position
- 9 Bouton-poussoir d'équilibrage (régulateur continu)
- 10 Aiguille de mesure (rouge)
- 11 Echelle
- 12 Aiguille de consigne (verte)
- 13 Plaque frontale
- 14 Plaque signalétique des points de mesure
- 15 Boîtier

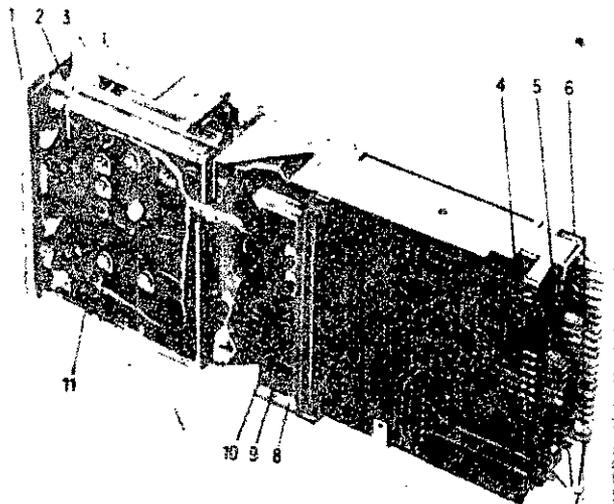


Régulateur pas à pas TELEPERM 30 S

- K_p Potentiomètre et commutateur pour le coefficient d'action proportionnelle
- T_i Potentiomètre et commutateur pour le temps d'action intégrale
- T_d Potentiomètre et commutateur pour le temps d'action dérivée
- A Potentiomètre pour le seuil de sensibilité
- K Potentiomètre et commutateur pour l'influence de l'asservissement

REGULATEUR TELEPERM 30 S
réglage des paramètres

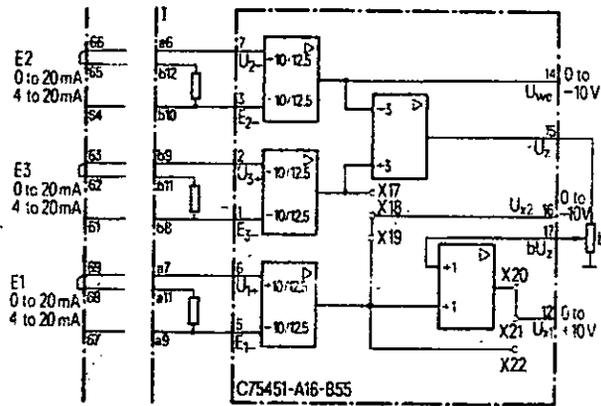
REGULATEUR TELEPERM 30 S



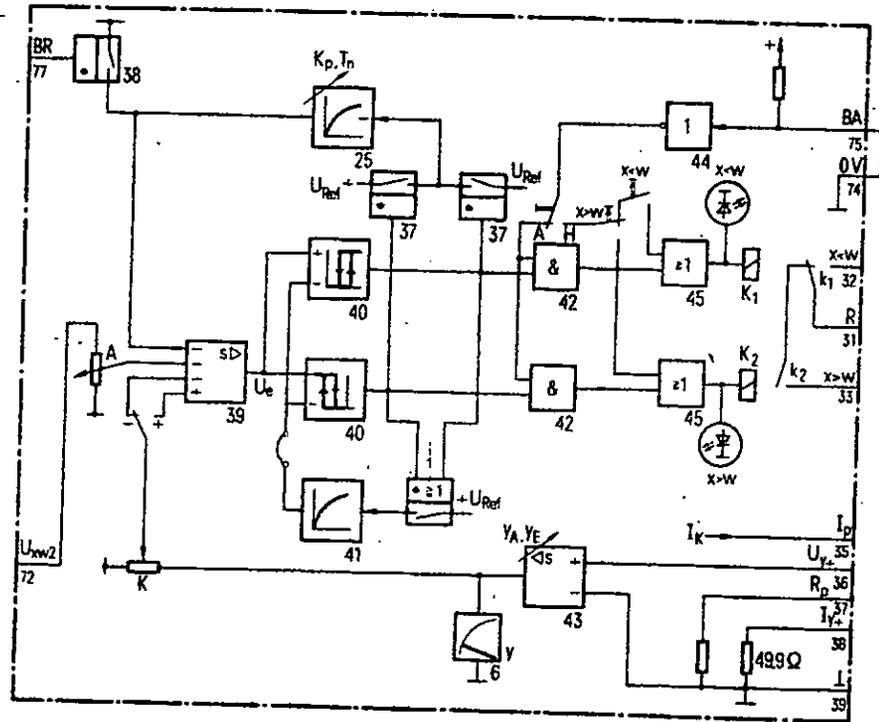
- 1 Plaque frontale
- 2 Tournillon de fixation pour la plaque frontale
- 3 Cadran
- 4 Carte d'adaptation secteur
- 5 Etage de sortie
- 6 Circuit imprimé de base
- 7 Broches Faston
- 8 Etrier de fixation
- 9 Carte convertisseur de signaux
- 10 Carte d'adaptation W
- 11 Indexeur de paramètres

REGULATEUR TELEPERM 30 S, constitution

SCHEMA FONCTIONNEL DU REGULATEUR TELEPERM 30 S



Convertisseur de signaux



Partie régulateur

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

--O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O--

- I) La régulation dans les centrales thermiques, Cocteur Ing Günter Klefenz;
Editions Eyrolles 1974.
- II) Technique de la régulation industrielle, par Daniel Dindeleux;
Editions Eyrolles 1978
- III) Guide de la mesure et de la régulation industrielle, Ingénieur automaticien
Robert Fardin; Editions Eyrolles 1969
- IV) Régulation automatique industrielle, par Professeur D.P.Eckman
Dunod, Paris 1963
- V) Equipement thermique usines génératrices d'énergie électrique, Ingénieur
J.Ricard Dunod, Paris 1962
- VI) Norme Française: X IO-IO2 homologuée. Mesure de débit des fluides au moyen
de diaphragmes, tuyères et tubes de venturi insérés dans des conduites en
charge, de section circulaire. 1980
- VII) Norme Française X IO-IO4: mesure de débit des fluides au moyen de Diaphragmes
tuyère et tubes de Venturi. 1974
- VIII) Norme Française enregistrée A 49-330: Tubes en acier , tubes sans soudure
étirés à froid pour circuits hydrauliques et pneumatiques, dimensions. 1976
- IX) Norme Française A 49-213. Tubes en acier . 1979
- X) Thermodynamique tables in SI (metric) Units. R.W Haywood second edition USA.
- XI) Catalogue Siemens MP 34 Pneumatische und hydraulische stellentriebe, stellventile
und stellklappen. 1976
- XII) Catalogue Siemens MP 35 Servomoteurs électriques . 1977
- XIII) Catalogue Siemens MP I7 Messumformer, drckanzeiger und drosselgeräte. 1981
- XIV) Calalogue Siemens MP 3I Teleperm and soloperm electric contollers for process
engineering. 1980.
- XV) Comportement dynamique de processus industiel. Traduit du polonais
D.P.Campbell.

