

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

6/84

Departement d'electrotechnique

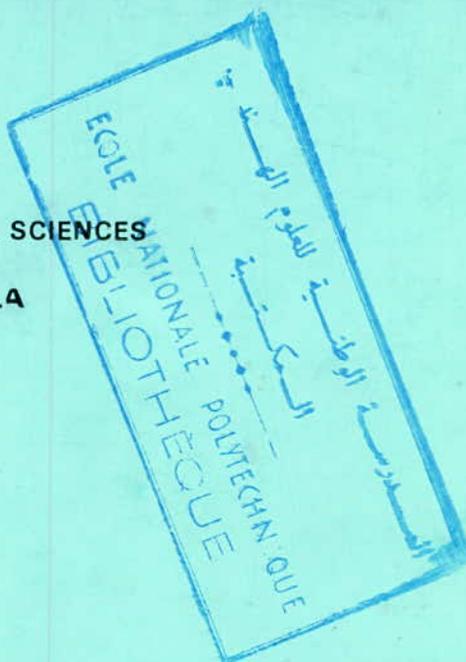
Filiere D'Ingenieur en electrotechnique

THESE DE FIN D'ETUDES

**CONCEPTION DU LABORATOIRE
DES SYSTEMES DE COMMANDE
DANS LE DOMAINE DE L'ENERGIE
SOLAIRE**

PROPOSÉ PAR : Z. BARSKI Dr es. SCIENCES

ETUDIÉ PAR : Younes BOUMAKHLA



PROMOTION JANVIER 84

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Departement d'electrotechnique

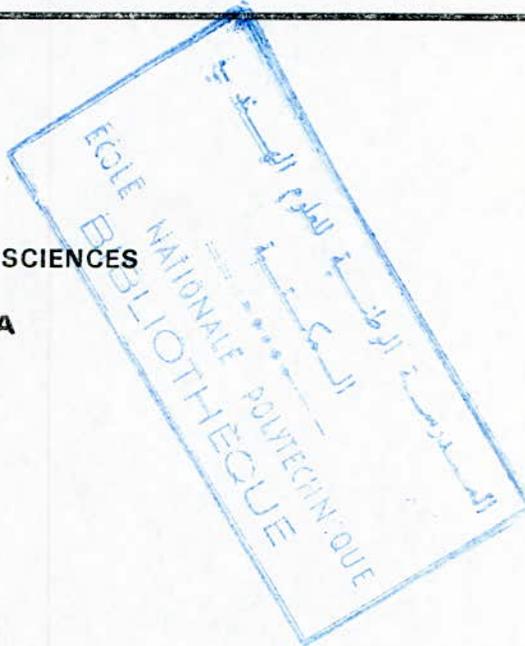
Filiere D'Ingenieur en electrotechnique

THESE DE FIN D'ETUDES

**CONCEPTION DU LABORATOIRE
DES SYSTEMES DE COMMANDE
DANS LE DOMAINE DE L'ENERGIE
SOLAIRE**

PROPOSÉ PAR : Z. BARSKI Dr es. SCIENCES

ETUDIÉ PAR : Younes BOUMAKHLA



PROMOTION JANVIER 84

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Mr.Z.BARSKI, mon promoteur, pour m'avoir aidé et corrigé dans l'élaboration de ce mémoire. Mes remerciements s'adressent également au C.E.M Le Lido pour le tirage de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

	Page
Introduction ;	1
Chapitre I : Exemples de systemes de commande en energie solaire	
I.1:Regulation de temperature	2
I.1.1:Regulation par l'air de melange	2
1.2:Regulation par compensation de temperature ambiante	
I.2:Regulation d'humidité	2
2.1:Regulation par point de rosée	
2.2:Regulation directe	
I.3:Systeme de poursuite automatique	4
I.4:Chauffage solaire	7
I.5:Electropompe solaire	10
I.6:Divers procedé de stockage	10
Chapitre II:Methodes d'analyse des propriétés statiques et dynamiques d'un processus	12
-1: Methode de simulation	12
-2:Methodes non parametriques ;	13
-3:Methodes parametriques	13
-4:Methodes iteratives	15
-5: Methode frequentielle	15
Chapitre III:Poste pour l'etude des modeles physiques des processus thermiques :	18
III:1.Introduction	
III:2.But du poste	18
III:3.Description du poste	18
III:4.Methde de recherche	19
4.1.Caracteristique statique	
4.2.Caracteristique dynamique	
III. 5.Schemas du poste	20
Chapitre IV:Poste pour l'etude des capteurs	25
IV.1:Different types de capteurs	
IV.2:But du poste	29
IV.3:Description du poste	29
IV.4: Methode de recherche	29

Chapitre V: Poste pour l'etude des photopiles solaires . . .	35
V.1: Principe de la conversion photovoltaïque	36
V.2: Caracteristiques d'une photopile	36
V.3: But du poste	37
V.4: Description du poste	37
V.5: Methode d'etude des photopiles	37
Chapitre VI: Poste pour l'etude des regulateurs	42
VI.1: Differents types de regulateurs	42
VI.2: But du poste	46
VI.3: Description du poste	46
VI.4: Methode d'etude des regulateurs	48
4.1: Regulateurs pneumatiques	48
4.2: Regulateurs electroniques	52
Chapitre VII: Poste pour l'etude des servomoteurs	54
VII.1: Differents types de servomoteurs	54
VII.2: Methode d'etude des servomoteurs	58
2.1: Determination des proprietés statiques et dynamiques	58
2.2: Etude de fiabilité et durée de vie	59
2.3: Essai aux vibrations	61
2.4: Essai aux poussières	63
2.5: Essai aux conditions atmospheriques severes	63
Chapitre VIII: Poste pour l'etude des vannes de controle	64
VIII.1: Classification des vannes de controle	64
VIII.2: But du poste	65
VIII.3: Description du poste	65
VIII.4: Methode d'etude des vannes	67
Conclusion	69
Bibliographie	70

L'objet de la présente étude entre dans le cadre du renforcement des programmes d'utilisation de l'énergie solaire et l'accélération des études et des réalisations dans le domaine.

L'énergie solaire est une forme d'énergie dont les frais d'utilisation sont les plus réduits ; elle est non polluante gratuite et sans bruit.

Dans notre pays spécialement , les études doivent être accélérées d'avantage , si l'on sait que la majeure partie du territoire se prête très facilement à l'exploitation de l'énergie solaire; dont les ressources sont inépuisables .

Le but de notre projet est de réaliser quelques bancs d'essais pour l'analyse des propriétés et des qualités des éléments entrant dans les systèmes de commande dans le domaine de l'énergie solaire .

L'étude pratique et théorique de chaque essai est jointe avec les schémas nécessaires .

Dans ce chapitre nous exposons quelques systemes de regulations (vu la diversité indénombrable de ces derniers) pouvant être rencontrés dans le domaine de l'énergie solaire (production ou recherche) et de mettre en évidence les éléments entrants dans les boucles de regulations de ces systemes.

I-1: REGULATION DE TEMPERATURE:

1-1: Regulation par l'air de mélange:

Il s'agit de maintenir constante la température dans les salles, à une valeur dite de consigne.

L'air conditionné est issu d'une centrale de climatisation; la boucle de regulation contient un capteur, un regulateur, un servomoteur et une vanne de contrôle. On utilise l'air de mélange contenant de l'air frais et l'air ~~de~~ recyclé. FIG I-1

I-1-2: Regulation par compensation de température ambiante

Le schéma bloc est donné sur la FIGURE I-2.

Pour des raisons économiques et techniques les regulateurs R_1 et R_2 sont couplés pour éviter le fonctionnement en opposition. S'il y'a un chauffage de base dans le local il peut se produire un ~~travail~~ le cas où les boucles de regulations s'influencent l'une sur l'autre, et éventuellement en rafraichissant il peut se produire un travail en opposition.

I-2 .REGULATION D'HUMIDITE

2-1 ; Regulation par point de rosée:

La température derrière l'humidificateur est maintenue constante; l'humidité relative de l'air est définie par sa température dans ce cas, l'humidité dans le local est maintenue constante au moyen d'un seul regulateur de température. FIG I-3

Si par exemple $W_r = 50\%$, et si on desire une température de 20°C .

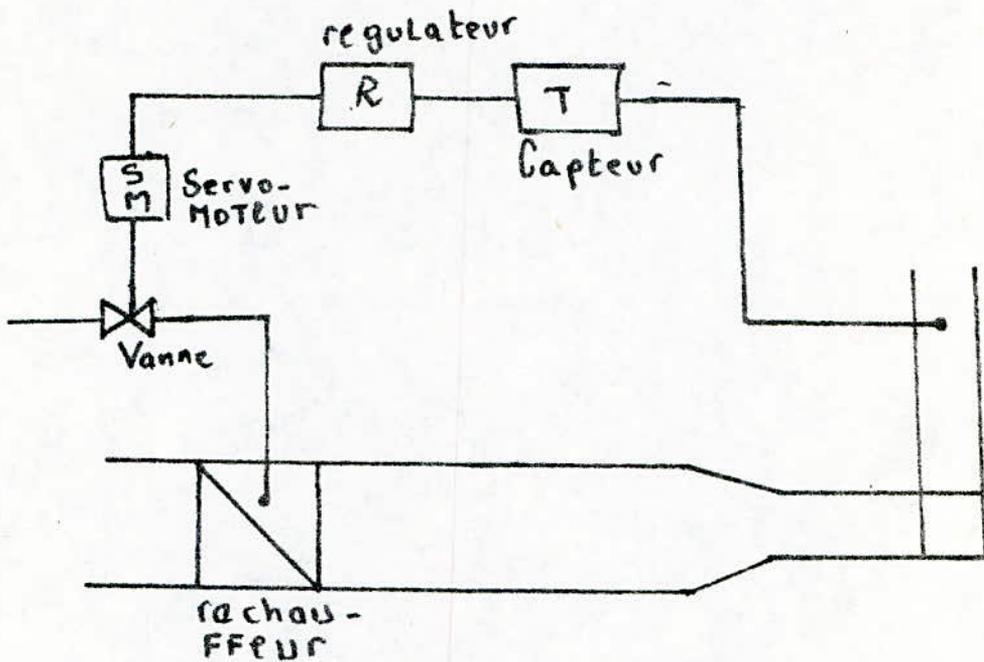


FIG: I-1 : regulation de temperature par l'air de melange.

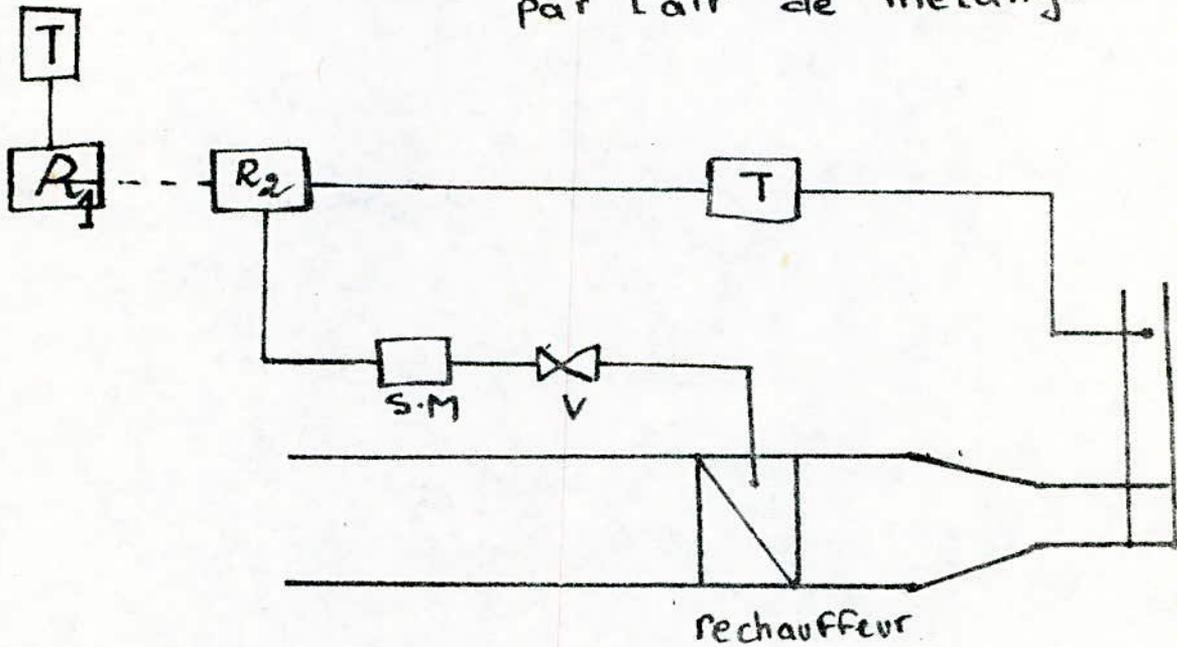


FIG: I-2
regulation de temperature par Compensation.

Du diagramme (H; S) on en deduit $T = 9,5^{\circ} C$. Ainsi nous devons regler le point de rosée à $9,5^{\circ} C$.

Si la temperature est plus grande que $9,5^{\circ} C$ une sonde de temperature actionne le regulateur qui agit sur le servomoteur de la vanne de contrôle de refroidissement .

I-2-2 : Regulation directe /

Un hygrometre placé dans le local ; si l'humidité depasse la valeur de consigne , la vanne du rechauffeur de la centrale de climatisation s'ouvre et l'humidité diminue . Il faut aussi fermer la vanne du laveur , car l'action d'ouverture du rechauffeur n'est pas suffisante . Si l'humidité diminue le servomoteur ferme la vanne du rechauffeur ; de même si l'action n'est pas suffisante la vanne du laveur s'ouvre .

I-3 SYSTEME DE POURSUITE D'UNE SOUSE DE LUMIERE

Le schema synoptique du systeme est donné sur la figure I-4 Pour obtenir un rendement optimum dans une centrale solaire , il faut que le capteur soit tout le temps perpendiculaire aux rayons solaires ; d'où la necessité d'une orientation automatique des panneaux photovoltaïques ou les concentrateurs solaires . Pour cela on procede actuellement de deux manieres pour capter la position du soleil .

A) On mesure le temps réel de la position du soleil à l'aide de capteurs optoelectroniques ; qui est un element photosensible (photoresistance , photodiode ou phototransistor) .

Le capteur est monté de facon à fournir une tension nulle quand l'orientation est optimale , et une tension positive ou negative proportionnelle à la deviation , en cas de non coincidence .

Le capteur est solidaire du panneau . On utilise quatre cellules photosensibles placées de part et d'autre d'une croix au foyer FIG I6 Les cellules fonctionnent deux à deux de facon à generer deux signaux differents commandant les servomoteurs d'orientation du panneau en site et en azimute .

FIG I-3 :

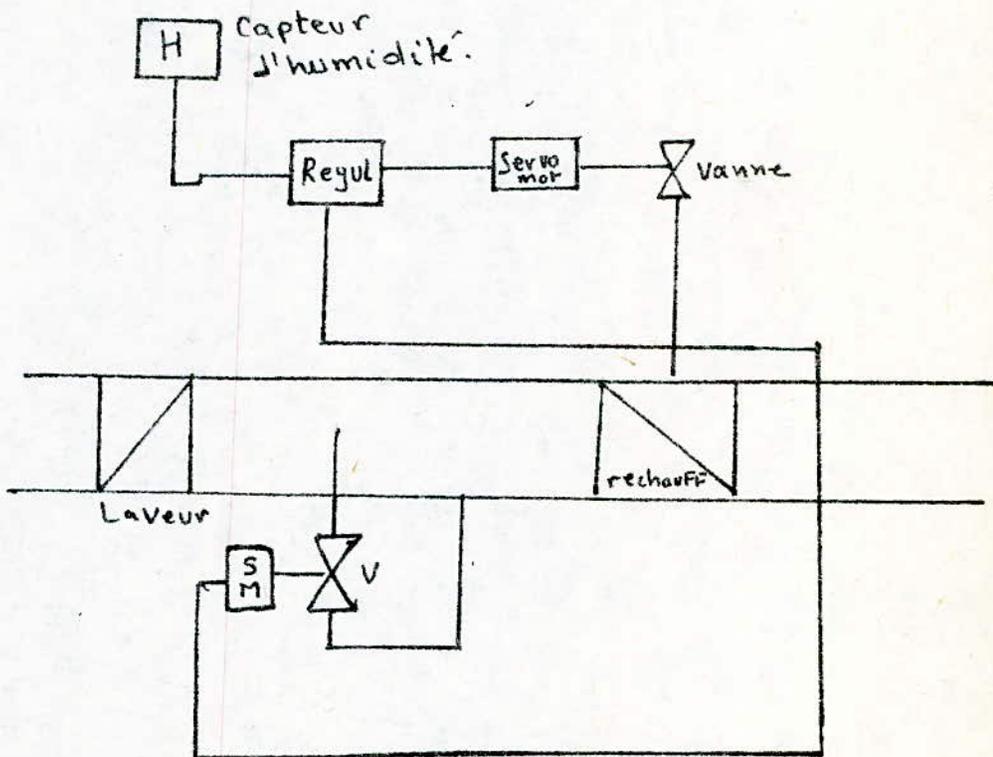
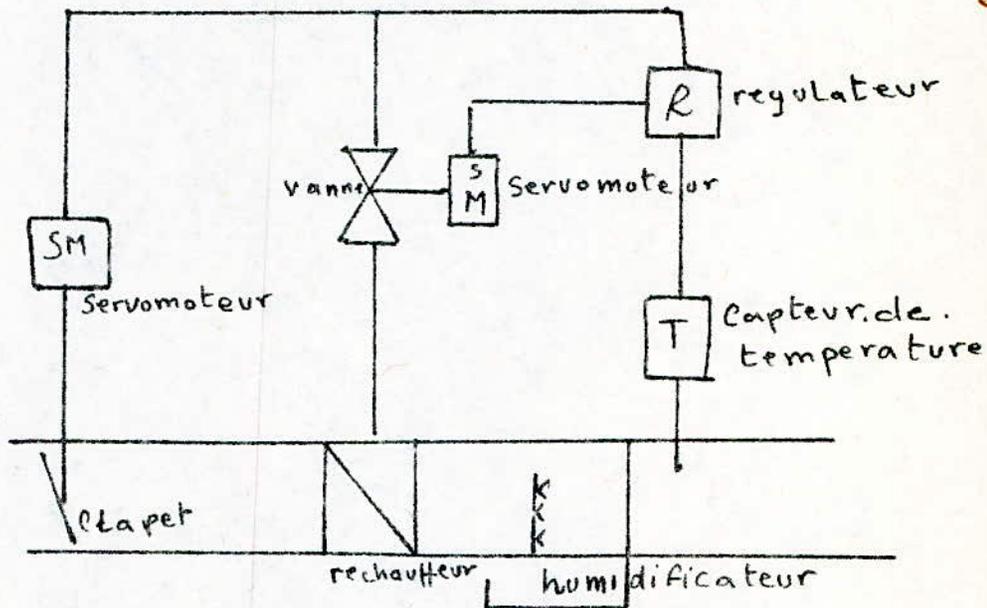


FIG I-4 :

6

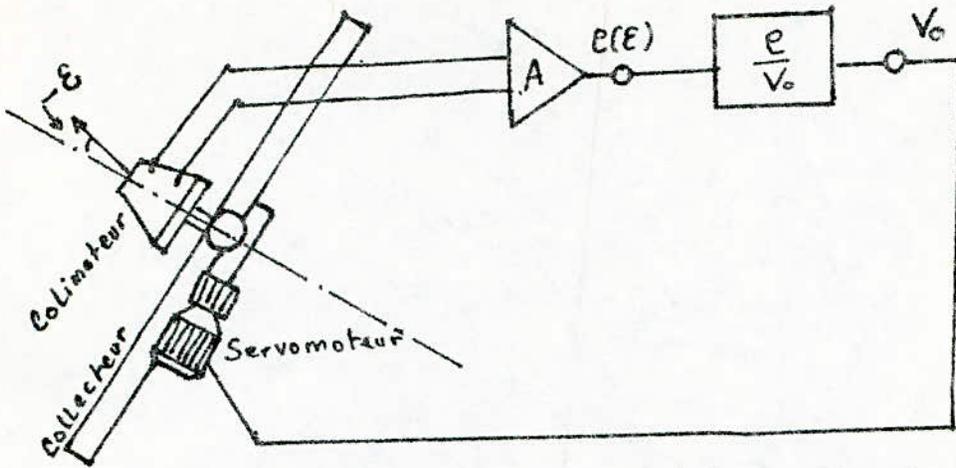
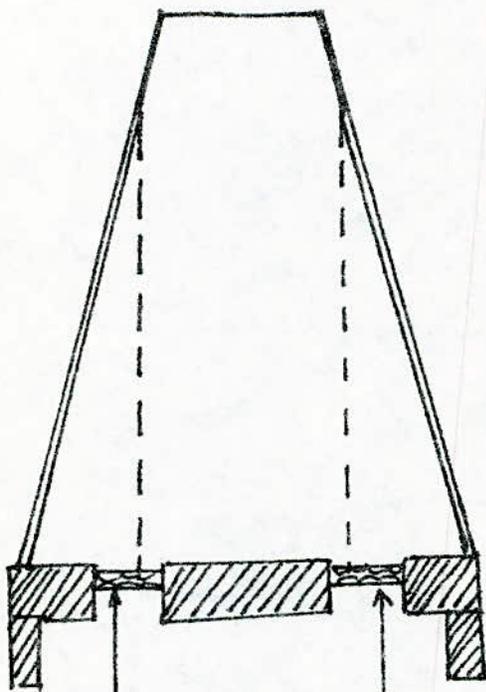


FIG I.5. Schema bloc du systeme de poursuite

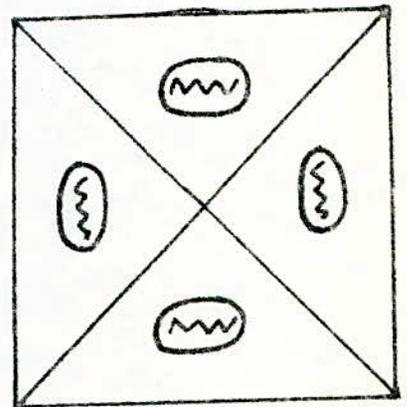
FIG I-6 : Disposition des photoresistances

(a)



Coupe Verticale

(b)



Coupe transversale.

