

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

7/82

1er

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

FILIERE D'INGÉNIEUR EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**COMMANDE AUTOMATIQUE DES SERRES**

[ DANS DES CONDITIONS DESERTIQUES ]



Proposé par :

**Z. BARSKI**

(Docteur ès · science)

Etudié par :

**A. AMINI**

**R. CHETTAB**

PROMOTION JANVIER 1982

ΠΠΠ ΠΠ ΠΠΠ (ΠΠ) Π Π<sup>\*</sup> Π Π Π Π Π  
=====

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LOUANGES A DIEU, LE MAITRE DES MONDES

REMERCIEMENTS

NOUS REMERCIONS VIVEMENT MONSIEUR Z. B A R S K I, DOCTEUR  
ES-SCIENCE, PROFESSEUR A L'ENPA DE NOUS AVOIR GUIDES TOUT AU LONG  
DE NOTRE PROJET ET NOUS AVOIR ECLAIRES DE SES PRECIEUX CONSEILS.

NOUS TENONS A REMERCIER EGALEMENT TOUS LES FRERES ET  
SOEURS QUI N'ONT MENAGE AUCUN EFFORT POUR NOUS AIDER DANS LA  
FRAPPE, LE TIRAGE ET LA RELIURE.

QUE DIEU LES RECOMPENSE.

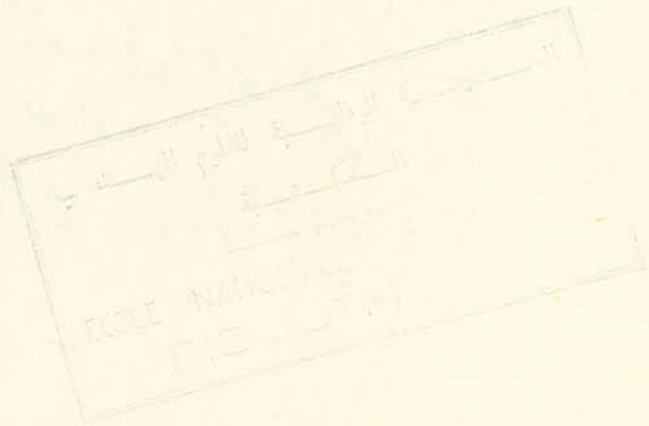
DEDICACES

ce modeste travail est dédié à :

tous les musulmans  
mon père  
ma mère  
mes frères et soeurs  
toute la famille  
tous mes amis  
R. CHETTAB

Tous les musulmans  
mon père  
ma mère  
mon frère  
ma soeur  
AHCENE et YUCEF  
toute la famille  
tous mes amis

A. AMINI





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

INTRODUCTION	1
1. PLANS DE DEVELOPPEMENT DES SERRES EN ALGERIE	2
2. TECHNOLOGIE DES SERRES	5
2.1 DESCRIPTION DE LA SERRE	5
2.2 DISPOSITIF DE REGULATION D'ECLAIRAGE ET DE CLIMATISATION	7
3. ELEMENTS DE COMMANDE	15
3.1 CAPTEURS	15
3.2 REGULATEURS ET IMPULSATEURS	22
3.3 SERVOMOTEURS	29
3.4 VANNES DE CONTROLE	30
4. SYSTEMES COMPLETS DE COMMANDE.	31
4.1 " " DE REGULATION PAS A PAS	31
4.2 " " EXISTANTS	37
4.2.1 SYSTEME (SIGMAGYR) AVEC DES SERVOMOTEURS ELECTRIQUES	37
4.2.2 SYSTEME (KSAK) AVEC DES SERVOMOTEURS PAS A PAS ELECTROPNEUMATIQUES	39
4.3 SYSTEME PROPOSE	48
4.3.1 DESCRIPTION DES SYSTEMES DE COMMANDE ET DE MESURE	48
4.3.2 REGULATEURS AUTO-ADAPTATIF AVEC LA SOMMATION DES IMPULSIONS	54
4.3.3 SYSTEME DE COMMANDE DES ELEMENTS EXECUTIFS	59
4.4 CHOIX ET CALCUL DES ELEMENTS DE COMMANDE	66
CONCLUSION	81
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE	

= I N T R O D U C T I O N =  
= = = = =

1. L'automatisation des serres enregistre constamment des perfectionnement, en vue d'améliorer tant la qualité <sup>que la quantité</sup> de la production et par la même optimiser la fonction économique. Ces mêmes soucis nous ont amenés à étudier un modèle tenant compte des conditions spécifiques à notre pays et donc plus approprié que les modèles réalisés jusqu'ici en ALGERIE.

2. Par conditions désertiques, nous entendons:

- puissance du secteur électrique insuffisante
- absence de spécialistes sur place

Il est donc nécessaire:

- de prévoir d'autres sources d'énergie
- d'assurer la fiabilité et la robustesse

des éléments constitutifs du système de régulation et donc la facilité d'entretien.

3. Dans le premier chapitre, on donne un aperçu sur le plan de développement des serres en ALGERIE.

Le deuxième chapitre est consacré à la technologie des serres avec l'ensemble des dispositifs de climatisation.

Au troisième chapitre on a traité les éléments de commande, cependant on n'y décrit réellement que les éléments qui ne figurent pas dans les précédents projets.

Le quatrième chapitre qui traite des systèmes complets de commande se divise en quatre parties/: La première est consacrée à la théorie de la régulation pas à pas.

La deuxième aux systèmes existants.

La troisième au système proposé.

Et la quatrième au choix et calcul des éléments de commande.



## 1. PLAN DE DEVELOPPEMENT DES SERRES EN ALGERIE : [5.2]

1.1 - Introduction : Le développement des cultures légumières en Algérie et particulièrement, dans les zones côtières qui comptent parmi les meilleures terres maraichères du Pays est devenu un problème d'actualité. Outre qu'ils représentent une culture riche, les légumes prennent une importance de plus en plus vitale pour la satisfaction des besoins de consommation de la Population en rapport avec l'amélioration du niveau de vie et la recherche d'une alimentation plus variée et mieux équilibrée.

Aussi, pour arriver à satisfaire les besoins, il s'agit d'agir sur les rendements. Cependant les cultures de plein champ ne permettront pas de dépasser un certain seuil de rendement, ni de résoudre la disponibilité de certains légumes pendant les périodes actuellement creuses en raison du facteur limitant qui est le climat.

Dans ce contexte, la serre répond à ce double objectif d'étalement de la production et d'augmentation du rendement.

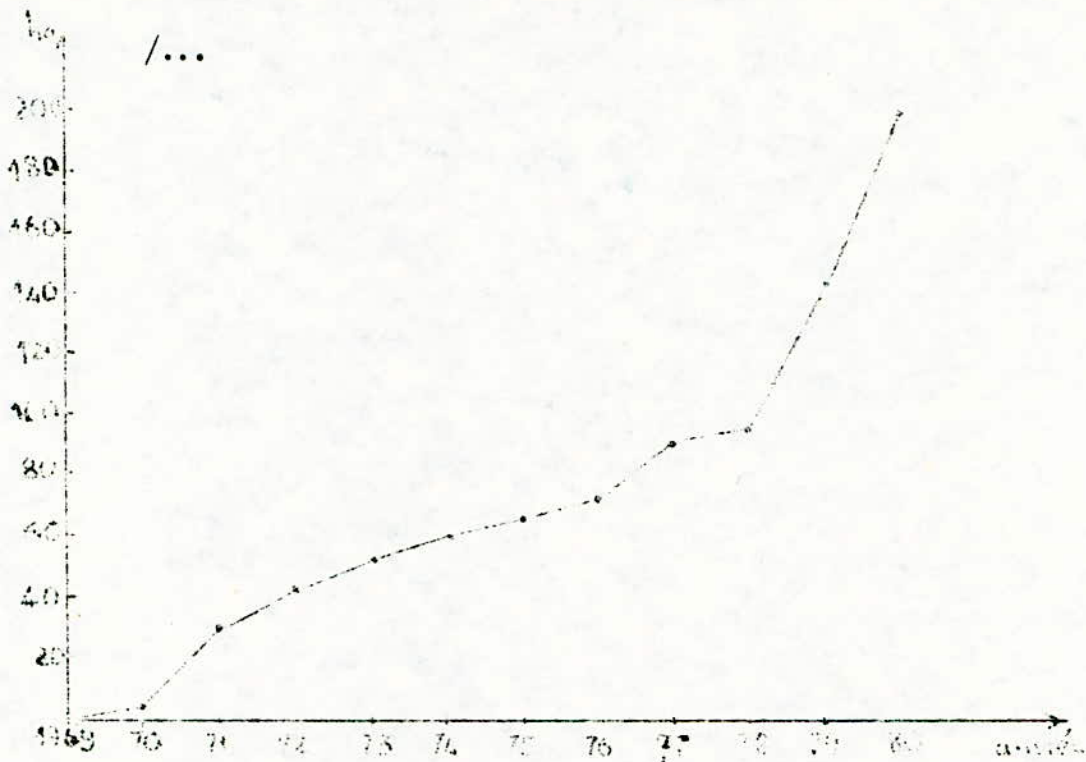
En effet, lorsque les conditions de production sont réunies, les rendements par rapport à la culture de plein air sont triplés (parfois quadruplés) sous serres. Pour ce qui est de la période de production elle se trouve allongée selon les espèces de deux à quatre mois sous serres.

### 1.2 SITUATION ACTUELLE :

Les cultures sous serres ont été introduites en Algérie en 1969. Les superficies sous serres <sup>sont</sup> restées très faibles jusqu'à 1978 car l'intégration de la nouvelle technique (serre) dans les plans de développement ayant été très marginale.

Les surfaces des cultures sous serre ont évolué selon la courbe ci-après :

/...



ANNEE	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
SERRES (ha)	0	5	32	42	54	60	67	73	92	96	144	200

### 1.3 - OBJECTIFS DE DEVELOPPEMENT :

Compte tenu de l'évolution de la population, des rations de consommation et des rendements, la superficie à équiper en serre pour la satisfaction des besoins nationaux a été évoluée à :

- 1984 : 2000 ha de serres
- 1990 : 6000 ha de serres.

Dans le cadre du plan quinquennal 1980 - 1984 le programme des 2000 ha de serres a été fractionné de la manière suivante :

- 50 ha en 1980
- 250 " en 1981
- 400 " en 1982
- 600 " en 1983
- 700 " en 1984

/...

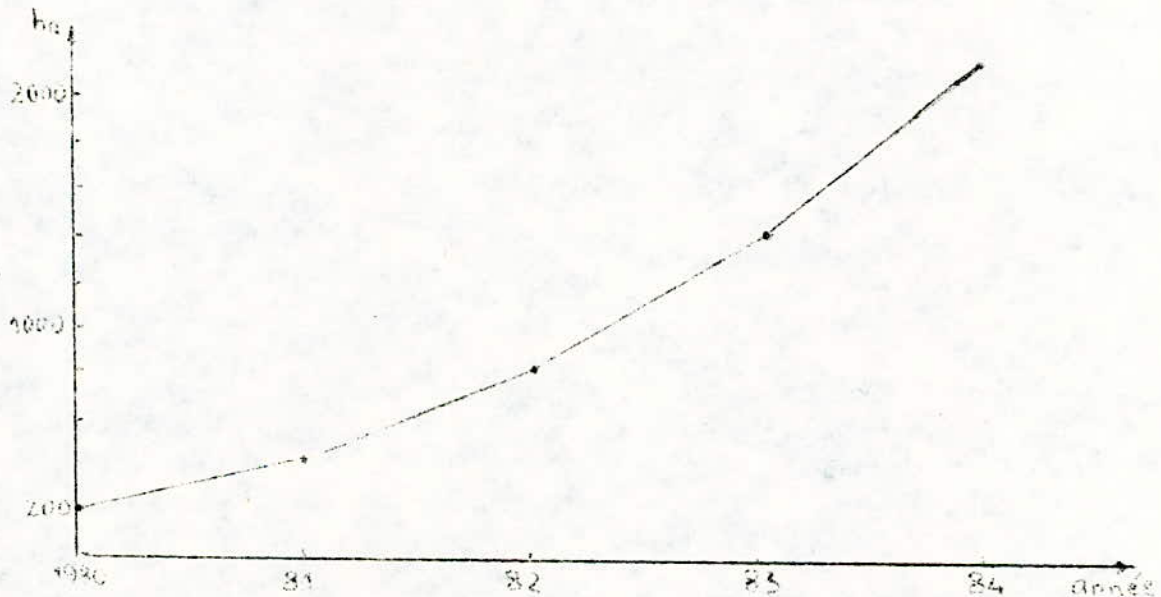


Ce qui donne le tableau suivant des surfaces totales sous serres en fonction des années du plan.

ANNEES	1980	1981	1982	1983	1984	1990
SERRES (ha)	200	450	850	1450	2150	6000

La répartition par zône climatique est la suivante :

- Littoral	: 1400 ha	soit 70%	du programme 80 - 84			
- Sublittoral	: 300 ha	" 15%	"	"	"	"
-Plaines intérieures	: 240 ha	" 12%	"	"	"	"
- Versants Sahariens	: 60 ha	" 3%	"	"	"	"



1.4 CONCLUSION / : On remarque que les surfaces qui seront sous serres vont augmenter considérablement durant les années à venir; ce qui prouve que la culture sous serres est appelée à jouer un grand rôle, en s'imposant comme technique d'avant - garde, et doit donc évoluer dans notre Pays.



2-----TECHNOLOGIE DES SERRES.

Définition d'une serre:

Une serre est une enceinte permettant d'obtenir, pour la production végétale, des conditions meilleures que celles existantes naturellement. La serre n'élimine pas l'influence du climat naturel; elle tire parti de ses éléments favorables.

## 2.1 Description

### 2.1.1 Dimensions :

Les dimensions des serres peuvent varier d'une serre à l'autre selon son utilisation.

Comme exemple, on peut citer les dimensions de la serre visitée à stationneli :

Largeur :  $l = 9\text{m}$       Hauteur des poteaux :  $h = 2,5\text{m}$

Longueur :  $l = 24\text{m}$       inclinaison du toit : 40%

Surface cultivable :  $S = 216 \text{ m}^2$       Volume de la Serre :  $V = 475 \text{ m}^3$

### 2.1.2 Armature et vitrage :

La serre est à armatures métalliques.

Le verre est martelé (4 mm à 6 mm d'épaisseur).

### 2.1.3 Température :

On peut avoir une température de 5°C à 60°C

Le refroidissement se fait grâce au système "Cooling".

Si ce système n'est pas suffisant, on utilise le refroidissement de la chambre de climatisation.

Principe du système "Cooling".

Le principe de ce système repose sur une constatation simple à savoir que l'évaporation produit du froid, ainsi la température de tout air sec diminue proportionnellement au poids d'eau absorbée par cet air.

Des ventilateurs soufflent dans un caisson construit à l'extérieur de la serre, l'air est obligé de passer au travers des pads (panneaux humidificateurs).

La surface de ceux-ci est calculée de telle façon que la vitesse de l'air à travers ceux-ci soit idéale pour que l'effet de cooling soit efficace.

L'air traverse la serre à une vitesse très faible afin de ne pas provoquer d'agitation importante au niveau des plantes, et sort ensuite par des ouvertures calibrées sur la face opposée de la serre.

/...

.../

.. Le chauffage se fait par aérothermes et par les réchauffeurs primaire et secondaire de la chambre de climatisation au cas où l'énergie solaire est insuffisante.

#### 2.1.4 Humidité :

On peut avoir une humidité relative entre 10% et 100% Hr.

L'humidification de deux manières

- Par cooling ( déjà décrit )
- Par laveur de la chambre de climatisation;

#### 2.1.5 AERATION

L'aération se fait par clapets et ventilateurs.

#### 2.1.6 ECLAIRAGE :

-Dispositif d'ombrage

Un éclairage convenable est assuré pendant les journées ensoleillées à l'aide d'un dispositif de régulation du flux d'intensité lumineuse utilisant un liquide caloporteur avec un agent opacifiant qui circule sous le toit de la serre.

-Tubes fluorescents.

LA serre est équipée d'un éclairage pour photopériodisme par des fluorescents <sup>tubes.</sup>

#### 2.1.7 ARROSAGE

La serre est équipée d'un arrosage automatique par aspersion, utilisant des rampes d'arrosage en tube PVC rigide suspendues sous fermes par des crochets supports en fil galvanisé.

#### 2.1.8 DISTRIBUTION D'EAU

A PARTIR DU réservoir d'eau, on amène un circuit d'alimentation en eau pour l'ensemble des pads du système cooling, vers les rampes d'arrosage et vers le laveur de la chambre de climatisation.

Un autre circuit alimente le réservoir de stockage d'énergie calorifique.

L'eau chaude contenue dans ce réservoir alimente le réchauffeur de la chambre de climatisation et les aérothermes.



2.1.9 - INSTALLATION ELECTRIQUE :

- l'Armoire de commande électrique renferme :
- les disjoncteurs de protection et les contacteurs
  - les interrupteurs
  - un système d'alarme sur batterie, en cas de disjonction d'un appareil ou de panne de secteur prolongée.
  - un groupe électrogène avec démarrage automatique en cas de panne de courant sur le secteur

2.1.10 - SYSTEME D'ALARME :

Un système d'alarme commandé par thermostat déclenche un système sonore, branchée sur une batterie, dès que les températures seront trop basses ou trop hautes.

2.2 - DISPOSITIF DE REGULATION DU FLUX DE RAYONNEMENT SOLAIRE ET DE CLIMATISATION -

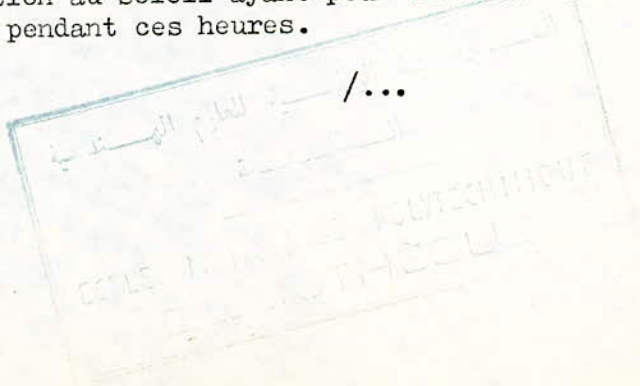
Les serres utilisées jusqu'à présent sont habituellement de deux types : d'une part celles ayant une enveloppe en matière synthétique telle que le polychlorure de vinyle (PVC), et d'autre part les serres à verrière.

Ces dernières comportent, en général, des moyens internes de chauffage, habituellement un chauffage central, et l'humidification afin de maintenir une température et une hygrométrie bien déterminées selon les espèces cultivées.

Au moyen des enveloppes en matière synthétique, il n'est pas possible de réguler la température à l'intérieur de la serre; en effet leur rôle se limite à la protection contre le froid. Lors de l'exposition aux rayonnements solaires, les enveloppes sont découvertes puis installées de nouveau en fonction de la baisse d'exposition.

Il s'agit là de moyens assez peu élaborés, prenant du temps, nécessitant de nombreuses manipulations et finalement peu pratiques.

Les serres du type verrière à chauffage central incorporé sont munies de moyens indicateurs de la température et du pourcentage d'humidité à l'intérieur de l'enceinte, ainsi, un système à thermostat régule la température pendant les heures d'éclairage et d'exposition au soleil ayant pour effet de baisser la consommation d'énergie pendant ces heures.





Cependant, il existe un problème avec ces serres à verrière. Pendant les heures chaudes de la journée, l'intensité lumineuse réfléchie sur la serre peut provoquer des phénomènes de surchauffe ou de sur-exposition ne convenant pas aux espèces cultivées.

Pour remédier à ce problème, divers moyens ont été utilisés tels que les bâches de couverture, les volets tant internes qu'externes, mais ces moyens outre qu'ils ne permettent pas de récupérer l'énergie solaire, ne procurent pas, de plus, une régulation précise et satisfaisante de la température à l'intérieur de la serre.

Le dispositif présenté par [3] trouve une application aussi bien pendant les heures à faible qu'à intense ensoleillement; il présente en outre l'avantage de pouvoir être mis en oeuvre en liaison avec les installations déjà existants avec peu de modification.

L'idée de base de ce dispositif est d'obtenir un réglage des variations du flux photonique émis par le soleil et, par conséquent, de la densité de la lumière admise dans la serre d'un façon simple et efficace avec un prix de revient relativement bas, réglage qui n'a pu être obtenu par les moyens de la technique antérieure.

Il est connu que certaines alternances, éclairement - obscurité sont absolument nécessaires à la modification par exemple, des périodes de floraison.

Le dispositif de régulation dont la description va suivre permet de mesurer et d'analyser de façon permanente, les paramètres climatiques suivant : température, hygrométrie et luminosité; de comparer ces variables à des valeurs de consigne requises et de maîtriser à l'intérieur de la serre, la température ambiante, le degré hygrométrique et la luminosité visible.

Ce dispositif repose sur le fait qu'il régule le flux de rayonnement solaire d'une part et qu'il utilise l'énergie solaire captée pour le chauffage de la serre, d'autre part.

Les serres adaptées à ce dispositif présentent une couverture transparente absorbante, selective, fait ombrage et protège les plantes tout en récupérant des calories. Un objectif de ce dispositif est de procurer des moyens permettant de faire varier automatiquement, l'opacité de cet ombrage afin d'avoir et de maintenir à l'intérieur de la serre un climat artificiel adapté à la nature des plantes et au stade de développement de celle-ci malgré les variations de luminosité et de température externes.

Les plantes n'utilisent pour la photosynthèse qu'une partie du spectre située dans l'ultraviolet et dans le spectre visible. D'autre part l'eau absorbe les rayons infrarouges.



Pendant les périodes d'ensoleillement, on fait circuler dans des absorbeurs transparents, disposés sous la couverture transparente de la serre, comme fluide caloporteur, un liquide transparent ( eau ) chargé d'un agent opacifiant qui est transparent aux ultraviolets et absorbe le spectre visible. En agissant sur la quantité d'agent opacifiant introduite dans le liquide, on règle le pouvoir absorbant de celui-ci en fonction de l'intensité du flux lumineux et (ou) de la température à l'intérieur de la serre.

L'agent opacifiant doit en outre présenter certaines propriétés ; de préférence, il doit être photochimiquement stable, non corrosif, non toxique, non polluant, biodégradable, bactéricide, et doit être stable à l'oxydation.

Par conséquent, il sera composé essentiellement d'un mélange :

- d'un ou plusieurs liquides organiques
- d'un liquide tensio-actif.

Les agents tensio-actifs facilitent les contacts entre les liquides organiques huileux et l'eau et améliorent la dispersion dans l'eau des liquides en suspension.

Les proportions respectives des liquides en suspension dans l'eau sont par exemple de 50 à 60 % de produit organique et 50 à 40 % d'agent tensio-actif. Ce mélange peut être additionné d'un agent bactéricide dans le but d'éviter la prolifération de micro-organismes.

Le Dispositif comporte :

- des capteurs solaires ( Fig. A2 à A6 ) décrits en annexe placés sous la couverture transparente de la serre, qui comportent deux plaques transparentes délimitant entre elles un espace dans lequel circule le liquide caloporteur

- et des moyens pour faire varier la concentration du liquide opacifiant en fonction de l'intensité du flux lumineux et (ou) de la température à l'intérieur de la serre.

L'énergie récupérée est stockée et utilisée pendant la nuit ou pendant les jours froids pour chauffer la serre, d'où une économie d'énergie et de frais de chauffage.

On a pu mesurer que lorsque la proportion de produit en suspension est de l'ordre de 3% du poids total, 99% de l'énergie du spectre visible était absorbée avec une épaisseur de lame de 5mm.

En faisant varier la proportion de l'agent opacifiant dans l'eau entre 0,1% et 3 %, on module le coefficient d'absorption et de réflexion du spectre visible et on constitue un ombrage artificiel ayant une opacité variable et contrôlable, ce qui permet d'agir sur la photosynthèse et le développement des cultures.

Le coefficient d'absorption du spectre visible du liquide chargé de l'agent opacifiant varie linéairement en fonction de la concentration de cet agent opacifiant dans le liquide.. /...



... /

2.2.2 - FONCTIONNEMENT :

Pendant les heures d'ensoleillement, on fait circuler le liquide caloporteur dans le circuit primaire 8, 11a, 11b, 6a, 6b, 4, 7.

Les panneaux 4 font fonction de capteurs d'énergie solaire et l'énergie captée est transférée dans l'échangeur 12 à un réservoir de stockage de calories.

L'eau chaude stockée dans le réservoir 9 est utilisée pour alimenter les aérothermes et les réchauffeurs primaire et secondaire de la chambre de climatisation.

La figure 21 représente le schéma technologique de la serre à commande automatique. Sur le coffret de régulation (37) sont connectés 3 thermostats externes (38), un capteur photoélectrique de flux lumineux (39), 6 capteurs de températures (40), 6 Capteurs d'humidité (42) et un capteur de flux lumineux placés à l'intérieur de la serre, un thermostat destiné à l'affichage et à la comparaison des températures captées et de consigne.

Le coffret de régulation pilote automatiquement les pompes ainsi que les servomoteurs actionnant les vannes.

La régulation se fait, pour la température par comparaison différentielle de la température extérieure mesurée par les sondes (38) avec la température interne mesurée par les sondes (40).

Pour l'intensité de la luminosité, la régulation peut être obtenue par comparaison de l'intensité du flux lumineux extérieur mesuré par la sonde (39) soit à la valeur mesurée dans l'enceinte par la sonde (41) soit à un seuil affiché.

De préférence, on sépare le liquide transparent et l'agent opacifiant après qu'ils soient dans les tubes ( ou lames ) et on recycle l'un et (ou) l'autre de ces produits, dans des proportions correspondant au pouvoir absorbant ou réfléchissant désiré par le fluide lors de son passage dans les tubes transparents.

La figure 2.2 est un schéma synoptique du dispositif de régulation du flux de rayonnement solaire.

Le dispositif de régulation permettant la modulation du flux de rayonnement solaire et de l'énergie captée se compose de deux cuves ou réservoirs, le réservoir 1 sert à entreposer un fluide transparent en particulier de l'eau, tandis que le réservoir 2 est rempli d'un produit opacifiant.

/...



.../

Il est possible de prévoir un réservoir à 2 Compartiments, l'un pour le liquide transparent, et l'autre pour le produit opacifiant, à condition de disposer un séparateur 46 approprié ne permettant aucun mélange entre les deux produits. Les 2 réservoirs (1) et (2) comprennent chacun une sortie de produit désignée respectivement par (47) pour le liquide transparent et (48) pour le produit opacifiant.

Le liquide transparent quittant la sortie (47) est acheminé par la conduite (49) vers une pompe (51). Le produit opacifiant est dirigé à partir de la sortie (48), par l'intermédiaire d'une conduite (50), vers un dispositif de dosage ( ou doseur ) (52) réglant la quantité désirée en fonction des besoins comme déterminés par une cellule photorésistante (53) située à l'extérieur du dispositif.

Après le dosage convenable, le produit opacifiant, par l'intermédiaire de la conduite (55) rejoint le fluide transparent à la jonction (56) et la suspension formée à concentration déterminée est dirigée par la conduite (19) en direction du capteur solaire (4).