Photoresistances

Si le système perd sa trajectoire, deux cellules extérieures donnent une trajectoire approximative.

Le schéma du circuit électronique (FIG I-7) comprend un détecteur de zéro, un comparateur et un amplificateur de puissance agissant sur les relais qui commandent les quatre mouvements du capteur solaire (gauche, droite, montée, descente).

B) Le deuxième procédé d'orientation automatique des capteurs solaires consiste à calculer les coordonnées du déplacement du soleil à l'aide d'un mini-calculateur; ceci en utilisant les équations donnant le lien entre les coordonnées altazimutales et les coordonnées équatoriales.

Ces équations en coordonnées sphériques s'écrivent:

$$H = \text{Arcsin}(\sin d \cdot \cos L + \cos d \cdot \cos L \cdot \cos AH)$$

$$Z = \text{Arccos}\left(\frac{\sin d - \sin L \cdot \sin H}{\cos L \cdot \cos H} \right)$$

H : hauteur du soleil

Z : azimute

L : latitude

d ; déclinaison

AH: angle horaire

I-4 : CHAUFFAGE SOLAIRE

Il existe les systèmes de chauffage solaire dans lesquels le fluide chauffant (caloporteur) dans le lieu d'utilisation est l'eau. Ceux qui utilisent de l'air (paroi chauffée par transfert de chaleur à partir de l'eau chaude)

Le chauffage solaire par l'eau (FIG I-8) comporte généralement deux circuits. Le premier comprenant les isolateurs et un échangeur.

Le second circuit comprend un dispositif de stockage de chaleur (réservoir d'eau chaude en général) ; assurant à partir de ce dernier la distribution de chaleur par radiateurs de convecteurs ou dalles chauffantes. Le chauffage par dalles est admissible si la température de la surface du plancher ne dépasse pas 26°C.

8

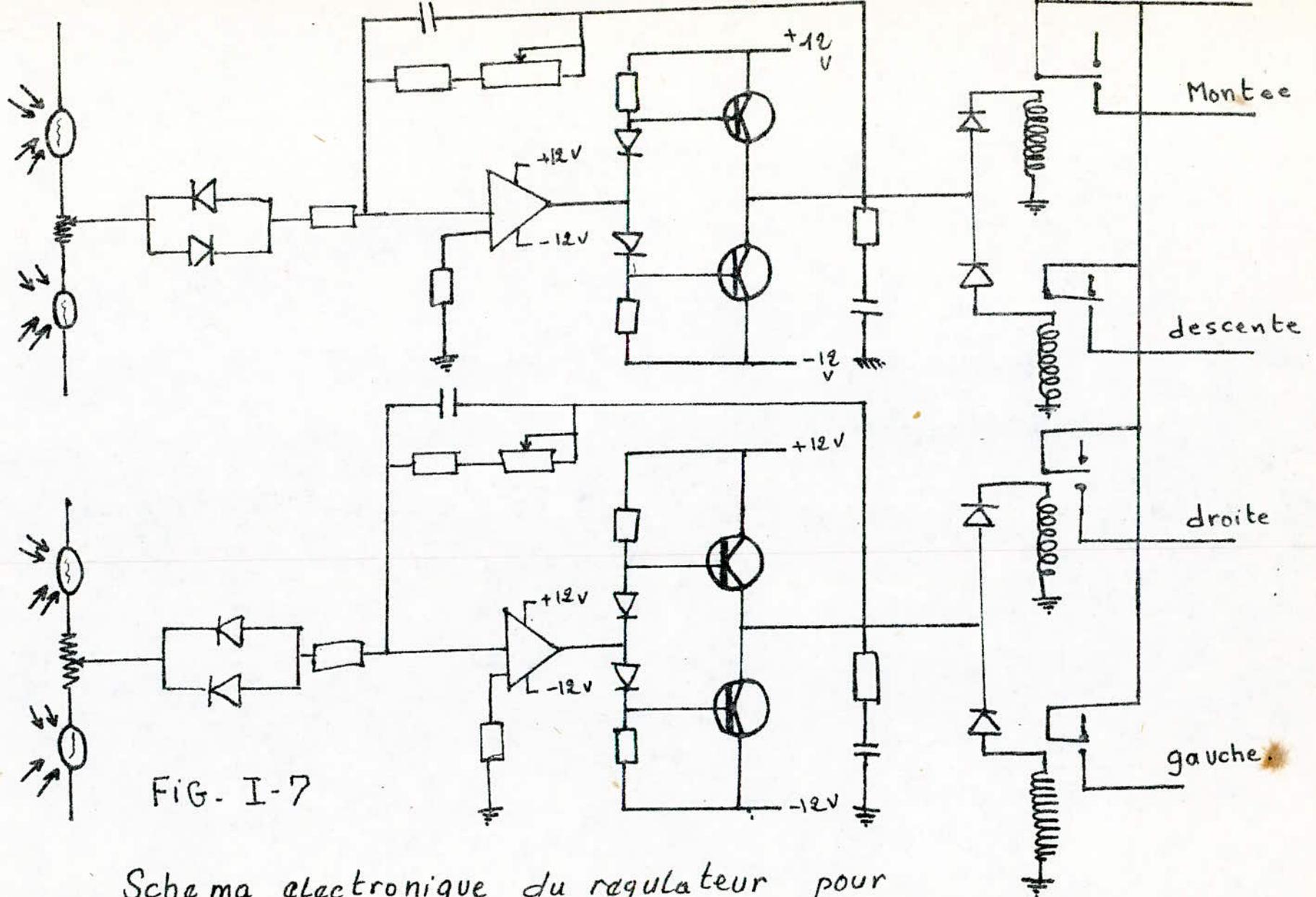


FIG. I-7

Schema electronique du regulateur pour l'orientation automatique d'un capteur solaire.

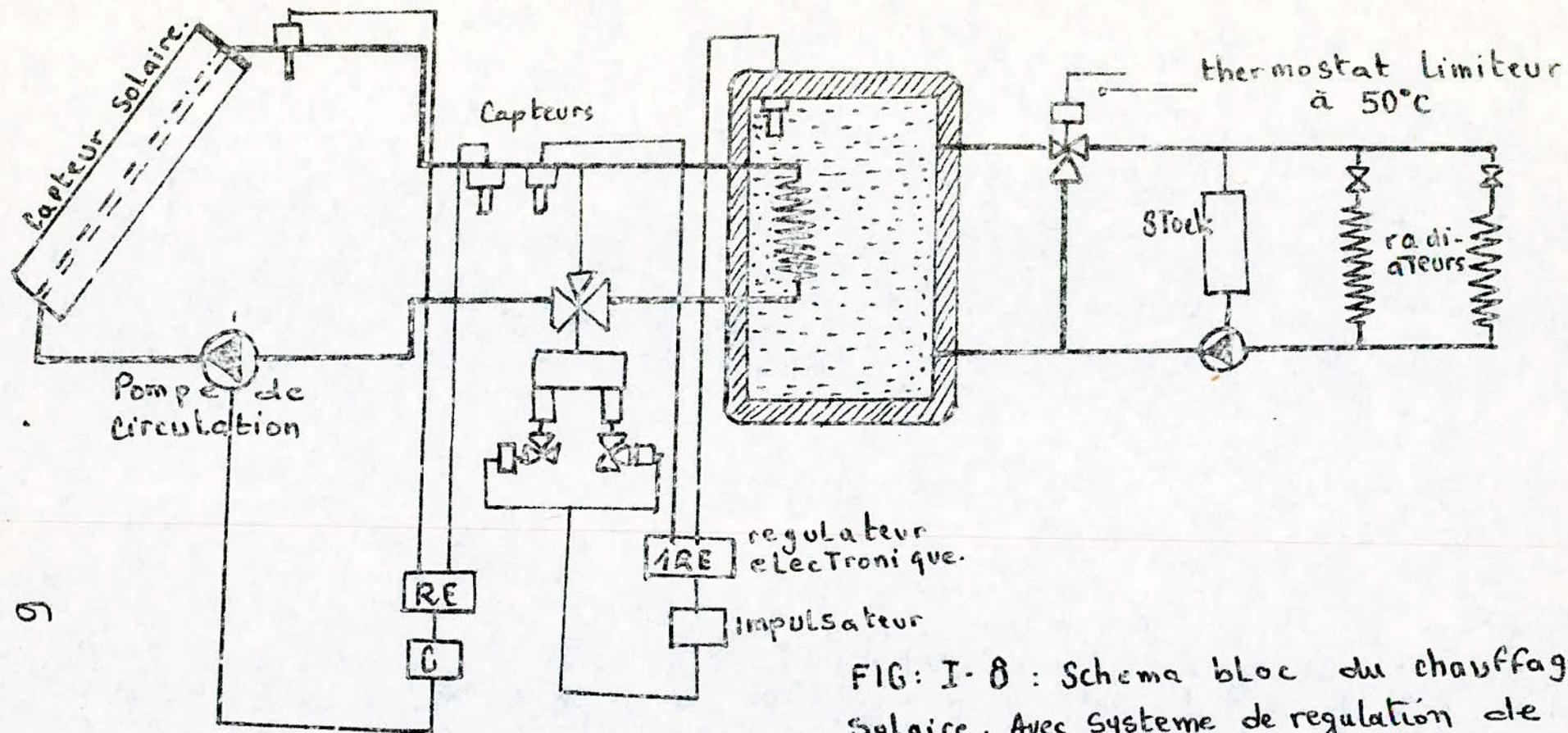


FIG: I-8 : Schema bloc du chauffage solaire; Avec systeme de regulation de temperature du circuit primaire.

10
I.5. ELECTROPOMPE SOLAIRE

Le schéma synoptique est donné sur la figure I-9. La puissance délivrée par la photopile est absorbée par un moteur à courant continu qui entraîne une pompe. Le système est muni de régulateurs pour régler le couplage charge-batteries de stockage ; une diode est placée à la sortie de la photopile de façon à s'opposer au courant de la batterie d'accumulateurs pour l'empêcher de s'introduire dans la photopile.

I.6. DIVERS PROCÉDES DE STOCKAGE DE L'ENERGIE SOLAIRE.

I-6.1 : Stockage par batteries:

Ce genre de stockage concerne la production par piles photovoltaïques, il est très coûteux du fait que les batteries doivent être changées au bout d'une certaine période.

I-6.2 : Stockage thermique

Cette méthode concerne les concentrateurs solaires ; on réalise un réservoir calorifugé contenant un fluide, ou bien dans des massifs de maçonnerie ; de pierres ou dans des sous sols.

I-6.3. Stockage hydraulique:

C'est la méthode la plus intéressante; consiste à conserver un fluide sous une température donnée pendant une certaine période. Le procédé diffère selon la durée du stockage.

Pour un stockage à faible durée (une heure ou quelques jours) on stocke l'eau chaude (ou autre fluide) dans un réservoir. Actuellement on parle de plus en plus de stockage sous forme d'hydrures métalliques. Si on fait réagir de l'hydrogène en présence d'un métal il se forme un hydrure avec dégagement de chaleur. On obtient un composé métallique réversible contenant de l'hydrogène et le restituant quand on chauffe cet hydrure. On emploie souvent l'hydrure de magnésium ou l'hydrure à base de titane.

Le stockage inter-saisonnier est basé sur la conservation de l'eau chaude sur des périodes prolongées. L'eau est chauffée en été puis stockée en cavités enterrées (buses métalliques) ou tranches couvertes semi-enterrées. Parfois on fait un stockage hétérogène c'est à dire eau chaude-pierres.

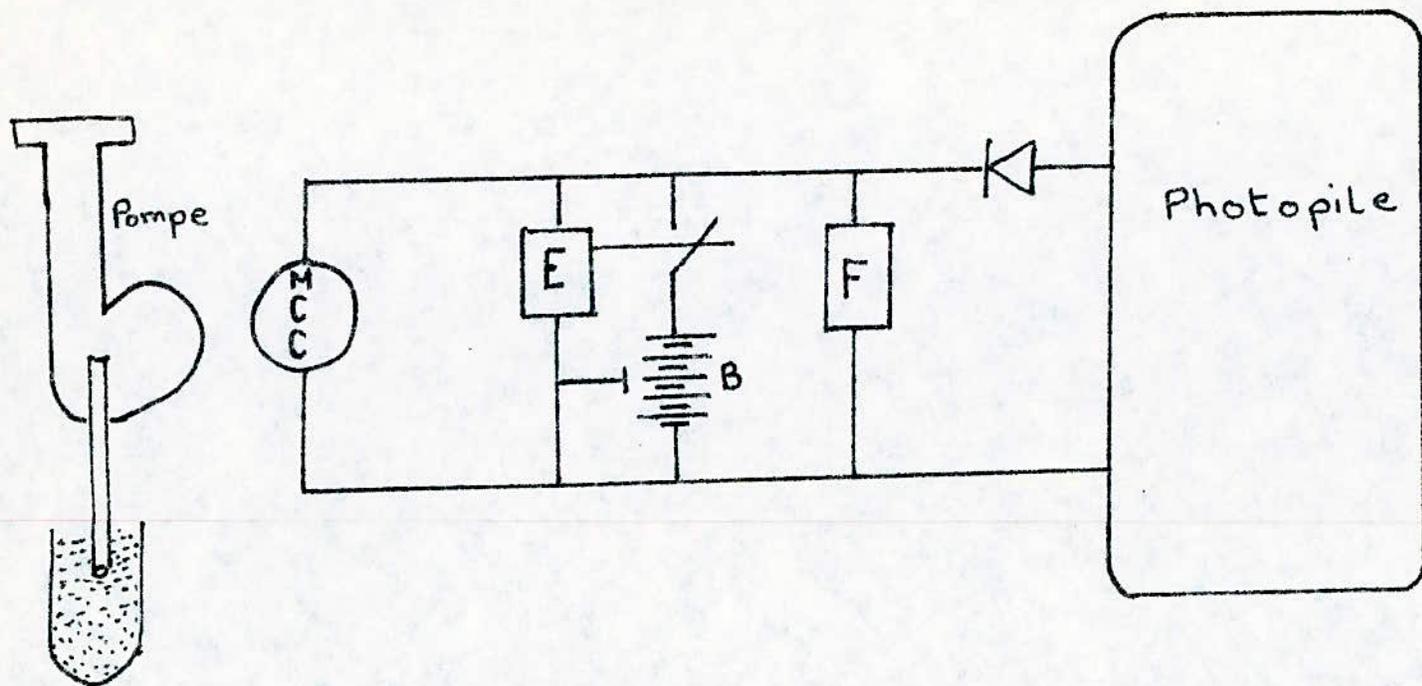


FIG: I-9 Electropompe Solaire.

E : Regulateur electronique
 F : " de charge.

11

METHODES D'ANALYSE DES PROPRIETES STATISTIQUES ET DYNAMIQUES D'UN PROCESSUS

L'analyse des paramètres dynamiques; revient à la recherche d'un modèle mathématique qui se comporte, avec suffisamment de précision, comme le système à étudier, compte tenu de son état et des actions qui le sollicitent. Dans la majorité des cas la modélisation mathématique n'est pas simple, du fait qu'elle met en jeu des équations mathématiques aux dérivées partielles, souvent très difficiles à résoudre. La forme de la fonction de transfert est choisie suivant la forme de la courbe enregistrée. Pour trouver numériquement les paramètres dynamiques qui caractérisent cette fonction, il existe plusieurs méthodes. Ces méthodes permettent d'avoir une expression qui décrit le processus. La précision de cette expression de la méthode et de la forme choisie de la courbe.

II-1. METHODE DE SIMULATION

II-1-1. SIMULATION ANALOGIQUE

Consiste à simuler ou remplacer le système par des éléments physiques qui répondent aux mêmes lois que notre système; mais de structure plus simple aisément transformable et se prêtant facilement aux mesures. Le modèle ainsi constitué est appelé **MODELE ANALOGIQUE**

II-2-2. SIMULATION DIRECTE

CONSISTE A METTRE LE SYSTEME en parallèle avec des circuits électroniques que représentent une certaine forme de transmittance, dont les paramètres sont réglables (paramètres dynamiques) FIG 14 1

On injecte le même signal (échelon) sur les deux entrées. A l'aide d'un comparateur on compare les deux sorties. Le réglage des paramètres dynamiques permet de réduire le plus que possible l'erreur existante entre les deux sorties. On dit alors que l'objet est simulé à un modèle mathématique présenté par une transmittance.

II-2. METHODES NON PARAMETRIQUES:

On determine les reponses impulsionnelles $h(t)$ en utilisant le theoreme de convolution ou les fonctions de correlation telle que la reponse

$$y(t) = \int_0^{\infty} h(u) \cdot u(t-\tau) d\tau \quad u(t-\tau) = 0 \text{ pour } t < \tau$$

En pratique cette methode n'est pas utilisee faute de sensibilite du systeme aux signaux pseudo-aleatoires tels que les S.B.P.A et les S.T.P.A (sequences binaires pseudo-aleatoires et ternaires pseudo aleatoires)

II-3. METHODES PARAMETRIQUES:

Il existe plusieurs methodes parametriques qui sont basees sur la determination des parametres du systeme apres avoir mis le modele sous une forme parametrique. L'ordre "n" du systeme peut etre superieur a un, entier ou fractionnaire. On se limite de traiter parmi toutes ces methodes parametriques, les deux methodes suivantes vue leurs simplicite et precision satisfesante.

II-3-1. METHODE DE STREJC AMELIOREE.

Pour l'identification des systemes par la methode de STREJC ameliorce on procede comme suit:.

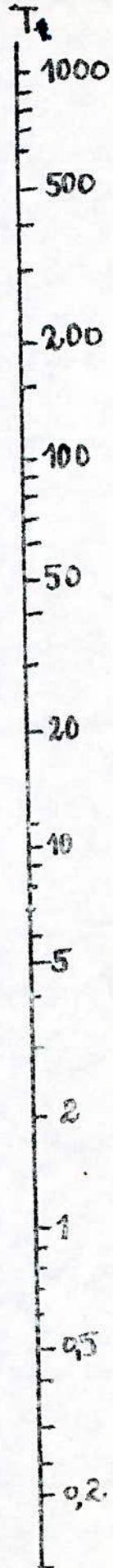
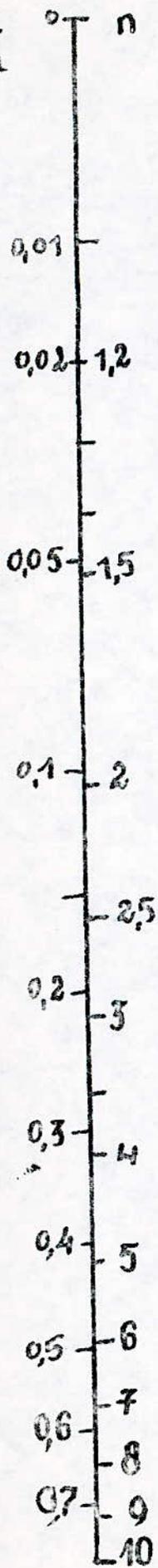
- *- On enregistre la reponse du systeme a un echelon unie. Sur l'enregistreur, on prend comme origine des temps, l'instant où l'on applique l'echelon.
 - *- On trace un trait vertical au moment qui correspond au debut d'evolution de la courbe. Entre l'origine des temps et le trait vertical, on mesure le temps mort eventuel, qu'on note " τ ".
 - *- On trace la droite tangente à la courbe au point d'inflexion (FIG II-3,0; et on note les valeurs de T_u et T_a . Il faut bien noter que T_a est mesure a partir de l'instant où la variable commence a evoluer.
 - *- on calcule le rapport $t = T_u/T_a$
 - *- L'echelle situee a gauche du monogramme (FIG II-2) donne directement la valeur de "n" (ordre du systeme), en face de celle de T_u/T_a . En traçant une droite reliant T_a et T_u/T_a (ou la valeur de "n"), on lit sur l'echelle mediane la valeur de constante de temps T.
- Ayant determine τ , n, et T; la transmittance du systeme (modele de STREJC) est la suivante .

$\frac{T_e}{T_a}$

14

FIG II-2

Monogramme
transmittances.



$$H(p) = \frac{G \cdot e^{-p}}{(1 + T_p)^n} \quad \text{où } G \text{ est le gain statique}$$

II-3-2. METHODE DE BROIDA :

Cette methode consiste a identifier une fonction du n^{eme} ordre a une fonction du premier ordre affectée d'un retard pur .

La courbe du premier ordre passe par deux points situés sur la courbe enregistrée , ayants pour ordonnées 0,28 et 0,40 (c.a.d 28% et 40% de la valeur finale). Ces deux points determinent deux temps (voir FIG II.3.b) t_1 et t_2 ; on calcul alors facilement la constante de temps et le retard pur par les formules suivante.

$$\theta = 5,5(t_2 - t_1)$$

$$\tau = 2,8t_1 - 1,8t_2$$

La transmittance s'ecrira alors comme suit :

$$H(p) = \frac{G_s \cdot e^{-\tau p}}{(1 + \theta p)} \quad G_s \text{ gain statique}$$

II-4: METHODES ITERATIVES:

Ces methodes utilisent les algorithmes suivants pour minimiser un critere mathematique.