Le liquide caloporteur peut alors se déplacer sur le pourtour du capteur solaire (4) ou il a un effet de modulation du rayonnement, absorbe une certaine quantité de chaleur et pénètre ensuite dans le circuit (12) duquel il peut transférer l'énergie absorbée à l'eau contenu dans le réservoir de stockage de calories.

Le liquide caloporteur, débarrassé de l'énergie qu'il a absorbée, retourne alors au moyen de la conduite (65) en direction d'un séparateur 62 constitué par un simple dispositif de filtration.

Ce dispositif de filtration permet de séparer aisément l'émulsion fluide transparent - agent opacifiant et chaque constituant élémentaire est réintroduit par les conduites respectives (63) et (64) dans les réservoirs correspondant (1) et (2) de l'ensemble (34).

Il convient de remarquer que le dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé fonctionne en continu, en circuit fermé autonome, et que ce fonctionnement est basé sur les informations recueillies par la cellule photorésistante (53).

Cette cellule (53) présente comme caractéristique d'être pourvue d'une plage de réglage permettant de déterminer la fonction du doseur (52) dont le rôle est d'admettre dans le circuit du fluide caloporteur, une quantité variable d'agent opacifiant non miscible. Ainsi, l'augmentation de l'intensité lumineuse modifie la fonction ou position du doseur qui admet un débit d'agent opacifiant plus important.

Le capteur solaire (4) est réalisé, de préférence, à partir de profilés qui sont transparents et parfaitement perméables aux rayonnements solaires et qui permettent une bonne circulation du liquide caloporteur chargé ou non du produit opacifiant.

Le liquide peut aussi circuler entre deux surfaces transparentes parallèles constituant un tube aplati.

/...



.../

### 2.2.3 . - RESERVOIR DE STOCKAGE D'ENERGIE CALORIFIQUE

Ce réservoir de stockage de calories utilise, pour le chauffage de l'eau nécessaire pour la régulation de la température à l'intérieur de la serre, une chaudière à fuel lorsque l'énergie solaire fait défaut ou est insuffisante pour satisfaire les besoins en eau chaude.

Le dispositif annexé est une commande automatique de chauffage à fuel qui élimine, celui-ci dès que le chauffage solaire entre en action.

La commande automatique comprend un thermostat et un régulateur électronique qui met en marche la chaudière quand la température de l'eau à l'intérieur du réservoir devient inférieure à la valeur de consigne et l'arrête quand cette température devient suffisante.

### 2.2.4 - FONCTIONNEMENT :

Le liquide caloporteur cède dans le réservoir, au travers de l'échangeur, des calories absorbées dans le capteur solaire. Au cas où cette énergie est insuffisante, un thermostat capte la température de l'eau dans le réservoir de stockage de calories et envoie l'information au régulateur électronique. Ce dernier ouvre la vanne (1) de fuel et allume le bec de la chaudière puis ouvre la vanne (2) du circuit de chauffage d'eau par chaudière.

Dès que la température de l'eau atteint une valeur suffisante (de consigne), le thermostat qui capte constamment la température de l'eau du réservoir envoie l'information au régulateur électronique qui éteint le bec et ferme les vannes (1) et (2) (fuel et eau chaude), arrêtant ainsi le chauffage par chaudière et laissant uniquement en marche le thermostat pour la mesure de la température de l'eau.

L'énergie solaire devant être dans la mesure du possible l'énergie principale, la chaudière est utilisée la nuit et surtout pendant les journées froides.







### 3- ELEMENTS DE COMMANDE :

Les éléments de base d'un système de commande automatique sont les capteurs, les régulateurs, les servomoteurs, les vannes de contrôle et les clapets.

#### 3-I LES CAPTEURS :

UN capteur est l'élément d'un appareil mesureur servant à la prise d'information relative à la grandeur à mesurer.

La fonction d'un capteur est donc de fournir une information, le plus souvent électrique, dont l'amplitude et l'évolution dans le temps sont l'image d'un seul paramètre naturel. Il permet d'assurer une prévision de l'environnement d'un processus physique à réguler.

#### 3-1-1 CAPTEURS DE TEMPERATURE :

Grandeur physique extrêmement importante, la température a donné lieu à la mise au point d'un certain nombre de capteurs de types divers dont les applications industrielles sont extrêmement variées.

Comme capteurs de température, nous pouvons citer les thermomètres à gaz, les thermomètres à dilatation de liquide, ou de solide, les thermomètres à dilatation de mercure ou de gaz à enveloppe métallique, les thermomètres à pression de vapeur, les thermistances, les thermocouples, les thermomètres à résistance ou à contact et les capteurs électroniques de température.

#### CAPTEUR DE TEMPERATURE LM 335 :

En 1979, National Semiconductor mettait sur le marché toute une gamme de capteurs de température en circuit intégré : la série LM 135, LM 235, LM 335.

Tous sont construits sur le même schéma trop complexe (16 transistors et les composants associés) pour que nous l'examinions ici dans le détail.

Nous nous en tiendrons donc aux caractéristiques générales, et à quelques exemples d'applications.

Seul, sera considéré le LM335, capable d'opérer de  $-10^{\circ}\text{C}$  à  $+100^{\circ}\text{C}$ . Les autres circuits, spécialement triés, en diffèrent par l'étendue.

Des températures d'utilisation (de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $+150^{\circ}\text{C}$ , pour le LM 135).

/...

PRESENTATION DU CAPTEUR LM 335 :

Malgré la complexité du schéma interne, ce circuit intégré, encapsulé dans un boîtier plastique, de type TO-92, n'offre que trois bornes de sortie

En simplifiant au maximum, on peut le considérer comme une diode zener munie d'une entrée d'ajustement de la tension de coude, à température donnée (fig 3.1).

Tous autres paramètres maintenus constants, la tension de coude est alors une fonction linéaire de la température absolue, et croît de 10mv chaque fois que celle-ci augmente de 1°K.

La figure 3.2 précise le brochage du LM 335, en boîtier TO-92.

Notons que les trois composants sont également disponibles en métallique TO-46, avec brochage indiqué par la figure 3.3.

RESUME DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES.

Le courant inverse dans la diode zener équivalente au circuit intégré, et symbolisée par le montage de la figure 4 ( $I_r$  étant alors déterminé par le choix de R, et de la tension d'alimentation), peut varier de 400 uA à 5 mA, sans qu'il en résulte de modification sensible dans les performances.

Avec  $I_r = 1\text{mA}$ , la tension de sortie est typiquement de 2,98v (fourchette garantie entre 2,92v et 3,04v), à une température de 25°C.

Si on n'utilise pas la borne d'ajustage, c'est à dire, si on se contente du montage de la figure 3.4, l'erreur atteint 2° C (valeur typique).

Par contre, en réglant la tension de sortie à 2,982v pour 25°C, grâce au montage de la figure 3.5, et toujours avec un courant inverse de 1mA, on ramène l'erreur à 1°C dans toute la gamme d'utilisation, entre 0°C et 100°C.

L'erreur de l'énéarité, dans la même gamme, s'établit typiquement à 0,3°C, et ne dépasse jamais 1,5°C dans le cas le plus défavorable.

Dans l'air immobile, la constante de temps thermique, pour le circuit présenté en boîtier TO-92, est de l'ordre de 20s.

Elle descend à 1s, dans un bain d'huile.

EXEMPLE D'APPLICATION.

Ce capteur de température peut être utilisé dans notre système en effet il servira à envoyer un signal en fonction de la température. dans

la serre, au régulateur de température.

/...





Fig-3.1

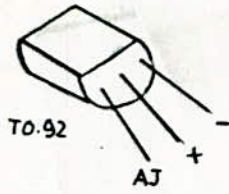


Fig-3.2

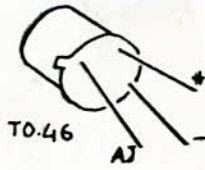


Fig-3.3

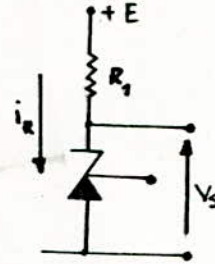


Fig-3.4

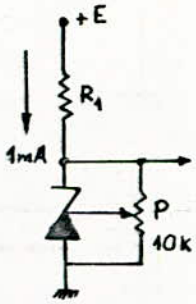


Fig-3.5

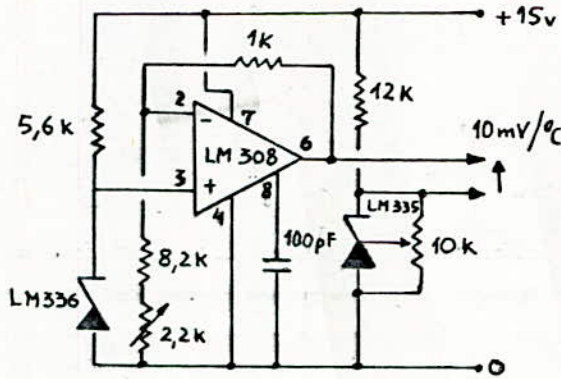


Fig-3.6

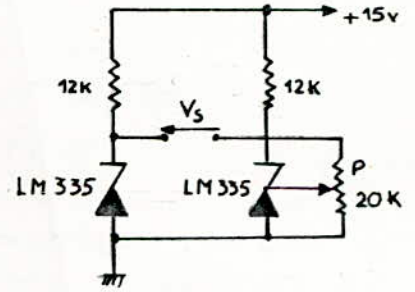


Fig-3.7

Capteur Electronique de Temperature

La figure 3.6 illustre cette utilisation: On remarque la présence du potentiomètre P de IOKr, destiné à calibrer la sortie, pour obtenir 2,982v à 25°C.

Dans ces conditions, à 0°C, la tension de sortie vaudra:  
 $2,982 - 0,01 \times 25 = 2,732V.$

Pour que le capteur n'envoie aucune signal à 0°C, ou doit brancher l'entrée du régulateur de température entre la sortie du capteur et une tension de référence de 2,732V.

C'est ce que permet l'amplificateur opérationnel LM308, après calibrage par le potentiomètre P<sub>2</sub>. On notera que le potentiel de l'entrée non inverseuse est stabilisé par la diode zener LM336, à très faible coefficient.

Il peut se révéler utile, dans certains contrôles, de mesurer la différence de température entre deux points. C'est ce que permet très simplement le montage de la figure 3.7, qui utilise deux capteurs LM335. On remarquera que, pour permettre le réglage du zéro lorsque les deux capteurs se trouvent à la même température, on emploie l'entrée de calibrage de l'un des deux, par l'intermédiaire du potentiomètre P de 20.

### 3.1.2 -- CAPTEURS D'HUMIDITE :

L'humidité est un paramètre important de la climatisation surtout dans les serres où les plantes ont besoin d'humidité pour leur développement. Comme capteurs d'humidité, on peut citer les psychromètre, les hygromètre électrique, ou à contact, les hygromètres mécaniques et les hygromètres électro-  
 - niques ...

## UN HYGROMETRE ELECTRONIQUE

Il s'agit d'une humidistance qui peut être utilisée soit pour donner une mesure du degré hygrométrique, soit pour assurer le contrôle automatique d'une atmosphère.

DESCRIPTION : Cet hygromètre est principalement constitué de deux circuits intégrés MOS CD4001, d'une humidistance H de capacité Cs, d'un transistor NPN (T1) comme régulateur de tension, d'un transistor PNP (T2) monté en émetteur commun jouant le rôle d'amplificateur et d'inverseur de signaux ainsi que d'un galvanomètre gradué de manière non linéaire servant d'intégrateur.

DEFINITION DU DEGRE HYGROMETRIQUE : Le degré hygrométrique représente, en pourcentage, le rapport de la tension de vapeur d'eau dans l'air et de la tension maxima de vapeur saturante à la même température.

Exemple : Si dans une atmosphère à 20°C la pression de la vapeur d'eau est de 6,9 mm ; en consultant la table ci-dessous de REGNAULT on voit que sa pression maxima à 20°C est de 17,4 mm alors l'état ou le degré hygrométrique est de :

$$H\% = \frac{6,9}{17,4} \cdot 100 = 40\%$$

C'est cette valeur (H%), encore appelée humidité relative qui est indiquée par l'hygromètre.

DETERMINATION de REGNAULT des pressions maxima de vapeur d'eau en fonction de la température.

t	p	t	p	t	p	t	p
- 10	2,1	8	8	18	15,4	40	54,9
- 5	3,1	10	9,2	20	17,4	60	148,8
0	4,6	12	10,5	24	22,2	80	354,6
2	5,3	14	11,9	28	28,1	100	760
4	6,1	16	13,6	35	41,8	150	3581
6	7						

t : température en °C

p : pression en mm de mercure.



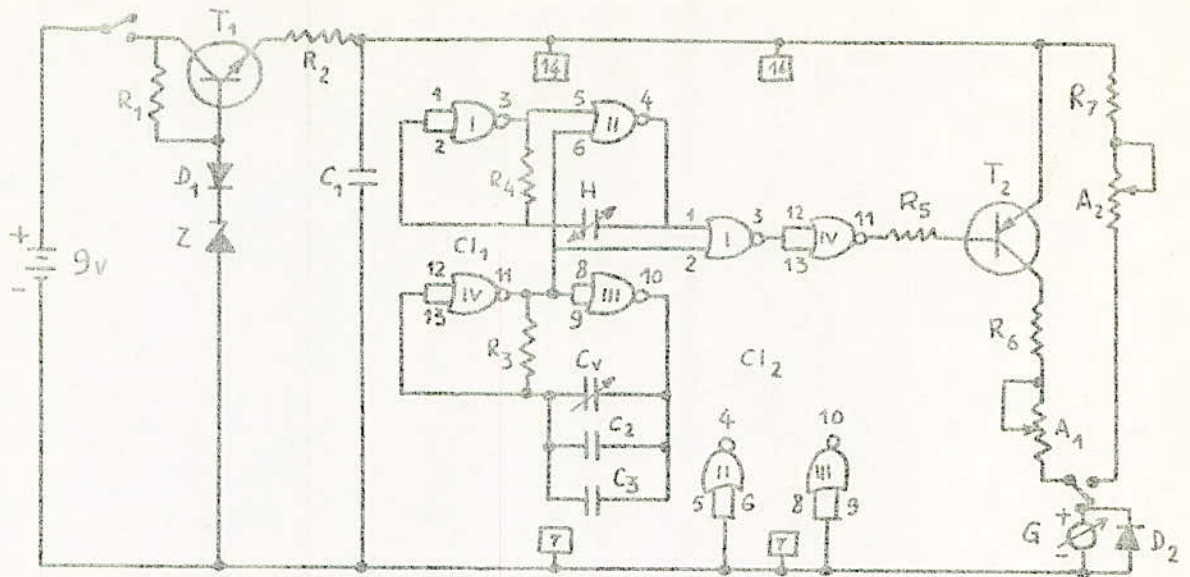
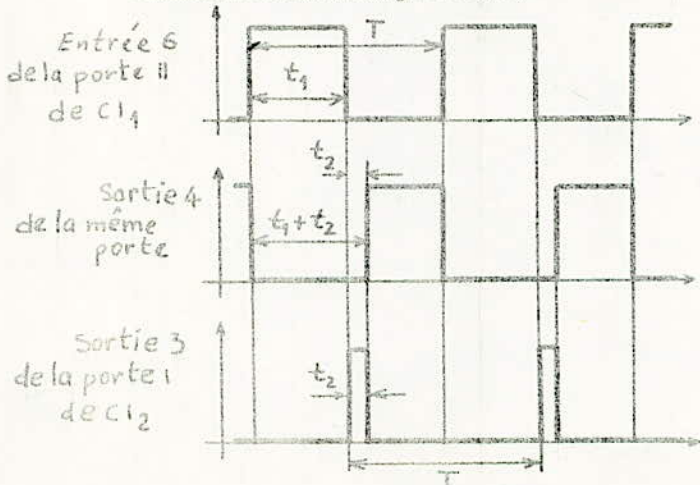


Fig-3.8

Hygromètre Electronique

Atmosphère assez sèche



$$T = 2t_1 ; (R_3 = R_4 = R)$$

$$t_1 = KR (C_2 + C_3 + C_v)$$

$$t_1 + t_2 = kRC_5$$

$$\text{d'où } t_2 = kR (C_5 - C_2 - C_3 - C_v)$$

$$\text{en posant : } C_2 + C_3 + C_v = C$$

$$\text{on a : } t_2 = kR (C_5 - C)$$

$$C_5 = C_0 + \Delta C \Rightarrow t_2 = kR (C_0 + \Delta C - C)$$

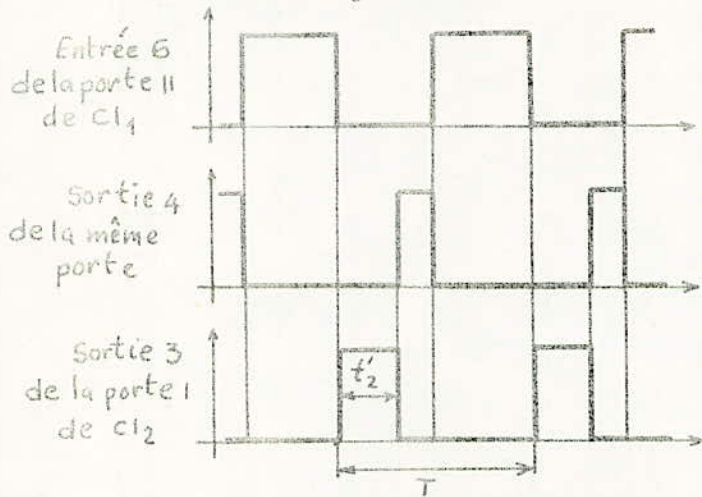
$$\text{soit : } t_2 = kR (C_0 - C) + kR \Delta C$$

$$C_0 - C = C' = \text{constante}$$

$$\text{d'où : } t_2 = C'^{te} + kR \Delta C$$

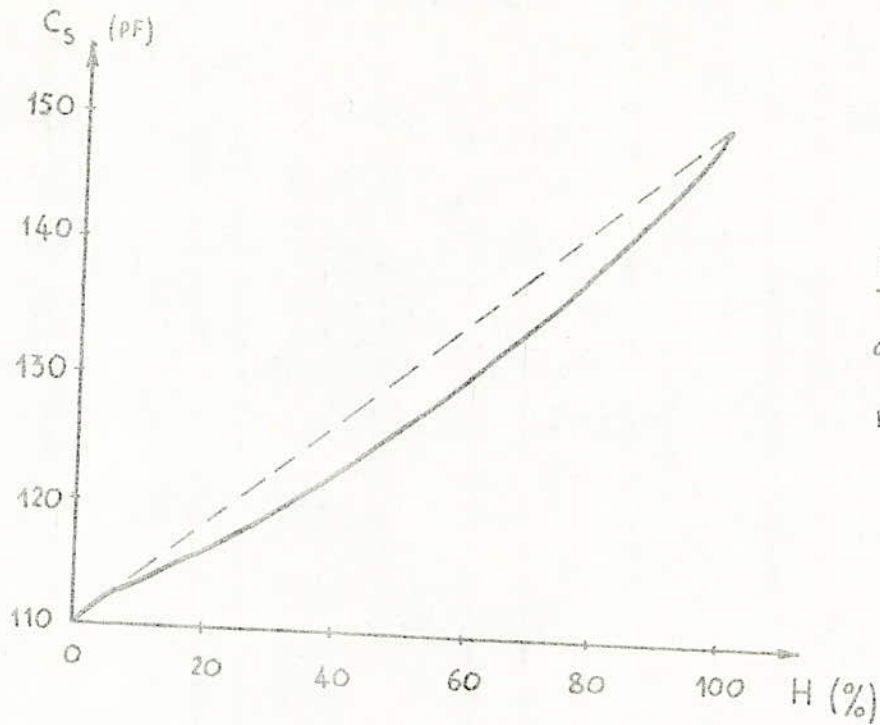
$$\text{par réglage : } C_0 - C = 0, \text{ alors}$$

Atmosphère assez humide



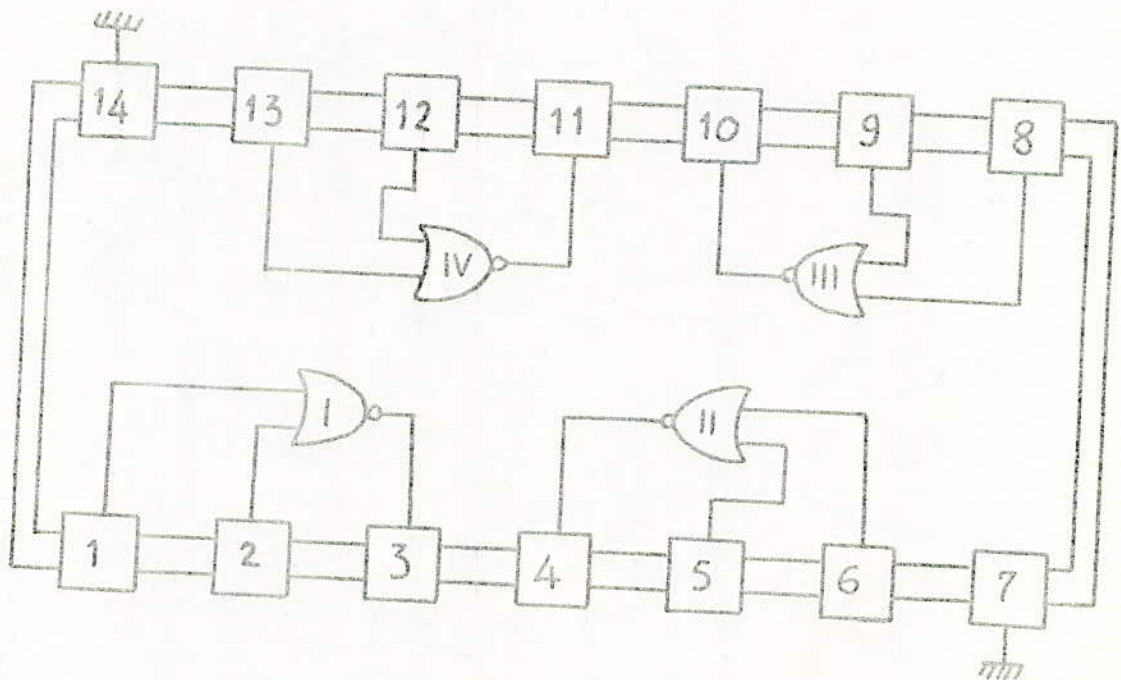
$$t'_2 > t_2$$

$$t_2 = kR \Delta C$$



Remarque : La variation de  $C_s$  en fonction de  $H$  n'est pas linéaire

Fig-3.9



CIRCUIT INTÉGRÉ MOS CD4001



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Il s'agit en fait de détecter la variation Cs de l'humidistance.

Le premier circuit multivibrateur constitué par les portes NAR III et IV du CI<sub>1</sub> génère une fréquence fixe appelée fréquence pilote sous forme de créneaux réguliers de période T; le second multivibrateur, constitué par les portes NAR I et II du même CI<sub>1</sub>, couplé au premier et en synchronisation avec la fréquence pilote, produit des créneaux dont les périodes élémentaires varient avec la capacité Cs de l'humidistance.

A l'aide d'un traitement logique de cette information, on dispose à la sortie de l'ensemble des impulsions positives de fréquence fixe et égale à la fréquence pilote mais dont les durées des niveaux logiques 1 sont d'autant plus importantes que le degré hygrométrique est élevé; ces impulsions amplifiées, sont acheminées sur le cadre mobile du galvanomètre sur lequel on lit la valeur du degré hygrométrique.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'HUMIDISTANCE :

- Capacité : 122 pF ± 15 %
- Sensibilité : (0,4 ± 0,05) pF / %
- Fréquences pilotes admissibles : 1KHZ ≤ f ≤ 1 MHZ
- Gamme d'utilisation : H = 10 % à H = 90 %
- Températures normales d'utilisation : -25°c ≤ t ≤ + 80°c
- Tension maximale : 15v ( continue ).

3.2 - LES REGULATEURS : ET IMPULSATEURS.

Réguler un paramètre consiste à maintenir à une valeur déterminée ce paramètre. Pour réaliser cette fonction, on mesure la valeur existante (mesure) en la comparant à une valeur prescrite (consigne) et en utilisant la différence de ces deux valeurs pour actionner un dispositif qui tend à annuler cette différence.

. On distingue en général trois types de régulateurs :

- les régulateurs continus
- les régulateurs discontinus
- les régulateurs quasi-continus

### 3.2.1 - Les Régulateurs Continus :

Un système de régulation est continu si le traitement des signaux se fait de manière continue dans le temps c'est à dire que toutes les grandeurs qui le caractérisent sont de nature continue.

### 3.2.2 - Les Régulateurs Discontinus :

Le réglage s'effectue par impulsions déclenchées quand le signal de mesure dépasse la consigne et par impulsions arrêtées quand le signal devient inférieur à la consigne .

### 3.2.3 - Les Régulateurs Quasi-Continus :

Ce sont des régulateurs dont la caractéristique résultante peut être assimilée à l'un des modes de régulation continue P, PI, PD ou PID, mais dont les signaux instantanés sont des séries d'impulsions. Ce type de régulateur est plus simple que les régulateurs continus et peut être appliqué aux objets et processus difficiles à régler avec  $T_0/T$  grand.

### RÉGULATEUR ELECTRONIQUE DE TEMPERATURE ( Fig. 3.10)

Ce régulateur est destiné à la commande individuelle par radiateur d'un chauffage central à eau.

Le fonctionnement détaillé de ce régulateur est décrit en annexe.

Ce régulateur électronique de température présente de nombreux avantages : le fait que la mesure s'effectue par l'intermédiaire d'un pont de Wheatstone élimine l'influence des variations de tension d'alimentation, sans qu'il soit nécessaire de prévoir une alimentation stabilisée. D'autre part la courte durée des impulsions rend négligeable l'échauffement des circuits du pont par effet joule, en particulier l'échauffement de la thermistance, qui peut ainsi être de dimensions réduites et, par conséquent présenter une très faible inertie thermique, d'où la rapidité et la précision de la mesure.

A ces caractéristiques qui procurent une excellente exactitude de mesure, s'ajoute celle d'une détection d'écart très précise.



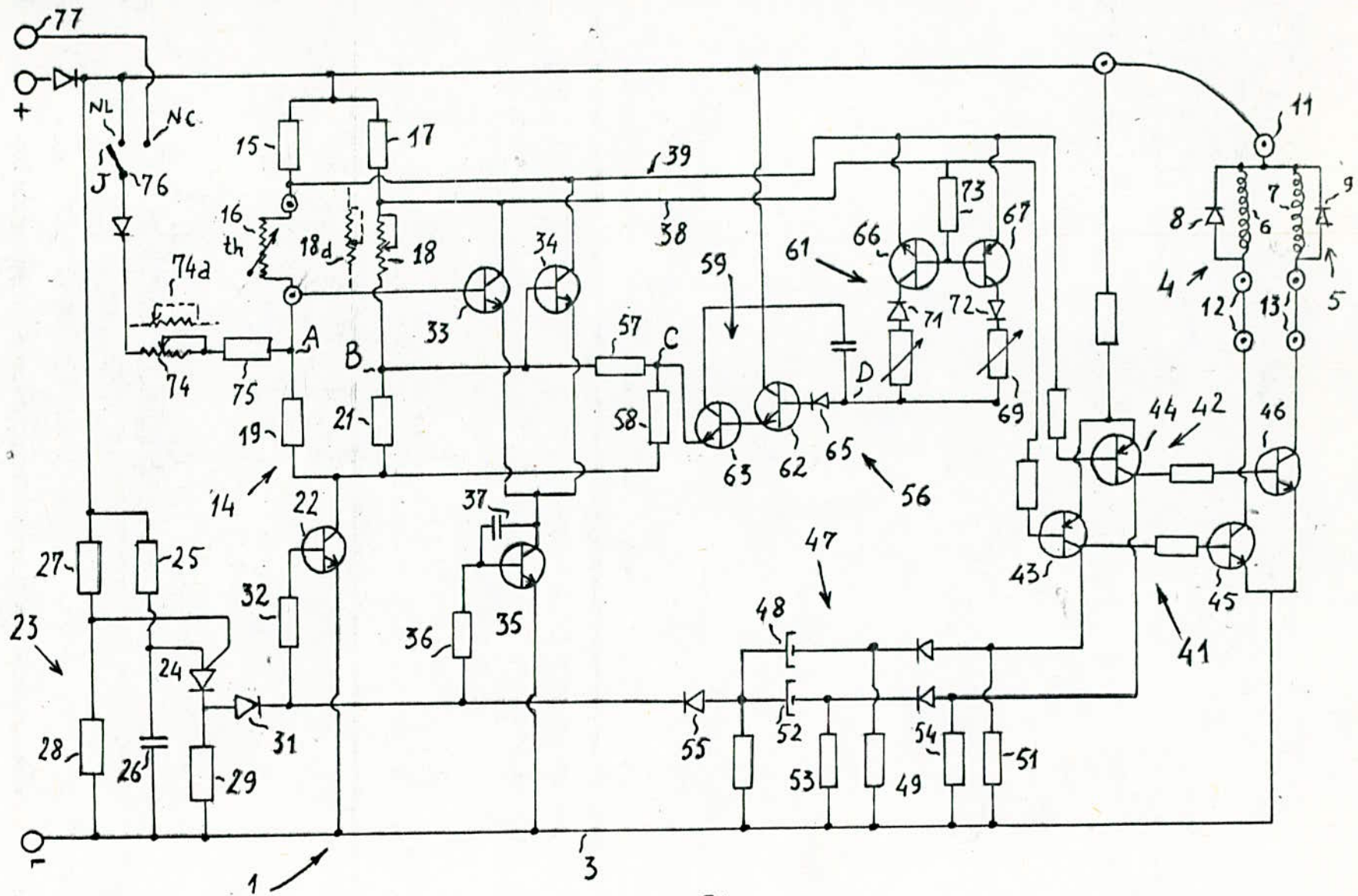


Fig- 3.10

Régulateur Electronique de Température

Cette précision ne dépend pas en effet de la stabilité absolue en température et à long terme des transistors (33) et (34), mais seulement de leur stabilité différentielle. Or, il est facile et peu coûteux d'obtenir une stabilité de l'ordre de quelques millivolts. Avec une tension d'alimentation de l'ordre de 10 V et une thermistance de pente 4% par degré Celsius, on peut alors facilement obtenir une détection d'écart précise à moins de 0,1 degré près. Or une telle précision est indispensable si l'on veut régler correctement et sans oscillations à un degré près la température d'une serre, les corps de chauffe présentant une inertie notable.

Ce régulateur permet aussi, par le fonctionnement par impulsions de réaliser de façon particulièrement économique l'étage d'action proportionnelle et intégrale.

En effet, les constantes de temps mises en jeu dans les systèmes de chauffage à eau chaude sont de l'ordre d'une heure et nécessiteraient, par les moyens connus, d'utiliser un condensateur de l'ordre de 100 F avec une résistance de l'ordre de 360 M $\Omega$ ; sous 10 V, le courant de charge ou de décharge permanente serait de l'ordre de 30 nA, ce qui nécessiterait, pour mesurer la tension aux bornes de condensateur, un amplificateur très stable muni d'une alimentation stabilisée.

Avec la commande par impulsions de 0,1 s toutes les 30 s, le courant est porté à 10 mA, ce qui conduit, pour les résistances (68) et (69) à une valeur tout à fait courante de 1 M $\Omega$ .

#### REGULATEUR AUTOMATIQUE D'ECLAIRAGE (Fig. 3.11)

Ce régulateur comprend une source de tension continue variable qui, associé à un circuit réducteur d'intensité (ou de mise en veilleuse) de lampes DHI (à décharge à haute intensité), règle le flux lumineux de ces lampes.

La source de tension continue, automatiquement variable, de commande d'un circuit de mise en veilleuse de lampes DHI en vue d'assurer une régulation automatique d'énergie, comprend un circuit à cellule photoélectrique qui mesure l'éclairement à l'intérieur d'une enceinte et transmet un signal en fonction du niveau d'éclairement, à la source de tension continue. /...



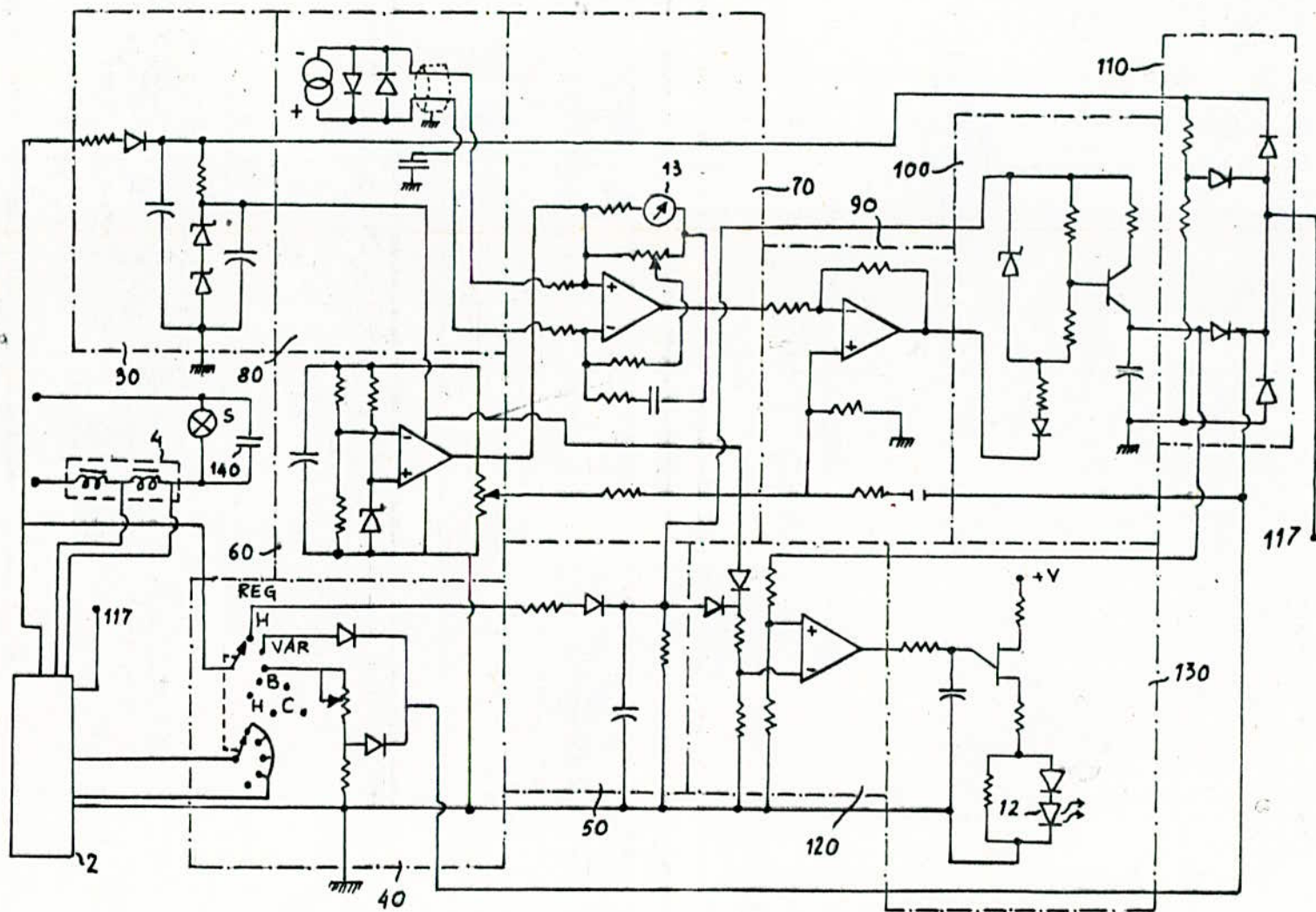


Fig-3.11

Régulateur Electronique d'Eclairage

Une source de signal de référence est couplée électriquement à un amplificateur différentiel ainsi qu'au circuit à cellule photoélectrique.

Cet amplificateur produit une tension continue variable en relation fonctionnelle avec la différence d'amplitude entre le signal provenant de la source de référence et celui provenant de la cellule photoélectrique.

### SPECIFICATIONS DE LA FIGURE (3.11)

- 1 - Source de tension continue automatiquement variable
- 2 - Circuit réducteur d'intensité
- 3 - Appareil d'éclairage
- 4 - Régulateur
- 5 - Lampe
- 8 - Cellule photoélectrique
- 9 - Potentiomètre
- 10 - Potentiomètre
- 12 - LED12 ( Diode electroluminescente)
- 13 - Appareil de mesure
- 20 - Groupe à cellule photoélectrique
- 30 - Circuit d'entrée
- 40 - Circuit de commutation
- 50 - Circuit d'entrée
- 60 - source de signaux de référence
- 70 - Amplificateur de la cellule photoélectrique
- 80 - Détecteur à cellule photoélectrique
- 90 - Amplificateur opérationnel
- 100- Circuit séparateur
- 110 - Circuit de sortie
- 117 - Borne de sortie
- 120- Circuit comparateur
- 130 - Dispositif indicateur
- 140 - Condensateur

#### 3.2.4 - IMPULSEUR :

La figure 3.12 représente un impulseur électronique qui n'est autre qu'un multivibrateur produisant des signaux carrés ou rectangulaires.

La figure 3.13 représente la forme des signaux ( des tensions) de sortie d'un multivibrateur.



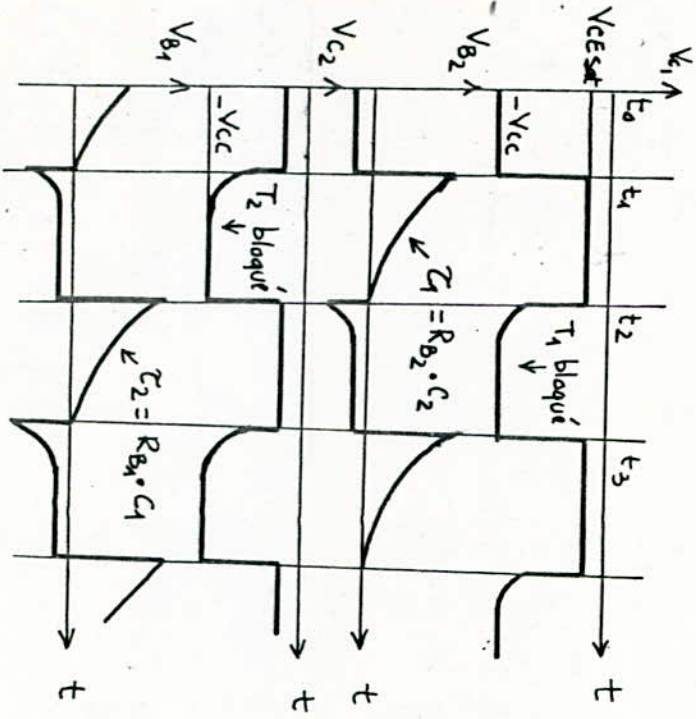
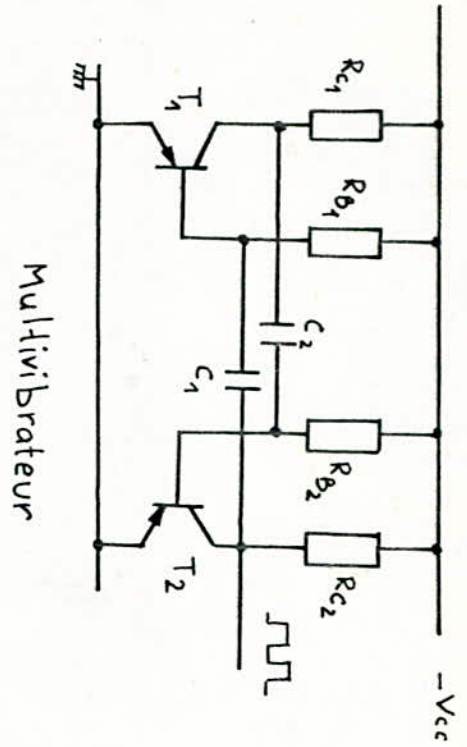


Fig-3.13

Forme des tensions

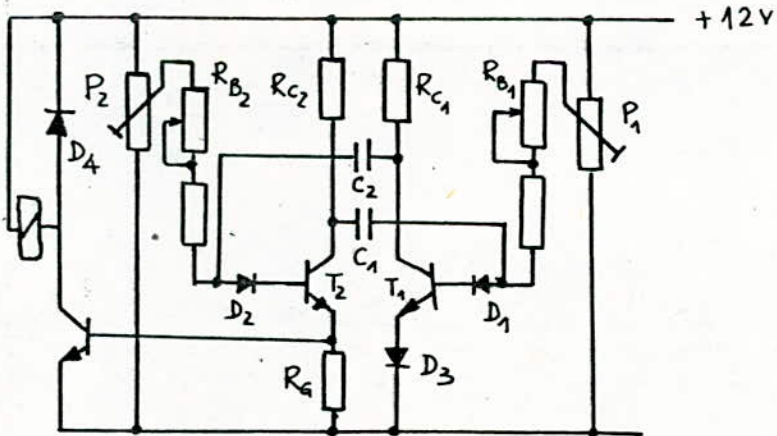


Fig-3.12 Impulsateur Electronique

.../

### 3.3 SERVOMOTEURS :

#### 3.3.1 - Généralités :

Le signal émis par le régulateur a pour mission de commander l'exécution des ordres par l'intermédiaire d'un servomoteur agissant sur l'organe de réglage. suivant le type de régulateur choisi le signal de commande est hydraulique, pneumatique ou électrique. L'ordre étant une action sur le débit, donc il doit être traduit par une ouverture plus ou moins grande de la vanne.

#### 3.3.2 - Servomoteurs Hydrauliques :

Ils se composent d'un cylindre dans lequel se déplace un piston. L'une des faces du piston reçoit la pression modulée issue du régulateur et le piston se déplace jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse entre les pressions exercées sur les deux faces du piston, ce qui entraîne une ouverture ou une fermeture de la vanne. La faible inertie des parties mobiles leur permet des performances recherchées pour de nombreuses applications.

#### 3.3.3 (SERVOMOTEURS PNEUMATIQUES) :

Ils sont composés d'une membrane souple qui, en se déformant sous l'action de la pression d'air envoyée par le régulateur, agit sur piston écrasant un ressort antagoniste, la pression exercée sur la membrane par l'air étant équilibrée par l'effort développé par l'écrasement du ressort. Toute déformation de la membrane, entraîne un déplacement du piston qui agit sur l'ouverture de la vanne. Un relais d'asservissement est utilisé dans tous les cas où une grande précision de réglage est requise.

#### 3.3.4 - SERVOMOTEURS ELECTRIQUES :

Ce type de servomoteurs comprend un moteur électrique à deux sens de marche agissant sur l'organe de réglage par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenage ou à roue tangente. Un relais d'asservissement permet de positionner le moteur avec précision.

/...



### 3.3.5 - SERVOMOTEURS PAS A PAS :

Ces Servomoteurs tournent d'un pas chaque fois qu'ils reçoivent une impulsion sous l'action d'un piston :

ces impulsions peuvent être rectangulaires, trapezoidales ou sinusoidales.

La somme des impulsions donne toujours l'angle de rotation total, alors que la fréquence de répétition de ces impulsions détermine la vitesse du servomoteur.

La fonction de transfert du déplacement du servomoteur électropneumatique est caractérisée par le temps total  $T_m$  mis par le servomoteur pour effectuer un déplacement complet. Ce temps est défini par la relation suivante :

$$T_m = nT$$

- n = Nombre d'impulsions reçues
- T = Période correspondant à chaque impulsion.

### 3.4 - VANNES DE REGLAGE :

Selon les conditions du processus la vanne peut être choisie parmi les deux grandes familles suivantes ;

- les Vannes à clapet
- les Vannes à papillon

Les vannes à clapet se subdivisent en trois groupes qui sont :

- les Vannes à simple siège
- les Vannes à double siège
- les Vannes à trois voies.

## 4-1. SYSTEMES DE REGULATION PAS A PAS

Le régulateur pas à pas ( Fig.4-1) peut être analysé de la même manière qu'un régulateur à 2 positions. C'est à dire qu'on analyse le parcours en fonction du temps en particulier pour des variations grandes et lentes des signaux d'entrée (Fig 4-2).

Le signal de contre - réaction V suit ces variations et, si le degré du numérateur de la transmittance de l'élément de contre-réaction est inférieur d'une unité par rapport au degré du dénominateur, les oscillations de la grandeur d'entrée W ne dépassent pas la largeur de la courbe d'hystérésis.

Les parcours exemplaires concernant le système de la figure (4-2) sont représentés sur la figure (4.3).

On s'intéresse aux paramètres d'oscillations du système ( amplitude, fréquence et valeurs moyennes) qui caractérisent la qualité de la régulation. L'analyse des paramètres d'oscillation du système de la figure (4-2) donne :

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{K_w} \left( E + T_w \frac{dE}{dt} \right) \quad (1)$$

cela montre que le régulateur pas à pas est caractérisé par des propriétés proches de celles des régulateurs PD.

Et à la sortie de l'élément  $\frac{1}{T_m s}$ ,  $\bar{Y} = \frac{t_a}{t_a + t_b}$  est donnée par :

$$\bar{Y} = \frac{1}{T_m} \int_0^t \bar{Y}_1 d\tau = \frac{T_w}{K_w T_m} \left( E + \frac{1}{T_w} \int_0^t E d\tau \right)$$

$$\bar{Y} = K_p \left( E + \frac{1}{T_i} \int_0^t E d\tau \right) \quad (2)$$

cela montre que l'ensemble formé par le régulateur pas à pas plus l'élément  $\frac{1}{T_m s}$  est caractérisé par des propriétés proches de celles des régulateurs PI.

La mise au point d'intégration dans ce type de régulateur influe en même temps sur le coefficient d'amplification  $K_p$ . On peut obtenir l'indépendance de mise au point d'intégration et d'amplification en appliquant un élément de contre - réaction avec nonlinéarité dans lequel le temps de charge  $T_{wa}$  et le temps de décharge  $T_{wb}$  sont différents.

L'équation du régulateur est dans ce cas la suivante :

$$\bar{Y} \approx \frac{T_{wa}}{K_w T_m} \frac{1}{f_E} \left( E + \frac{1}{T_{wb}} \int_0^t E d\tau \right)$$

$$\bar{Y} = K_{p0} \frac{1}{f_E} \left( E + \frac{1}{T_i} \int_0^t E d\tau \right) \quad (3)$$

$$\text{avec } f_E = \left( 1 - \frac{E}{K} \right) \left( 1 - \frac{T_{wa}}{T_{wb}} \right) \dots \quad (4)$$



Le temps d'intégration  $T_i$  peut être changé par l'intermédiaire de  $T_w$  ; le coefficient d'amplification  $K_p$  dépend de  $T_w$  et de l'écart  $E$  de la régulation par l'intermédiaire de  $f E$ . Si  $T_w > T_w$ , comme dans la plupart des cas pratiques, le coefficient  $K_p \frac{1}{fE}$  augmente avec l'augmentation de  $E$ .

Ce phénomène est souvent appelé la progressivité du régulateur/. Pour les  $K_w$  grands ou pour les temps de charge et de décharge  $T_w$  et  $T_w$  presque égaux, la progressivité peut être négligée et le régulateur décrit par l'équation (3) a des propriétés linéaires et les mises au point sont indépendantes.

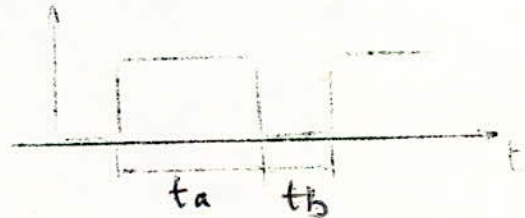
La valeur de la fréquence de commutation  $\frac{1}{t_a + t_b}$  est très importante pour l'application. Dans les régulateurs pas à pas décrit par la formule (2) on obtient :

$$\frac{1}{t_a + t_b} = \frac{T_m \frac{dY}{dt} \left(1 - \frac{dY}{dt} T_m\right)}{\frac{h T_w}{K_w}} = \frac{dY}{dt} \left(1 - \frac{dY}{dt} T_m\right)}{h K_p}$$

$t_a$  : temps d'enclenchement

$t_b$  : temps de déclenchement

$t_a + t_b$  : période d'oscillation



On peut voir que la fréquence peut être réglée par l'intermédiaire de l'hystérésis  $h$ .  $h$  dépend de la mise au point du régulateur et la vitesse moyenne de sortie  $\frac{dy}{dt}$ .

La fréquence maximale  $\frac{dy}{dt}$  de commutation correspond à la vitesse moyenne :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{2 T_m}, \text{ on aura alors: } \left( \frac{1}{t_a + t_b} \right)_{\max} = \frac{K_w}{4h T_w} = \frac{1}{4h K_p T_m} \quad (6)$$

Le temps minimum d'enclenchement est :

$$(t_a)_{\min} = \frac{h T_w}{K_w} = h K_p T_m \quad (7)$$

Le temps minimum d'enclenchement  $(t_a)_{\min}$  peut être déterminé par le pas minimum du régulateur c'est à dire le plus petit déplacement possible de l'élément exécutif.

$$(\Delta Y)_{\min} = \frac{(t_a)_{\min}}{T_m} = \frac{hT_w}{K_w T_m} = hK_p \quad (7a)$$

La valeur  $T_m$  est le temps de déplacement du servomoteur exécutif à tous les diapasons possibles  $Y$ . Si le coefficient d'amplification d'objet  $K_{ob}$  est égal à 1,  $(\Delta Y)_{\min}$  est alors égal au plus petit changement de la grandeur à régler qui varie entre  $X_1$  et  $X_2$  et  $\Delta X = X_1 - X_2$ .

Si  $K_{ob} = 1$  on a  $(\Delta Y)_{\min} = (\Delta X)_{\min}$ .  $(\Delta X)_{\min}$  doit être inférieur à la zone de non sensibilité  $2/\Delta$  (figure 4-2) ; dans le cas contraire, le système peut osciller de manière continue avec une faible amplitude.

Ce phénomène n'est pas dangereux mais explique bien l'importance de la zone de non sensibilité. La Zone de non sensibilité est la zone dans laquelle peut être placé l'écart de régulation  $E = X_o - X$  dans l'état stable. Il est utile de diminuer la valeur de  $D$ , mais elle ne peut pas beaucoup plus petite que la valeur déterminée par le pas minimum du régulateur  $2D \approx hK_p$ .

Si le système est au repos, le fonctionnement de régulateur ne peut pas démarrer.

Pour diminuer  $D$ , il faut en même temps diminuer  $h$  et augmenter la fréquence d'oscillation du régulateur. Si l'objet de régulation est caractérisé par un coefficient d'amplification différent de 1, il faut, au lieu de  $K_p$ , analyser le coefficient d'amplification  $K_o$  de la boucle ouverte et poser la condition :

$$\frac{2}{h} \Delta \leq K_o.$$

Pour les objets du type  $K_o e^{-T_o S} / (T S + 1)$ , on peut prendre pour le régulateur de la figure (4.2)/

$$T_m \leq 2 T_o \frac{K_o}{K_w} \quad (8)$$

Il est important de constater quelle valeur doit prendre la vitesse  $\frac{1}{T_m}$  du servomoteur pour que régulateur puisse fonctionner correctement c'est à dire contenir les déplacements impulsionnels selon les variations  $X_o$  ou bien pour compenser les perturbations.