- methode de gradient
- methode de Newton
- methode de gauss - Newton

II-5: ANALYSE FREQUENTIELLE

Dans cette analyse le signale d'entrée du systeme n'est pas un echelon unité mais un signal harmonique ou sinusoidal. en effet le signal sinusoidal est le seul signal dont la forme se conserve en traversant un systeme lineaire . Dans la majorité des processus industriels (lent) on exige un signal à tres basse frequence, ce qui est difficile à metriser . La meilleur solution serait donc d'utiliser des generateurs mecaniques pour créer ces signaux . Dans ces conditions la precision de l'analyse est limitée par les perfection

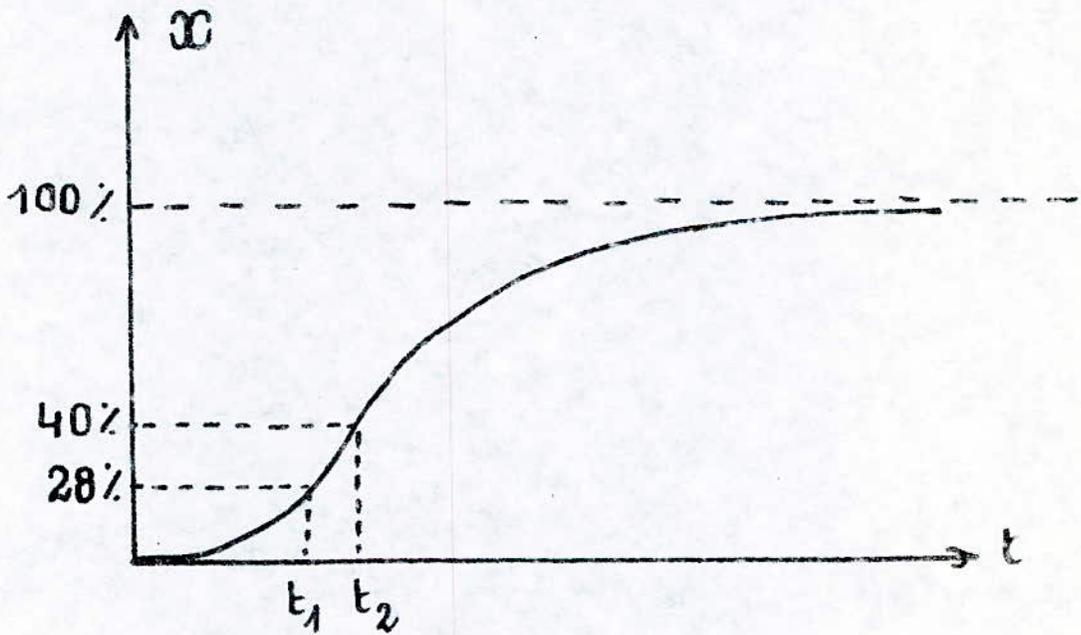
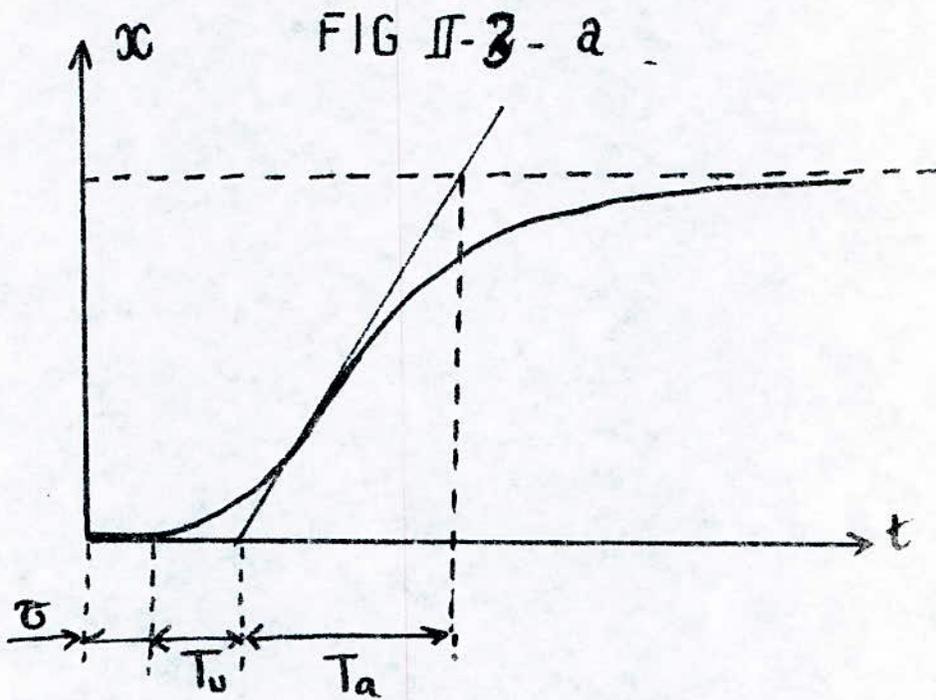
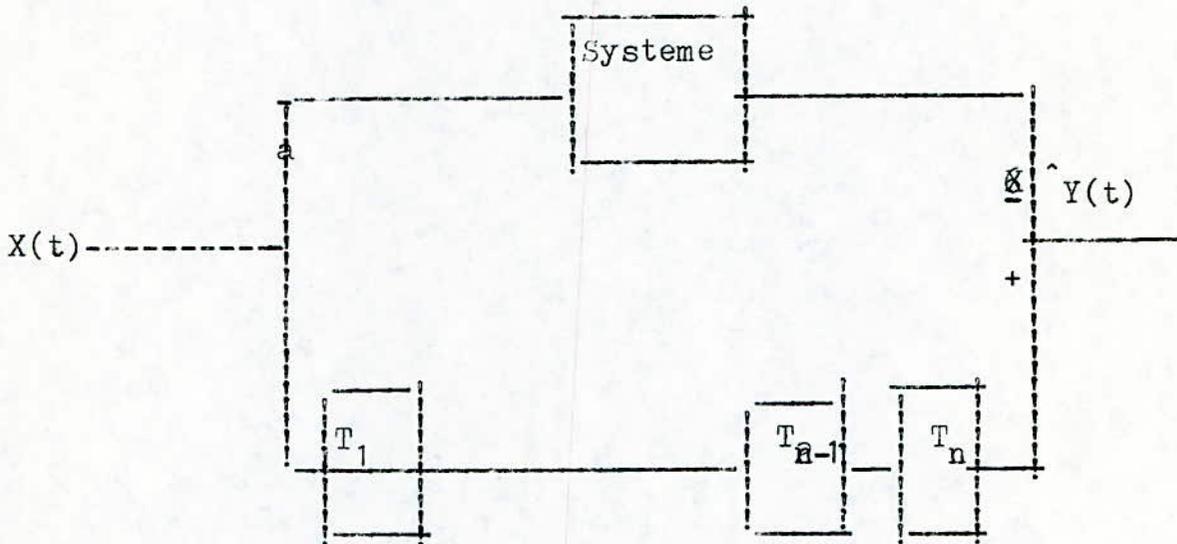


FIG II-3-b

et classes des appareils qu'on utilise.

Pour déterminer la réponse en fréquence d'un système, il suffit de le soumettre à une entrée sinusoïdale, ensuite tracer la courbe donnant le gain en fonction de la phase pour chaque fréquence.

Le signal sinusoïdal doit être appliqué dans la zone linéaire de la caractéristique statique du système.



$X(t)$ signal d'entrée
 $Y(t)$ " de sortie
 Les T_i transmittances

FIG II-1

CHAPITRE III

POSTE POUR L'ETUDE DES MODELES PHYSIQUES DES PROCESSUS
THERMIQUES

III-1. INTRODUCTION:

Ce poste est prévu pour l'étude comparative des différents systèmes complexes, dans la commande analogique et numérique.

Le modèle physique est caractérisé par ces différentes propriétés dynamiques.

III-2. BUT DU POSTE:

Il vise principalement la détermination des conditions de fonctionnement stable et instable des différents systèmes de commande des processus thermiques. Pour cela on doit d'abord déterminer les propriétés statiques et dynamiques du processus ensuite établir la fonction de transfert.

III-3. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU POSTE :

Le modèle physique est une chambre en bois généralement équipée de gaines en tube P.C.V. (matière synthétique).

Pour créer les conditions de température nécessaires, on dispose d'un ventilateur qui aspire l'air vers le réchauffeur électrique, se trouvant dans le canal principale d'entrée.

La chambre (modèle physique) est divisée en trois parties au moyen de deux clapets mobiles; l'air est évacué de la chambre soit vers un canal de sortie, soit vers un canal de recyclage.

Ces deux canaux sont équipés de clapets permettant de régler le rapport air frais-air recyclé.

Le réchauffeur est alimenté par un autotransformateur de régulation.

Le système de commande par impulsions est équipé de quatre circuits de régulation; deux avec des régulateurs R.S (régulateurs sommateurs d'impulsions); les deux autres avec des régulateurs électroniques à pont de mesure avec un capteur.

Le régulateur R.S reçoit les impulsions d'un ensemble de six (06) thermomètres à contacts placés dans la chambre. Par l'in-

.../...

intermédiaire de relais , les régulateurs commandent les vannes électromagnétiques à trois voies , à l'entrée d'air comprimé alimentant le servomoteur pneumatique pas à pas qui commande l'autotransformateur .

Le réchauffeur possède des éléments chauffants pouvant donner une variété de fractions de la puissance nominale. Par action sur le commutateur du réchauffeur on peut obtenir les valeurs suivantes/:

1 ^{er} élément	1/2 de P _n
2 ^{ème} " "	1/4 de " "
3 ^{ème} " "	1/8 de P _n
4 ^{ème} " "	1/16 de P _n
5 ^{ème} " "	1/32 de P _n
6 ^{ème} " "	1/64 de P _n

Les capteurs

On dispose des capteurs suivants :

- ensemble de six (06) thermomètres à contacts
- thermomètre à résistance (Pt 100) pour l'analyse dynamique
- " " " (Ni 100) pour mesure à distance
- thermomètre à mercure de laboratoire pour la mesure surplace

III-4 .METHODE DE RECHERCHE :

4-1:Caractéristique statique

Il s'agit de relever la caractéristique donnant la variation de température en fonction de la tension d'alimentation du réchauffeur c'est à dire la tension délivrée par l'autotransformateur .

$$\Delta\theta = f(u) \quad \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

θ_2 : température à l'intérieur de la chambre

θ_1 : température de l'air à l'entrée de la chambre

III-4-2. Caractéristique dynamique :

Pour l'analyse des propriétés dynamiques on utilise la méthode des réponses indicielles ; notre excitation est un changement brusque de la position du curseur de l'autotransformateur qui alimente le réchauffeur , ce qui provoque un changement de la température dans la chambre . La réponse du modèle est enregistrée par un compensographe ; l'étude de cette réponse nous permet d'obtenir le retard pur et le retard équivalent puis la constante de temps "T" et le gain statique du système "K_{ob}", ce qui nous permet d'établir la fonction de transfert du modèle .

Dans ce cas on néglige le temps de réponse du thermomètre , vu que les processus thermiques sont très lents relativement .

On doit aussi faire les essais avec et sans boucle de régulation pour mesurer le coefficient de la commande "q" qui est défini comme suit:

$$q = \frac{E}{E'}$$

E: erreur en boucle fermée

E' : " " " ouverte

III-5. SCHEMAS DU POSTE :

Sur la figure III-1 on a le schéma bloc du modèle avec les circuits de commande quasi-continu

Figure II-2 : Elle représente le schéma bloc de l'objet modèle avec les circuits de commande numérique .

Figure III-3 : C'est le schéma bloc du système de mesure .

La figure III-4a montre la réponse à une excitation positive et III-4b montre l'allure de réponse à une excitation négative .

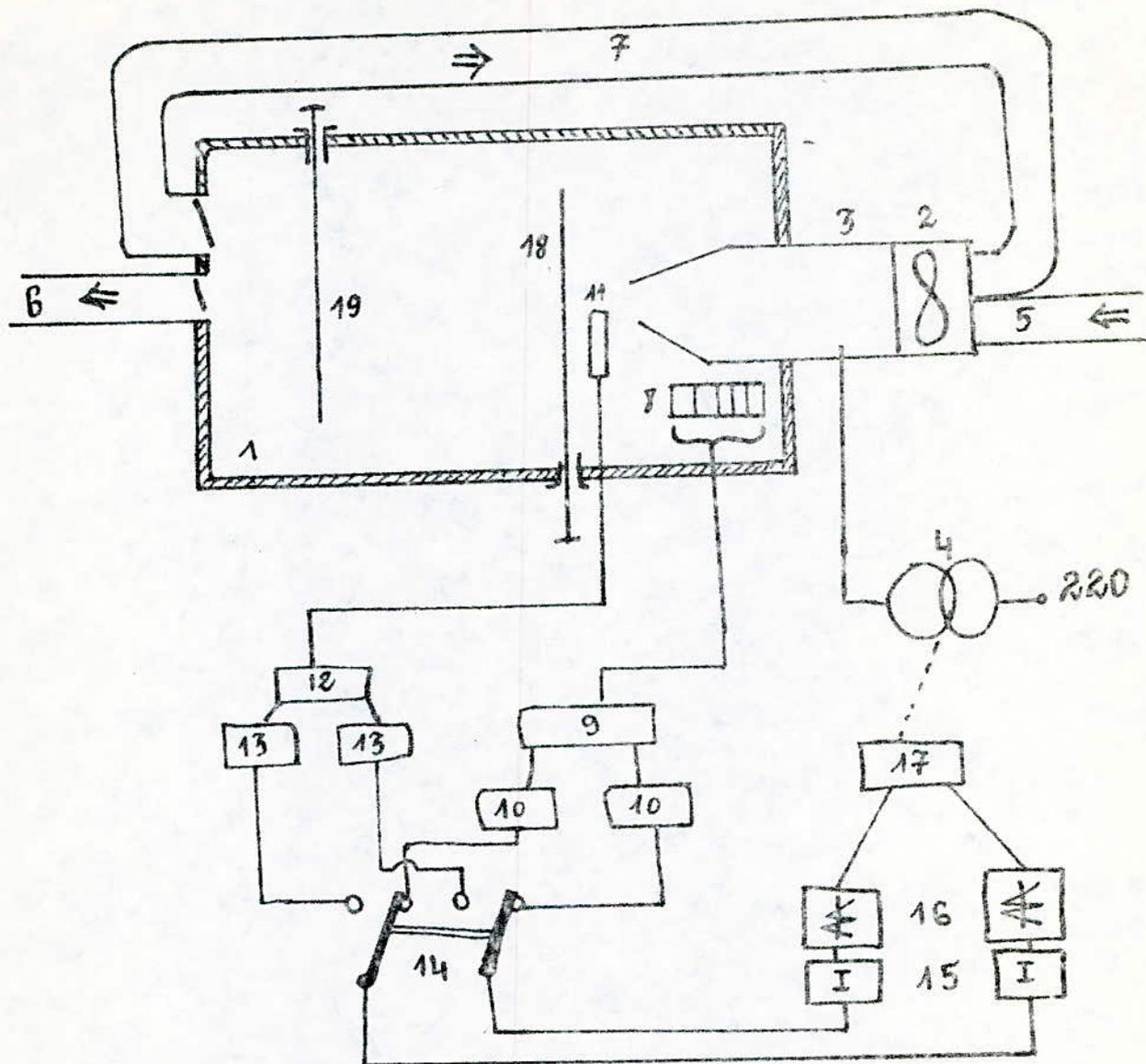


FIG III-1 : Schema bloc avec
Circuit de commande quasi-continue.

- | | | |
|---------------------------------------|--|---------------------|
| 1: chambre isotherme | 2: ventilateur | 3: rechauffeur |
| 4: autotransformateur | 5: Canal d'entré | 6: évacuation d'air |
| 7: Canal de recyclage | 8: ensemble de 6 thermometres a
Contacts. | |
| 10: relais. | 9: Sommateur d'impulsions. | 11: thermometre. |
| 12: regulateur electronique | 13: relais | 14: Commutateur |
| 15: impulsateur electronique | 16: electrovanne a 3 voies. | |
| 17: Servomoteur pneumatique pas à pas | 18 et 19 clapets mobiles. | |

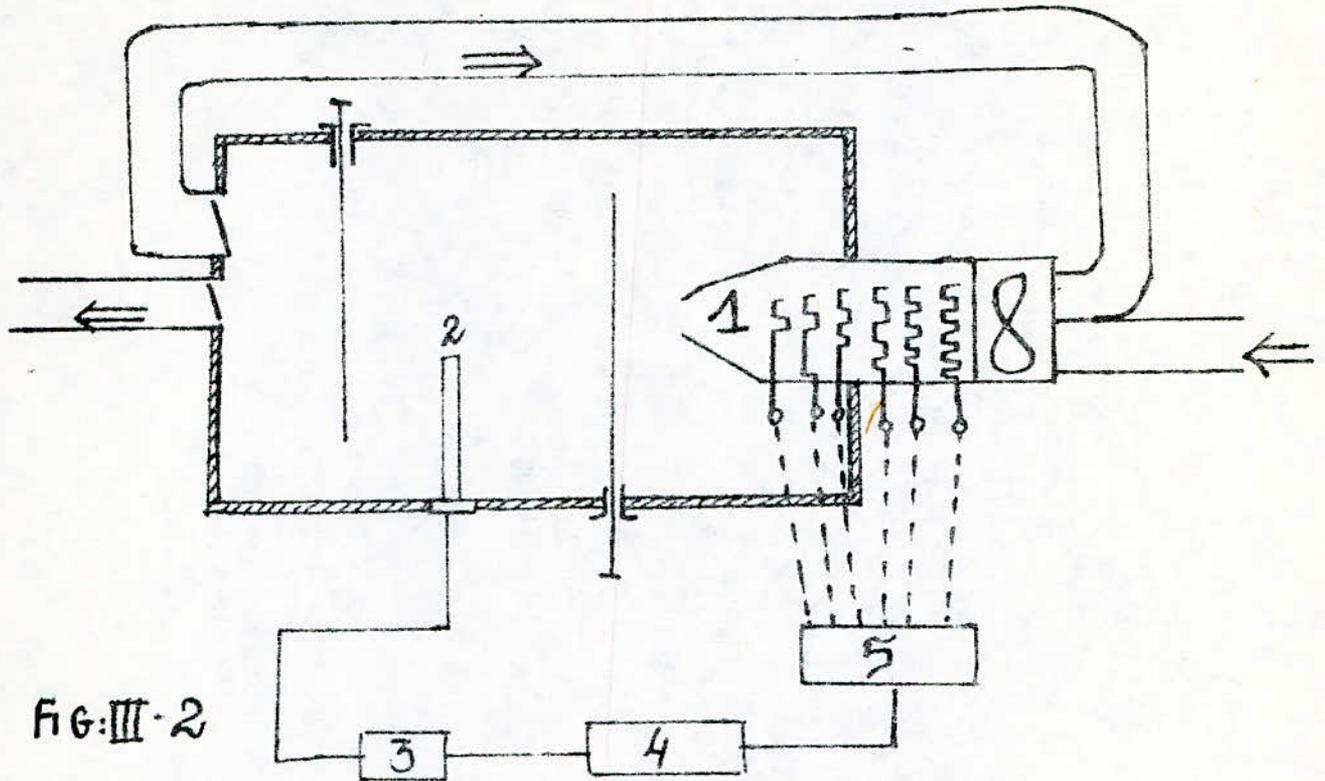
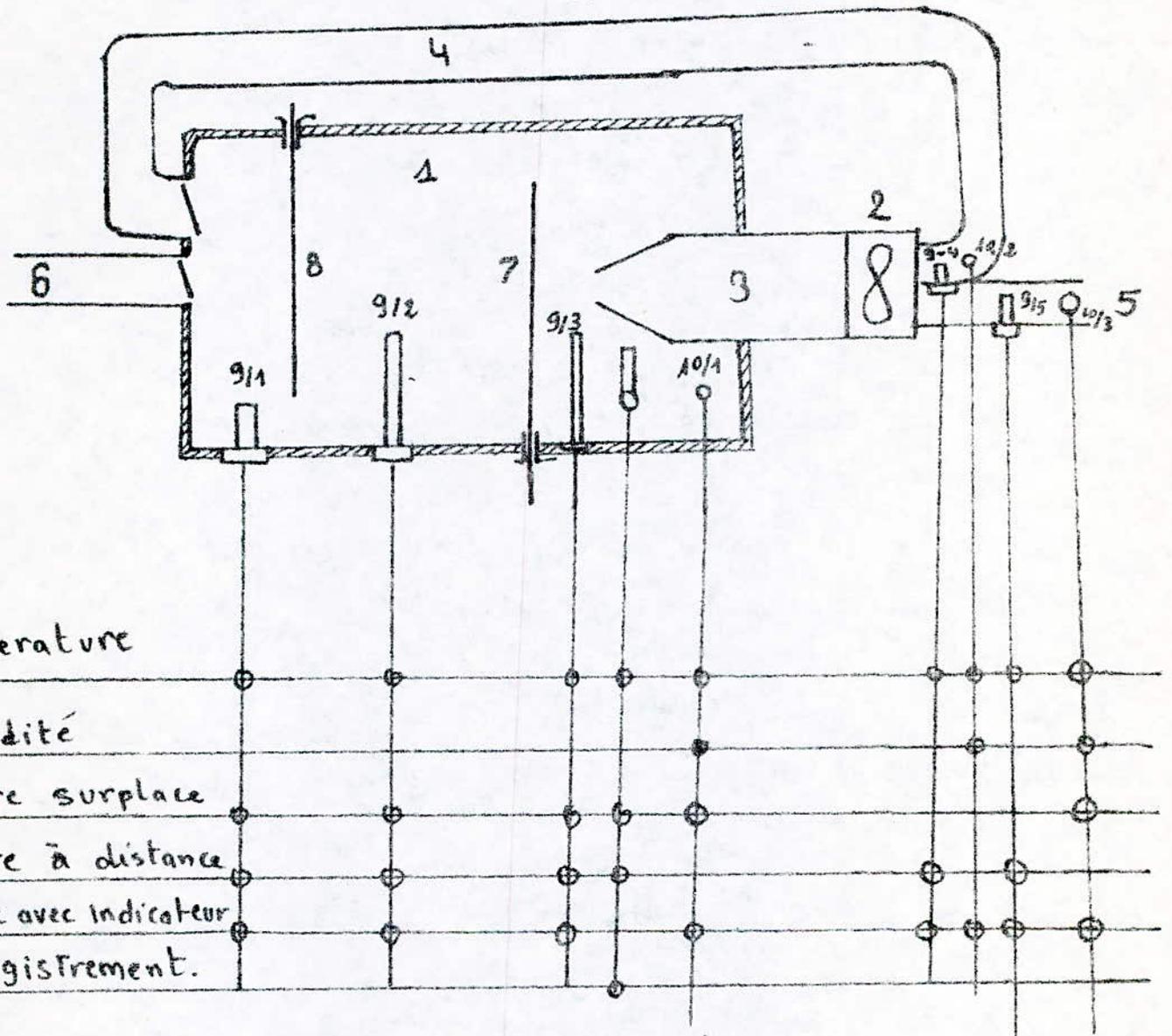


FIG: III-2

Schema bloc du systeme de Commande numerique.

- 1: chauffage electrique: dont les elements donnent respectivement: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$... jusqu'a $\frac{1}{64}$ de P_n .
- 2: Capteur de temperature PT 100.
- 3: transmetteur analogique de temperature; avec sortie -10 à $+10$ V ou 2 a 10 mA
- 4: Convertisseur analogique numerique.
- 5: Bloc de relais executifs.