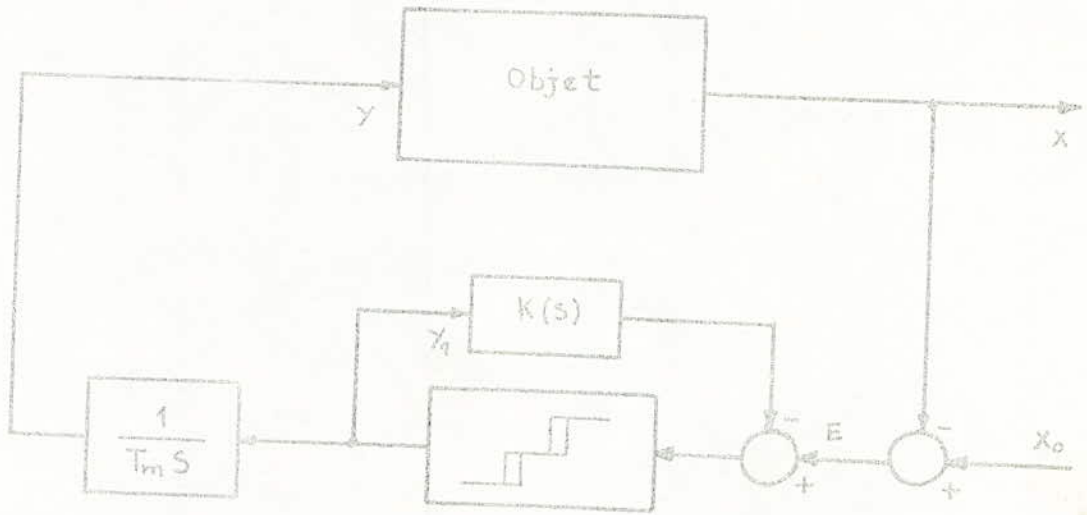


Fig-4.1

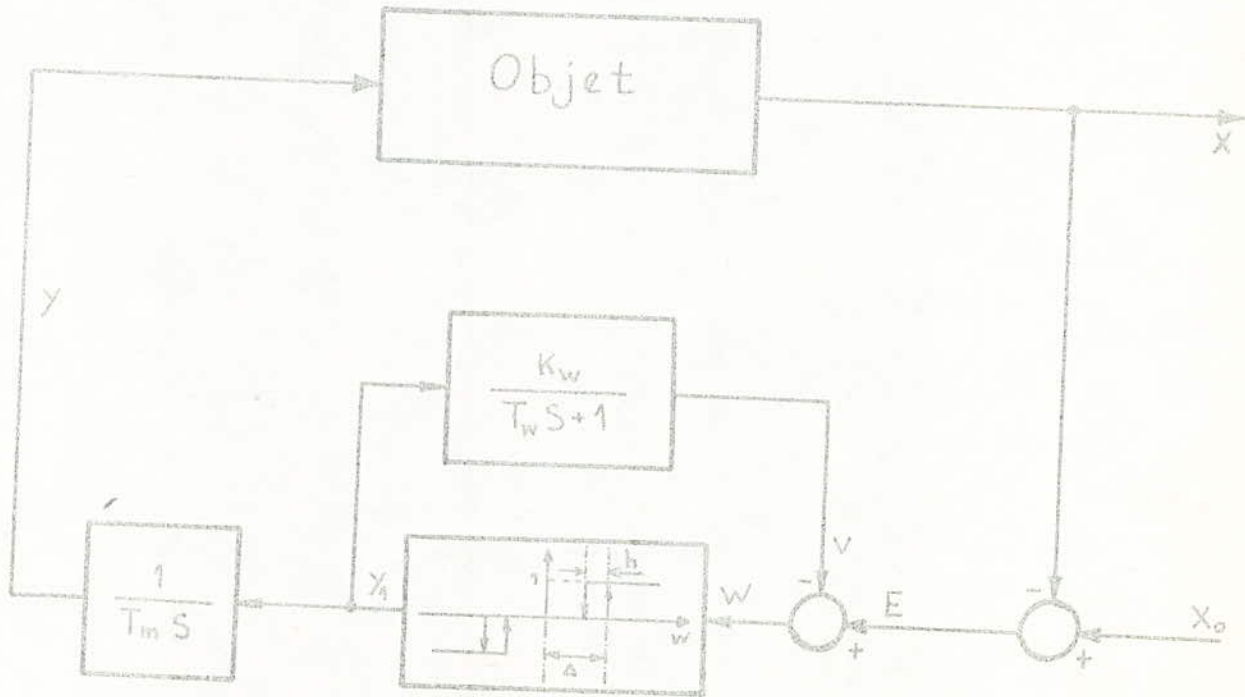


Fig-4.2

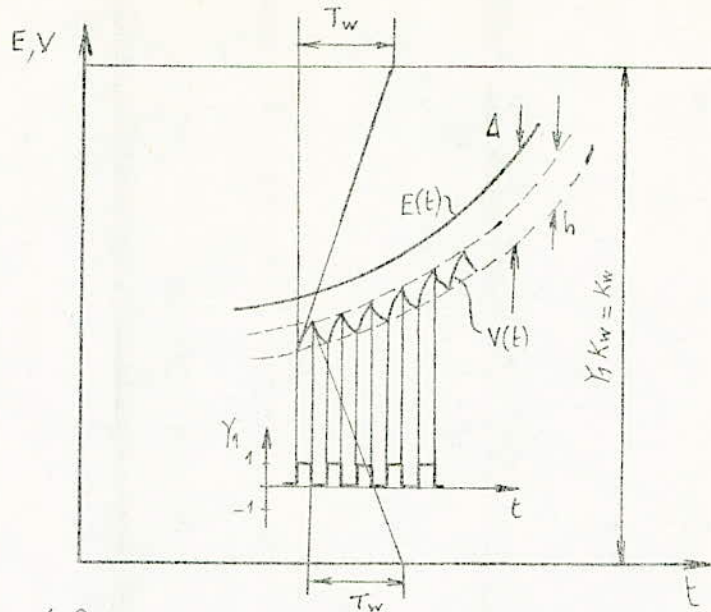


Fig. 4.3

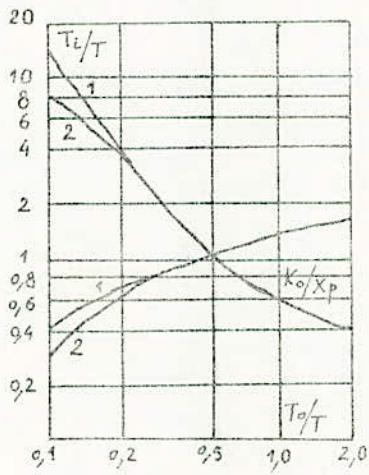


Fig. 4.4

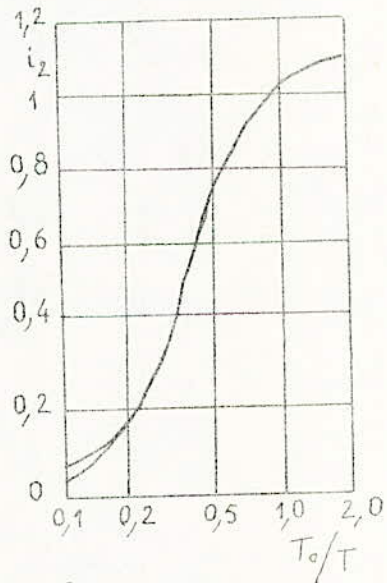


Fig. 4.5



A la figure (4.4), on a représenté les courbes de mise au point optimale des régulateurs PI pas à pas et PI continu, et sur la figure (4.5) la valeur du critère choisi ci-dessus.

Les mises au point optimales pour le régulateur pas à pas avec les propriétés proches de celles des régulateurs PI, sont presque identiques à celles des régulateurs continus.

Les régulateurs pas à pas avec les propriétés proches de celles de PID peuvent être réalisés à partir du même schéma que celui du régulateur PI ( Fig.4.2) mais avec l'élément  $1 / (T_1 S + 1) (T_2 S + 1)$  dans la boucle de contre-réaction. Les figures montrent que les différences de mise au point sont minimes.

#### SHEMAS /

- figure 4.2 : schéma d'un régulateur pas à pas PI avec l'objet de commande
- figure 4.3 : parcours en fonction du temps concernant le système de la figure 4.2
- figure 4.4 : courbe de mise au point optimale pour le régulateur pas à pas et le régulateur continu PI. Critère intégrale de l'écart carré
- figure 4.5 : les valeurs minimales des critères intégrales de l'écart carré pour la mise au point de la figure (4.4). Les valeurs des critères sont normalisés par rapport aux perturbations  $F$  et au temps mort d'objet  $T_0$ .

4.2.I. - Système de régulation SIGMAGYR.4.2.I.-1- Description sommaire.

Le système de régulation SIGMAGYR se prête à toutes les applications dans le domaine du réglage du chauffage en fonction des conditions atmosphériques. Le régulateur progressif RVL 1 commande une vanne à secteur ou à soupape. Le régulateur tout ou rien RVL 2 commande la marche ou l'arrêt d'un brûleur ou encore l'ouverture et la fermeture de vannes.

La courbe de chauffe du régulateur peut être adaptée à toutes les installations de chauffage central. Les régulateurs peuvent être équipés soit d'une horloge à programmes diurne/nocturne (bâtiments commerciaux et industriels, écoles, etc...). Le deuxième type d'horloge assure le chauffage accéléré journalier. Dans le cas d'immeubles exposés au vent, l'emploi d'une sonde anémométrique en plus des sondes normales de température extérieure et de température de départ permet de mieux adapter le chauffage aux influences exercées par le vent.

Le sélecteur de programme à six positions équipant chaque régulateur permet de choisir le programme de chauffe ainsi que de provoquer l'arrêt du chauffage. Un mécanisme indique la courbe de chauffe, la température de départ correspondant à chaque température extérieure, étant ainsi directement affichée, ce qui évite d'avoir à opérer des conversions.

Deux boutons de réglage servent au réglage "fin" des températures diurnes et nocturnes désirées.

L'horloge à programmes journaliers indépendants (avec réserve de marche de 36 h) à grand cadran hebdomadaire permet de régler pour chaque jour des temps d'enclenchement indépendants les uns des autres. Les sondes de température extérieure et de température de départ sont raccordées chacune au régulateur par deux conducteurs basse tension interchangeable.

4.2.I.-2- Fonctionnement.

Lorsque la température de départ diffère de la valeur qui lui est attribuée par la courbe de chauffe choisie, la résistance au nickel de la sonde de température de départ provoque le déséquilibre du pont de mesure moulé en amont de l'amplificateur.

Ce déséquilibre provoque à la sortie de l'amplificateur l'enclenchement du relais à lames RI ou RII suivant que la température monte ou baisse au point de mesure.

Ceci se passe comme suit : la tension de sortie du pont est nulle lorsque celui-ci est équilibré. Les transistors TI et TIV sont conducteurs. TII est bloqué du fait que sa tension de base est inférieure à 0,5 v. Il en est de même pour TIII car la tension entre le collecteur et l'émetteur de TIV est trop basse pour le débloquent.

Si la température de départ diminue, la résistance de la sonde QAD2 sera plus faible, le point d'étalonnage gauche du pont plus négatif et le curseur de PST plus positif.



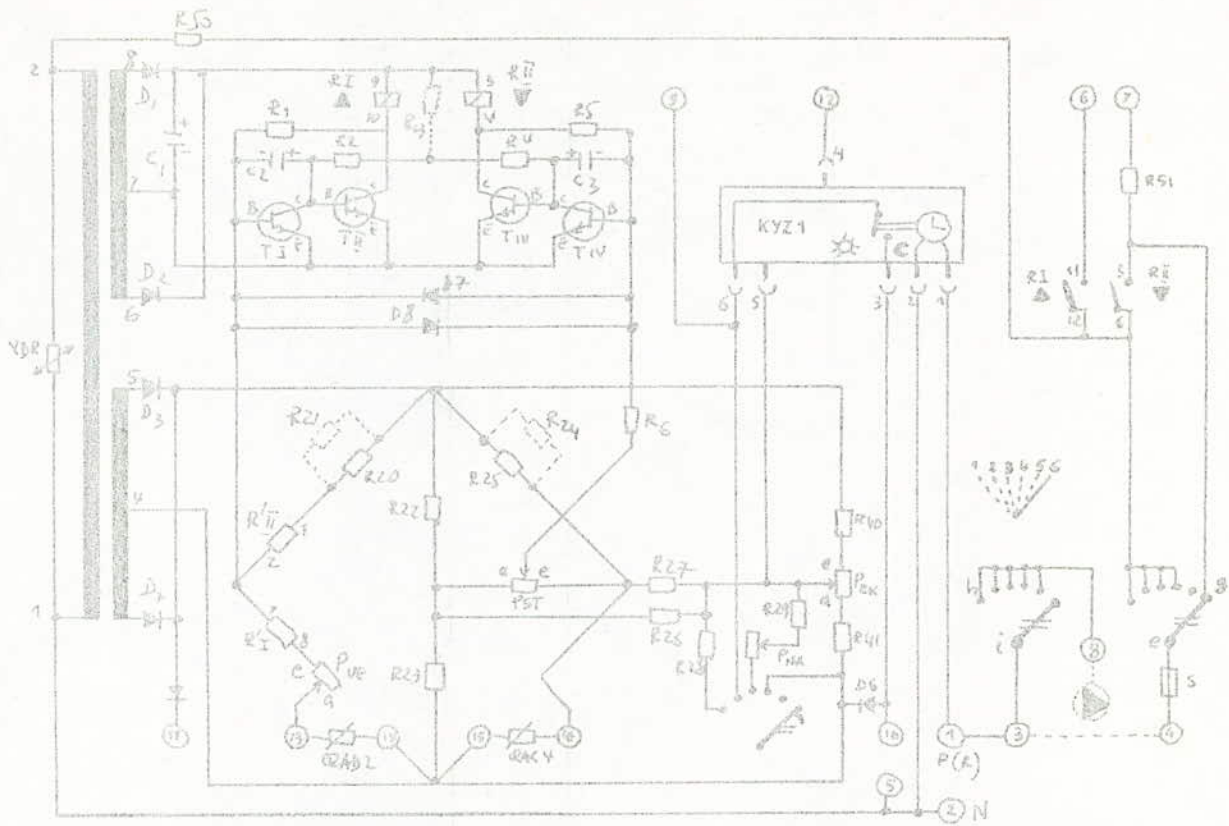


Fig - 4.11

Un courant de commande circule de PST en passant par R6, la base et l'émetteur de TIV, l'émetteur et la base de TI et retourne à R'I et R'II. TIV devient plus conducteur parce que son courant de base et le courant du pont s'additionnent, tandis que TI se bloque du fait que le courant du pont est contraire à son propre courant base-emetteur.

La tension entre l'émetteur et le collecteur de TI augmente et TII devient conducteur dès qu'elle atteint 0,5 V. Un courant d'excitation passe alors à travers le relais à lames RI, dont le contact de travail se ferme. Du fait de ce courant, la chute de tension à travers RI augmente ce qui diminue le courant de base de TI. Le transistor TI se bloque davantage, le courant de TII augmente encore, la chute de tension de RI devient plus forte, le courant de base de TI plus faible et TI se bloque encore plus...

Avec l'asservissement thermique engendré par la résistance au nickel R'I le processus de réglage est influencé de la façon suivante : l'enroulement de nickel R'I (asservissement thermique) est bobiné sur le même noyau que RI. L'excitation de la bobine RI, provoque un échauffement des 2 bobines. La résistance de R'I augmente agissant en sens contraire de la variation de résistance de la sonde QAD2.

Le courant de la diagonale du pont diminue, devient nul, et change finalement de polarité le point d'étalonnage gauche du pont devient positif et le curseur de PST négatif.

Le courant de diagonale du pont circule en tant que courant de base de TI qui devient légèrement conducteur. TII se bloque dès que TI arrive à saturation ( $U_{ce} \approx 0,5V$ ). La chute de tension de RI diminue. un courant de base passe par RI, TI devient encore plus conducteur tandis que TII se bloque davantage. La chute de tension de RI continue de diminuer, le courant passant par RI augmente et TII devient encore plus conducteur.

L'échauffement de RI tombe pratiquement à zéro, la résistance d'asservissement R'I se refroidit, le pôle négatif se déplace de nouveau vers le point d'étalonnage gauche du pont et le processus se répète jusqu'à ce que la résistance de QAD2 retrouve sa valeur initiale. C'est à dire jusqu'au moment où la valeur mesurée correspond exactement à celle de la courbe de chauffe choisie.

Dès que la température de départ dépasse la valeur qui lui est attribuée par la courbe de chauffe, le processus de réglage décrit se répète en sens inverse et la commande est assurée par le relais à lames RII.

De ce fait de l'asservissement thermique, le régulateur progressif RVL1 devient un régulateur PI assurant le réglage précis et sans écart durable de la température de départ suivant la courbe de chauffe choisie.

#### 4.2.-2- Les systèmes électropneumatiques de commande automatique pour les installations de climatisation. (KSAK)

Le système décrit ci-dessous peut être appliqué dans les cas suivants :

1/ Commande automatique des installations de climatisation à une ou plusieurs zones avec une possibilité de trouver une valeur moyenne de température ou d'humidité provenant des différents compartiments.



2/ Automatisation des installations de climatisation à haute pression avec la possibilité de réalisation de circuits de commande supplémentaires dans différents locaux.

3/ Commande automatique des systèmes de climatisation caractérisés par des propriétés dynamiques défavorables.

4/ Automatisation de systèmes thermiques comme les séchoirs, les chauffages, l'industrie du papier etc..., caractérisés par les mêmes propriétés dynamiques.

#### 4.2.1.-1- Les propriétés les plus importantes du système.

1/ Application d'un régulateur de température et d'un régulateur d'humidité avec la sommation d'impulsions qui sont capables de commander de façon quasi-continue les vannes de contrôle et les clapets en fonction des impulsions provenant des capteurs à 2 positions comme les thermomètres à contact et les hygromètres à contact.

2/ comme servomoteurs, on applique les servomoteurs electopneumatiques pas à pas caractérisés par des valeurs de  $T_m$  réglables dans de larges limites (1mm à 60 mm).

3/ Le système peut être alimenté par de l'air comprimé provenant du réseau général c'est à dire qu'il n'est pas nécessaire de stabiliser cette pression, comme il n'est pas nécessaire de la déshuiler ni de la purifier.

4/ On utilise un tableau de commande unifiée qui peut collaborer avec les différentes centrales de climatisation et il n'est pas nécessaire de faire des projets de tableau de commande spécial pour chaque objet.

#### 4.2.1.-2- Les plus importants circuits de commande dans les installations de climatisation.

On peut distinguer les circuits de commande les plus importants suivants :

1/ Régulation de température ou d'humidité dans la centrale de climatisation ou dans les canaux.

2/ Régulation de température ou d'humidité dans les salles climatisées.

Le schéma bloc des deux circuits de commande est presque le même, seulement les propriétés dynamiques sont différentes, cela exige l'utilisation de régulateurs différents dans le cas de la régulation dans les canaux et dans les salles climatisées.

En générale les constantes de temps des salles climatisées sont beaucoup plus grandes que celles des gaines ou des canaux ( $T = 1000$  s pour les locaux, et  $T = 100$  pour les canaux).

#### 4.2.1.-3- Différents circuits dans la centrale de climatisation et dans les locaux climatisés.

1/ Circuits de commande de la température de l'Air après échangeur ou réchauffeur primaire.

Dans ce circuit, on a prévu le capteur de température Pt 100 pour les canaux. Ce capteur est relié à un régulateur électronique de température PD qui commande à son tour, par l'intermédiaire d'un impulsateur transistorisé, un servomoteur pas à pas.



Très souvent, il faut réaliser une fonction séquentielle pour deux servomoteurs car il faut d'abord changer la position des clapets d'air recyclé et d'air frais par l'intermédiaire d'un servomoteur ensuite ouvrir les vannes de contrôle avant l'échangeur ou réchauffeur.

Dans ce cas, deux servomoteurs électriques ou électropneumatiques doivent être reliés en série et les impulsions de commande passent par les commutateurs de fin de course du premier servomoteur avant d'arriver au deuxième servomoteur.

#### 2/ Circuit de régulation de la température de rosés.

Dans certains cas, on trouve des installations dans lesquelles il faut stabiliser la température du point de rosée après le laveur de la centrale de climatisation.

Dans ce cas, on peut stabiliser l'humidité par l'intermédiaire de la commande de température.

#### 3/ Circuit de commande de la température à la sortie de la centrale de climatisation.

Ce circuit de commande peut travailler souvent avec le circuit de commande de la température de rosée.

On utilise aussi dans ce cas deux échangeurs à la sortie de la centrale de climatisation.: un réchauffeur et un refroidisseur. Dans ce cas il faut aussi prévoir le fonctionnement en séquence de deux servomoteurs commandant la vanne de contrôle du refroidisseur et celle du réchauffeur.

Dans ce circuit il y a aussi un capteur de température Pt100, un régulateur électronique PD et un impulsateur transistorisé qui commande le servomoteur relié à la vanne de contrôle.

#### 4/ Circuit de commande de l'humidité de l'air à la sortie de la centrale de climatisation.

Ce circuit est nécessaire seulement dans le cas où on n'utilise pas la commande de l'humidité par stabilisation de la température du point de rosée.

On applique ici le capteur d'humidité ou bien le capteur électrolytique. Le système est équipé d'un servomoteur qui commande la vanne de contrôle conduisant la vapeur pour l'humidification de l'air.

#### 5/ Commande de correction avec la sommation des impulsions dans les salles climatisées.

Les centrales de climatisation et les autres dispositifs de climatisation doivent assurer les paramètres demandés dans les locaux et dans les salles climatisées.

Comme a montré l'expérience, même la régulation très précise de l'air à la sortie de la chambre de climatisation n'est pas suffisante pour assurer les paramètres demandés dans les locaux climatisés. Dans ce cas, on applique très souvent les circuits de correction de température ou d'humidité dans lesquels des impulsions de commande peuvent changer directement la position de l'élément de contrôle individuel ainsi que donner des informations au système de commande.



42

Alors on applique le régulateur à 2 positions et des éléments exécutifs comme les contacteurs, relais et vannes électromagnétiques. On forme ici des signaux provenant des thermostats à 2 positions qui peuvent commander des servomoteurs pas à pas ou quasi-continus, par l'intermédiaire d'un régulateur avec sommation d'impulsions. Dans ce circuit, les régulateurs commandent, par l'intermédiaire d'un impulsateur transistorisé, les servomoteurs, les vannes de contrôle du réchauffeur secondaire ou du refroidisseur. On peut appliquer ici les servomoteurs électropneumatiques pas à pas et éventuellement les servomoteurs électriques.

L'impulsateur transistorisé joue un rôle important car, grâce à cet impulsateur on peut changer la vitesse des servomoteurs dans des bandes assez larges.

Étant donné que les constantes de temps des salles climatisées sont grandes, l'application de ce type de servomoteurs et impulsateurs donne la possibilité de mieux accorder les propriétés dynamiques du système de commande avec les propriétés dynamiques du processus.

Au cas où les propriétés dynamiques de l'objet sont défavorables on peut appliquer un autre mode d'utilisation de ce système en accordant la puissance moyenne du circuit de correction avec les besoins du processus.

#### 6/ Circuit de commande de correction d'humidité dans les locaux climatisés.

Dans ces systèmes on applique les régulateurs d'humidité à 2 positions pour régler directement l'humidité dans certaines zones du local ou dans les locaux. Dans ce cas on peut profiter aussi cet impulsateur de commande pour régler de manière quasi-continue le servomoteur pas à pas de la centrale de climatisation.

### 4.2.1.-4- Les systèmes complexes de commande automatique.

A cause des différentes solutions de systèmes automatiques de climatisation, on peut rencontrer beaucoup de difficultés aussi bien au démarrage qu'au niveau de l'exploitation ; pour éviter ces difficultés on a élaboré un système complexe contenant un tableau de commande normalisé avec des régulateurs, appareils de mesure, impulsateurs qui peuvent être facilement fabriqués en série. Cela facilite aussi bien les problèmes de démarrage que d'exploitation et de réparation.

#### Tableau de commande.

- sur la fig 4.6 tableau de commande
- sur la fig 4.7 Schéma bloc du système de régulation

Comme on a montré sur la fig.4.7, le système contient 4 circuits principaux de commande.

- circuit de commande pour le réchauffement primaire
- circuit de commande pour le laveur
- circuit de commande de la température dans la salle climatisée avec la sommation des impulsions
- circuit de commande de l'humidité dans la salle climatisée avec la sommation des impulsions



Le système complet de commande automatique contient aussi le système de commande à distance des différents servomoteurs.

Dans ces circuits on applique un impulsateur avec un fréquence d'impulsation plus élevé.

Le bouton poussoir de commande 1, à l'aide d'un impulsateur 2 peut commander le servomoteur 12.

Les thermomètres à résistance 11 sont reliés avec les régulateurs de température 6 et 7 qui peuvent commander le servomoteur 12 à l'aide de l'impulsateur 3.

Les thermostats à 2 positions 9 et les hygrastats à 2 positions 10 sont reliés avec les régulateurs 4 et 5 qui sont équipés d'un système de sommation d'impulsions de température et d'humidité. Ces régulateurs peuvent commander le servomoteur 12 à l'aide de l'impulsateur 3.

Le tableau de commande est équipé aussi d'un système d'alimentation aussi bien pour le circuit de commande, impulsateurs et régulateurs. sur la fig. on a montré la porte du tableau de commande avec les lampes de signalisation, la station de mesure à distance de la température et de l'humidité.

#### 4.2.7. (5- Régulation et commande principale.

Les plus importants circuits de commande dans les installation de climatisation sont les suivants :

- circuit de commande pour le réchauffeur primaire
- circuit de commande pour le laveur
- 2 circuits de commande de correction pour la température et l'humidité dans les salles climatisées.

### C O N C L U S I O N

Le système décrit ci-dessus peut être appliqué comme système complet de commande automatique des installation de climatisation dans la plupart des processus climatisés. L'application de systèmes de commande avec la sommation des impulsions et avec des capteurs installés directement dans les locaux climatisés permet de mieux accorder les rendements des centrales de climatisation avec les besoins du processus par rapport à d'autres systèmes.

Le système complet décrit ci-dessus permet d'obtenir des précisions satisfaisantes  $\Delta T = \pm 1^\circ\text{C}$  et  $\Delta H = \pm 5\% \text{ Hr}$  en appliquant des régulateurs de température et d'humidité simples et bon marché.-



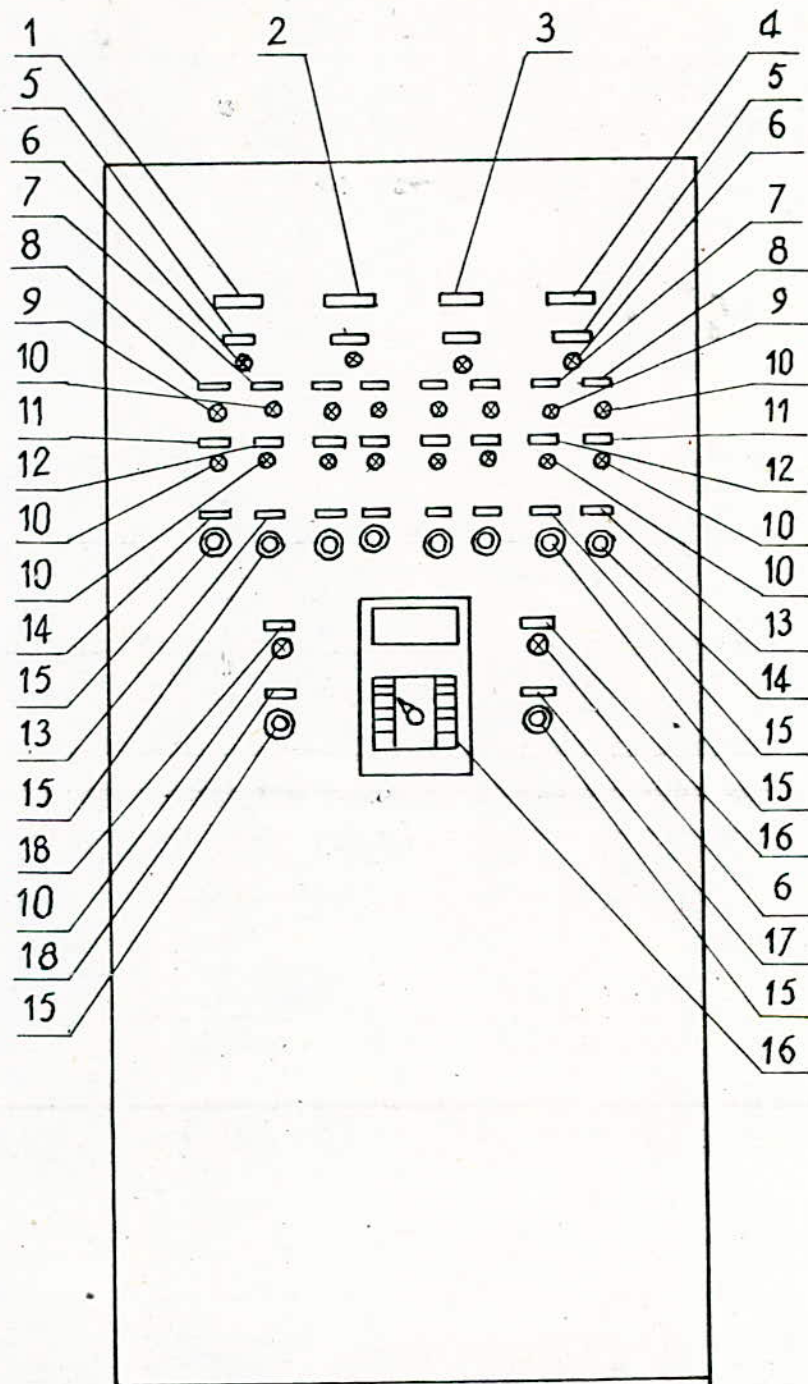


Fig. 4.6

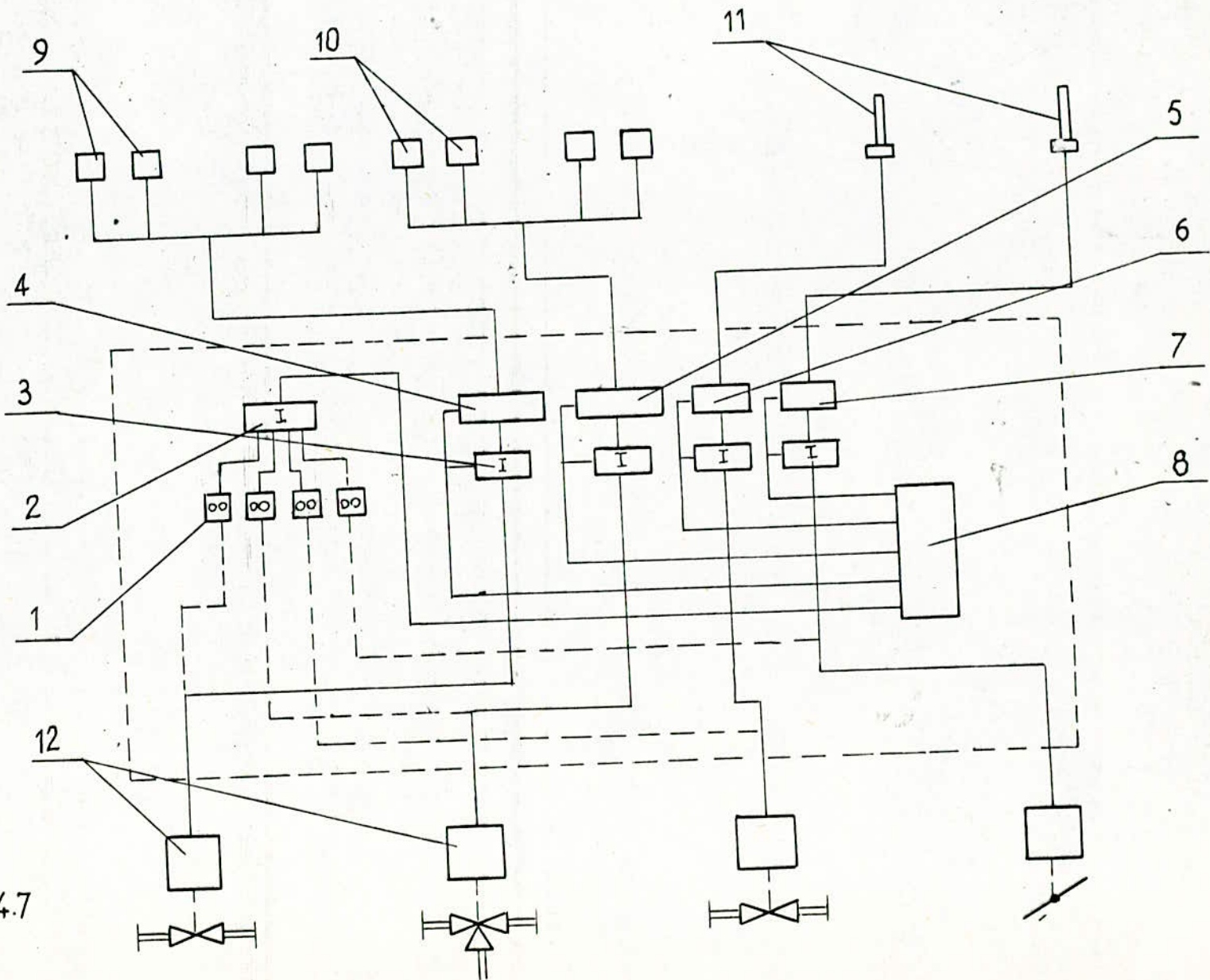


Fig. 4.7



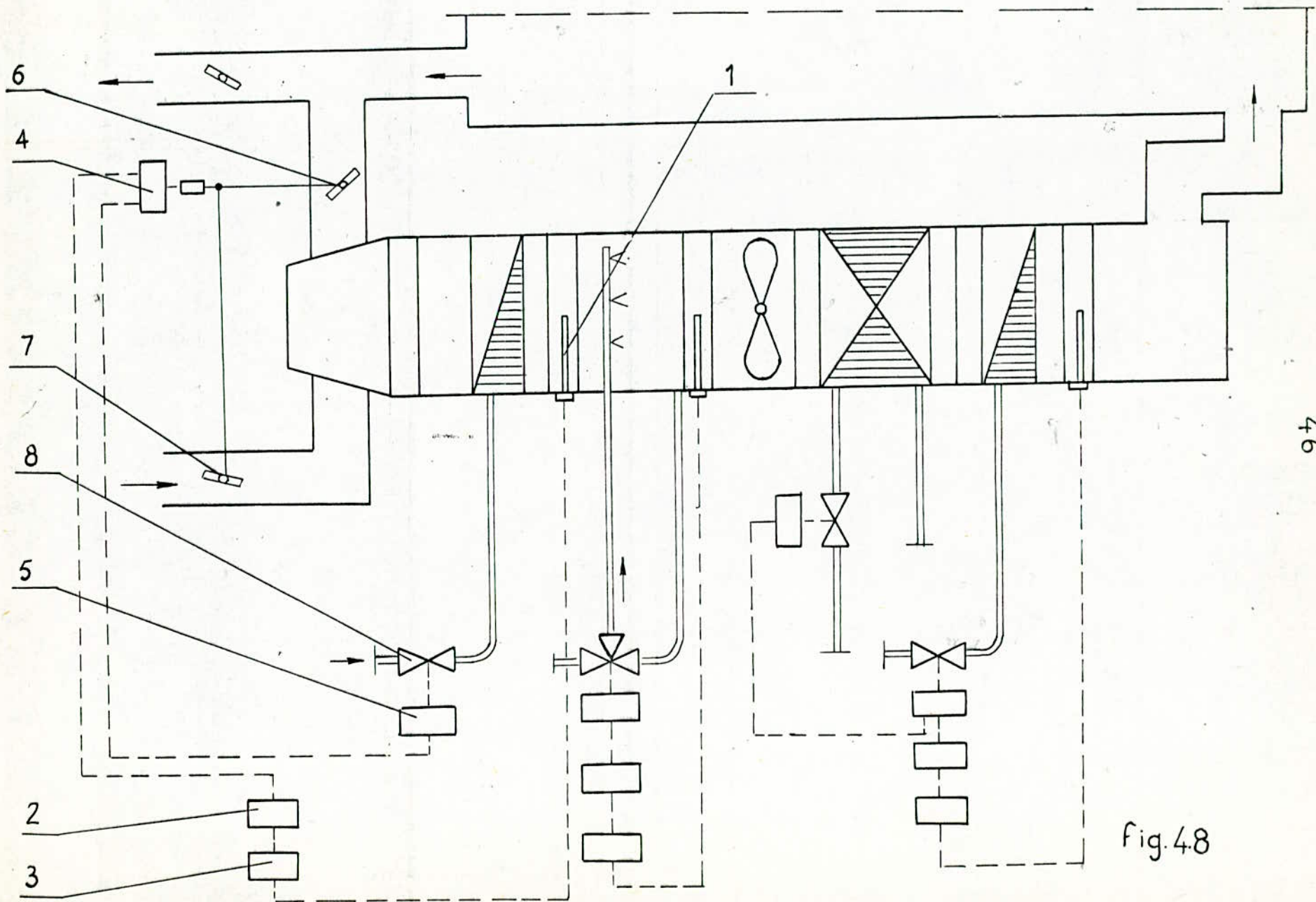


fig.48

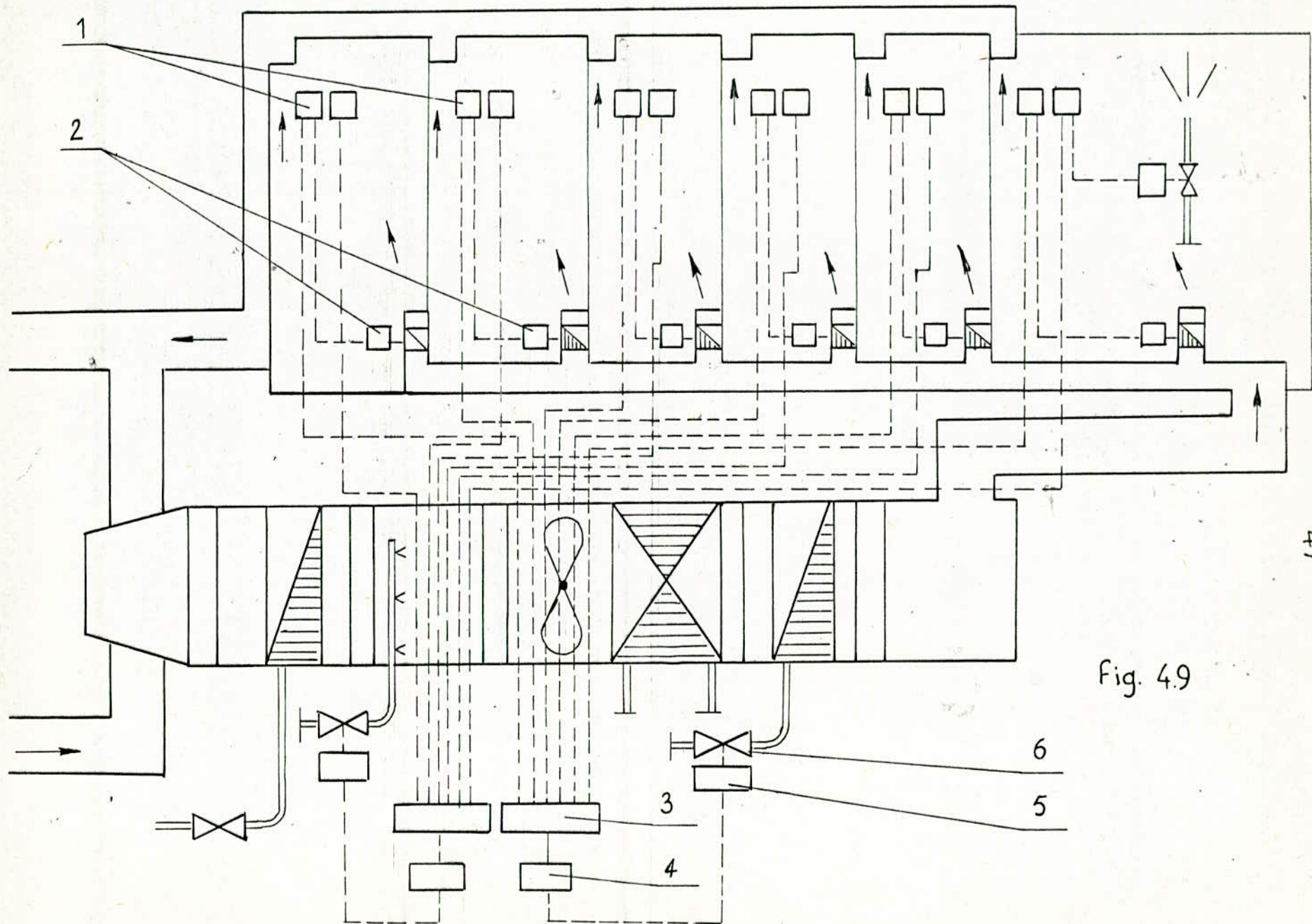


Fig. 4.9



- 4.3           Système proposé
- 4.3 1.       Description des systèmes de commande et de mesure
- 4.3. 1.1.   Système de commande.

La figure (4.16) représente le schéma bloc du système de commande. Les impulsions envoyées par les capteurs de température T et  $T_z$  arrivent à un régulateur électronique SMT avec la sommation des impulsions le régulateur commande, par l'intermédiaire d'un impulsateur transistorisé II et de blocades électromagnétiques ( $Z_1$  et  $Z_2$ ) un servomoteur pas à pas électrohydraulique.

Comme il faut d'abord changer la position des clapets d'air recyclé et d'air frais avant d'ouvrir les vannes de contrôle du réchauffeur ou du refroidisseur, on relie en série deux servomoteurs  $S_3$  et  $S_4$  de telle sorte que les impulsions de commande passent par les commutateurs de fin de course du servomoteur  $S_3$  commandant les clapets avant d'arriver au servomoteur  $S_4$  commandant les vannes de contrôle. Les vannes de contrôle, actionnées par le servomoteur  $S_4$  alimentent le réchauffeur de la chambre de climatisation en eau chaude provenant du réservoir de stockage de calories.

Les impulsions envoyées par les capteurs d'humidité H arrivent au servomoteur  $S_2$  par l'intermédiaire d'un sommateur SMH, d'un impulsateur transistorisé II et des blocades électromagnétiques  $Z_3$  et  $Z_4$ . Le servomoteur  $S_2$  actionne une vanne  $V_3$  à 3 voies.

L'eau provenant de la cave du laveur et celle provenant de l'accumulateur du froid arrivent par 2 voies différentes à la vanne  $V_3$  puis sort par la troisième voie pour alimenter le laveur grâce à une pompe.

Le laveur sert aussi bien à humidifier l'air qu'à le refroidir.

Les impulsions envoyées par le capteur de luminosité arrivent à un régulateur d'éclairage, celui-ci envoie des impulsions au servomoteur  $S_5$  qui commande le chargeur d'opacité pour régler le plus de rayonnement solaire et déclenche l'éclairage artificiel si la lumière solaire est insuffisante.

Description de la chambre de climatisation : C

La fig 4. 15 représente la chambre de climatisation

a) chambre de mélange :

C'est une chambre à double entrées commandées par des clapets qui servent à réaliser un mélange (air recyclé + air extérieur) dans

..../...

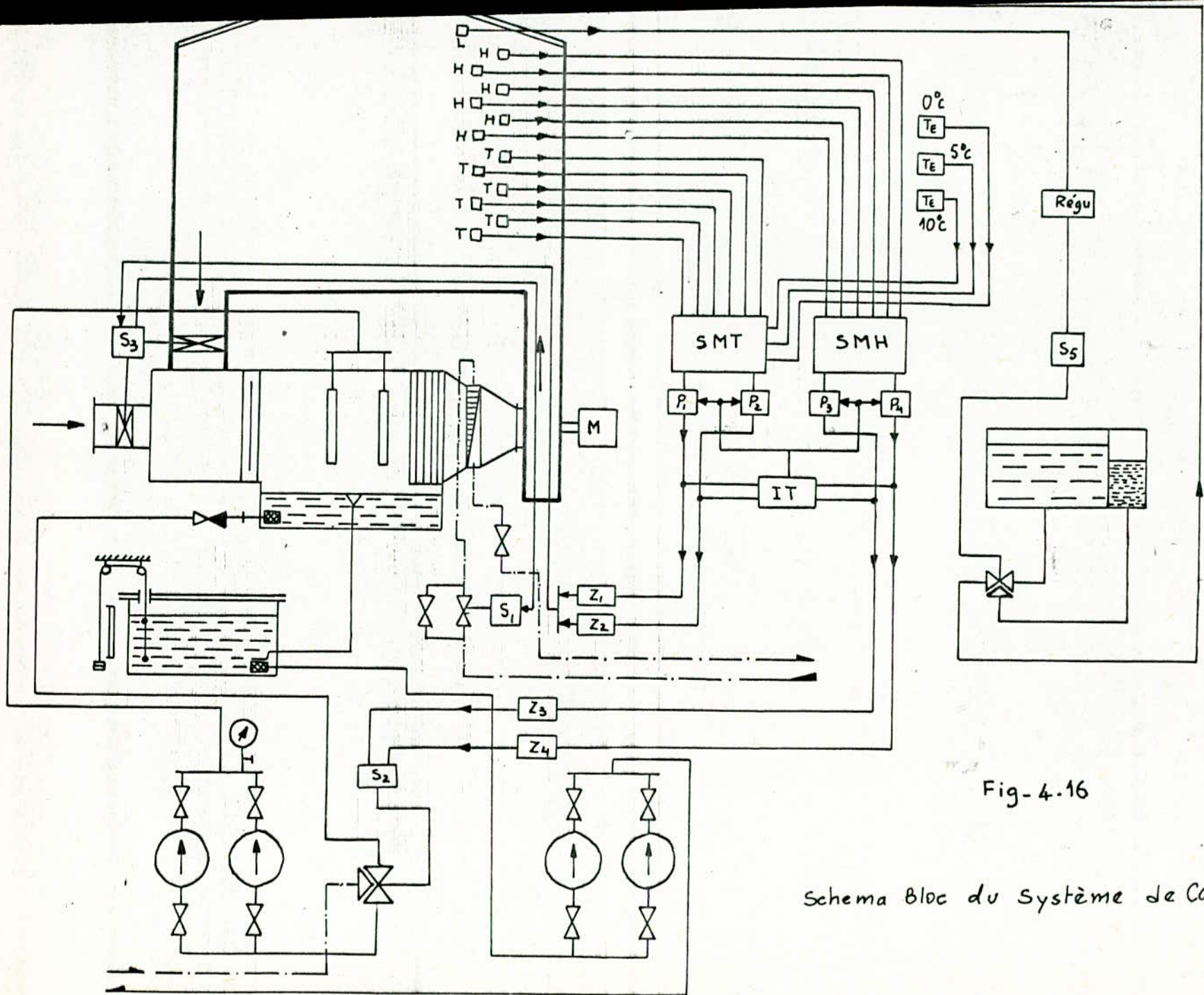


Fig-4.16

Schema Bloc du Système de Commande



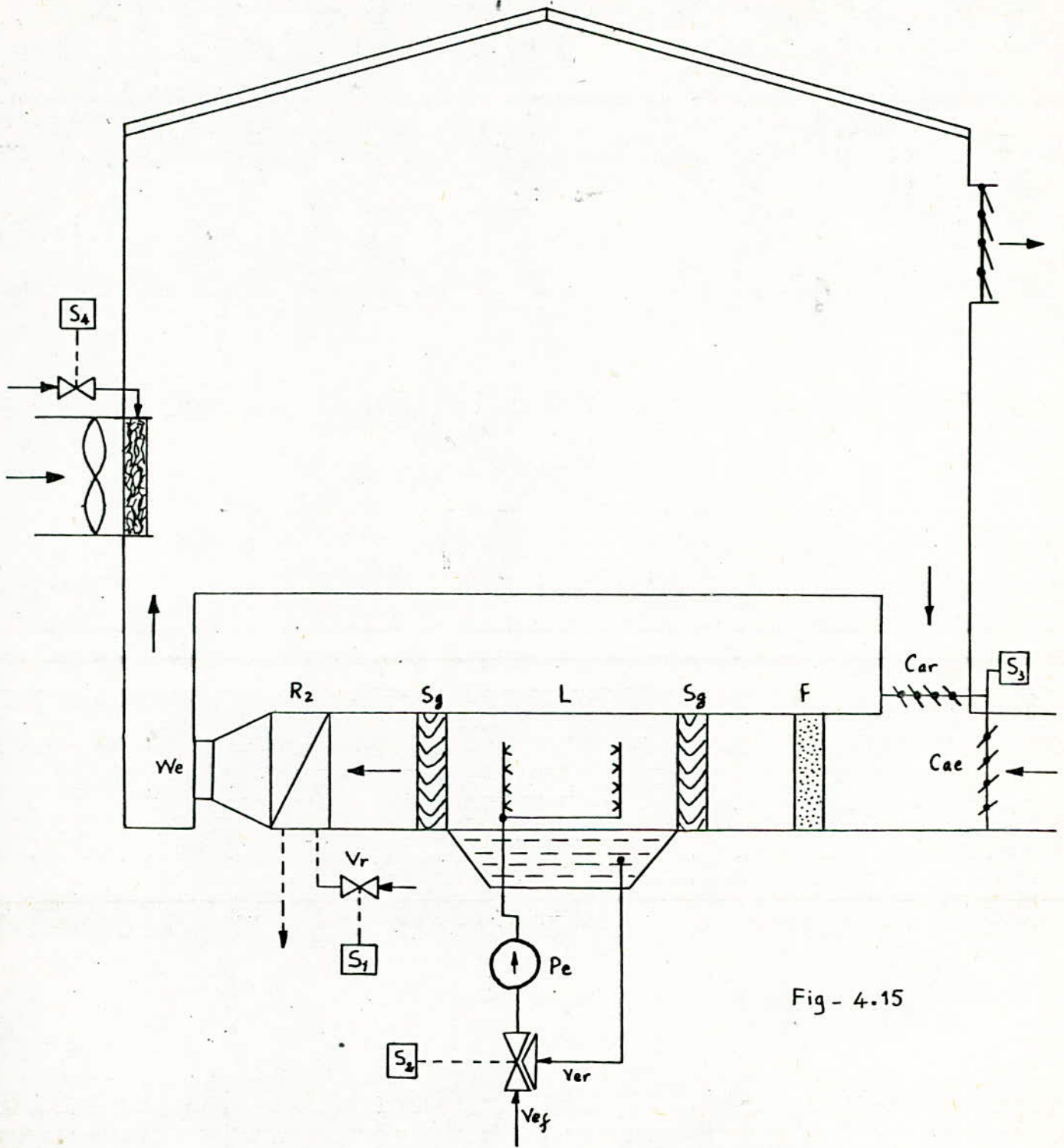


Fig - 4.15

schéma Technologique

les propositions désirées.

b) Filtre à poussière.

Après la chambre de mélange, est disposé un filtre à poussière qui épure l'air et évite ainsi l'entrée des poussières dans la serre.

c) Réchauffeur primaire.

Il sert à rapprocher l'air de son point de rosée lors de son humidification et son refroidissement.

Il est constitué par des tubes à ~~l~~néchettes chauffés par de l'eau chaude.

d) laveur (humidificateur)

Il sert à ajuster le degré hygrométrique de l'air à la valeur de consigne après son humidification par le système de cooling.

Cette humidification se fait par aspersion (nébulisation) d'eau ou par injection de vapeur.

e) Refroidisseur.

Il sert au refroidissement de l'air et à son assèchement. Pour assécher l'air, il suffit de le refroidir jusqu'à la température correspondante à la teneur en eau pour l'air saturé.

f) Réchauffeur secondaire.

Quand le réchauffeur primaire ne suffit pas pour amener la température de l'air à la valeur désirée, on utilise le réchauffeur secondaire.

g) Ventilateur.

Un ventilateur sert à envoyer l'air traité dans la chambre de climatisation vers l'intérieur de la serre.

Il est préférable de placer cette chambre de climatisation à l'extérieur de la serre afin de diminuer l'encombrement interne.

#### 4.3. 1.2.

Système de mesure.

La figure (4.17) représente le schéma bloc du système de mesure.

Pour assurer une régulation efficace de la température et de l'humidité, il est nécessaire de mesurer ces deux paramètres aux endroits appropriés de la serre et de la chambre de climatisation.

a) Mesure de la température.

$T_1$  : mesure locale de la température extérieure.

$T_2$  : mesure à distance et sans enregistrement de la température avant l'échangeur secondaire.



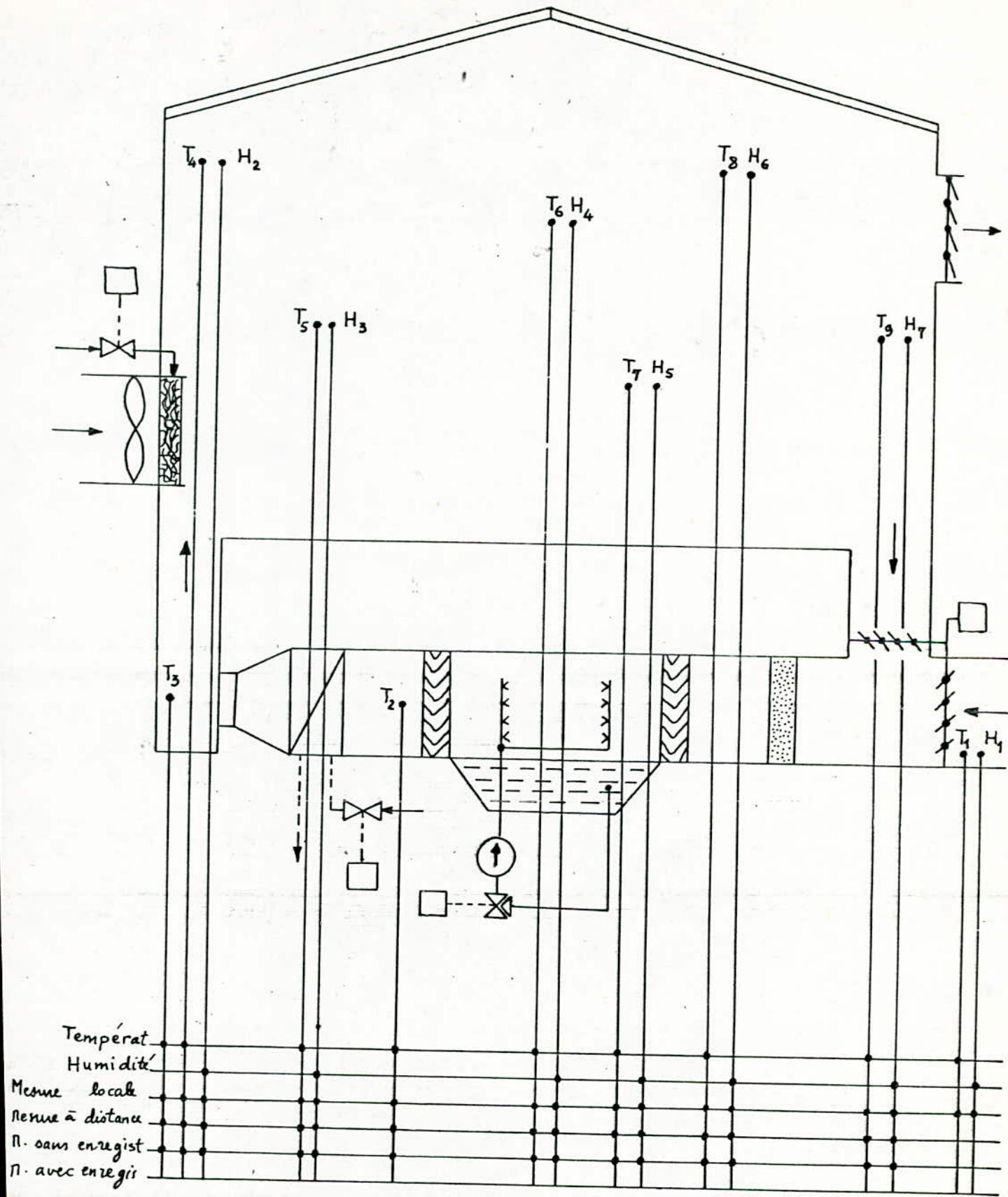


Fig- 4.17

Schéma Bloc du Système de Mesure

T<sub>3</sub> : mesure locale, à distance et sans enregistrement de la température à la sortie de la chambre de climatisation.

T<sub>4</sub> : mesure locale, à distance et sans enregistrement de la température en différents points de la serre.

b:) mesure de l'humidité.

H<sub>1</sub> : mesure locale de l'humidité de l'air extérieur.