Schema bloc du systeme de mesure.



1: chambre isothermique (modele)

2: Ventilateur. 3: rechauffeur electrique.

4: Canal de recyclage 5: entrée d'air frais

6: Sortie d'air 7 et 8: clapets mobiles

9/1 à 9/5: Capteurs à resistance Ni100

10/1 à 10/3: Capteur ~~à~~ à mercure (de Laboratoire)

FIG III-3

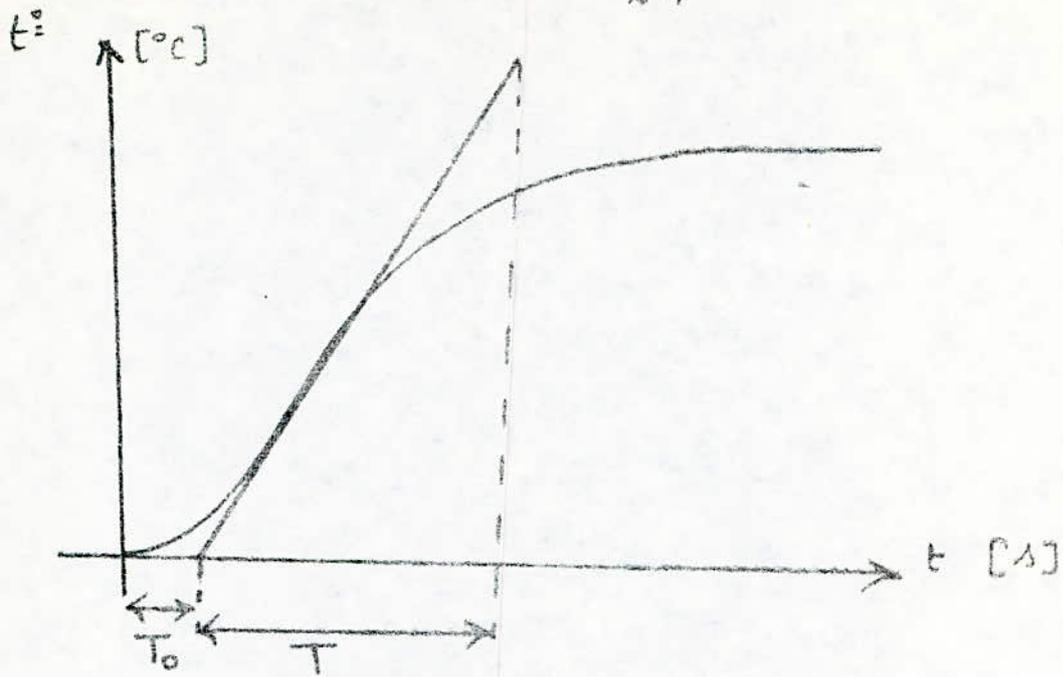


FIG III-4-a réponse indicelle à l'excitation positive

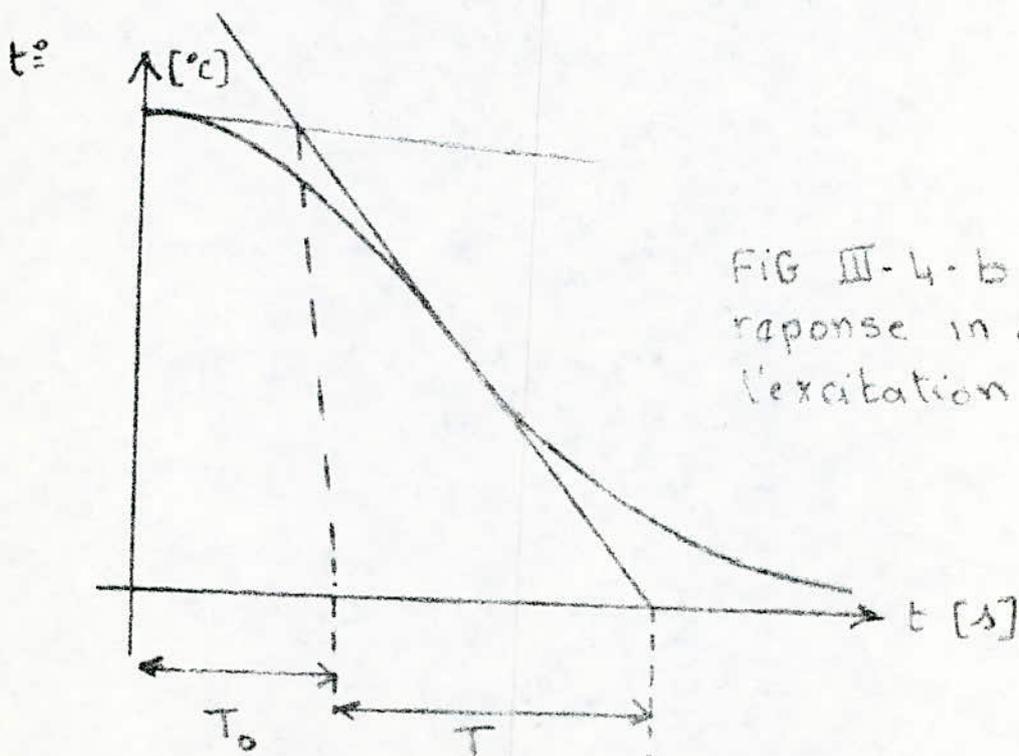


FIG III-4-b :
réponse indicelle à l'excitation négative.

POSTE POUR L'ETUDE
DE CAPTEURS DE
TEMPERATURE ET D'HUMIDITE

Vue l'importance des capteurs dans les boucles de régulations, on s'est proposé de concevoir un poste pour l'analyse des propriétés statiques et dynamiques des capteurs ainsi que certaines qualités de ces capteurs.

1- CHOIX DES CAPTEURS

Les capteurs sont des éléments capables de nous donner des informations sur une grandeur physique ou chimique. Ils sont construits principalement d'un élément sensible à la grandeur à étudier, cet élément transforme cette grandeur en une autre grandeur facilement maniable en général tension ou courant. La caractéristique principale d'un capteur est la dépendance entre l'entrée et la sortie

1-1 DIFFERENT TYPES DE CAPTEURS

1-1-1 Capteurs de température :

transforment une variation de température en une variation de courant, tension, de position, pression etc...

1-1-1-1 : Thermistances : on a deux types de thermistances

-Les CTP : coefficient de température positif : c'est une résistance dont la valeur augmente avec la température.

-CTN : coefficient de température négatif : résistance dont la valeur décroît avec l'augmentation de la température.

La loi de variation pour une CTN :

$$R = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

T_0 : température de référence.

B : indice de sensibilité thermique .

1-1-1-3 -THERMOCOUPLE :

C'est une Jonction entre deux conducteurs dissemblables A et B; quand les conducteurs sont portés à des températures différentes il apparaît une f. e. m. ENTRE LES DEUX Jonctions. Cette f. e. m. est proportionnelle à la différence des températures; dans une certaine plage cette proportionnalité est linéaire.

1-1-1-4- THERMOMETRE A RESISTANCE.

..../....

..../....

La résistance varie linéairement avec la température. La résistance est insérée dans un pont qui est en générale équilibré pour une valeur de consigne. Les métaux les plus utilisés sont :

Cuivre entre -200 et 150°C

Nickel -200 et 150°C

Platine -230 et 550°C

-1-2 CAPTEURS D'HUMIDITE :

Ces capteurs transforment l'humidité (relative ou absolue) du milieu en signal, électrique.....

L'humidité absolue : c'est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air.

Humidité relative : c'est le pourcentage de vapeur d'eau contenu dans l'air.

On distingue trois types essentiels de capteurs d'humidité

-1-2-1-PSYCHROMETRE :

Il utilise un thermomètre exposé à l'atmosphère sèche et un autre ayant son réservoir constamment humidifié à l'aide d'un tissu imbibé d'eau sous l'effet de l'évaporation.

-1-2-2- HyGROMETRE A CHLORURE DE LITHIUM :

basé sur l'évaporation de l'eau contenue dans la solution de LiCl et la récupération de l'eau dans l'air jusqu'à l'équilibre. Cet état d'équilibre ne dépend pas que de la tension de vapeur de l'air environnant, ce qui donne une mesure de l'humidité absolue.

-1-2-3- Capteur capacitif :

La capacité est donnée par $C_x = \epsilon_r \frac{K S}{d}$

$\frac{K S}{d}$ est une constante, la capacité dépend donc uniquement de la permittivité

relative du milieu qui à son tour dépend de l'humidité du milieu.

-1-3 CAPTEURS DE DEBIT :

Il y a une très grande variété de débitmètres; les plus utilisés sont les débitmètres électromagnétiques différents types de DEBITMETRES.

-1-3-1-DEBITMETRE A SECTION VARIABLE :

Un ludon "L" plongé dans le fluide. Quand le fluide est en circulation le ludon prend une hauteur qui dépend du débit $H = F(Q)$.

Un aimant "A" solidaire à la tige suit le mouvement du ludon (Fig 1).

..../;;;

...../.....
 1-3-2- DEBITMETRE ELECTROMAGNETIQUE.

Constitué de deux électrodes C et D . Un champ magnétique \overline{B} perpendiculaire des électrodes ; ce champ est crée par deux bobines plates A et B, une f. e. m. apparait alors entre les électrodes C et D , cette f. e. m. est proportionnelle au débit. (Fig 2) .

1-1-3-2 ROTAMETRES

C'est une boîte (appelée batterie de rotamètres) contenant plusieurs éléments de différents diamètres ; ces éléments sont plongés dans un endroit de la canalisation pour des débits différents l'élément prend des hauteurs différentes . Quand le fluide est en arrêt l'élément retombe en bas. Les graduations donnent directement le débit. (Fig 3) .

1-1-3-3 DEBITMETRE A DIAPHRAGME.

La chute de pression à travers le diaphragme est proportionnelle au débit du fluide . On repère cette différence par un tube en U contenant du Mercure (Fig 4) .

FIG: I-1

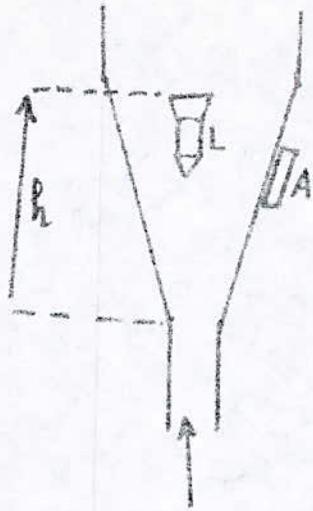


FIG III-2

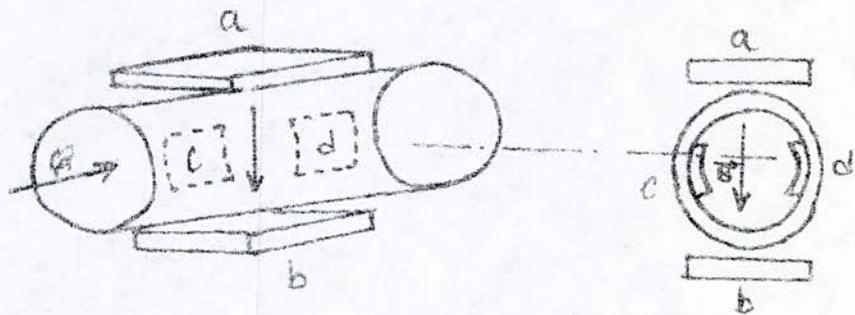


FIG IV 3

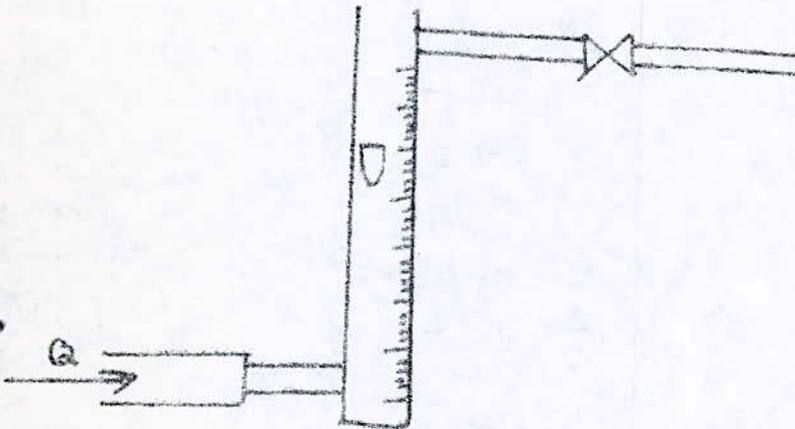
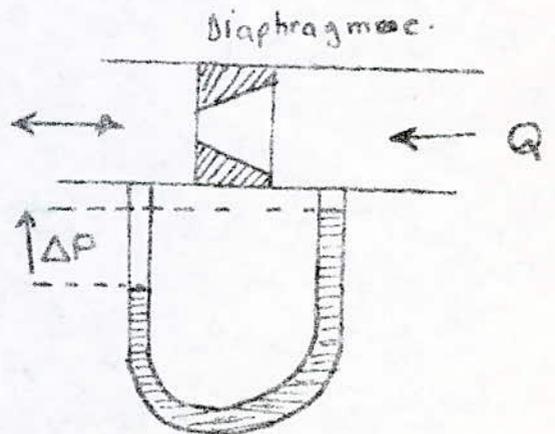


FIG: IV:4



11 - 4 CAPTEURS DE PRESSION

Il y a une très grande variété de capteurs de pression (manomètres) mais ils utilisent en majorité le même principe celui de la déformation d'une capsule en fonction de la pression entraînant un curseur d'un potentiomètre ainsi on obtient une information électrique corrélée à la pression.

2 - BUT DU POSTE :

Dans ce poste on prévoit les essais sur les capteurs de température et d'humidité.

La température de 0 à 100e C

L'humidité de 5 à 95%

Ces essais nous permettent d'obtenir les caractéristiques dynamiques et statiques de ces capteurs.

3 - DESCRIPTION DU POSTE :

Le schéma bloc du poste est donné sur la figure (5) pour l'obtention des conditions souhaitées dans la chambre isothermique, on a les dispositifs suivants

3-1 - Pour la température :

Un autotransformateur dont le primaire est alimenté sous 220 V-50 Hz, et le secondaire débite dans une résistance chauffante. La chaleur dégagée par la résistance est propulsée vers la chambre à l'aide d'un ventilateur, un clapet (4) et un canal de sortie (7) permettent de refroidir la chambre en cas de nécessité.

3-2 - Pour l'humidité :

L'humidification de la chambre isothermique est réalisée par l'injection de la vapeur d'eau par un canal (5) qui peut être issu d'un bouilleur. La régulation de température dans la chambre est automatique à l'aide d'un thermomètre à contact tandis que l'humidité est maintenue constante à une valeur souhaitée par un hygromètre.

3-3 - SYSTEME DE MESURE

En ce qui concerne le système de mesure on a un pont de mesure alimenté par une source auxiliaire (24 V, 50 HZ). Le capteur inséré dans le pont, la variation du signal transmis par le capteur est amplifiée par un amplificateur (5) puis redressé par le redresseur (4) avant d'être enregistrée par l'enregistreur (11) Le pont de mesure est équilibré pour la valeur de consigne, la température et l'humidité ambiantes sont déterminées par des capteurs étalons.

4 - METHODE D'ETUDE DE CAPTEURS

4-1 - Caractéristiques statique :

Pour l'étude de la caractéristique statique, on doit s'intéresser à la valeur finale de la grandeur c'est à dire à la fin de l'évolution de cette grandeur, la réponse à l'échelon des différents capteurs est enregistrée par une table traçante étalonnée en degrés pour capteur de température et en (%) pour hygromètres.

SCHEMA BLOC DU SYSTEME DE MESURE.

- 1: autotransformateur
- 2: rechauffeur
- 3: ventilateur
- 5: entrée de vapeur
- 6: chambre isothermique.
- 7: canal de sortie.
- 8: pont de mesure.
- 9: alimentation du pont.
- 10: système de compensation
- 11: enregistreur.

t_0 : température ambiante.
 t_{s1} : thermomètre sec à mercure
 t_{s2} : " " " " résistance
 t_{m1} : " " " " mercure mouillé
 t_{m2} : " " " " résistance "
 t_x : " " " " à examiner

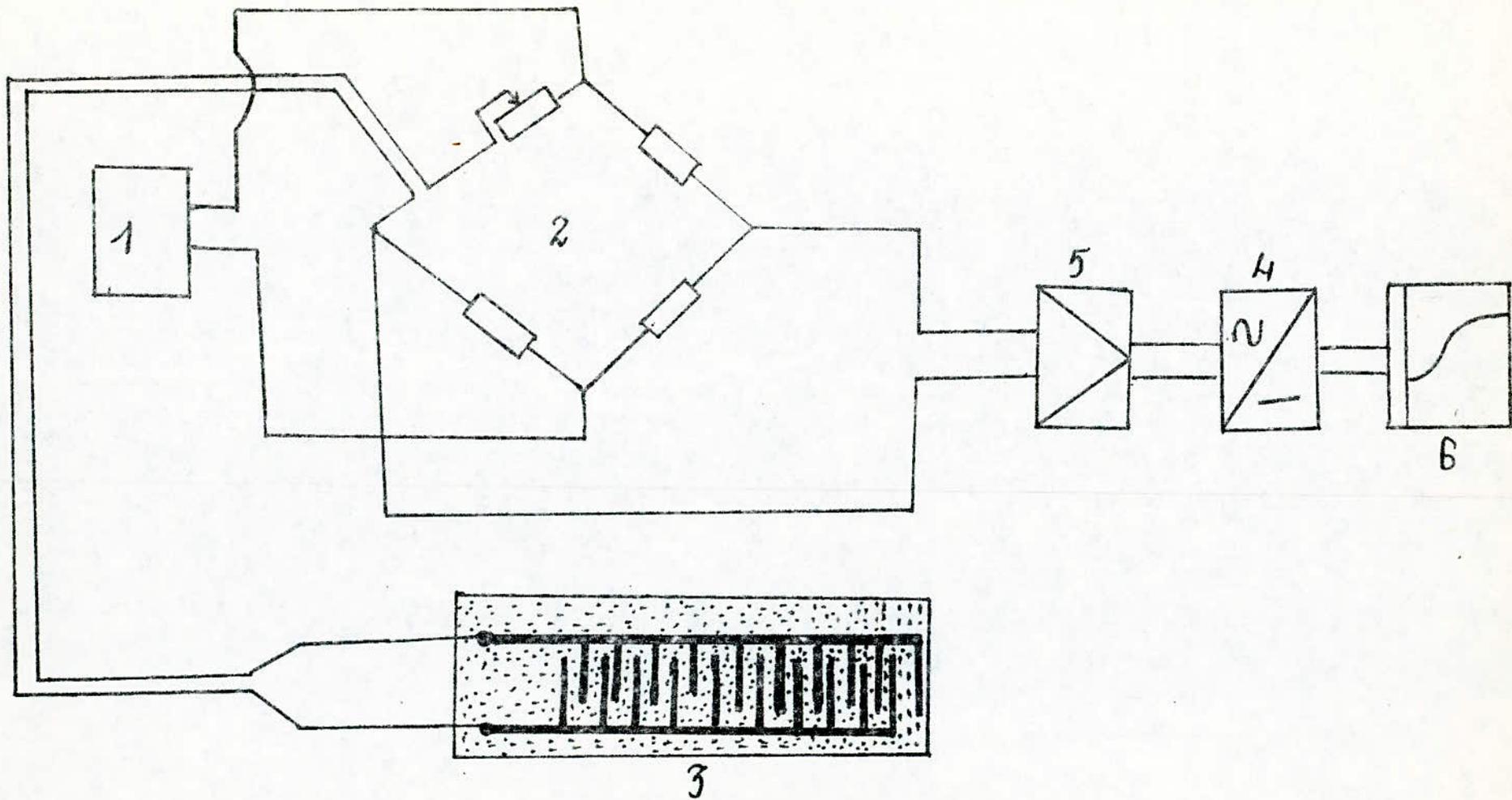
Pont de mesure :

- 1: alimentation du pont (24V, 50Hz)
- 2: pont de mesure
- 3: capteur électrolytique.
- 5: système de compensation.
- 6: enregistreur.

VUE GENERALE DE LA CHAMBRE ISOTHERMIQUE

- 1: chambre
- 2: générateur de vapeur.
- 3: thermoventilateur.
- 4: système de refroidissement.
- 5: échappement d'air chaud ; 6: échappement par clapet.
- 7: orifice pour introduire les capteurs.

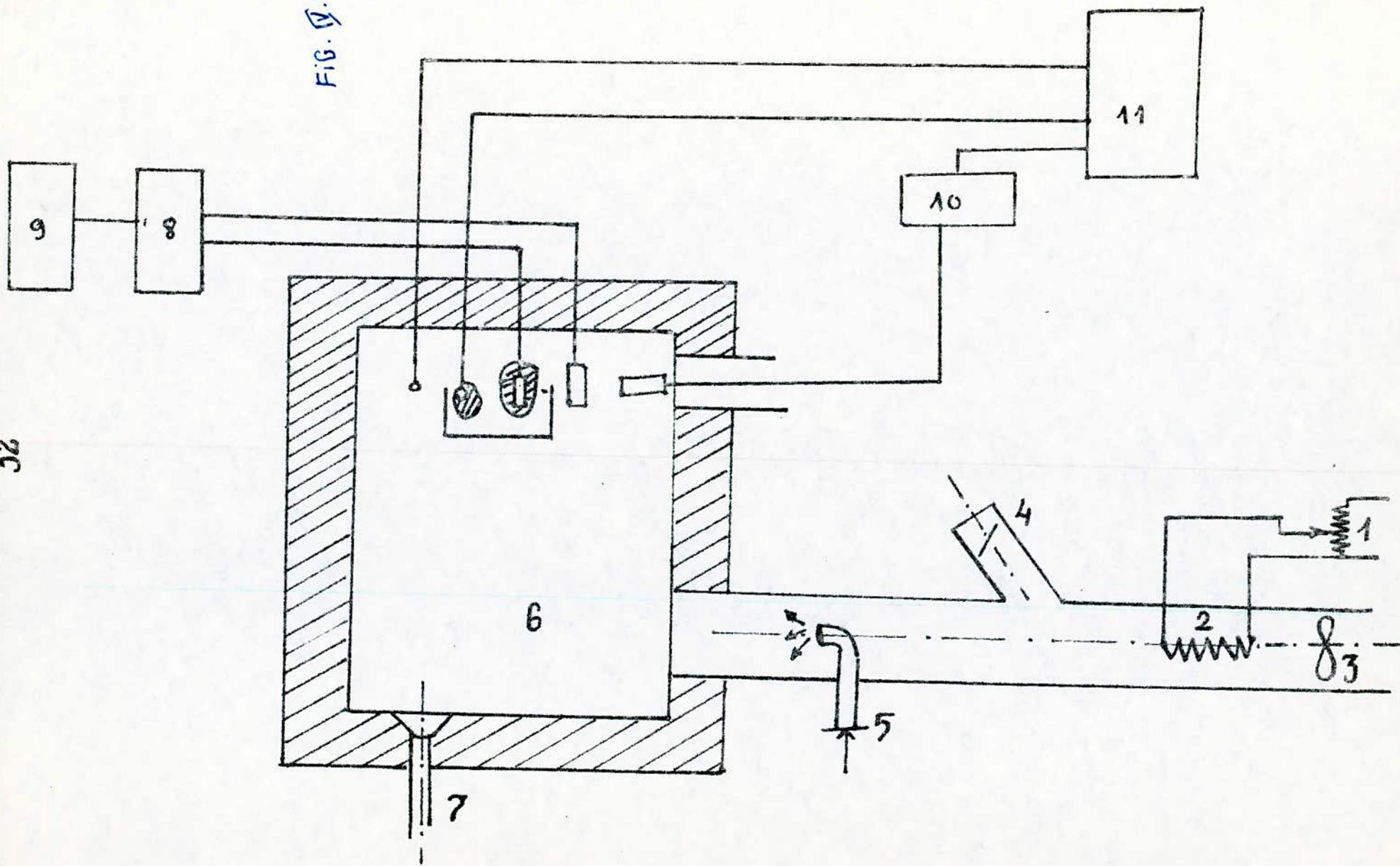
Pont de mesure.



31

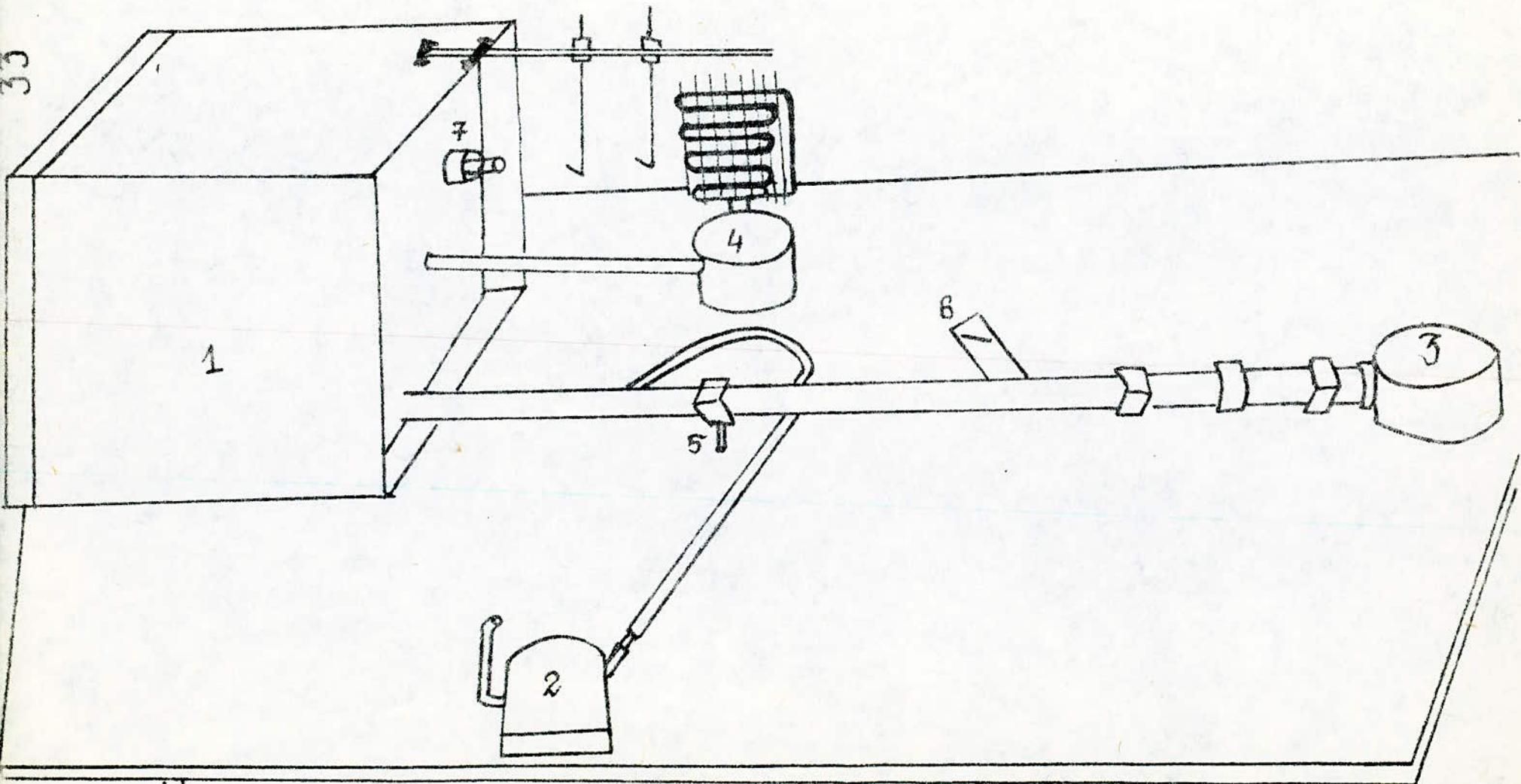
Schema bloc du systeme
de mesure.

FIG. 5



32

Chambre Isothermique avec accessoires
pour le Conditionnement du climat



pour les capteurs de temperature on dresse le tableau suivant:

No De Mesure	N° de Mesure	Temperature dans la chambre	Resistance du capteur examiné	Temperature du capteur à partir des caracteristiques herometrique
1		?	?	?
2		?	?	?
3		?	?	?
		?	?	?
		?	?	?

Tableau pour capteurs d'humidité:

No de Mesure	N° de Mesure	Humidité rela tive dans la chambre	Impedance du capteur	Humidité relative à partir du diagramme
1		?	?	?
2		?	?	?
3		?	?	?
		?	?	?
		?	?	?

On verifie l'alignement des capteurs et on trace leur caracteristiques statiques qui representent le lieu entre la grandeur d'entrée et de la sortie en regime etabli.

4 - 2 Caracteristique dynamique:

On applique un echelon de temperature ou d'humidité dans la chambre la reponse du capteur est enregistrée, et sera étudiée pour déterminer les proprietés dynamiques des capteurs.

4-2-1- Thermometres à resistances:

Les mesures doivent être effectuées pour capteurs

-Sans boite de protection.

-Avec " " "

-Avec " " "

.../...

4-2-2- Capteur électrolytique à résistance.

- Humidité relative dans la chambre
- Humidité relative ambiante.

Pour chaque essai le capteur doit être déplacé de l'endroit où la grandeur est élevée vers l'endroit où elle est plus basse.

Ensuite il faut enregistrer les réponses indicielles pour excitation positive et négative.

V-3 : BUT DU POSTE :

Ce poste a été envisagé a fin de déterminer les caractéristiques de la pile photovoltaïque cités précédement .

Le relevé de la caractéristique statique ; nous permet de déterminer le point de fonctionnement optimal de la photopile. En effet ; il existe un point de la caractéristique statique $I \pm F(V)$ pour lequel la photopile délivre une puissance maximale ; pour une intensité lumineuse donné . Il s'agit de déterminer l'aire maximale du rectangle hachuré sur la figure V-2 .

V-4 : DESCRIPTION DU POSTE :

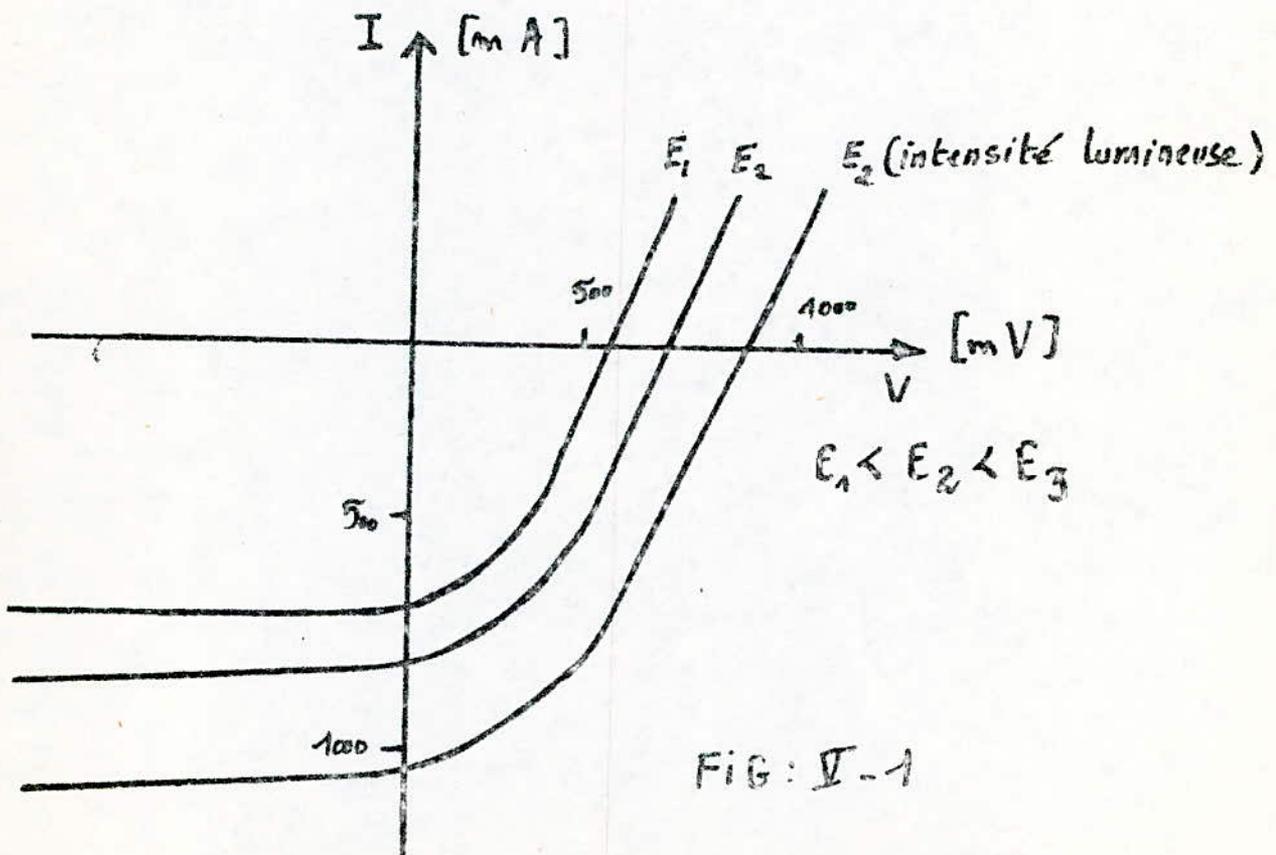
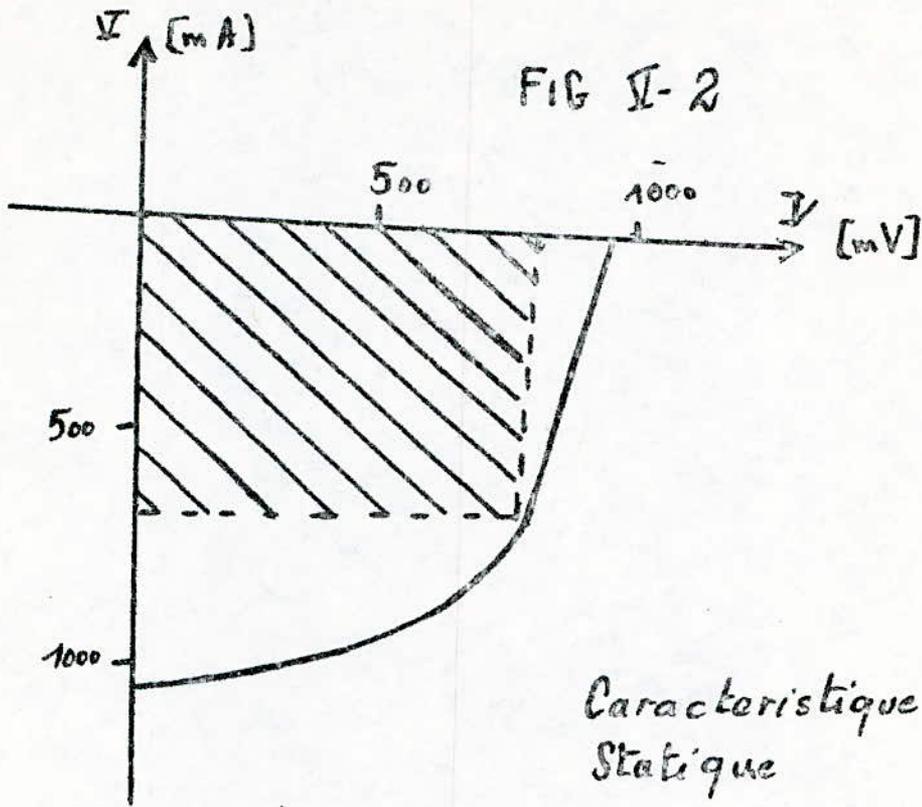
Le poste se compose d'un pupitre de mesure , contenant essentiellement un ampèremètre , un voltmètre et une charge variable (potentiomètre) . Ces appareils doivent être de laboratoire cela signifie que leurs classe de précision ne doit pas dépasser l'unité . Le pupitre peut être utilisé tant à l'extérieur , où le panneau reçoit le rayonnement solaire naturel , qu'à l'intérieur , en utilisant une source lumineuse artificielle . La source de lumière artificielle comporte six (06) lampes à halogène , de 1000 Watt chacune . Sa température de couleur dépasse les 3000°K avec répartition spectrale énergétique assez semblables à celles du soleil . Cette source permet de couvrir , avec une énergie répartie de façon uniforme de l'ordre de 1 kW/m^2 , un capteur photovoltaïque de $60 \times 60 \text{ cm}$.

V-5 / METHODE D'ETUDE DE LA PHOTOPILE

V-5;1. Mesure de la tension à vide :

Pour la détermination de la tension à vide V_0 , on branche directement le voltmètre du pupitre , aux bornes de la photopile . Pour un éclairement donné , le voltmètre nous donne la valeur de la tension à vide de la photopile .

Le schéma du montage est sur la figure V-3 .



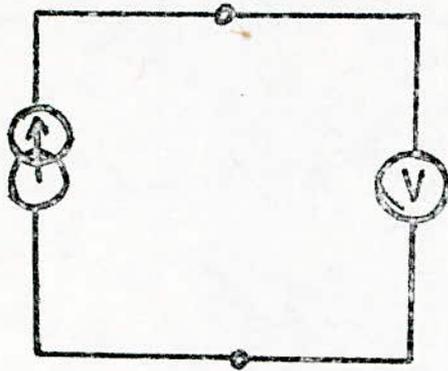


FIG V-3
MESURE DE V_o

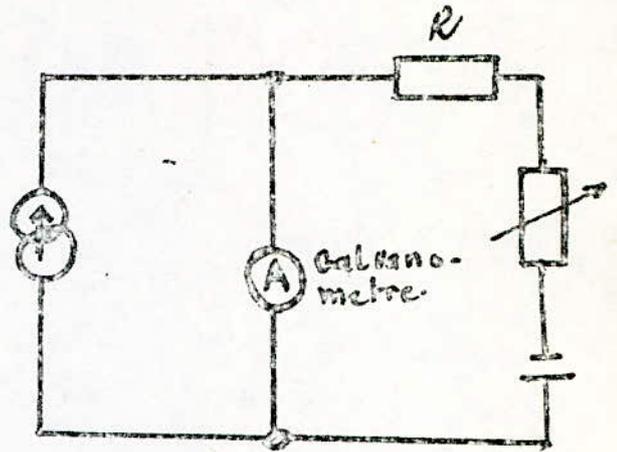


FIG V-4:
MESURE DE I_{sc}

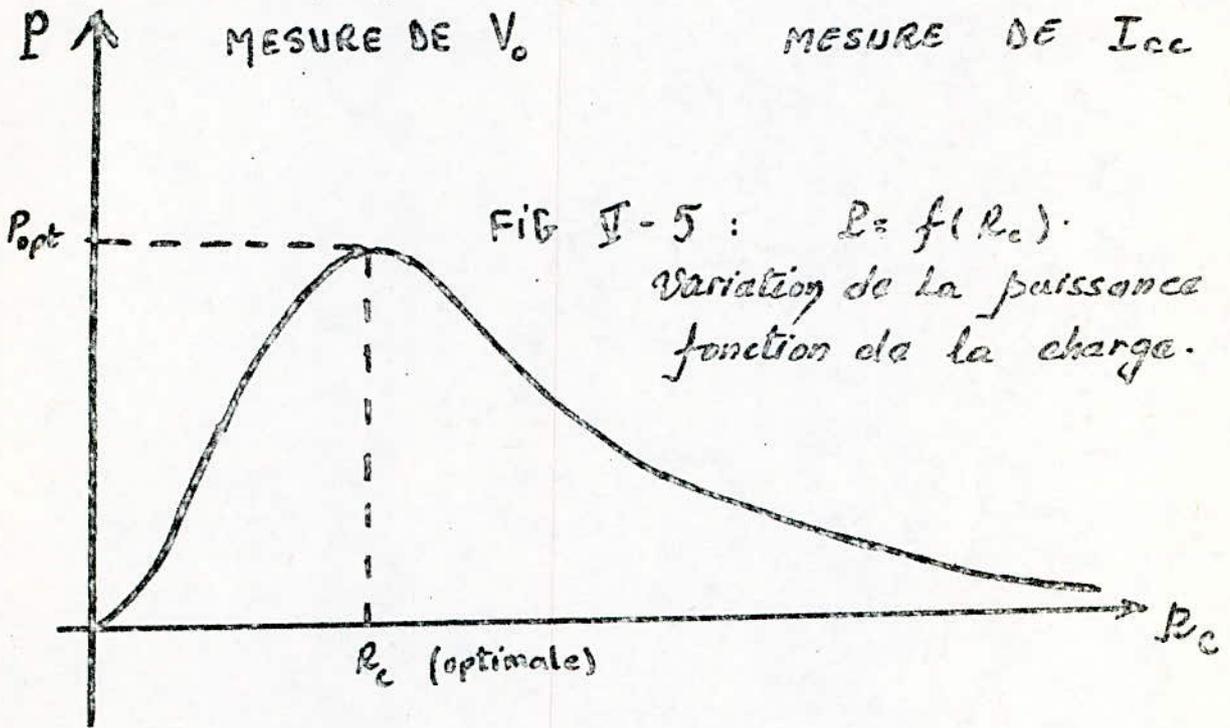


FIG V-5 : $P = f(R_c)$.
Variation de la puissance en fonction de la charge.

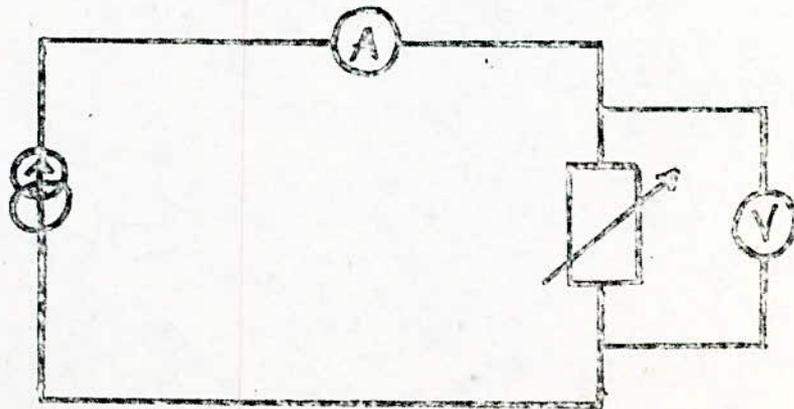


FIG V-6

Relaté de La
Caractéristique
Statique.

V-5.2 Mesure du courant de court-circuit:

La mesure du courant de court-circuit en branchant directement l'ampere-metre du pupitre de mesure aux bornes de la photopile, introduit une erreur systematique considerable, vu que la resistance interne de la photopile est tres faible (0,56 à 0,96 Ω)
 Pour remedier à cet inconvenient on utilise une methode par opposition dont le schema est donné sur la figure V-4

V-5.3. Relevé de la caracteristique statique :

Pour relever la caracteristique statique, on utilise un potentiometre qui represente la charge de la photopile ; l'ampere-metre pour la mesure du courant debité, et le voltmetre pour mesurer la tension aux bornes de la photopile (et la charge).

On sait que pour une intensité lumineuse donnée, il existe une valeur optimale de la charge pour laquelle la puissance delivrée par la photopile est maximale .

La puissance debitée par la photopile, varie en fonction de la charge pour un rayonnement donnée (voir figure V-5), ce qui entraine la variation du courant et de la tension . Par action sur le potentiometre on releve les differents point de la caracteristique statique .