H<sub>2</sub> à H<sub>7</sub> : mesure locale, à distance et sans enregistrement de l'humidité en différents points de la serre.



4.3.2 Les régulateurs auto-adaptatifs avec la sommation des impulsions Fig 4.19

4.3.2 1. Propriétés du régulateur RE.2 avec la caractéristique PD

Les régulateurs électroniques à 3 positions du type RE.2 sont équipés en contre réaction inertielle qui donne 1 propriétés résultantes PD.

A l'entrée du régulateur est situé le capteur de température à résistance Pt-100 ou l'humidité, à sa sortie des relais électromagnétiques.

On peut fixer la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), ou l'humidité, les zones de non sensibilité et les bandes de proportionnalité  $X_p$ , le temps de dérivée  $T_d$  est constant. Dans le régulateur la bande de proportionnalité  $X'_p$  est liée à la valeur réelle de  $X_p$ .

En fonction du signe et de la valeur de l'écart en température ou en humidité à régler par rapport à la valeur demandée à la sortie du régulateur, on obtient une série d'impulsions de commande dont le temps d'enclenchement et de déclenchement dépend de l'écart.

Règles concernant l'impulsation:

- La première impulsion est la plus longue et les suivantes ont presque la même largeur.
- Les durées de pause (temps de déclenchement) sont presque constantes.
- Pour un écart bien déterminé qui dépend de la valeur  $X_p$ , on obtient un signal constant, c'est à dire sans impulsions.
- Le rapport du temps d'enclenchement au temps de déclenchement augmente avec l'augmentation de  $E = X_o - X$  et avec la diminution de  $X_p$ .

$X_p$  : Changement de température ou d'humidité qui provoque un changement d'impulsion  $Y$  de 0 à 1.

$Y_p$  : Coefficient d'impulsion, rapport durée d'impulsion sur durée de pause.  
 $t_o$  : durée de 1ere impulsion.

$$\left( \frac{1 - \bar{Y}_p}{Y_p} \right)$$

4.3.2. 2. Propriétés d'ensemble du régulateur RE - 2 et servomoteur pas à pas.

Le schéma du système est représenté à la figure 4.10 d

Indices : 1 - Capteur Pt - 100

: 2 - Régulateur RE - 2

: 3 - Relais de sortie du régulateur

: 4 - impulsateurs

: 5 - Vannes électromagnétiques

: 6 - Servomoteur pas à pas.

Fonctionnement du système.

Dans l'état de déséquilibre, le RE - 2 envoie les trains d'impulsions. on peut augmenter ou diminuer le nombre de pas du servomoteur par rapport au nombre d'impulsions du régulateur par des impulsions supplémentaires avec une fréquence plus haute ou plus basse .

On utilise dans ce cas l'impulsateur électronique dans le système de commande du servomoteur.

En fonction du signal de l'écart, le servomoteur tourne vers la droite ou vers la gauche.

Réponse à l'excitation indicielle et paramètres du système.

Pour l'excitation indicielle de la température ou de l'humidité à l'entrée du RE - 2, le servomoteur commande l'élément de réglage pas à pas.

La vitesse moyenne du servomoteur dépend du coefficient d'impulsion et des périodes d'impulsation.

On peut déterminer les paramètres du RE - 2.

$$X_p = X_{pd} \left( \frac{T_m}{T_d PD} \right) \quad T_i = T PD$$

$X_p$  (°C) : bande de proportionnalité du régulateur PI

$T_i$  (S) : temps d'intégration du régulateur PI

$X_{p PD}$  (°C) : bande de proportionnalité du régulateur PD

$T_d PD$  (S) : temps de dérivation du régulateur PD

$T_m$  (S) : temps de déplacement du servomoteur correspondant au changement complet de 0 à 100% de l'organe de réglage.

Le système régulateur RE 2 - servomoteur pas à pas donne la caractéristique résultante PI

Pour le servomoteur pas à pas, on peut supposer :

$$T_m = 30 n$$

n: période d'impulsation de l'impulsateur.

Le coefficient 30 signifie que le changement de position des vannes de contrôle à 100% correspond à 30 pas du servomoteur.

$$K_p = \frac{Y}{X} = \frac{t_0}{n} \frac{1}{\bar{X}}$$

$K_p$  : coefficient d'amplification du régulateur.

Comme coefficient d'amplification on prend le nombre de pas du servomoteur pendant l'action proportionnelle du régulateur correspondant au changement de 1°C de la grandeur à régler.



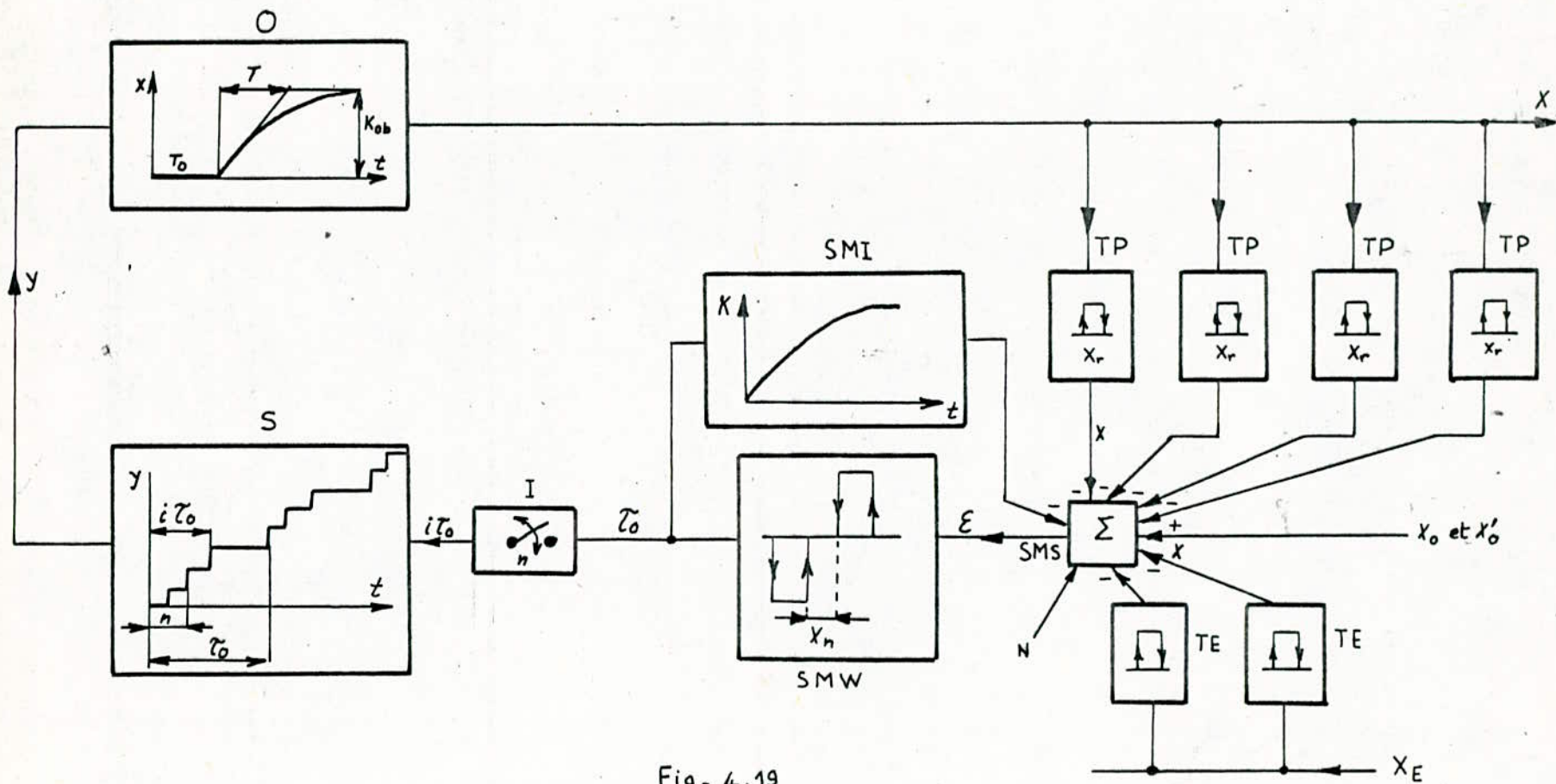


Fig- 4.19

Schéma Bloc d'un Régulateur Auto-Adaptatif à 3 positions

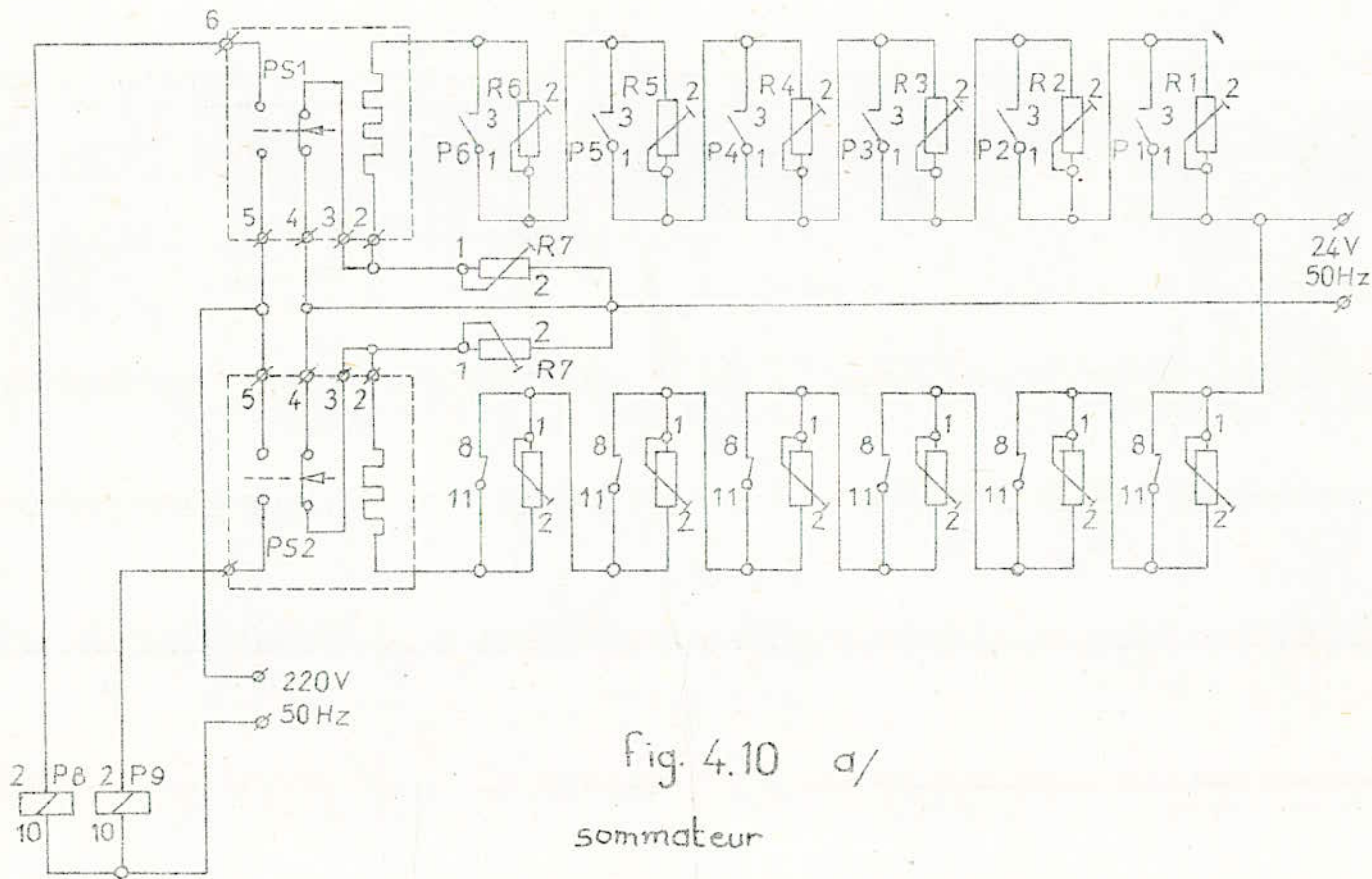
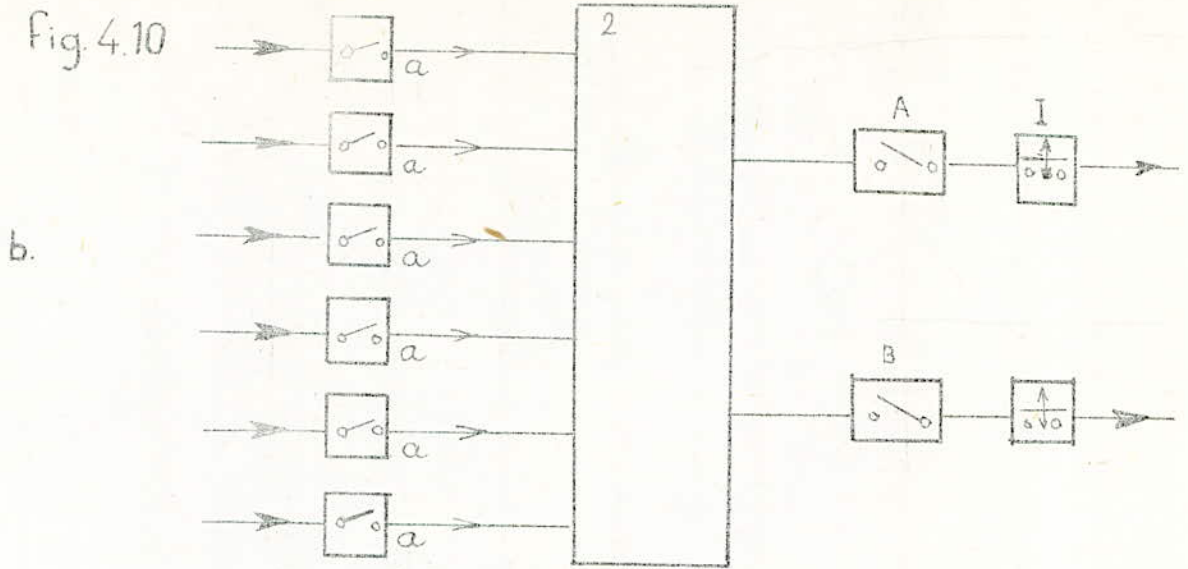


Fig. 4.10 a/  
sommateur



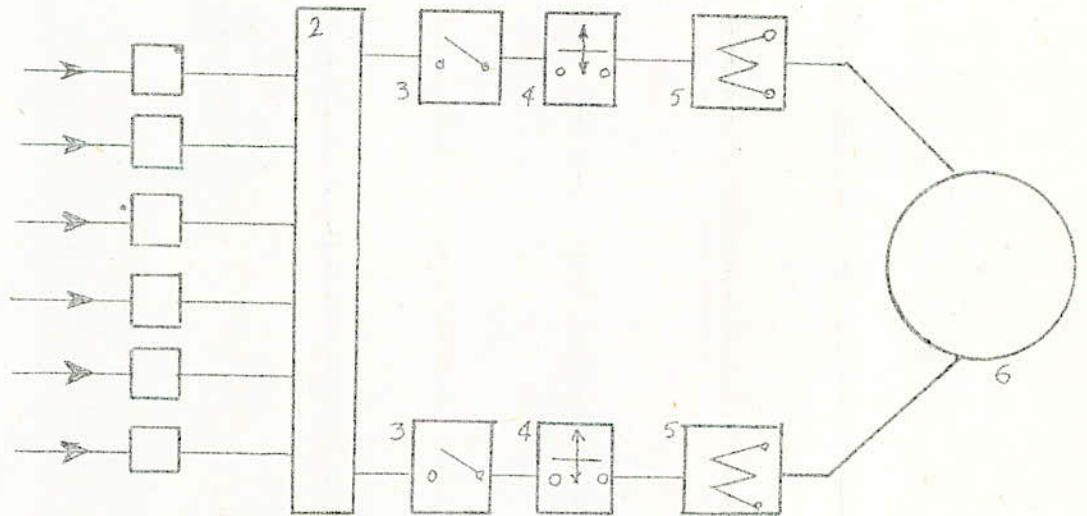
Fig. 4.10



b.

b. schéma bloc du sommateur avec les éléments de mesure.

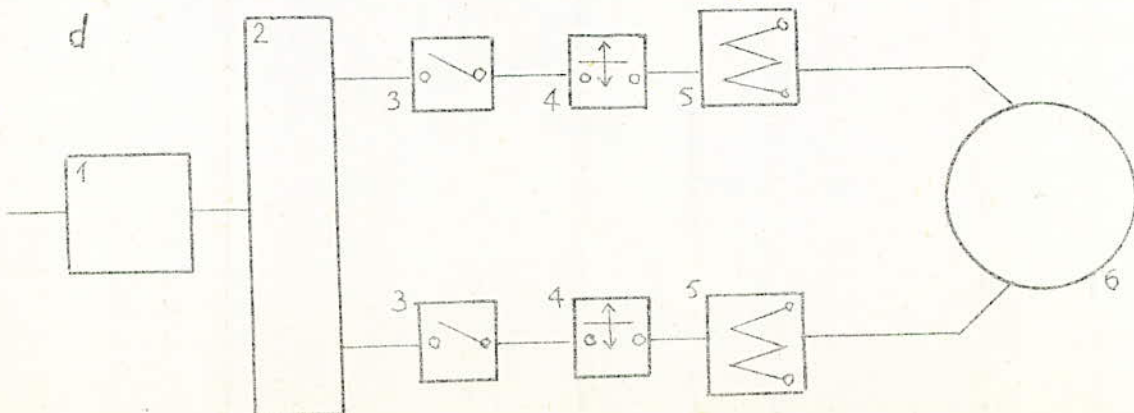
c.



c. schéma bloc d'un système sommateur plus servomoteur pas à pas.

d. système de régulation avec régulateur RE2 et servomoteur pas à pas.

d.



### 3.3. SYSTEME DE COMMANDE DES ELEMENTS EXECUTIFS

#### 3.3.1. Généralités

La Commande des éléments exécutifs dans des conditions désertiques pose des problèmes spécifiques. On est limité par la puissance des sources d'alimentation, surtout dans les endroits où il n'y a pas de réseau électrique général.

Pour cette raison il faut limiter si possible la consommation de l'énergie électrique dans tous les dispositifs et installations fonctionnant dans les serres et entre autres dans les systèmes de commande.

Comme, dans les serres, on dispose de la source d'eau sous pression, celle-ci peut <sup>être</sup> utiliser pour alimenter ou commander les éléments exécutifs comme les vannes de contrôle, les clapets etc...

Il faut souligner que les servomoteurs alimentés par de l'eau sous pression, surtout les servomoteurs pas à pas, peuvent être fabriqués comme éléments simples, robustes et bon marché ; et dans ce cas mieux adaptés pour l'entretien et aux conditions défavorables du milieu.

La fig. 4.12 représente le schéma du système d'alimentation des servomoteurs par de l'eau sous pression constante. Celle-ci, par l'intermédiaire d'une conduite (1), arrive à l'impulsateur (2). Cet impulsateur génère des impulsions hydrauliques positives dont l'amplitude est comprise entre 0 et la pression  $P_n$ .

Les impulsions hydrauliques arrivent, par l'intermédiaire d'un réseau de distribution d'impulsions (3), aux différents servomoteurs électrohydrauliques pas à pas contenant, en principe, l'élément de force à membrane (6). Un ensemble mécanique relie l'élément (6) à la vanne de contrôle (12) ; les deux blocades électromagnétiques (8) et (9) jouent un double rôle :

- L'ouverture de n'importe quelle blocade entraîne le mouvement du servomoteur et en même temps un changement de position de l'élément exécutif (12).

- Le changement du sens de rotation de l'élément exécutif.

L'excitation de la blocade (8) correspond à l'ouverture de la vanne et l'excitation de la blocade (9) correspond à la fermeture de la vanne. En principe les signaux de commande proviennent d'un système contenant un capteur



de mesure (10) et un régulateur (11).

Pour faciliter le fonctionnement du système générateur d'impulsions on peut prévoir un réservoir d'eau (5) qui récupère l'eau rejetée par le système de commande par l'intermédiaire d'une conduite.

#### 4.3.3.2- Système générateur d'impulsions hydrauliques :

On peut fabriquer plusieurs systèmes différents capables de générer des impulsions hydrauliques. Il faut seulement tenir compte, que ce système doit être fiable et caractérisé par une longue durée de vie, et doit être le mieux adapté aux besoins des systèmes de commande, surtout du point de vue des périodes d'impulsions et des résistances hydrauliques.

Comme exemple, on a représenté sur la fig. 4.13 (a/ et b/) le schéma bloc et le mode de fonctionnement d'un système générateur d'impulsions hydrauliques constitué d'un petit moteur électrique (15), d'un réducteur de vitesse (14) et d'un distributeur d'impulsions (16).

Le distributeur (16) est équipé d'un corps (18) avec trois canaux (19) qui sont liés, par les conduites (1), (4) et (3) avec :

- la source d'alimentation en eau sous pression constante (1).
- le réseau de distribution d'impulsions (3)
- la conduite extérieure (4)

Les sorties des trois canaux (19) sont couvertes par la plaque (13) ayant une cannelure (17) qui peut relier les conduites (1) et (3) ou bien les conduites (4) et (3) selon la position de la plaque. Celle-ci est couplée mécaniquement avec le réducteur de vitesse commandé par le moteur.

Les impulsions hydrauliques peuvent prendre des formes différentes (rectangulaires, trapezoïdales, sinusoïdales) selon le mouvement d'aller-retour ou de rotation de la vitesse de la plaque et du mode de fonctionnement du système de commande du moteur.

La fig. 4.13 b/ représente les différentes possibilités :

- 1 - Mouvement aller-retour rapide
- 2 - Mouvement aller-retour lent
- 3 - Mouvement de rotation.

.../...

Fig- 4.12

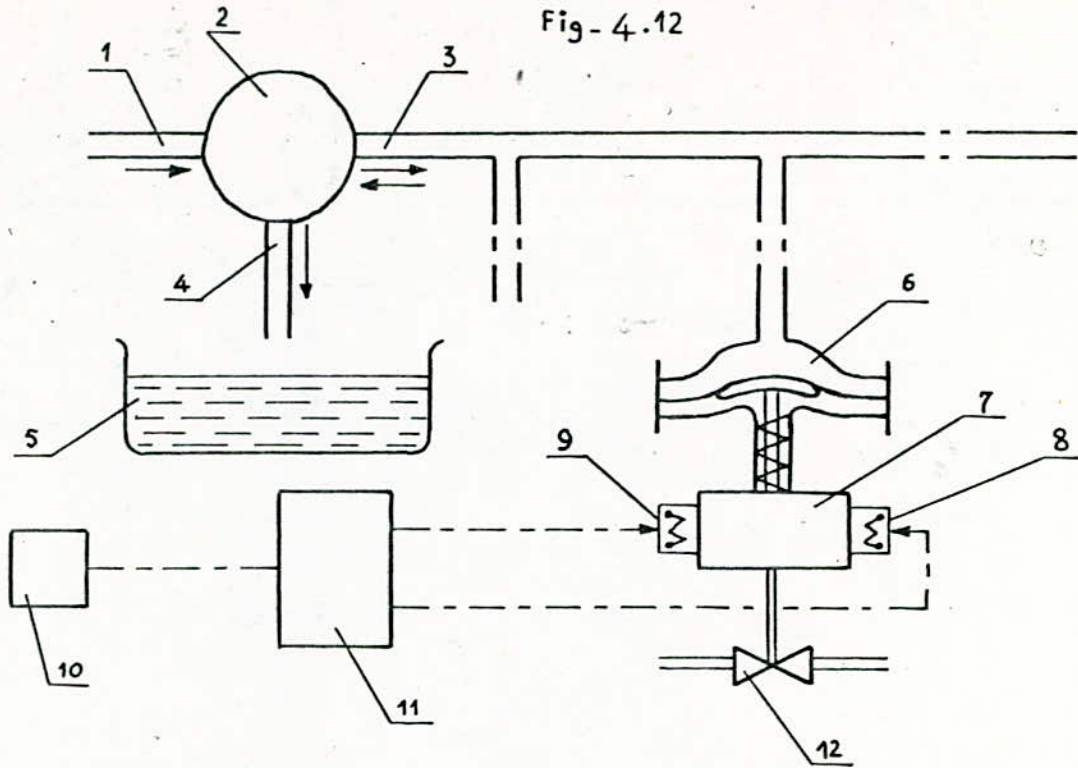
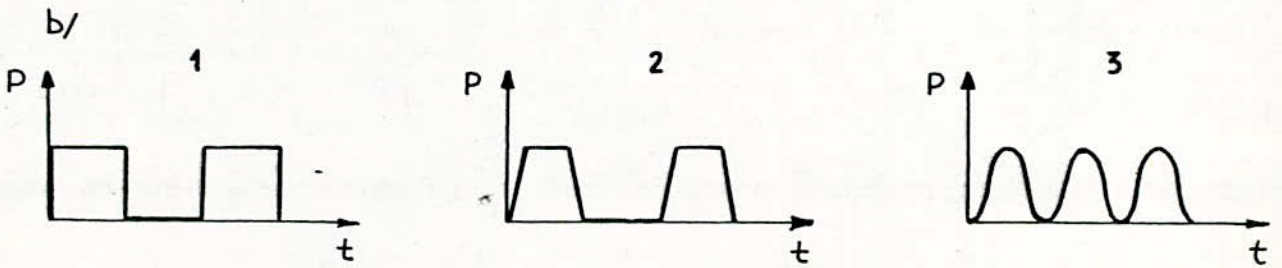
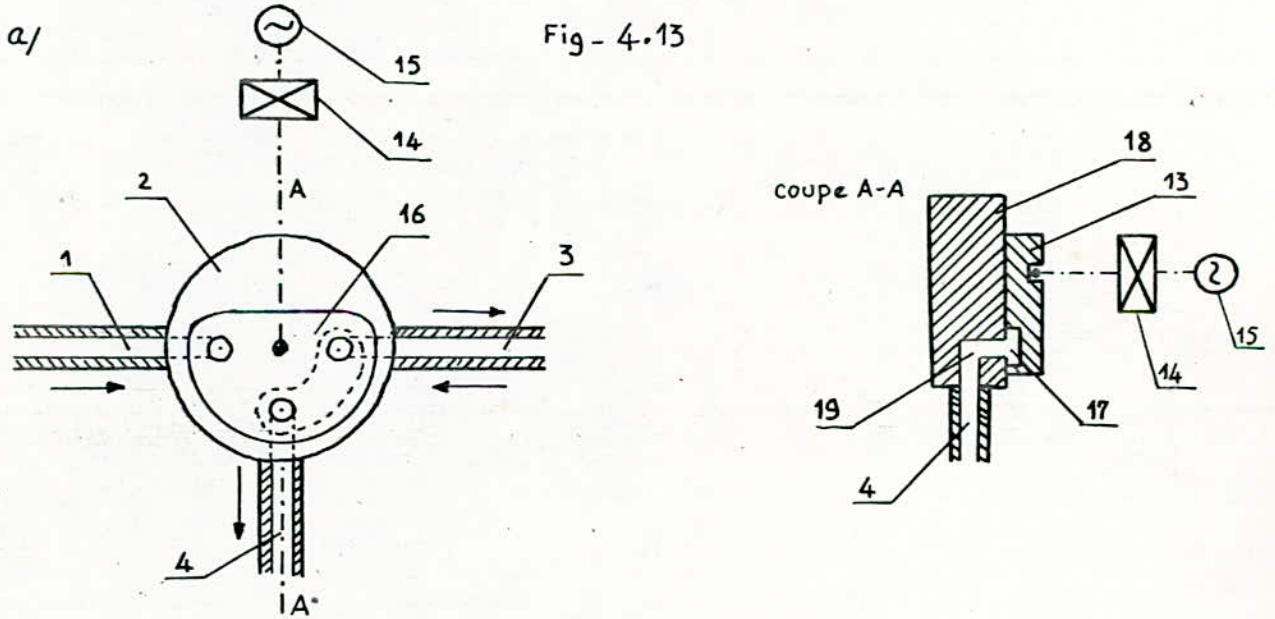


Fig- 4.13





#### 4.3.3.3 - Servomoteur pas à pas électrohydraulique :

##### 3.1. Description :

La fig. 4.14 représente le schéma de fonctionnement d'un servomoteur pas à pas électrohydraulique.