On dresse alors le tableau suivant :

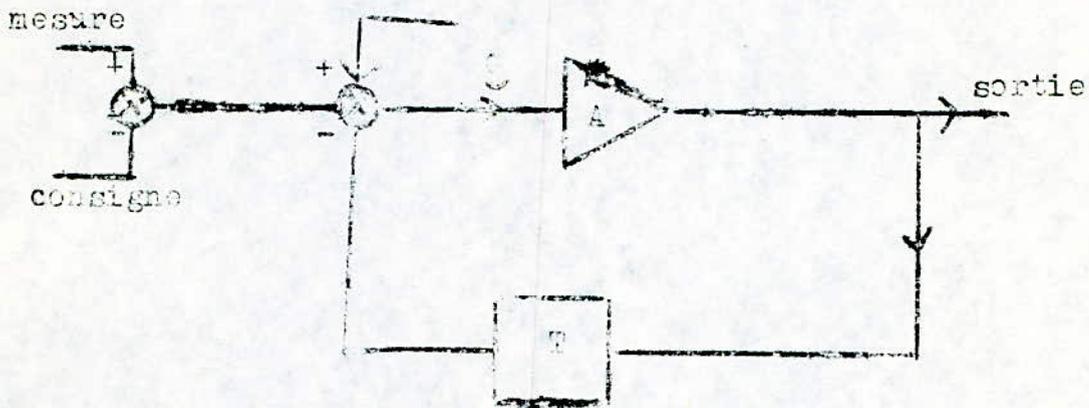
R(charge)	I(mA)	V (mV)	P=V.I

Sur la figure V-6 on a le schema de montage pour relever la caracteristique statique .

CHAPITRE VI

POSTE POUR L'ETUDE DES REGULATEURS

Comme le capteur, le régulateur a un rôle fondamentale dans la boucle de régulation. Après une perturbation, la grandeur réglée varie; ainsi que l'information transmise par le capteur. Si cette information s'écarte de la valeur de consigne "C", le régulateur modifie suivant une fonction mathématique le signal réglé "Y_r" qui positionne la vanne de contrôle dans le but de limiter (ou annuler) l'écart entre la mesure et la consigne.



VI-1. DIFFERENTS TYPES DE REGULATEURS.

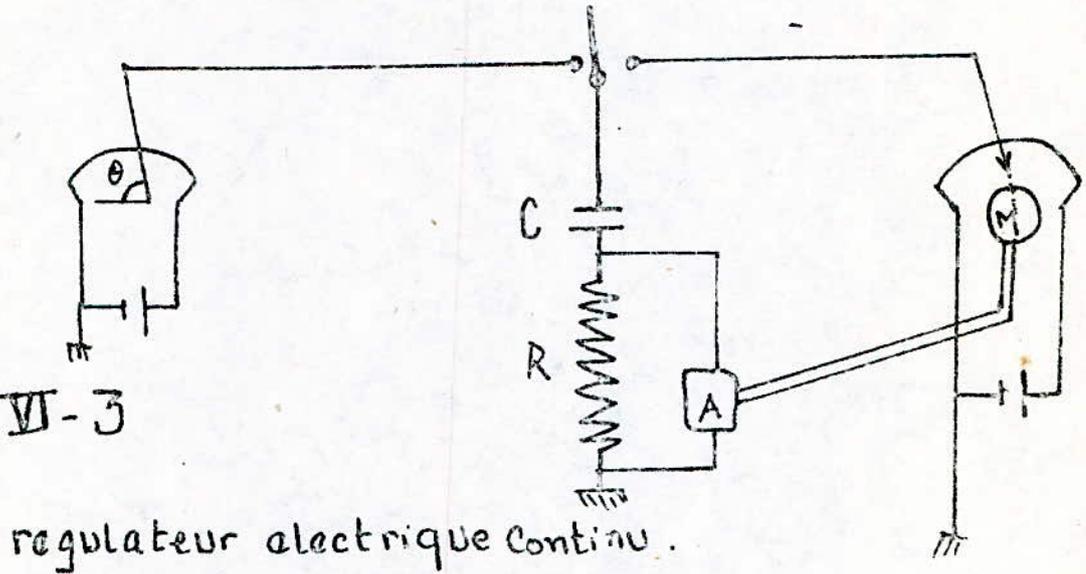
Vue leur diversité, on se limite dans certain cas de citer uniquement le principe de fonctionnement de la catégorie de régulateurs, le choix du régulateur se base sur le domaine d'application et sur son mode d'action.

VI-1.1: REGULATEURS HYDRAULIQUES :

Ces régulateurs utilisent en général, soit la variation de débit en étranglant plus ou moins la conduite; soit par variation du débit provoquée par un jet dont la direction peut être commandable;

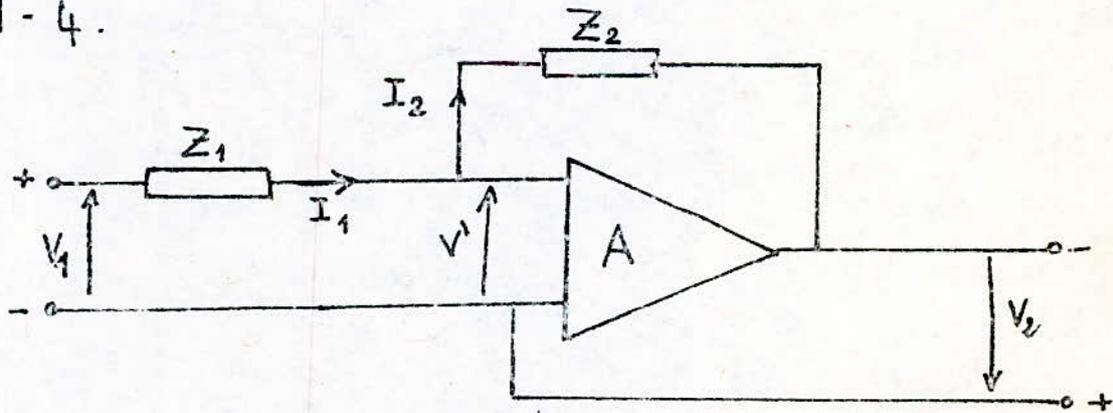
Ce type de régulateurs présente l'avantage de disposer d'une réserve de force importante, et de pouvoir développer un couple très grand au début de leurs action.

FIG VI-3



regulateur electrique continu.

FIG VI-4.

Schema general des regulateurs
electroniques.

.../...

Lleur inconvenient reside dans le fait que leurs puissance massique est assez faible . Cela signifie que leurs poids est important par rapport à leurs force; et de plus , ces regulateurs necessitent de nombreux circuits hydrauliques .

VI-1.2: Regulateurs pneumatiques

Les regulateurs pneumatiques sont tres utilises dans la vie industrielle . Ils presentent de nombreux avantages . Ils sont tres simples , peu couteux et peu sensibles aux variations de temperature . On distingue trois classes de regulateurs pneumatiques .

- à deplacement
- à balancement de force
- à membrane

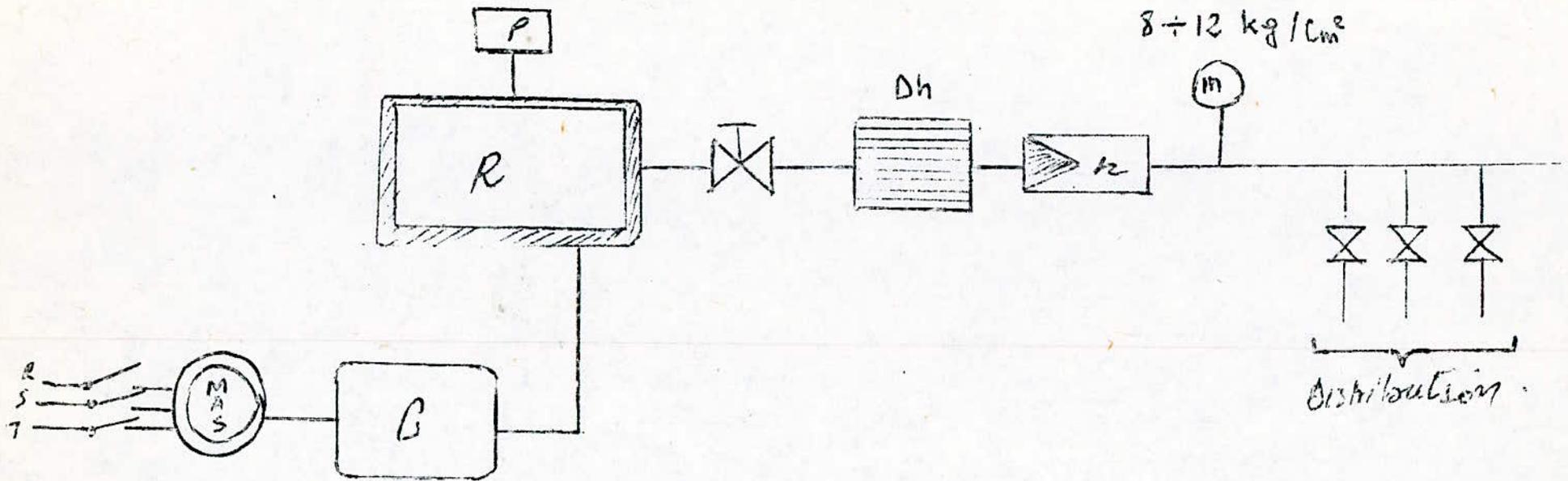
Le principe general de ces regulateurs est de créer sur un circuit d'air comprimé , une fuite stable determinant une diminution de pression proportionnelle à la position relative d'une valeur de mesure et d'une valeur de consigne .

VI-1.3 : Regulateurs electriques :

L'electricité est certainement la forme d'energie la plus disponibles et facile à manipuler , de ce fait les regulateurs electriques et electroniques presentent de serieux avantages par rapport à d'autres de regulateurs.

Sur la figure VI-3 on à le schema d'un regulateur electrique continu. Deux tensions electriques variables sont appliquees alternativement grace à un vibreur synchrone à un circuit resistance-capacite .; leurs valeurs sont proportionnelles à la position relative de deux curseurs qui se deplacent chacun sur un potentiometre circulaire. Si les deux tensions dans chacun des potentiometre sont egales , les inversions creee par le vibreur n'aportent aucune variation à la charge du condensateur C , donc aucun courant ne passe par le moteur , il reste à sa position . Si la mesure varie , la tension dans le potentiometre correspondant va provoquer une charge ou une decharge du condensateur à chaque inversion du vibreur . une tension alternative prend ainsi naissance proportionnellement à l'ecart entre les deux tensions, le moteur "M" tourne en entrainant le curseur du potentiometre pour annuler le de sequilibre .

SOURCE DE PRESSION



C : Com presseur

R : Reservoir

P : pressostat.

Mas : Moteur asynchrone

Dh : Dehumidificateur.

m : manometrie.

r : Reducteur (Vanne de reduction).

FIG VI - 5

VI-1;4 .Regulateurs électroniques

Le principe generale des regulateurs électroniques est basé essentiellement sur l'utilisation des amplificateurs operationnels. ON realise un regulateur électronique en associant à un amplificateur operationnel , deux impedances Z_1 et Z_2 (FIG VI-4) . Suivant la nature des impedances Z_1 et Z_2 on definit l'action du regulateur .

On demontre , moyenant certaines approximations , on demontre que

$$\frac{V_2}{V_1} = - \frac{Z_2}{Z_1}$$

V_1 = tension d'entrées du regulateur
 V_2 = tension de sortie du regulateur

On peut avoir les actions suivantes :

P : si Z_1 ET Z_2 resistives pures

P.I: si Z_1 resistive , Z_2 = resistance en serie avec un condensateur

P.D : Si Z_1 resistance en parallele avec un condensateur
et Z_2 resistance pure.

Pour avoir un regulateur P.I.D on doit coupler en cascade les trois regulateurs precedent .

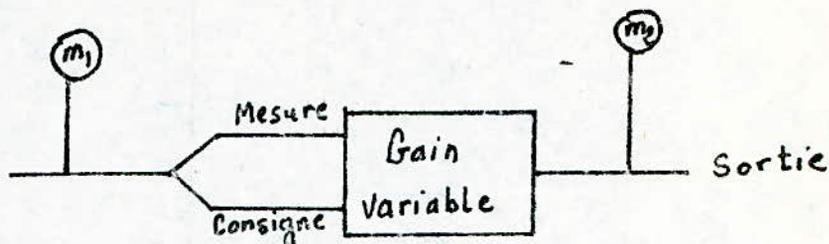
VI.2 : BUT DU POSTE :

La tâche principale de ce poste est la verification de l'aligement et les action (P , I , et D) des differents types de regulateurs . On utilise la methode des reponses indicielles pour l'analyse des regulateurs .

VI-3 : DESCRIPT ION DU POSTE :

Pour l'etude des regulateurs par la methode des reponses indicielles , l'echelon utilisé est : soit un courant ; soit une pression . Pour cette raison on a prévu une source de courant bien precise (alimentation stabilisé) , et une source de pression . Pour la source de pression (FIG VI-5) un moteur asynchrone triphasé entraine un compresseur "C" pour remplir le reservoir "R" d'air comprimé ; le pressostat donne l'impulsion pour l'arret du moteur quand la pression de consigne est atteinte . Avant l'utilisation, l'air comprimé passe par un deshumidificateur "Dn" , afin

de stabiliser la pression ; le pressostat "P" donne l'impulsion pour l'arret du moteur quand la pression de consigne est atteinte .



m_1 et m_2 : manometres.

FIG VI-6 (a)

FIG VI-6(a,b) Essais sur regulateur pneumatique à action "P"

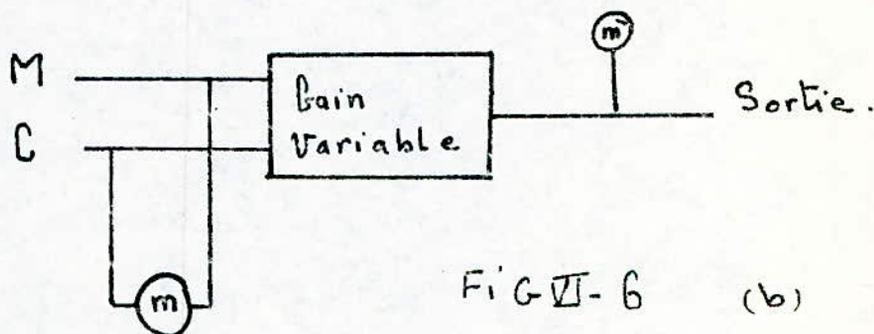


FIG VI-6 (b)

m : manometre differentiel.

.../...

d'éliminer les gouttelettes d'eau qui peuvent apparaître sous l'effet de compression de la vapeur . Un reducteur "r" (vanne de réduction permet de stabiliser la pression ; à la sortie du reducteur on place un manomètre ; la distribution s'effectue à l'aide de vannes de contrôle .

On doit également disposer d'un manomètre différentiel pour la mesure de la pression (différence de pression) entre l'entrée mesure et l'entrée consigne d'un régulateur pneumatique , et d'un manomètre ordinaire à la sortie . Pour les régulateurs électroniques le courant d'entrée et de sortie est mesuré à l'aide d'un galvanomètre de laboratoire ; on doit aussi disposer d'un enregistreur pour l'enregistrement des réponses des régulateurs P.I et P.I.D ; un capteur de pression est nécessaire pour pouvoir enregistrer la réponse des des régulateurs pneumatiques .

VI-4 : METHODE D'ETUDE DES REGULATEURS

VI-4.1 : Régulateurs pneumatiques:

4.1.1 : Régulateurs à action "P"

Pour ce type de régulateurs , on doit vérifier l'alignement et le gain d'amplification . Son équation s'écrit

$$P = G \cdot x + B$$

P = pression de sortie
 G = le gain d'amplification
 x = l'écart mesure consigne
 B = constante

La vérification de l'alignement revient à vérifier l'équation précédente .

Si on relie l'entrée mesure du régulateur à son entrée consigne ($M = C$ donc $x = 0$) , la pression de sortie doit être égale à B indépendamment du gain " G " ; on fait varier la pression de mesure (tout en restant égale à C) la pression de sortie ne doit pas changer ; (voir FIG VI-6.a)

Pratiquement on tolère une variation de la pression de sortie inférieure à 5%

vérification du gain: Ayant déterminé la valeur de B dans la première opération , on applique P_1 à l'entrée "mesure" et P_2 à l'

.../...

l'entrée "consigne" ; la différence entre P_1 et P_2 est détectée par un manomètre différentiel (FIG VI-6.b) . On mesure, à l'aide d'un manomètre la pression de sortie et détermine le gain du régulateur.

4.1.2 : Régulateur à action P.I :

La transformée de Laplace de son équation est la suivante:

$$P(p) = \frac{1}{K} \cdot \left(\frac{1 + T_i p}{T_i p} \right) ; X(p)$$

D'où la transformée inverse:

$$P(t) = G \cdot X(t) + \frac{G}{T_i} \int X(t) \cdot dt + P_0$$

$X(t)$: écart mesure-consigne

$P(t)$: pression de sortie

G : gain d'amplification

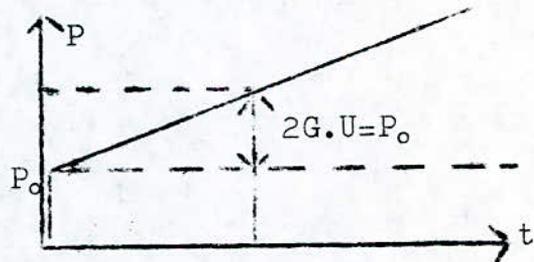
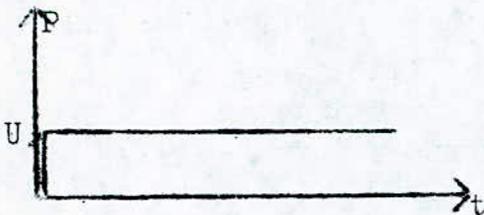
T_i : temps d'intégration

P_0 : constante

Etude de l'alignement : Quand le temps d'intégration est très grand (l'action intégrale est négligeable) le régulateur devient à action "P" on doit vérifier l'alignement et le gain de la même manière que pour un régulateur à action "P" .

Etude du temps d'intégration :

pour cette étude on enregistre la réponse du régulateur à un échelon unitaire.



$$P(t) = G \cdot U + \frac{G}{T_i} \int U dt + P_0$$

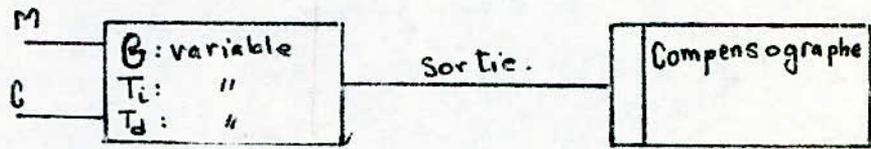
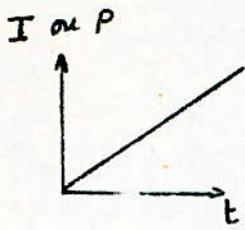
Quand $t = T_i$ la pression de sortie doit être égale à

$$P_2 = 2GU + P_0$$

au bout d'un temps égal au temps d'intégration, il faut que la variation de la pression de sortie soit égale à deux fois le gain d'amplification .

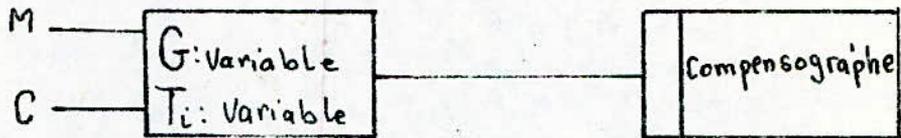
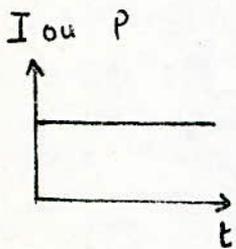
4.1.3 : Régulateur à action P.I.D. :

Le schéma fonctionnel du régulateur est le suivant :



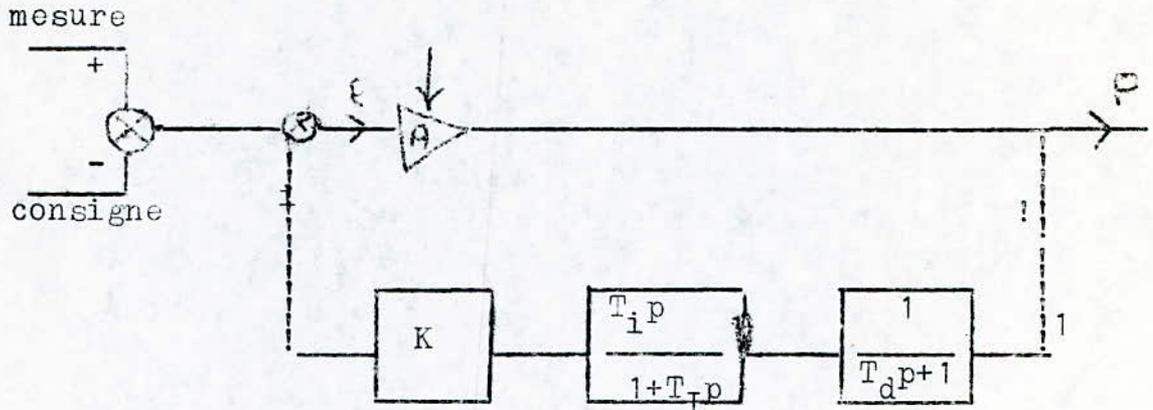
Essai pour le temps de dérivation. T_d

FIG: VI- 7



Essais pour le temps d'intégration.

FIG: VI- 8



$$P(p) = \frac{1}{K} \cdot \left(\frac{T_i p}{1 + T_i p} \right)^{-1} \cdot (1 + T_d p)$$

$$\text{ou bien } P = G \left(T_d p + \frac{1}{T_i p} \right) \cdot X$$

avec $\quad = \frac{T_i + T_d}{T_i}$

$\frac{T_i + T_d}{T_i}$ est appelé coefficient théorique d'interaction.

La transformée inverse nous donne :

$$P(t) = T_d \cdot G \cdot \frac{dX}{dt} + GX + \frac{G}{T_i} \int X dt + P_0$$

Verification des actions du regulateur:

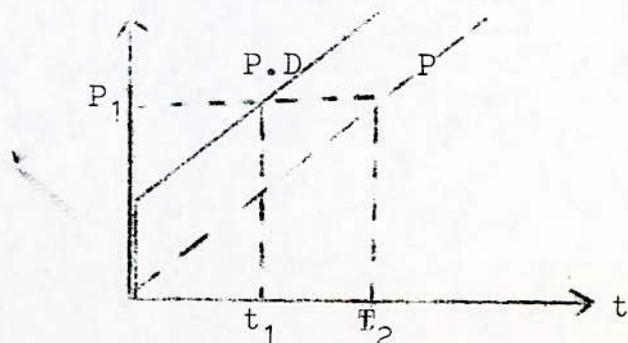
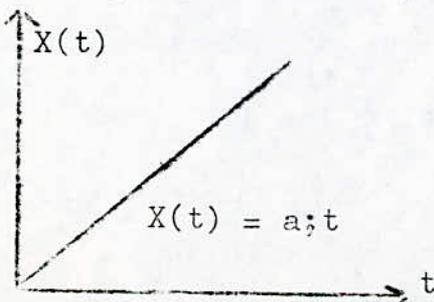
- Si on affiche un temps de derivation nul; la verification de l'alignement, le gain et le temps d'integration est identique à celle du regulateur P.I.

- Verification du temps de derivation " T_d ":

Pour le regulateur P.I.D. on affiche la plus grande valeur de T_d possible; et l'equation devient :

$$P(t) = G \cdot X(t) + T_d \cdot G \cdot \frac{dX(t)}{dt} + P_0$$

on applique une rampe à l'entrée du regulateur, et on enregistre la réponse. (la rampe peut être la sortie d'un regulateur P.I.)



On remarque que le temps d'integration est une anticipation sur l'action proportionnelle.

Pour le regulateur P.D ; la pression P_1 est atteinte pour $t=t_1$

Pour un regulateur P. ; la même pression est atteinte pour un temps $t=t_2$ plus grand

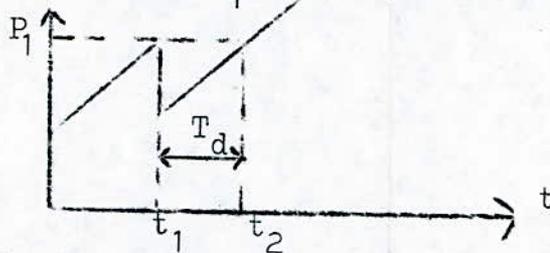
$$P_1 = T_d \cdot G \cdot a + G \cdot a \cdot t_1 + P_0$$

$$P_1 = G \cdot a \cdot t_2 + P_0$$

$$a = \frac{dX(t)}{dt}$$

$$\text{D'où } T_d = T_2 - t_1$$

En pratique pour la mesure de T_d ; on supprime l'action dérivée après un certain temps t_1 l'enregistreur donne la courbe suivante



Le temps de derivation est mesuré à partir de suspension de l'action "D" jusqu'à ce que la pression atteint de nouveau P_1 .

La precision de la mesure de T_d est liée à la precision de la vitesse d'enroulement du papier de l'enregistreur

VI-4.2. Regulateurs electroniques:

4.2.1. A action proportionnelle :

Son equation est la suivante :

$$I_2 = G \cdot X + A \quad I_2: \text{ courant de sortie } \quad G: \text{ le gain}$$

$$X: \text{ l'ecart mesure-consigne } \quad A: \text{ constante .}$$

Verification de l'alignement :

Si $X=0$ (mesure = consigne) le courant de sortie doit etre egale à la constante A Quelque soit le gain et le courant de d'entrée;.

Verification du gain:

On trace la caracteristique du regulateur $I_2 = f(X)$, (qui doit etre necessairement une droite); la valeur de la pente de cette caracteristique doit etre egale à la valeur affichée du gain.

4.2.2: A action proportionnelle et integrale:

L

Le controle des parametres des regulateurs electroniques à action P.I est identique à celui des regulateurs P.I pneumatiques .

Rappelons que dans ce cas on doit soumettre le regulateur à un echelon de courant unitaire et enregistrer sa reponse .

4.2.3 :A action proportionnelle , integrale et derivée:

La verification des actions proportionnelle et integrale est identique à celui des regulateurs P et P.I.en annulant l'action derivée -($T_d = 0$).

Le controle du temps de derivation est identique à celui d'un regulateur P.I.D pneumatique.

Par servomoteur on entend , l'element apte à transformer un signal de commande emis par un regulateur , en une action sur l'objet commandé . L'ordre etant une action sur le debit , il doit donc etre traduit par ouverture ou fermeture de la vanne de contrôle.

Il ont une puissance nominale variant entre quelque fractions de centième de Watt et 750 Watt.

Les principales exigences posées au servomoteur sont :

- Stabilité statique et lineaire des caracteristiques mecaniques dans toute la gamme de marche.
- L'action du moteur variant lineairement avec le signal de commande
- Grande rapidité de reponse .
- Faible puissance de commande (cette exigence concerne les servomoteurs electriques , vu la puissance limitée des sources de commande qui sont essentiellement electroniques)
- Excelente fiabilité

VII-1: DIFFERENTS TYPES DE SERVOMOTEURS:

VII-1;1: Servomoteurs electriques :

C'est les micromachines electriques à courant continu ou alternatif . Ils ont deux sens de marche; permettant l'action double (directe et inverse) , ou unidirectionnels avec retour par force de rappel .

1.1.1. Servomoteurs à courant continu:

C'est moteur commandé soit par l'induit ; soit par l'inducteur. La commande par l'inducteur consiste à regler la vitesse par variation du flux , en gardant l'alimentation constante. La puissance sur l'arbre est donc grande qu'on commande par un faible courant inducteur .

1.1.2. : Servomoteurs à courant alternatif :

Il s'agit des micromachines asynchrones ; tres souvent biphasés; le stator est constitué de deux enroulements decalés de 90° dans l'espace (Fig VII-1). La commande est faite par variation de l'angle α entre le courant de commande et le flux du stator. On peut aussi commander par variation de la fréquence f_c du courant de commande. La puissance sur l'arbre est donc grande qu'on commande par un faible courant inducteur .

La commande par variation de la fréquence f_c est faite par un convertisseur de fréquence. La puissance sur l'arbre est donc grande qu'on commande par un faible courant inducteur .

FIG VII-1

Servomoteur asynchrone
biphase.

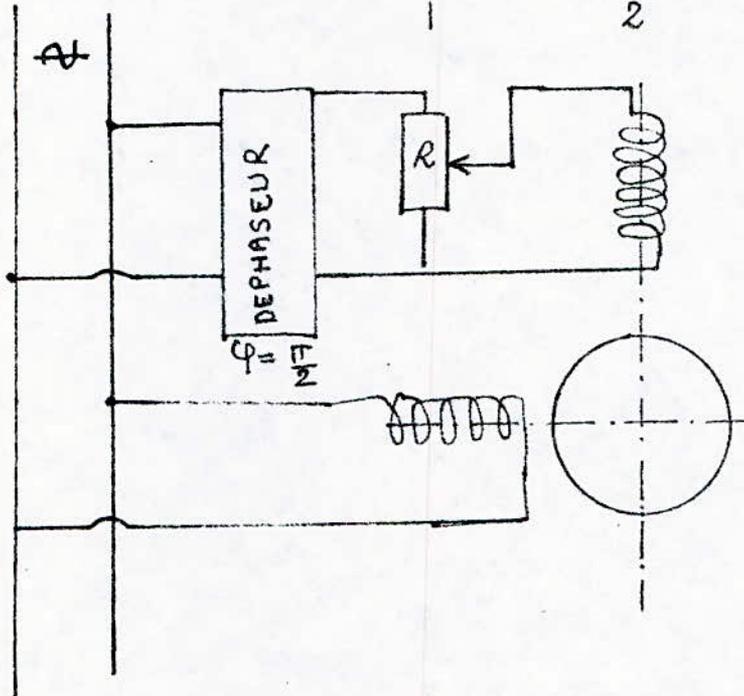
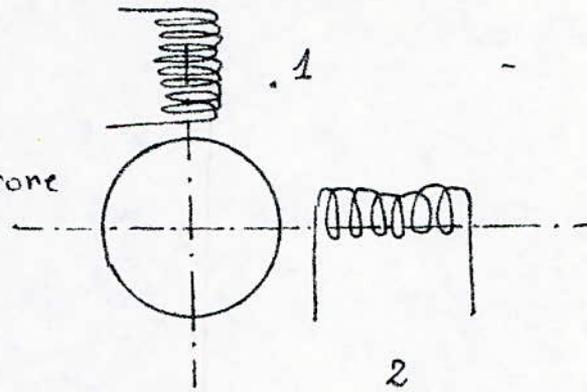


FIG : VII-2

Servomoteur asynchrone
biphase. Avec
dispositif de
commande par
variation de phase.

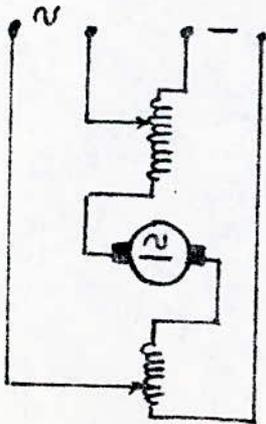


FIG : VII-3

Schema du couplage
d'un servomoteur a
Collecteur universel.

90° dans l'espace (FIG VII-1). La commande peut se faire soit:

- par variation d'amplitude : on fait varier l'amplitude du signal U_c qui est en quadrature avec U_e (tension d'alimentation du second enroulement) FIG VII-1
- Par variation de phase : FIG VII-2; le curseur définissant U_c est maintenu en A . Pour la commande de vitesse on provoque un déphasage entre U_c et U_e , différent de 90° .
- Par décalage des bobines 1 et 2 : ON décale dans l'espace les deux tout en maintenant le déphasage entre les tensions égal à 90° .

1.1.3 : Servomoteurs universels:

C'est un micromoteur à collecteur , pouvant fonctionner tant en alternatif qu'en continu (alternatif monophasé). FIG VII-3 L'enroulement statorique est fractionné . L'excitation comme pour une machine à courant continu peut être shunt, série ou indépendante

Ils présentent les avantages suivants:

- Fonctionnent en alternatif et en continu
- Réglage par l'induit très simple , continu et dans une large gamme de vitesses de rotation .
- A fréquence industrielle , on peut atteindre une très grande vitesse , qui arrive jusqu'à 2000 rd/s c.a.d 19000 Tour/min

VII 42. SERVOMOTEURS PNEUMATIQUES:

On distingue deux catégories de servomoteurs pneumatiques:

1.2.1: A mouvement rectiligne:

- à membrane et ressort(s) de rappel(s).
- à vérin et ressort de rappel
- à vérin double effet

1.2.2 : A mouvement angulaire:

Très généralement la transformation rectiligne-angulaire s'effectue grâce à un système d'engrenage.

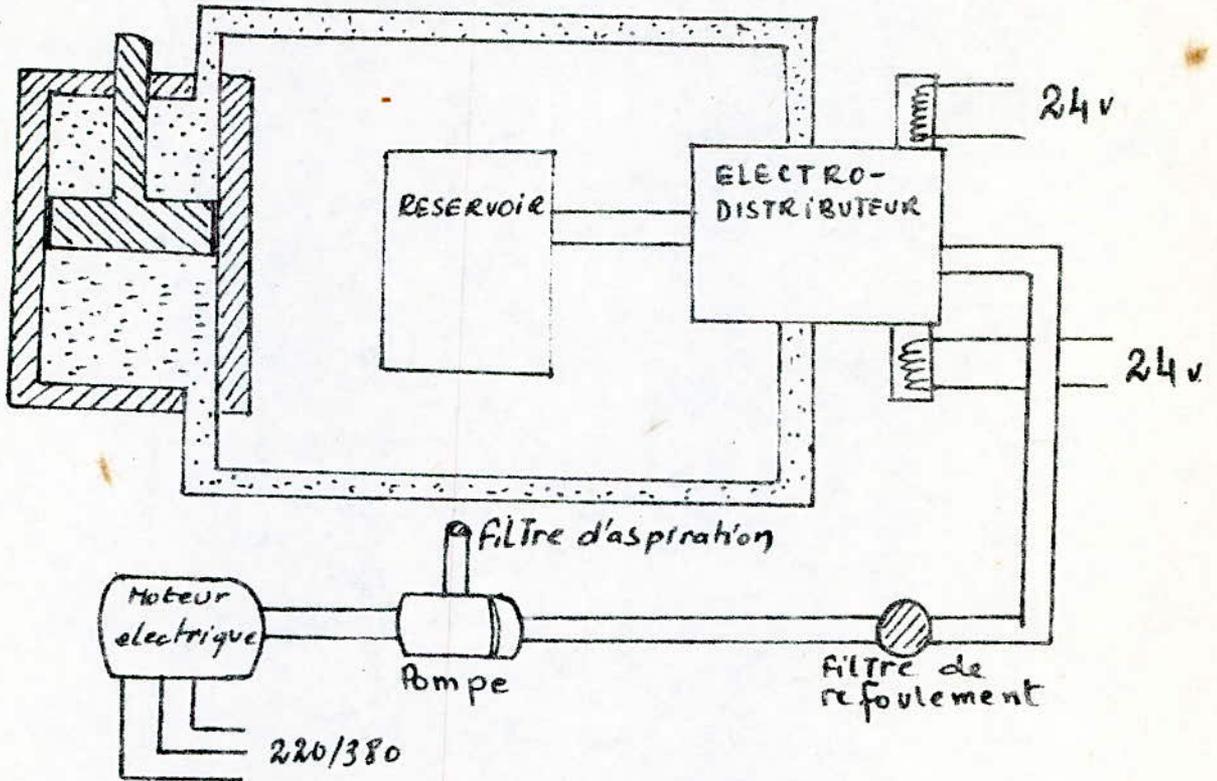
Servomoteur à piston :

Employé dans des applications particulières ; il permet d'obtenir un effort considérable en des temps très réduits .

Avantage des servomoteurs à piston:

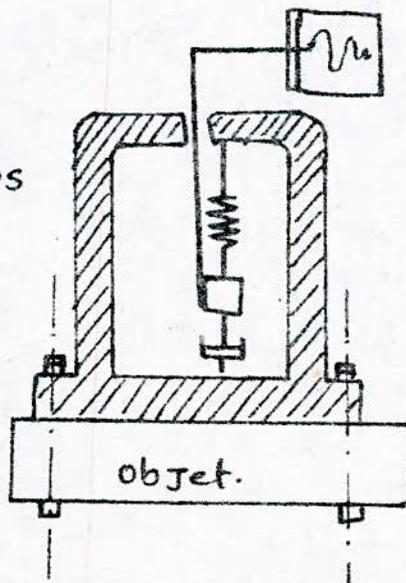
- pression de fonctionnement élevée
- très bon rapport taille-poids

FIG VII-7



Servo moteur electrohydraulique.

FIG VII-9
Capteur de vibrations
absolues.



- emploi de l'air service de l'usine .

Il y'a les servomoteurs à double action ; le mouvement de la tige est dû à l'augmentation de la pression sur l'une des faces du piston.

VII-3 : SERVOMOTEURS HYDRAULIQUES:

Il faut reconnaître que cette forme d'énergie peut transporter un maximum de puissance avec un minimum d'inertie; elle est donc particulièrement apte à contrôler les engins très lourds avec des accélérations qu'aucune autre forme d'énergie n'est capable de garantir. Elle peut être, par exemple, utilisée pour la manœuvre rapide de vannes de très grandes dimensions.

VII-1.4: SERVOMOTEURS ELECTROHYDRAULIQUES

Ils sont extrêmement intéressants car; bien que capables d'une puissance élevée ; ils sont entièrement autonomes à part d'une alimentation électrique ; et sont commandés par un signal analogique continu (4 à 20 mA) . La transformation énergie électrique énergie hydraulique apporte une souplesse et une rapidité de fonctionnement que les servomoteurs électriques ne peuvent pas garantir.

Sur la figure VII-7 on a le groupe hydraulique complet qui comporte une pompe, réservoir, régulateur de pression, servovanne verin double effet et un électrodistributeur .

VII-2: But du poste :

Dans ce poste on identifie les servomoteurs en déterminant leurs paramètres statiques et dynamiques, ainsi que l'exécution d'un certain nombre d'essais pour la vérification de certaines qualités des servomoteurs .

VII-3 : METHODE D'ETUDE DES SERVOMOTEURS:

3.1: Caractéristiques statiques et dynamiques des servomoteurs:

La détermination des paramètres statiques et dynamiques

est basée sur l'étude de la réponse indicielle . Le servomoteur est soumis à un échelon de unitaire (courant ou pression). Une microgeneratrice tachimetrique constitue la charge du servomoteur. Entraînée par ce dernier , la microgeneratrice delivre un signal électrique évaluant en fonction de la vitesse de rotation du servomoteur ; un compensographe branché aux bornes de la microgeneratrice nous donne une courbe qui represente indirectement la réponse indicielle du servomoteur. Un ampere metre est necessaire pour la mesure de l'amplitude de l'échelon dans le cas des servomoteurs électriques .

Pour les servomoteurs pneumatiques , on utilise la même source de pression , que pour les regulateurs .

VII-3.2 / Etude de la fiabilité et durée de vie:

La methode consiste à faire fonctionner le servomoteur sans arret jusqu'à ce qu'il commence à perdre ces performances, par la variation de certains de ces parametres par l'effet de vieillissement. Pour cela on doit disposer de l'appareillage suivant

1)-compteur d'impulsion : son rôle est de compter le nombre de courses effectuées par le servomoteur. Notons que les moteurs de sercomecanismes ont une rotation limitée dans un sens et dans l'autre . le nombre indiqué par le compteur d'impulsions à la fin de l'essai , determinera la durée de vie du servomoteur.

2)- Un systeme d'autocommande : constitué de deux contacteurs de fin de course , reliés chacun à un relais . A la fin de la course du servomoteur , le contacteur donne l'impulsion au relais qui enclenche le mouvement dans le sens opposé , et ainsi de suite.

3)-Charge variable : au cours des essais le servomoteur doit etre couplé à une charge qu'on peut faire varier pour offrir à chaque servomoteur sa charge nominale . ON place le servomoteur dans une chambre isothermique pour lui offrir les conditions climatiques comparables à celles dont ils sera soumis . L'atmosphere dans la chambre , contiendra des agents corrosifs tels que les sels etc., selon les normes.

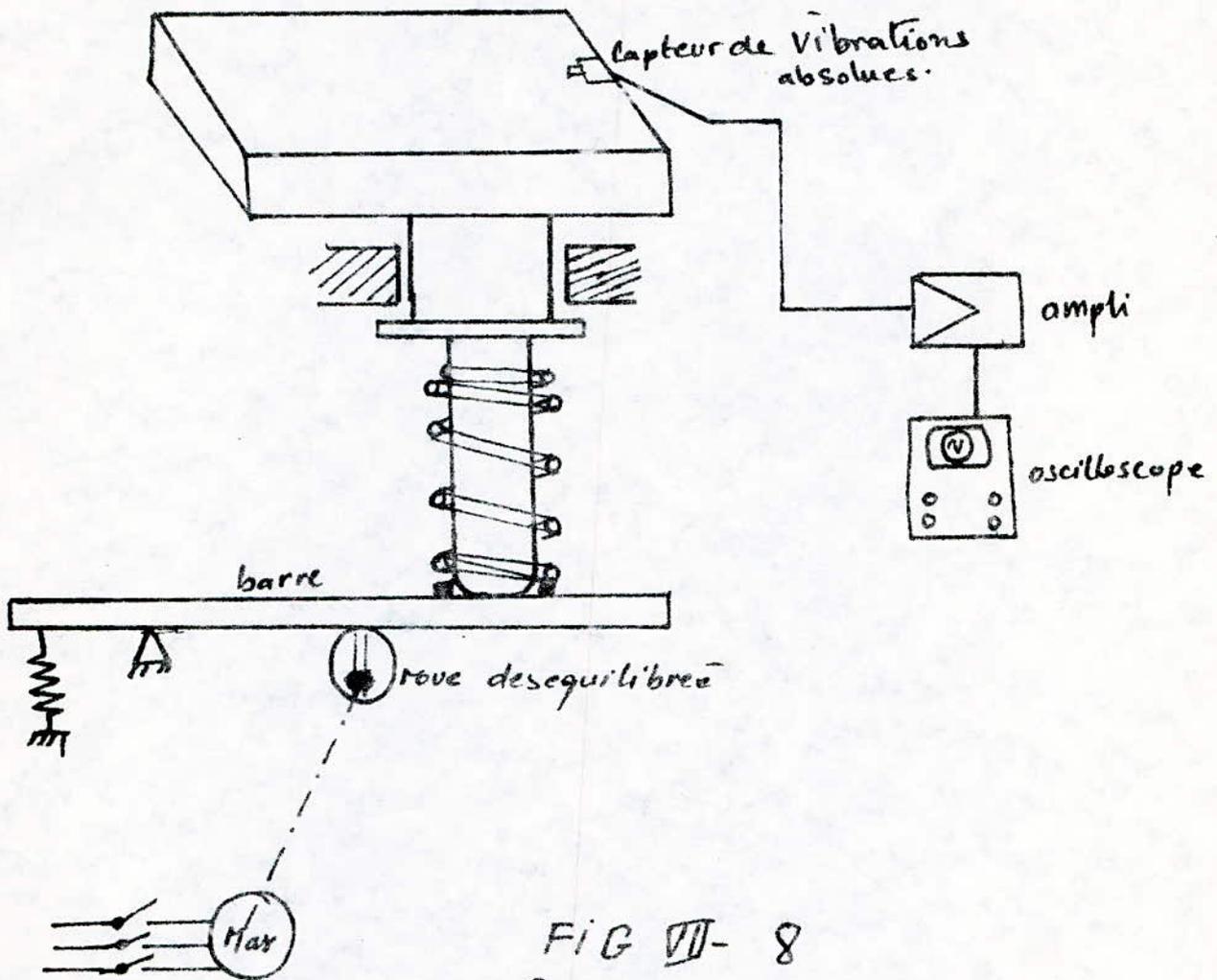


FIG VII- 8
Banc pour l'essai des
Servomoteurs en vibrations.

VII-3.3 : ESSAI AUX VIBRATIONS

Pour l'essai aux vibrations , on dispose d'une barre de vibration (FIG VII-8) dont une extrémité est liée à un ressort et l'autre extrémité vibre sous l'effet de rotation d'une roue dont l'axe de rotation ne passe pas par le centre . Sur l'extrémité vibrante de la barre se pose une butée , avec amortisseur , qui porte le support sur lequel le servomoteur à examiner sera posé . Un capteur de déplacement mesure l'amplitude des vibrations au cours de l'essai .

sur la figure VII-9 on a un capteur de déplacement absolu . Le signal émis par le capteur de déplacement , passe par un amplificateur avant d'être transmis à un oscilloscope pour la visualisation des vibrations .

On effectuera des essais pour différentes amplitudes et différentes fréquences .

La régulation de l'amplitude se fait par changement de la position de l'axe de rotation de la roue .