La roue dentée (1) peut être couplée avec l'élément exécutif (9) (par exemple une vanne de contrôle ou des clapets) par l'intermédiaire d'une vis d'entraînement ou un tout autre couplage non envisagé sur la figure.

Le servomoteur est constitué par un système de leviers (11), (13), (15) et (16), les cliquets (2), les ressorts (5) et les butoirs (7).

Dans la position neutre c'est à dire lorsqu'il n'y a pas de signaux de commande, les cliquets sous l'influence des butoirs prennent la position montrée sur la figure et il n'y a aucun couplage entre le système de leviers et la roue dentée. Les leviers (15) et (16) sont situés de manière à ce que les verrous (10) des blocades électromagnétiques peuvent les arrêter dans la position montrée sur la figure. Les blocades électromagnétiques contiennent des bobines d'électroaimant (14) qui peuvent être excitées par le système de commande.

Le levier (11) contient un élément en forme d'un demi-cercle qui peut être poussé par la roue (12) située à la sortie de l'arbre du cylindre hydraulique (3). Celui-ci contient un piston (4), une membrane (17) et le ressort (6), et la conduite d'alimentation (8).

##### 3.2. Fonctionnement

Dans l'état d'équilibre du système de commande, les bobines (14) des blocades ne sont pas excitées ; les leviers (15) et (16) sont bloqués par les verrous (10) ; la roue dentée (1) et l'élément exécutif (9) sont au repos ; le piston (4) du cylindre hydraulique (3) ne peut effectuer que de petits mouvements de va - et vient de l'ordre de 1 mm à 2 mm et selon les périodes d'impulsion du système d'impulsions.

.../...

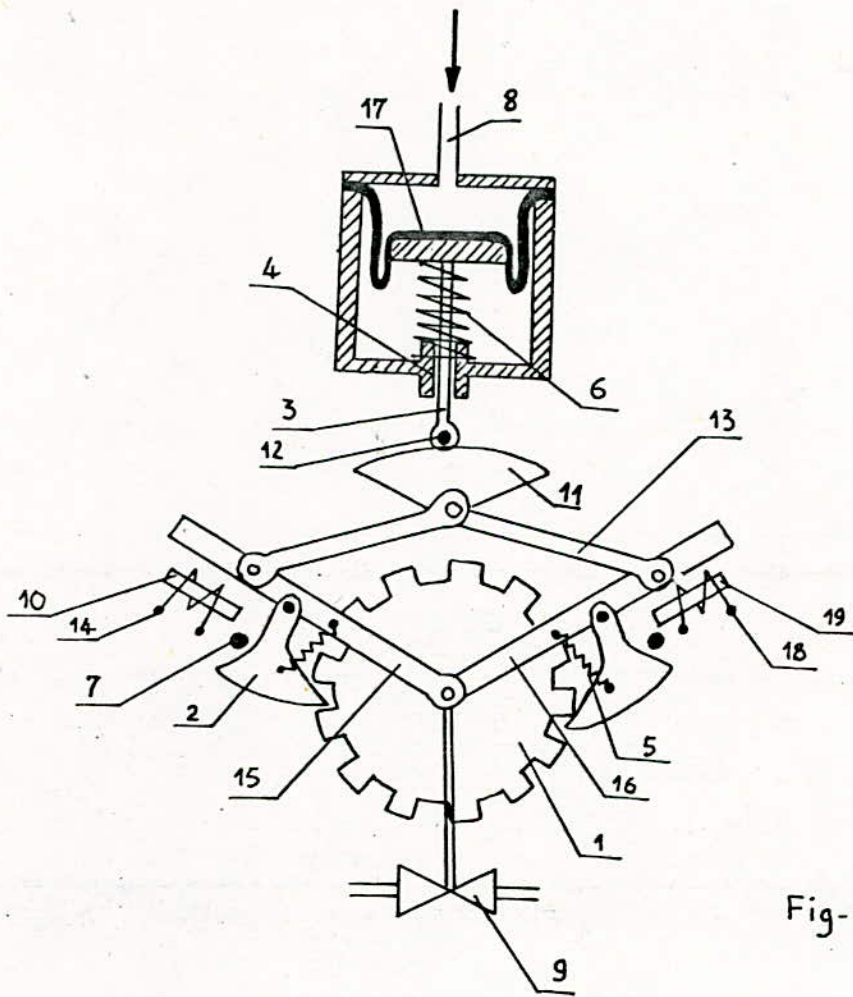


Fig- 4-14



Pendant chaque période d'imulsion, quand la pression d'alimentation est presque nulle, il n'y a pas de contact entre les leviers (15) et (16) et les verrous (10) ; ce qui permet, à l'aide d'un électroaimant de faible puissance, d'enlever les verrous et débloquent le servomoteur dans l'un ou l'autre sens de rotation.

Quand le système de commande envoie des signaux vers (par exemple) l'ouverture des vannes de contrôle (9), la bobine (14) sera excitée, le verrou (10) sera enlevé et le servomoteur commence à changer la position de la roue et de la vanne de la manière suivante :

sous la pression de l'eau de distribution, le piston (4) du cylindre (3) commence à se déplacer en appuyant sur le levier (11) par l'intermédiaire de la roue (12). Les cliquets (2) entrent en contact avec la roue (1) qui commence à tourner dans le sens de l'ouverture.

Si la pression d'alimentation est égale à 0, le système revient à la position initiale sous l'effet du ressort (6).

Dans le cas où l'exécution de la bobine disparaît, le servomoteur est bloqué de nouveau dans la position initiale (d'équilibre).

Si l'excitation de la bobine (14) demeure, le servomoteur continue à tourner la roue (1) et la vanne (9) de manière pas à pas.

Le changement de position de la vanne vers la fermeture s'effectue de la même manière, seulement dans ce cas c'est le levier (16) qui doit être débloquent par la bobine (18).

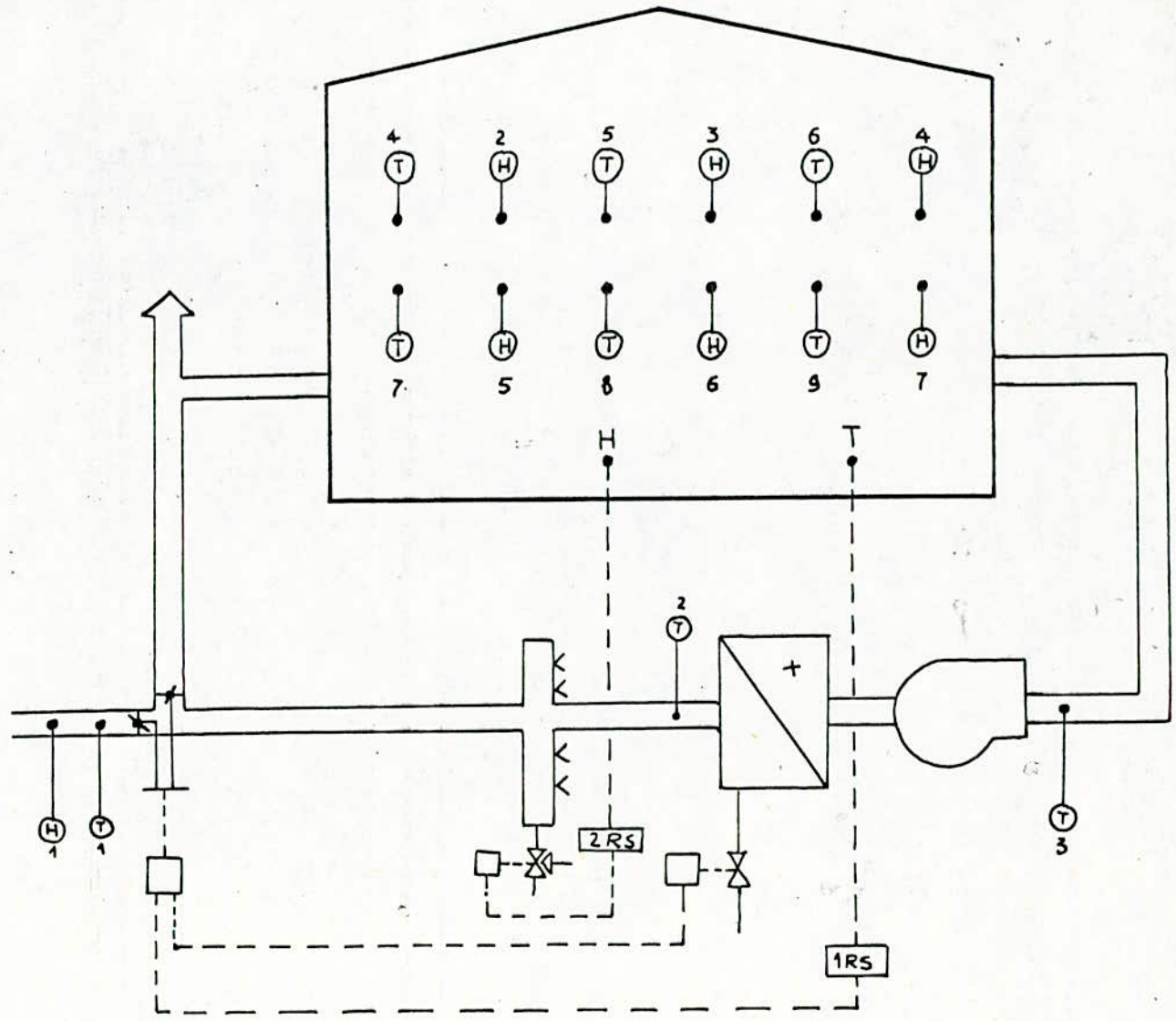


Fig- 4 .18  
 Schéma Synoptique du système de Régulation



#### 4.4 - Choix et calcul des éléments de commande :

##### 4.4.1. - Les Capteurs :

Le capteur est un élément essentiel de la chaîne de mesure. Comme capteurs de température on peut utiliser les thermomètres à résistance Pt 100; les thermomètre à contact ou les thermostats à deux positions.

Les avantages des thermomètres à résistance sont leur précision qui est de l'ordre de  $0,5^{\circ} \text{C}$ , leur temps de réponse à une variation brutale de température qui est de l'ordre de la minute et leur grande plage de mesure (de  $-250^{\circ} \text{C}$  à  $1000^{\circ} \text{C}$ ).

Comme capteurs d'humidité on peut utiliser les psychromètres électriques avec deux thermomètres à résistance l'un sec et l'autre humide. La température indiquée par le deuxième thermomètre est inférieure à celle indiquée par le thermomètre sec. Cette différence permet de connaître le point de rosée et le degré hygrométrique.

##### 4.4.2. - Choix de mise au point des régulateurs.

Le système automatisé est équipé de régulateurs électriques RL ou RE avec les sorties à 3 positions et les caractéristiques dynamiques PD.

La transmittance de ces régulateurs est :

$$R'(S) = \frac{1}{X_p} (1 + T_d S)$$

$X_p$  (%) : bande de proportionnalité du régulateur PD

$T_d$  (s) : temps de dérivation du régulateur PD

La transmittance d'un servomoteur pas à pas électropneumatique est :

$$R''(s) = \frac{1}{T_m S}$$

$T_m$  (s) : Temps de déplacement du servomoteur correspondant au changement de 0 % à 100 % de l'organe de réglage. La fonction de transfert de la boucle est donc :

$$R(s) = R'(s) \cdot R''(s) = \frac{T_d}{X_p \cdot T_m} \left( 1 + \frac{1}{T_d} S \right)$$

C'est un système de régulation à comportement proportionnel intégral (PI) avec :

$X'_p = X_p \frac{T_m}{T_d}$  : bande de proportionnalité

$T_i = T_d$  : temps d'intégration.

Les paramètres suivants sont à choisir pour s'assurer du plus juste fonctionnement de la chaîne de régulation :

$T_i = T_d$  (s) : temps d'intégration du réglage égal au temps de dérivation du régulateur;

$n$  (s) : Période d'impulsation de l'impulsateur.

$X_n$  (°C) : Zone morte du régulateur.

Pour le choix des paramètres sus-cités, on peut utiliser les caractéristiques de JUNKER représentées sur la fig. Ces caractéristiques servent à assurer une marge de stabilité conforme au régulateur PD.

La fig. représente les parcours optimaux du régulateur PD lors desquels le déroulement se fait suivant le critère du minimum d'erreur du carré de l'intégrale.

### Spécifications des Figures.

$T_0$  (s) : Temps de retard du processus.

$T$  (s) : constante de temps.

$K_0$  : coefficient d'amplification en boucle ouverte.

$$K_0 = K_p V'$$

$K_p$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) : coefficient d'amplification du système de commande exprimé comme le nombre de pas du servomoteur correspondant au changement de  $1^{\circ}\text{C}$  de la valeur à régler.

$V'$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) : Changement de la valeur à régler correspondant à un pas du servomoteur.

$T_i$  (s) : Temps d'intégration.

Fig. 4.21. Caractéristiques pour le choix d'un régulateur PI.

Fig. 4.22. Mise au point des régulateur PI

Fig. 4.23. Caractéristique pour le choix d'un régulateur avec sommation des impulsions.

$T_0$  (s) : durée d'une seule impulsion de commande.

$n$  (s) : durée du temps d'enclenchement de l'impulsateur.

On peut déterminer les valeurs  $K_p$  par la formule :

$$K_p = \frac{T_0}{n} \cdot \frac{1}{X} \quad ( ^{\circ}\text{C} )$$

Détermination des propriétés dynamiques  $T_0$ ,  $T$ ,  $\frac{T_0}{T}$  par la méthode expérimentale (Réponse indicielle).

La détermination de la mise au point optimale du régulateur PI peut-être faite à l'aide de la Fig. sous forme de  $\frac{T_i}{T_0}$  et  $K_0$ .

La détermination de la zone de proportionnalité  $X_p = \frac{1}{K_p}$  peut être faite à l'aide des valeurs  $K_p$  et  $V'$ .

- Calcul du temps d'intégration  $T_i = \left(\frac{T_i}{T_0}\right) T_0$  ET détermination du temps de différenciation  $T_d$  du régulateur PI.

- Calcul du temps  $n$  peut être fait en utilisant la formule  $n = \frac{T_0}{K_p X}$  où les

valeurs  $T_0$  et  $X$  doivent être prises directement à partir des caractéristiques des régulateurs RL-2 et RE.



Le choix des zones de non sensibilité  $X_n$  du régulateur doit être effectué en tenant compte que cette zone ne peut être plus grande que la précision demandée pour les paramètres du processus.

Pour les régulateurs RL-2 avec la bande de régulation comprise entre 0 et 130°C, la zone de non sensibilité  $X_n$  doit être à peu près égale à 1,5°C.

La valeur du temps différentiation  $T_d$  du régulateur peut être trop petite par rapport à la valeur optimale  $T_i = T_d$  et dans ce cas on ne peut pas choisir  $K_p$  selon la fig. Dans ce cas, il faut analyser le fonctionnement du système à l'aide de la Fig. Dans ce cas, il faut faire le choix de  $K_o$  et  $\frac{T_i}{T_o}$  de sorte que la stabilité soit assurée.

#### Régulateur avec sommation des impulsions.

Le schéma du sommateur d'impulsions est représenté sur la Fig. pour la mise au point de ce régulateur, on peut utiliser les caractéristiques concernant les régulateurs pas à pas (Régulateur par impulsions), élaborées par JUNKER (Fig. 4 23)

Le système est stable ou instable en fonction de la position du point déterminé par les valeurs  $\frac{\tau_c}{T_c}$  et  $\frac{T_o}{T}$  par rapport aux valeurs de  $\frac{S}{X_n}$ .

#### Indices :

$T_o$  (s) : temps mort d'objet.

$T$  (s) : constante de temps résultante de l'objet.

$\tau_o$  (s) : période d'impulsation du sommateur.

$i\tau_o$  (s) : durée d'impulsion du sommateur.

$i$  : coefficient de remplissage  $i = \frac{te}{te + td}$

$X_n$  (°C) : zone morte du sommateur

$S$  (°C) : valeur correspondant à 1 pas du sommateur qui est égale au changement de la grandeur à régler comme résultat d'une seule impulsion du régulateur

$$S = \frac{i\tau_o}{n} V'$$

$V'$  (°C) : changement de la grandeur à régler correspondant à 1 pas du servomoteur.

$n$  (s) : période d'impulsation de l'impulsateur.

$\frac{i\tau_o}{n}$  : nombre d'impulsions de l'impulsateur correspondant à 1 impulsion du sommateur.

Une marge de stabilité correspondante à  $n$  sera choisie telle que  $n = 2 n_{\min}$

avec :  $n_{\min} = \frac{i\tau_o}{S_{\max}}$   $S_{\max} = \left(\frac{S}{X_n}\right) X_n$

Au cas où les valeurs choisies ne correspondent pas avec la stabilité et la précision, il faut prendre d'autres valeurs de  $\tau_o$  et de  $i\tau_o$  et refaire de nouveau le même calcul.

### Influence des grandeur caractéristiques du système sur la stabilité.

Le système est plus stable dans les cas suivants :

- le retard du processus  $T_0$  est petit.
- La valeur  $\frac{T_0}{T}$  est petite
- la période d'impulsion  $T_0$  est grande.
- la durée d'impulsion  $T_0$  est petite.
- la non sensibilité  $X_n$  du régulateur est grande
- l'amplification d'objet est petite
- la vitesse de déplacement de l'élément de réglage est petite et la période d'impulsion  $n$  du régulateur est grande.

### Données nécessaires pour les calculs.

Pour choisir la mise au point du régulateur pour les objets du 1<sup>er</sup> ordre avec retard, il faut connaître les paramètres suivants  $T_0$ ,  $T$ ,  $V'$  et la marge de leurs changements (valeur min. et max.).

On fait les calculs pour les valeurs les plus grandes de ces paramètres.

Pendant le changement de la température extérieure, en principe  $T$  est changeable et  $T_0$  reste constante, selon la fig. 4.23 on peut constater que les conditions de stabilité pour  $\frac{T_0}{T} < 0,2$  sont presque constantes.

L'influence des changements de la valeurs de  $V'$  est relativement grande et la non linéarité de la caractéristique statique complique la commande dans les systèmes de ce type.

La zone de non sensibilité du sommateur  $X_n$  doit être égale à 1°C.

### Mise au point du sommateur.

Sommateur avec la contre réaction thermique.

Il faut fixer les vis des relais biméalliques sur les positions 8 - 10 - 10 ou 14. Pour la non sensibilité indiquée ci-dessus, il est commode de fixer cette position sur 10.

### Remarque.

Si  $T_0$  du processus pour l'augmentation et la diminution de la température sont différentes, on peut faire distinctement la mise au point du sommateur pour l'augmentation et la diminution de la température.

### Choix des périodes d'impulsion dans le système avec sommateur.

1. Processus avec  $T_0$  petit.

- Trouver dans les caractéristiques de la fig. 4.20 ( $T_0, T_0$ ) pour la position déterminée du sommateur, puis calculer  $\frac{T_0}{T}$ ,  $\frac{T_0}{T_0}$  ;

- Pour les caractéristiques représentées sur la fig. 4.23 trouver les points



Exemple I:  $T_0 = 50s$   $T = 500s$   $V = 0,4$  &  $X_n = Ie^{-\frac{T_0}{T}}$   $\frac{T_0}{T} = 0,1$

		Ri	$t_a = i \frac{T_0}{T}$	$t_b$	$t_a + t_b = T_0$	$\frac{T_0}{T_0}$	$x_n = S$	$S_{max}$	$N_{min}$
8	6	95	90	"	II2	2,24	I,75	I,75	20,57
	5		74	"	96	I,92	I,48	I,48	20,00
	4		52	"	74	I,48	I,17	I,17	I7,78
	3		37	22	59	I,18	0,86	0,86	I7,21
	2		25	"	47	0,94	0,77	0,77	I2,98
	I		I8	"	40	0,80	0,65	0,65	II,08
	0		I5	"	37	0,74	0,60	0,60	I0
I0	6	95	I30	"	I47	2,94	2,4I	2,4I	2I,65
	5		96	"	II3	2,26	I,80	I,80	2I,32
	4		65	"	82	I,64	I,28	I,28	20,30
	3		46	I7	63	I,26	0,90	0,90	20,00
	2		30	"	47	0,94	0,77	0,77	I5,58
	I		20	"	37	0,74	0,60	0,60	I3,33
	0		I5	"	32	0,64	0,54	0,54	II,II
I2	6	95	"	"	"	"	"	"	"
	5		"	"	"	"	"	"	"
	4		95	"	II0	2,20	I,70	I,70	22,35
	3		64	I5	79	I,58	I,18	I,18	2I,69
	2		42	"	57	I,14	0,82	0,82	20,49
	I		26	"	4I	0,82	0,66	0,66	I5,76
	0		I6	"	3I	0,62	0,52	0,52	I2,3I
I4	6	95	"	"	"	"	"	"	"
	5		"	"	"	"	"	"	"
	4		"	"	"	"	"	"	"
	3		I28	I2	I40	2,80	2,30	2,30	22,26
	2		74	"	86	I,72	0,35	I,35	2I,93
	I		44	"	56	I,12	0,82	0,82	2I,46
	0		20	"	32	0,64	0,54	0,54	I4,8I

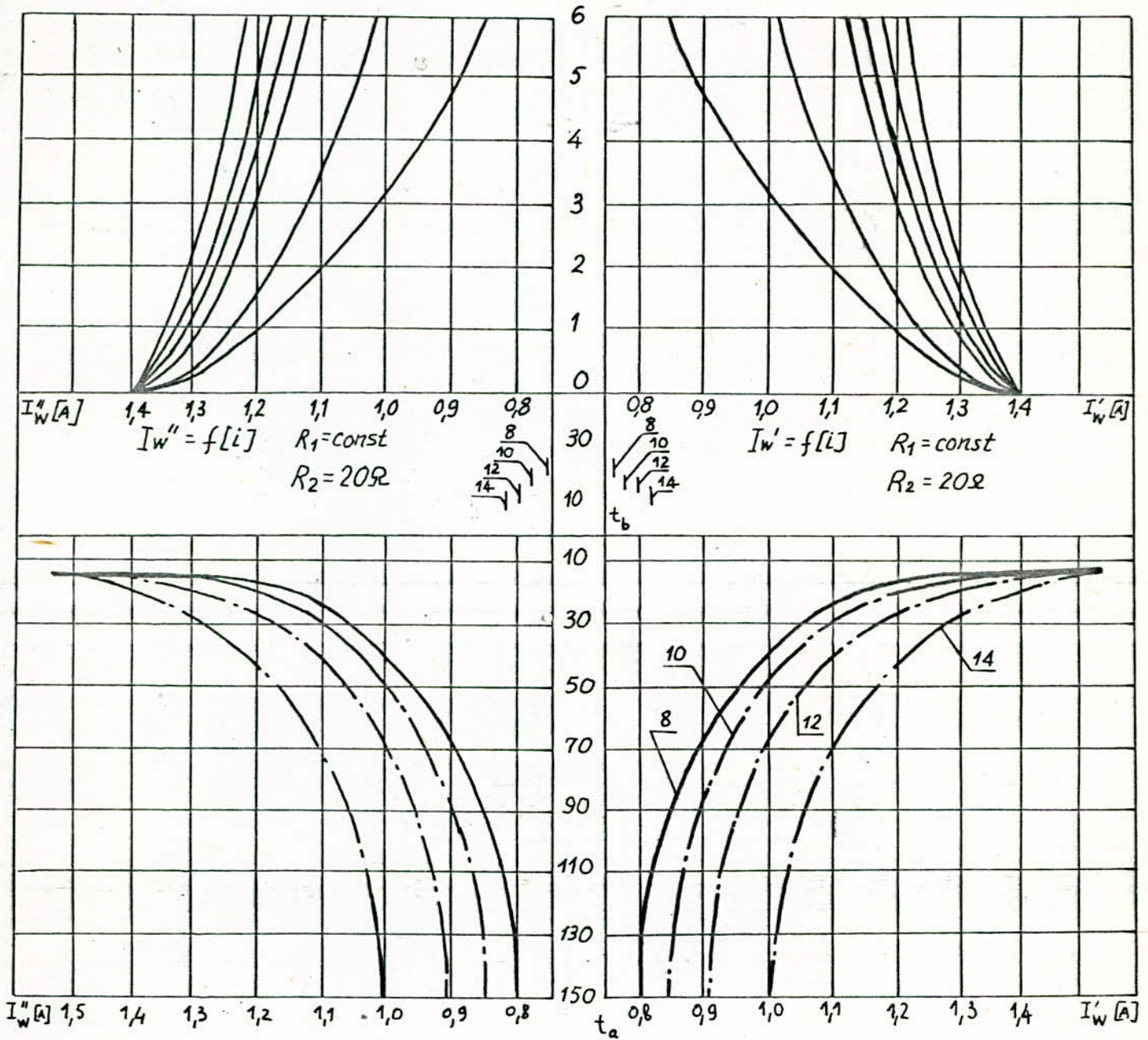


Fig-4.20

caractéristiques d'un Régulateur Auto-Adaptatif avec la  
Somme des Impulsions



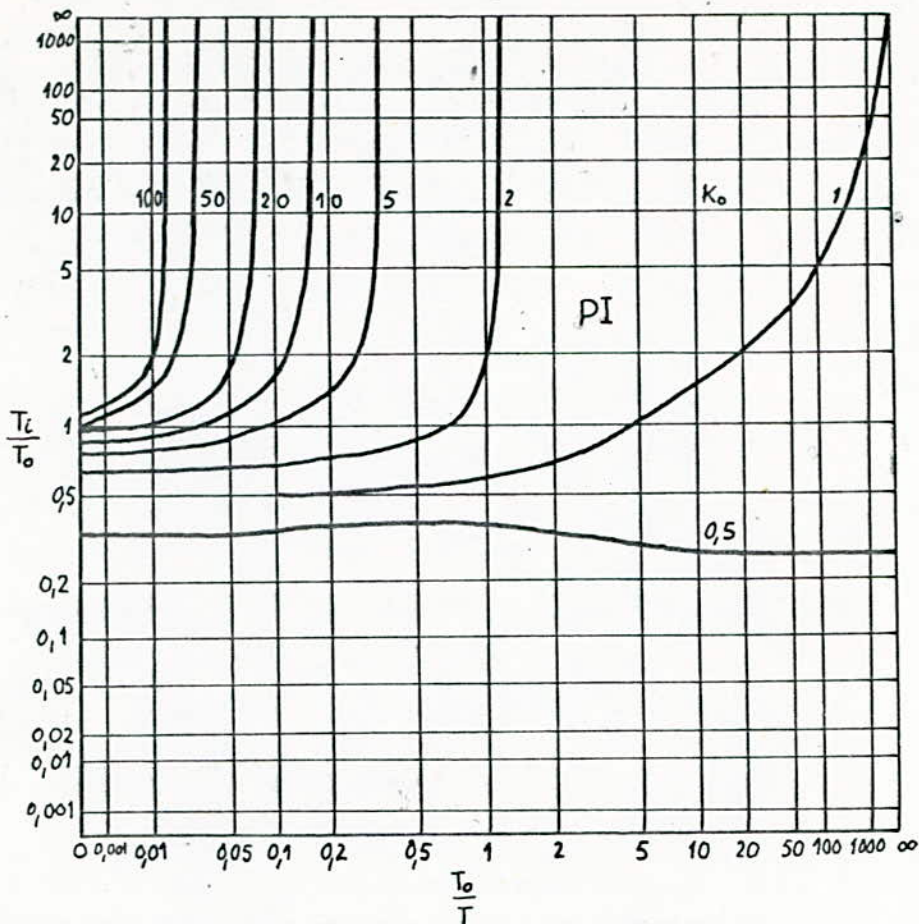


Fig- 4.21 Caracteristiques pour le choix des régulateurs PI

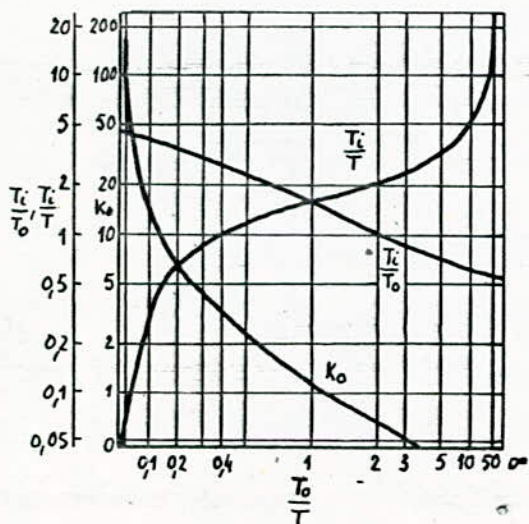


Fig- 4.22 Mise au point optimale des régulateurs PI

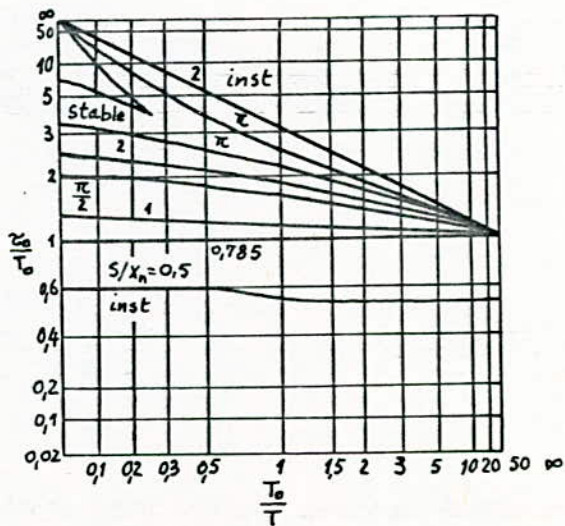


Fig- 4.23 Caracteristiques pour le choix des régulateurs avec la Somme des Impulsions