La régulation de fréquence de vibration se fait par changement de la vitesse de rotation du moteur qui entraîne la roue .

VII-3.4. MESURE DU COUPLE DES SERVOMOTEURS

Pour la mesure du couple des servomoteurs , il existe deux méthodes /

- Méthode directe : en utilisant un couple mètre .
- Méthode indirecte : en mesurant d'autres grandeurs , à partir desquelles on sait remonter au couple , grâce à des relations fondamentales, déduites des lois de la dynamique .

Dans notre laboratoire on utilise un couplemètre pour mesurer le couple des servomoteurs.

On distingue deux principes pour la conception des couplemètres:

- Opposition : C'est une méthode du zéro ; le contrôle du zéro se fait par exemple , à l'aide d'indicateur de niveau, disposé sur un bras de levier .
- Elongation : On utilise un dispositif qui peut générer un couple variable directement proportionnel à une autre grandeur mesurable .

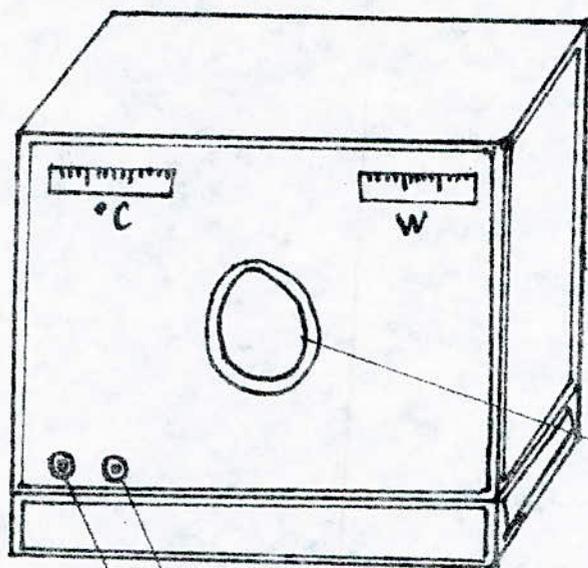


FIG: VII-10
chambre pour l'essai
aux Conditions climatiques
Savares

Porte pour introduire
Les servomoteur.

Comande d'humidité

Commande de temperature.

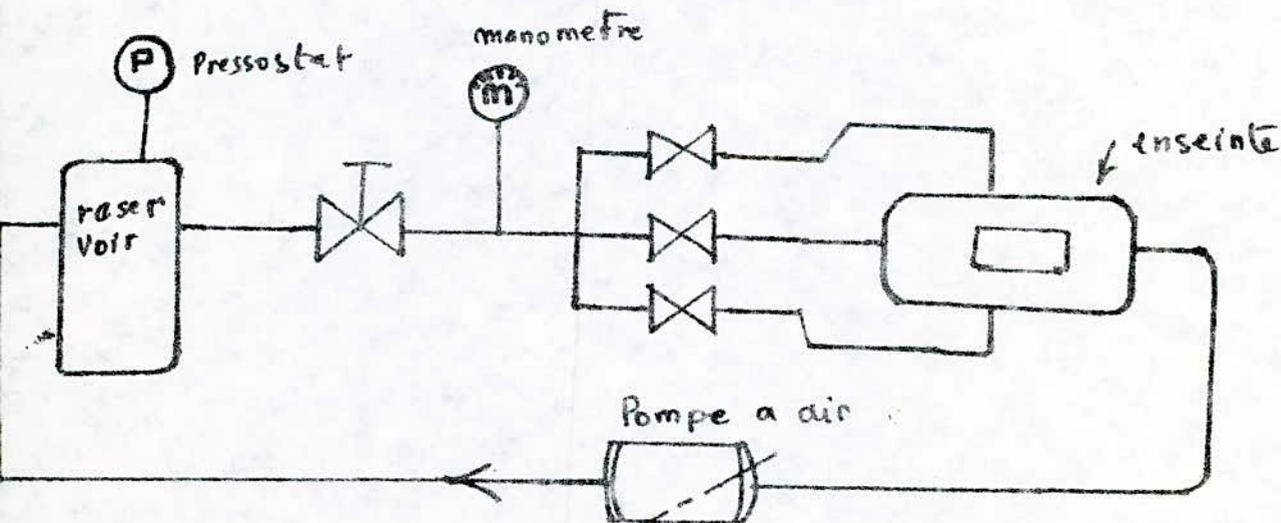


FIG VII-11
systeme pour l'essai aux
poussieres.

VII-3.5: ESSAI AUX CONDITIONS SEVERES :

Pour l'etude des servomoteurs aux conditions severes , on utilise une chambre speciale (KARL WEISS par exemple) de volume egal à 1Metre cube (1 m^3) ; munie d'un systeme speciale de commande de temperature et d'humidité . (FIG VII-10) La temperature peut varier de -30°C à 100°C et l'humidité de 10% à 95%

VI I-3.6 : ESSAI AUX POUSSIÈRES :

Sur la figure VII-11 on a le schema du systeme pour l'essai des servomoteurs dans une atmosphere poussierée . Un moteur entraine une pompe à air qui remplit un reservoir contenant une quantité de poussière . Le reservoir est muni d'un pressostat . L'enseinte où le servomoteur sera posé , reçoit l'air poussieré de trois ouvertures en provenance de trois vannes independantes , pour pouvoir créer le tourbillonnement de l'air à l'interieur de l'enseinte .

REMARQUE :

Les essais aux vibrations , aux conditions severes et aux poussieres , peuvent etres fait également pour les capteurs et les regulateurs .

CHAPITRE VIII

POSTE POUR L'ETUDE DES VANNES DE CONTROLE

VIII-1. INTRODUCTION :

La vanne est l'organe technologique qui permet de régler le débit d'un fluide . Elle reçoit un signal de commande , d'ouverture ou de fermeture délivré par un régulateur . .

Ce poste est consacré à l'étude des vannes de contrôle à action continue et les vannes entrant dans les systèmes de commande discrets , c'est à dire les vannes électromagnétiques , fonctionnant en tout ou rien , et les vannes binaires dont le degré d'ouverture est en créneaux .

Le fluide utilisé pour les essais est l'eau (chaude ou froide)

VIII-2 : DIFFERENTS TYPES DE VANNES :

On peut classer les vannes de contrôle de plusieurs manières .

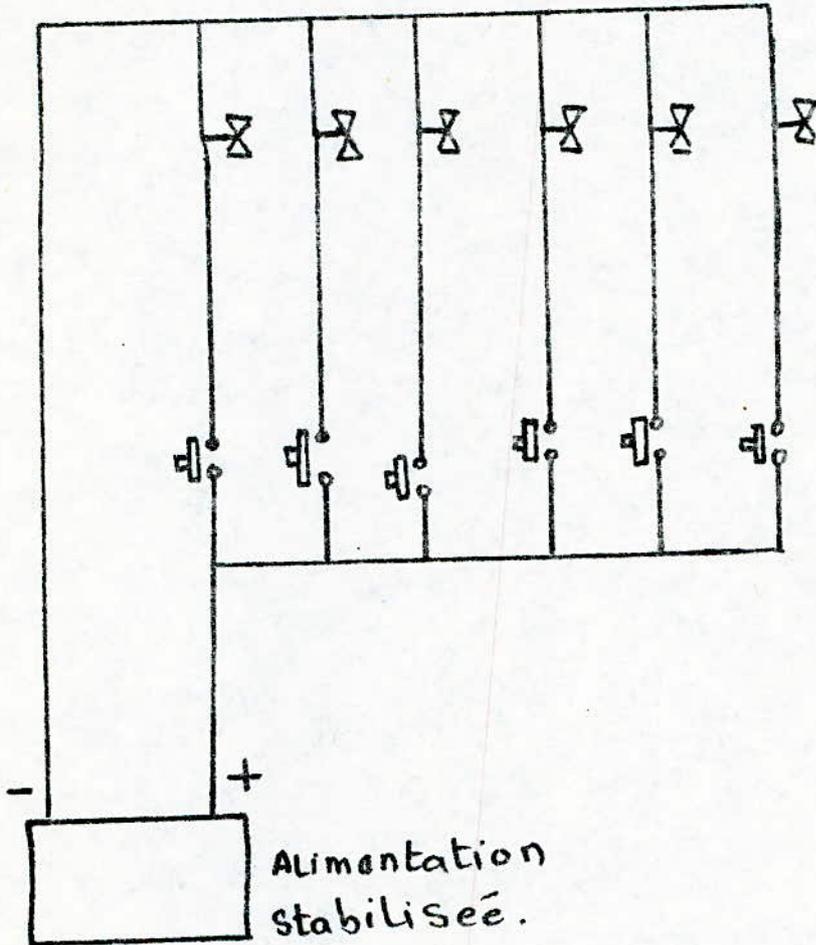
- 1)- Selon le type de déplacement du clapet
- 2)- Selon le nombre de voies
- 3)- Selon le mode d'excitation

1) Il existe des vannes de contrôle dont le déplacement est longitudinale (simple et double siège). L'élément qui règle le débit est un clapet dont le mouvement est rectiligne ; leurs avantages c'est d'être technologiquement simples à construire .

Inconvénient : Quand le fluide traverse la vanne , il exerce une pression sur le clapet , ce qui crée une force de résistance pour le servomoteur . Il nécessitent donc des servomoteurs assez puissants .

65-a

FIG VIII-2 Schema électrique
des connexions des électrovannes.



62-1

Il y a aussi des vannes rotatives où le déplacement circulaire
Le clapet est relié à un axe de rotation soumis au couple du
servomoteur .

2)- Il existe des vannes de contrôle à deux , trois et quatre
voies .

3) On peut également classer les vannes selon le mode d'excitation
En effet, le signal provoquant le déplacement du clapet , peut
provenir d'un servomoteur ; le servomoteur est parfois incorporé
dans la vanne , on l'appelle "servovanne " ; et il y a aussi
les vannes électromagnétiques qui agissent sous l'action électro-
magnétique d'un relais qui commande le clapet. Ce type de vanne
est très utilisé dans les systèmes de commande numérique.

VIII-3 : BUT DU POSTE E/

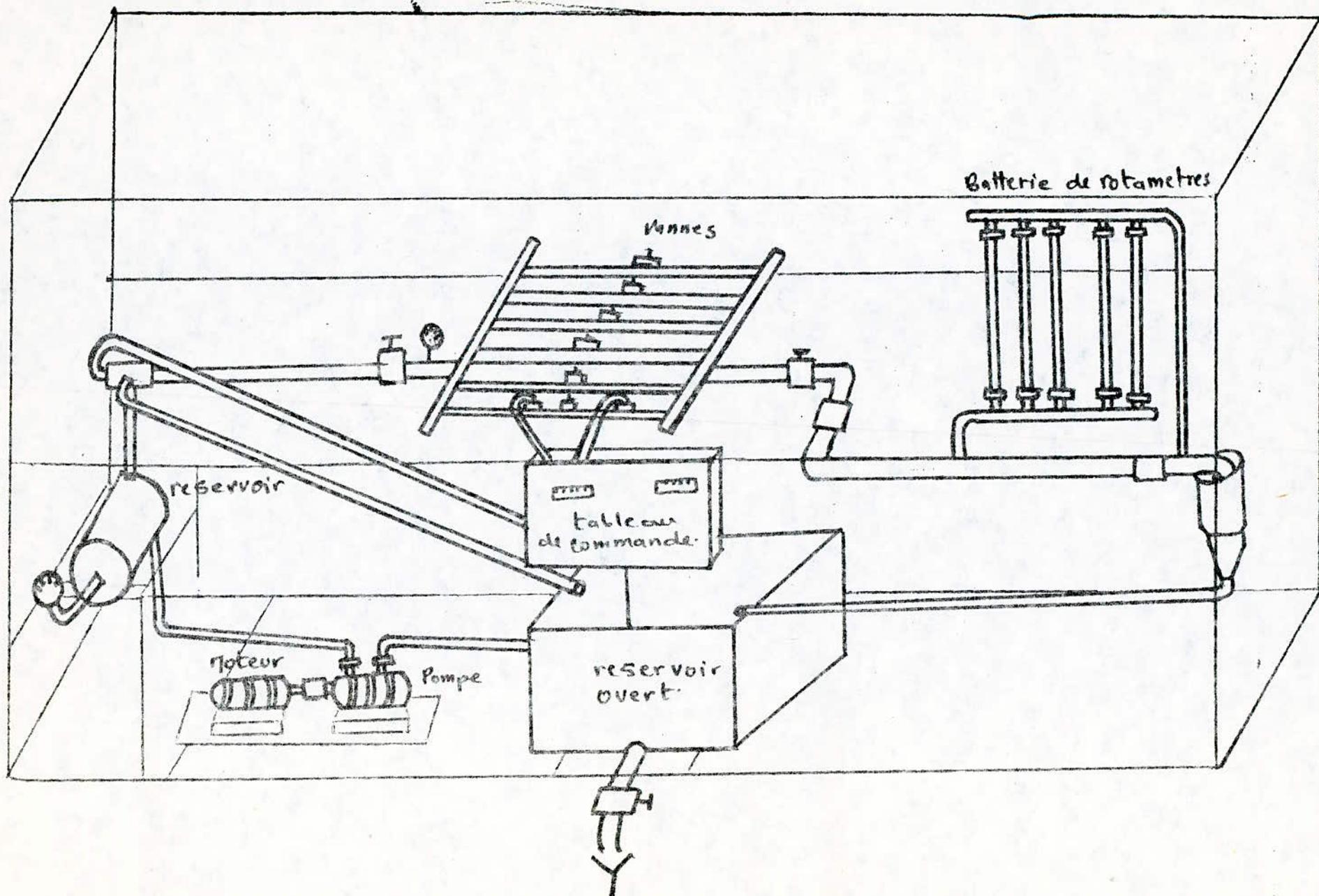
Le but de ce poste est de déterminer les paramètres
principales d'une vanne de contrôle ; telle que la caractéristi-
que d'exploitation , et le coefficient K_v .
On détermine aussi ces paramètres pour des combinaisons différentes
des vannes électromagnétiques .

VIII-4 : DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU POSTE :

Pour alimenter les vannes à étudier en eau , un moteur
asynchrone triphasé (de puissance 1kW) entraîne une pompe de
pression 19mH₂O , qui aspire l'eau d'un réservoir découvert vers
un réservoir fermé d'équilibre pour diminuer les pulsations du débit
ensuite l'eau passe au distributeur. FIG. VIII 4

Pour l'étude des vannes électromagnétiques , on place ces derniers
en parallèles au moyen d'un collecteur . Le débit total est donc
la somme des débits traversant toutes les vannes , il est de
20l/min. Pour la mesure du débit on utilise une batterie de ro-
tamètres ; si la mesure nécessite une précision plus élevée on
applique les méthodes balance-temps , dans ce cas la précision du
chronomètre doit être de 0,01 à 0,02 secondes. Sur la figure VIII-2
on a le schéma électrique des connexions des vannes électroma-
gnétiques . Les vannes sont commandées par une tension de 12 V
d'où nécessité d'une alimentation stabilisée .

Le schéma bloqué du système de mesures est donné sur la figure VIII
Pour mesurer la pression au-dessus de chaque vanne , les sorties de



66

FIG: VII-1
 VUE GENERALE DU Poste.

Le schéma bloc du système de mesure est donné sur la figure VIII-3. Pour mesurer la pression au dessus de chaque vanne, les sorties de mesure sont installées avant et après chaque vanne. Ces sorties sont connectés à un tableau contenant des indicateurs de pression. Pour la mesure de la pression totale la sortie de mesure est placée avant le collecteur commun.

VIII-5. METHODE D'ETUDE DES VANNES :

5.1 Caractéristique de base :

Pour chaque vanne ou combinaison de vannes électromagnétiques, on doit déterminer le coefficient K_V qui est défini comme suit :

$$K_V = \frac{G}{\sqrt{1000 \cdot \Delta P}}$$

G = débit massique en kg/h

ΔP = chute de pression sur la vanne.

On détermine K_V pour la pression de la vanne de 1 kg/cm^2

5.2 : Caractéristique d'exploitation :

La caractéristique d'exploitation est la courbe qui donne le lien entre le débit et le degré d'ouverture de la vanne

On doit effectuer les mesures pour:

$$\frac{\Delta P_{100}}{P} = 0,2 ; 0,5 ; 0,6 \text{ et } 0,8$$

où P est la différence de pression entre le tube d'alimentation et le tube de retour (après passage par la charge)

ΔP_{100} est la chute de pression au dessus de la vanne pour le degré d'ouverture maximal .

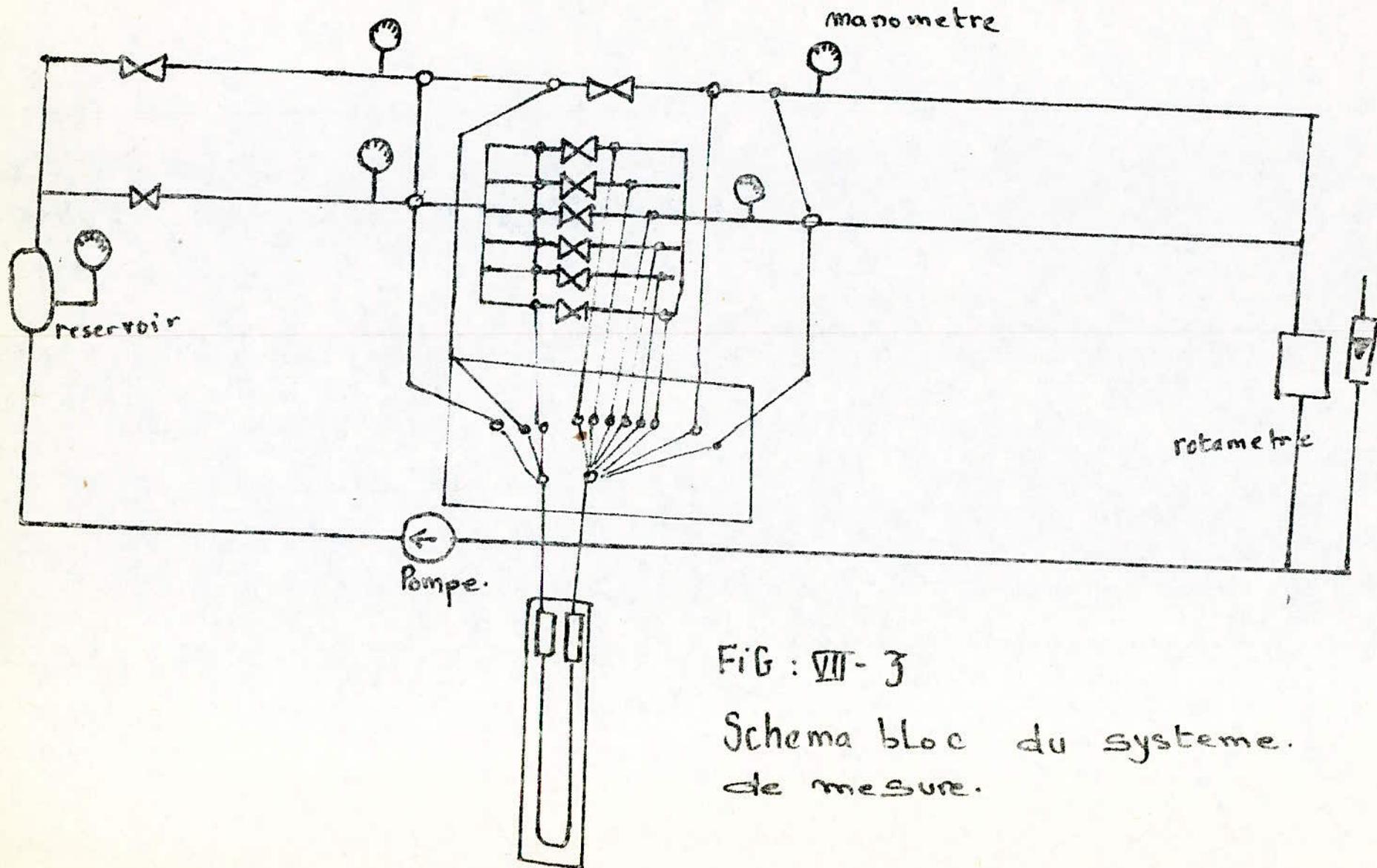


FIG : VII-3

Schema bloc du systeme.
de mesure.

CONCLUSION

Ce travail ne **constitu** en réalité qu'une contribution à la conception d'un **Laboratoire** des systèmes de commande ; qui nécessite d'être **elaboré** d'avantage .

Pour cela on espère qu'il sera donné une plus grande importance à ce laboratoire car il **pourra** servir pour les études expérimentales dans **le** domaine , en collaboration avec les stations solaires concernées .

Cet étude **nous** a permis **d'élargir** nos connaissances sur les propriétés **des** systèmes de commande de façon générale , et en particulier **dans** le domaine de **L'énergie** solaire .

En fin , on **espere** , c'est **notre** desir le plus cher, avoir donné **dar** cette **étude** les informations utiles aux prochaines promotions.

BIBLIOGRAPHIE

- Projets de fin d'etudes E.N.P.A :
 - Analyse experimentale des propriétés dynamiques d'un processus thermique. *de DERRAS et CHELLALI*
electronique juin 82
 - Etude et realisation d'un regulateur panneau solaire-battzries. *de DOUADIA et KHIARI*
electronique janvier 79

 - "Rocours immediats à l'energie solaire " J.R.Vaillant
-Eyrolles_ 80

 - technique de l'ingenieur "mesure et controle "

 - technique de la regulation industrielle
D.Dindeleux - *Eyrolles - 81*
-

L'objet de la presente etude , entre dans le cadre de l'elargissement des programmes de recherches , concernant l'exploitation de l'energie solaire.

On propose dans ce travail , un certain nombre de postes pour l'etude des caracteristiques et des qualites des elements des boucles de regulation , dans le domaine de l'energie solaire

The object of the present study , is to widen the research programmes , of solare energy exploration .

We propose , in this teil, some proceeding , in order to study characteristics and qualities of elements of regulation buckles , in the solare energy domain .

موضوع هذه الدراسة يدخل في إطار توسيع برامج الأبحاث المتعلقة باستغلال الطاقة الشمسية. من خلال هذا العمل نعرض عدد من الطرق الكفيلة بتصوير خواص ومميزات العناصر التي تدخل في مجالات التحكم الآلي في ميدان الطاقة الشمسية.