Trouver  $\frac{S}{X_n}$  pour lequel le système est à la limite de la stabilité <sup>73</sup>

- Calculer  $S_{max} = \left(\frac{S}{X_n}\right) X_n$  ;

\* Calculer  $n_{min}$ ,  $n_{min} = \frac{2\tau_0 V'}{S_{max}}$

- Fixer sur l'impulsateur la durée de la pause  $2n_{min}$ , il faut trouver la durée d'impulsion plus courte que la durée de pause.

2 - Objet avec temps de retard  $T_0$  grand pour lequel

Les calculs sont différents par rapport au 1er cas, car le fig. 4.23 ne conserve pas les valeurs  $\frac{\tau_0}{T_0} < 0,6$

\* Calculer  $\frac{V'}{X_n}$ ,  $\frac{T_0}{T}$

\* Selon la fig. 4.23 trouver les points correspondants aux paramètres  $\frac{T_0}{T}$  et  $\frac{V'}{X_n}$ . Déterminer  $\frac{\tau_0}{T_0}$  correspondant à la limite de la stabilité.

\* Calculer  $\tau_0' = \left(\frac{\tau_0}{T_0}\right) T_0$

\* Prendre  $n_{min} = \tau_0'$

\* Fixer l'impulsateur en position correspondant au condition suivante : le servomoteur pas à pas doit exécuter le pas avec la période d'impulsion  $2n_{min}$ .  
La durée de pause est alors égale à  $2n_{min}$ .

Dans ce cas les impulsions de l'impulsateur et du sommateur "se couvrent" et le servomoteur exécutera un nombre de pas plus petit par rapport au nombre d'impulsions provenant de l'impulsateur.

#### 4.3. - Choix et calcul des vannes de contrôle.

##### 4.3.-1 - Généralités :

Les vannes de contrôle sont des éléments essentiels dans le contrôle des procédés industriels.

Du point de vue dynamique, elles sont considérées comme des éléments sans retard.

Les vannes de réglage peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Les vannes à corps droit : le clapet suit un mouvement linéaire et peut être entraîné par un servomoteur.

- Les vannes spéciales comme les servovalves, les vannes d'angle, les vannes à membranes... Elles diffèrent selon leur usage et leur conception.

- Les vannes rotatives qui peuvent être à papillon, à disque excentrique ou à boule.

##### 4.3.-2. Caractéristiques :

Le débit qui traverse une vanne de contrôle avec une perte de charge  $\Delta P$  est donné par la relation :



$$G = K_v \sqrt{\frac{1000 \Delta P}{\rho}} \quad 74$$

$K_v$  : coefficient de débit (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta P$  : perte de charge (Kgf/Cm<sup>2</sup>)

$\rho$  : masse volumique du fluide (Kg/m<sup>3</sup>)

Le coefficient  $K_v$  est la valeur du débit d'eau en (m<sup>3</sup>/h) traversant la vanne pour une perte de charge de 1Kgf/Cm<sup>2</sup> et pour une donnée. Sa valeur pour une pleine ouverture de la vanne ( $H = H_{100}$ ) est désignée par  $K_{vs}$ .

2.1. - Vanne de contrôle à caractéristique linéaire.

$H$  étant l'ouverture de la vanne.

$H_{100}$  étant l'ouverture maximum de la vanne.

Le coefficient de débit est donné par la relation :

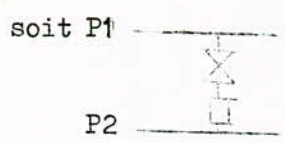
$$\frac{K_v}{K_{vs}} = a + b \frac{H}{H_{100}} \quad \text{voir fig. 4-24}$$

2.2. - Vanne de contrôle à caractéristique logarithmique :

Le coefficient de débit est donné par la relation :

$$\frac{K_v}{K_{vs}} = a \cdot e^{b \cdot \frac{H}{H_{100}}} \quad \text{voir fig. 4-24}$$

Comme en pratique, la vanne de contrôle se trouve juxtaposée dans les installations avec des éléments résistants, la caractéristique réelle est alors déformée.



$P_1$  et  $P_2$  étant les pressions statiques d'entrée et de sortie.

$P = P_1 - P_2$  étant la chute de pression totale.

La chute de pression dans la vanne est donnée par :

$$\Delta P = P - (P - \Delta P_{100}) \left( \frac{G}{G_{100}} \right)^2$$

Chute de pression dans la vanne à pleine ouverture. On peut alors représenter par une courbe la relation entre la chute de pression dans l'installation et dans la vanne Fig. 4.25

4.4.3.-3. - Choix des vannes de contrôle.

Le choix des vannes de contrôle est très important dans une régulation car la stabilité du système peut dépendre de ce choix.

Pour bien choisir la vanne, il faut savoir si l'objet de régulation est linéaire ou logarithmique en effectuant des essais. Dans notre cas l'objet de régulation est considérée comme logarithmique.

Critère de stabilité : Une vanne de contrôle est stable s'il on a  $\frac{K_{ob \max}}{K_{ob \min}} \geq 3$ ; c'est à dire pour un objet logarithmique et une vanne logarithmique :  $\frac{\Delta P_{100}}{P} = 0.3$  à 1.

4.4.3.- 4 - Mode de calcul.

$\Delta P_{min}$ ,  $\Delta P_{max}$ ,  $G_{min}$  et  $G_{max}$  étant données;

1/ Déterminer les valeurs de  $K_{vmin}$  et  $K_{vmax}$  : soit d'après la formule suivante :

$$K_v = G \sqrt{\frac{1}{\Delta P_{100}}} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (\text{valable uniquement pour l'eau})$$

dans laquelle :  $G$  : débit en  $\text{m}^3/\text{h}$

$\Delta P_{100}$  : chute de pression en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  dans la vanne pour un débit maximum (ouverture totale).

- soit d'après le diagramme de détermination du coefficient de vanne  $K_v(\text{m}^3/\text{h})$  pour l'eau en ayant  $\Delta P_{100}$  en mCE fig. 4-26

$$1 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \longrightarrow 10 \text{ m CE}$$

2/ Déterminer les dimensions de la vanne contrôle  $\frac{K_{vmax}}{K_{vs}} \geq 0,7$ ;  $K_{vs}$  : valeur provenant du catalogue du fournisseur pour d'éventuelles augmentations du débit :

$\frac{K_{vmin}}{K_{vs}} > 1,1 \frac{K_{vr}}{K_{vs}}$ ;  $K_{vr}$  = débit normalisé le plus petit pour lequel la caractéristique de la vanne est la même que la caractéristique théorique

$K_{vs} = \frac{K_{vmax}}{0,7}$  sera prise du catalogue en valeur supérieure

3/ Déterminer  $\frac{H_{min}}{H_{100}}$  et  $\frac{H_{max}}{H_{100}}$  à partir des caractéristiques de la fig. 4-24

4/ Déterminer  $P = P_1 - P_2 = \Delta P_{max} + \frac{\Delta P_{min} - \Delta P_{max}}{G_{max}^2 - G_{min}^2} \cdot G_{max}^2$

5/ Déterminer  $\frac{G_{max}}{G_{100}} = \sqrt{1 + \frac{\Delta P_{max}}{P} \left[ \left( \frac{K_{vmax}}{K_{vs}} \right)^2 - 1 \right]}$

6/ Déterminer  $\frac{\Delta P_{100}}{P} = \frac{\Delta P_{max}}{P} \left( \frac{K_{vmax}}{K_{vs}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\left( \frac{G_{max}}{G_{100}} \right)^2}$

4.4.3.-5- Application : (Exemple)

Soit :  $G_{max} = 3 \text{ m}^3/\text{h}$                        $G_{min} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $\Delta P_{max} = 0,5 \text{ Kg}/\text{cm}^2$                        $\Delta P_{min} = 1 \text{ Kg}/\text{cm}^2$   
           = 5 m CE                                      = 10 mCE

1/ D'après le diagramme de la fig. 4-26 on a :

$$K_{vmax} = 4,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{vmin} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

2/ avec  $\frac{K_{vmax}}{K_{vs}} = 0,7$ , on détermine  $K_{vs} = \frac{K_{vmax}}{0,7} = 6,14 \text{ m}^3/\text{h}$



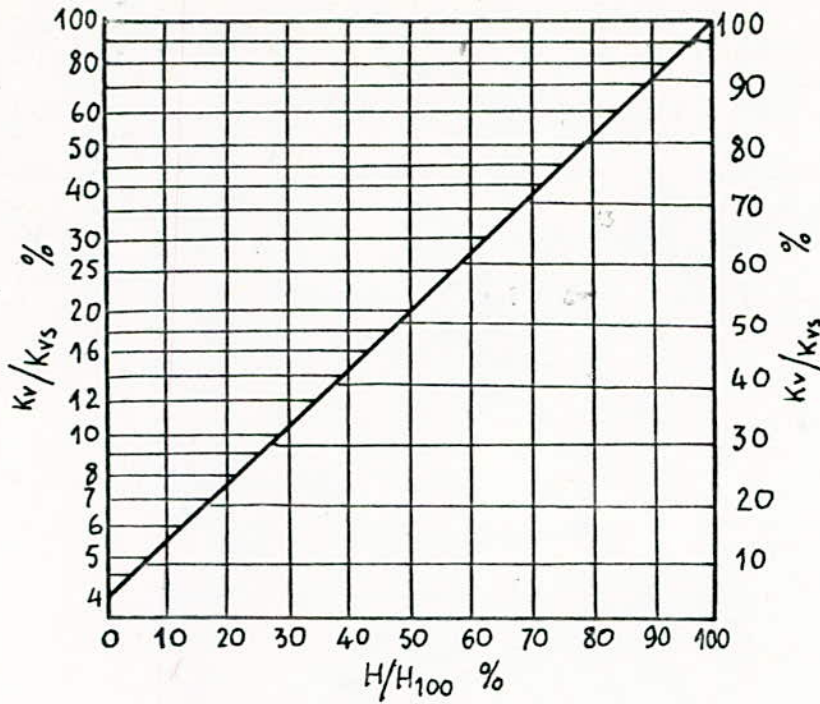


Fig. 4.24 caractéristiques des Vannes de Régulation

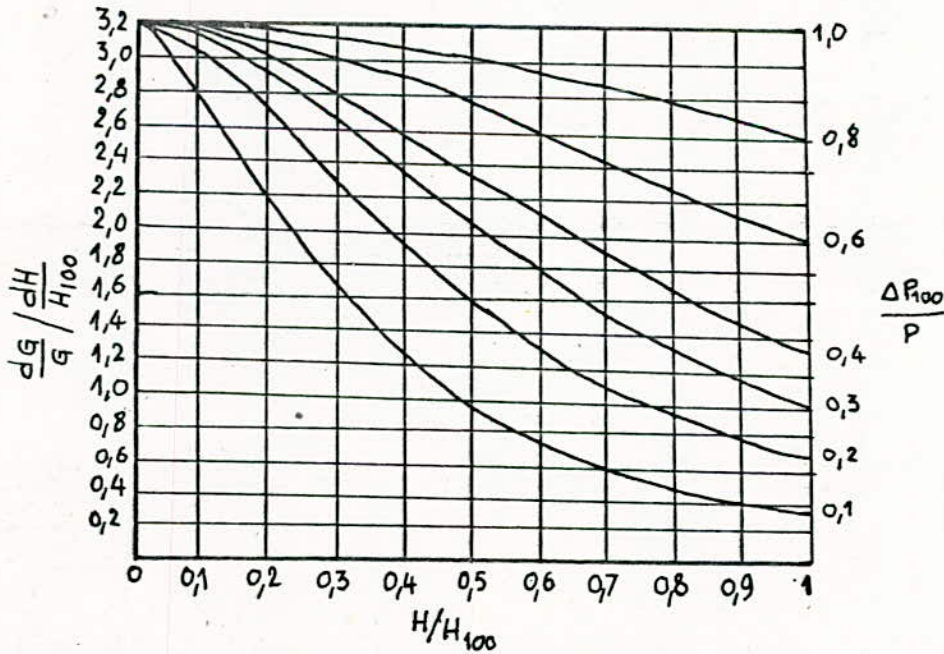


Fig- 4.25

objet logarithmique - vanne logarithmique .



Diagramme pour la détermination du coefficient de vanne  $k_v$  ( $m^3/h$ ) pour l'eau

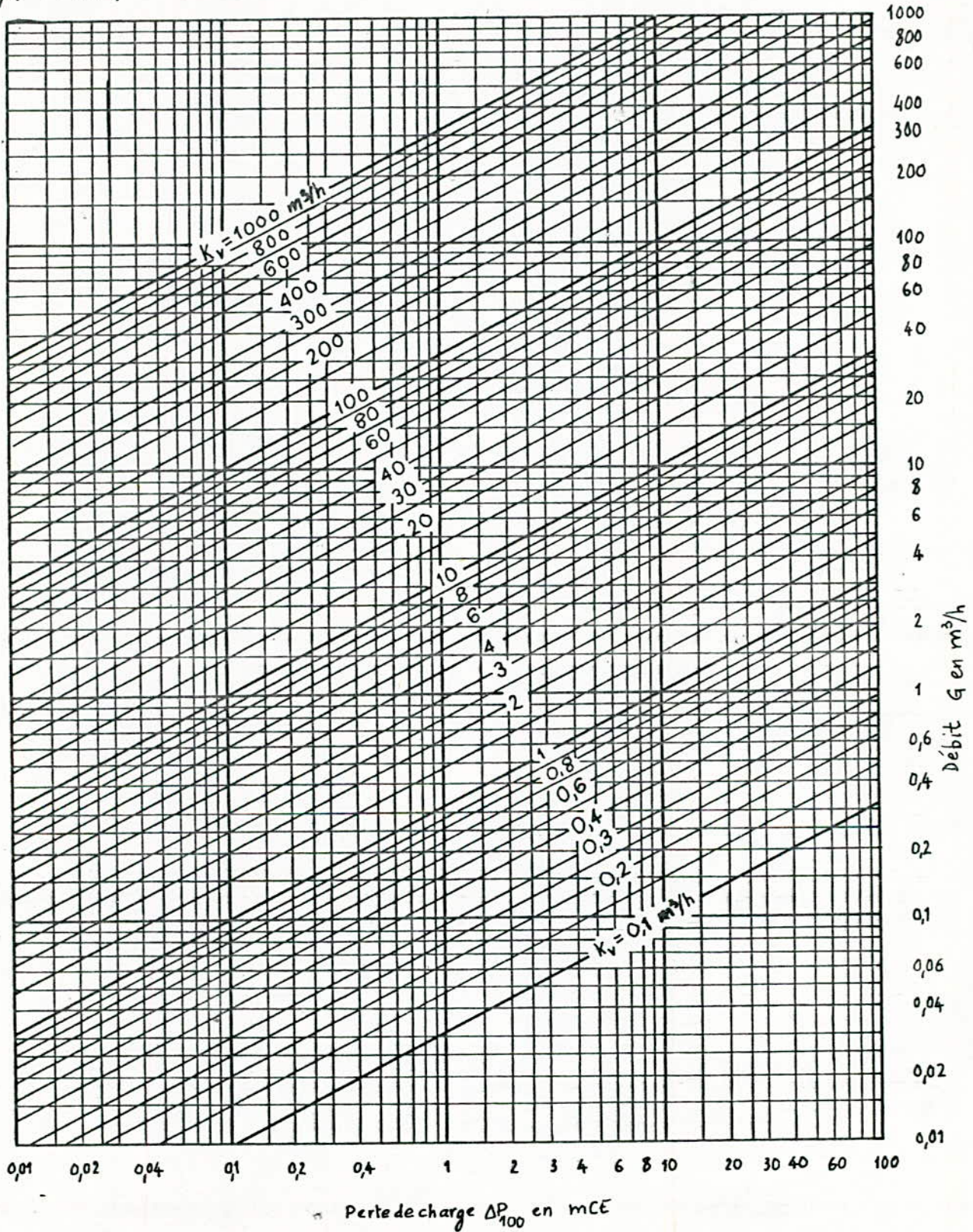


Fig- 4.26



Pour, par exemple, une vanne à soupape à 3 voies, type X 1gr on a  $Kvs = 3,5$   
et  $Kvs = 6,5$

Comme 6,14 est très proche de 6,5, on prend donc :

$$Kvs = 6,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad \phi = 20 \text{ mm}$$

3/ A partir des caractéristiques de la fig, on détermine :

$$\frac{H_{min}}{H_{100}} \quad \text{et} \quad \frac{H_{max}}{H_{100}} \quad 4,24$$

$$\frac{K_{vmin}}{Kvs} = \frac{0,5}{6,5} \approx 7,7\% \quad \longrightarrow \quad \frac{H_{min}}{H_{100}} \approx 18\%$$

$$\frac{K_{vmax}}{Kvs} = \frac{4,3}{6,5} \approx 66\% \quad \longrightarrow \quad \frac{H_{max}}{H_{100}} \approx 86\%$$

4/ Calculons P

$$P = 0,5 + \frac{1 - 0,5}{9 - 0,25} \cdot 9 \approx 1,01 \text{ Kg/Cm}^2$$

5/ Calculons  $\left(\frac{\phi G_{max}}{G_{100}}\right)^2$

$$\left(\frac{G_{max}}{G_{100}}\right)^2 = 1 + \frac{0,50}{1,01} \left(\frac{4,3}{6,5}\right)^2 - 1 \approx 0,72$$

6/ Calculons  $\frac{\Delta P_{100}}{P}$

$$\frac{P_{100}}{P} = \frac{0,5}{1,01} \left(\frac{4,3}{6,5}\right)^2 \cdot \frac{1}{0,72} \approx 0,3$$

7/ D'après les caractéristiques de la fig 4.25, on obtient :

$$\left. \begin{array}{l} K_{ob \text{ max}} = 3 \\ K_{ob \text{ min}} = 1,25 \end{array} \right\} \quad \frac{K_{ob \text{ max}}}{K_{ob \text{ min}}} = \frac{3}{1,25} = 2,4 \quad \text{Le critère de stabilité} \\ \text{est satisfait.}$$

## SPECIFICATION DES FIGURES.

Symboles indices	Eléments	type	Remarque
FIG. 4.8			
I	Capteur de température dans la gaine Pt 100		fabriqué par KFA
2	Impulsateur électronique "BELOS" SW 0918-242		fabriqué par BEL
3	Régulateur RE-2 à pont de mesure		fabriqué par LUM
4	Servomoteur pas à pas électropneumatique SL2		B E L O S
5	avec la vis d'entraînement		
5	Servoteur pas à pas électropneumatique		B E L O S
6,7	Clapets		
8	Vanne de contrôle n° de serie 20.000		MERA POLNA
fig. 4.9			
I	Capteur de t° à 2 positions (AWT 24)		Z WAR
2	Elément exécutif de regulation de correction (vanne électronique de l'eau froide et chaude, relais et contacteur électriques)		BELOS
3	Régulateur avec la sommation des impulsions BELOS SWW 0917.23		BELOS
4	Impulsateur électronique		
5	Servomoteur pas à pas électropneumatique SL2		
6	Vanne de contrôle n° de serie 20.000		MERA POLNA
fig.4.I0			
a	sommateur		
b	schéma bloc du sommateur avec les éléments de mesure		
c	Schéma bloc d'un système sommateur plus servomoteur pas à pas		
d	Système de régulation avec régulateur RE2 et servomoteur pas à pas.		
fig.4.I5			
C	Chambre de climatisation		
car	clapets d'air recyclé		
cae	Clapets d'air extérieur		
F	filtre d'air		
Sg	separateur de gouttes		
L	Laveur		
Rz	Rechauffeur secondaire		
Ver	vanne de l'eau recyclée		
Vef	" de l'eau froide		
VR	vanne de rechauffement		
S	Servomoteur		
Pe	pompe d'eau		
We	Ventilateur		



Symboles indices	Eléments	type	REMARQUE
fig.4.I6			
T	Thermomètre à contact		
H	Hygromètre à contact		
SMT	Regulateur de température avec sommation des impulsions		
SMH	Régulateur d'humidité " " "		
IT	Impulsateur transistorisé		
ST	Servomoteur pas à pas de régulation de la température		
SH	" " " " " " " " " " l'humidité		
TE	Thermostat extérieur		
$Z_1 \div Z_4$	Blocades electromagnetiques des servomoteurs		
$P_1 \div P_4$	Relai supplémentaires		
fig.4.I9			
O	Objet de commande		
X	Valeur à régler		
t	Temps		
To	temps mort total		
T	constante de temps		
Kob	Coefficient d'amplification d'objet		
TP	Capteur de température à 2 position		
Xr	zônes d'hysteresis		
SMS	Noeud de sommation(des courants)		
Xo	valeur de consigne d'ouverture		
<del>Xo</del> Xoδ	" " " " de fermeture		
TE	capteur à 2 positions de la température extérieure		
N	consigne mécanique		
E	écart		
SMW	ensemble de relais de sortie à 3 positions		
SMI	Elément de contre réaction inertielle		
Xn	zone de non sensibilité		
$t_0$	Période d'impulsation du régulateur avec la sommation des impulsions		
I	Impulsateur		
$i t_0$	Durée de l'impulsion de régulateur avec la sommation des impulsions		
S	Servomoteur pas à pas		
n	Période d'impulsation de l'impulsateur		
Y	Signal de commande(des clapets ou des vannes)		
fig.4.20			
$n'$	nombre de thermostats de sommation qui signalent la valeur demandée est atteinte		
RI	Resistance supplémentaire dans le système de sommation des courants		
R2	Resistance de contre réaction		
Iw	courant dans la resistance du régulateur de sommation qui "décide" du temps d'enclenchement		
la	Temps d'enclenchement(fermeture)		
lv	" de déclenchement(ouverture)		
n'	Position de la vis de réglage de la bilame thermique du sommateur.		

C O N C L U S I O N

- 1./ Nous n'avons pas pu faire des essais et déterminer les propriétés dynamiques et statiques réelles de l'objet de régulation; de ce fait, les résultats obtenus au chapitre(4) sont basés sur des valeurs approximatives.
- 2./ A la différence de ce qui a été réalisé jusqu'à présent en ALGERIE, dans le domaine des serres.
  - a) le système présenté régule le flux de rayonnement solaire d'une manière presque continue (régulation automatique d'opacité)
  - b) l'énergie solaire est stockée et utilisée pour le chauffage de la serre
  - c) le système de commande du servomoteur électrohydraulique proposé présente des avantages certains:
    - Utilisation de la source d'énergie hydraulique existante.
    - Adaptation plus convenable des propriétés dynamiques du système de commande aux propriétés dynamiques de l'objet par l'intermédiaire du changement des périodes d'impulsion.
- 3./ Nous espérons que le "MARA" s'intéresse à ce projet et étudie la possibilité de réaliser, dans un proche avenir, des serres semblables très adaptées aux conditions de notre pays pour les raisons citées ci-dessus.



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

- (1). TECHNIQUE DE LA REGULATION AUTOMATIQUE(FINDEISEN) VARSOVIE 1965 DWN
- (2). SYSTEME COMPLETS AUTOMATIQUES DE CLIMATISATION(KSAK) PAR Z.BARSKI VARSOVIE 1978
- (3). BREVETS D'INVENTION
- (3.1). " " " " N°76.35902 DEPOSE LE 26.II.76 PAR COMPAGNIE EUROPEENNE  
POUR L'EQUIPEMENT MENAGER"C E P E M" EN FRANCE
- (3.2) BREVET D'INVENTION n° 78.04999 DEPOSE LE 17.02.78 PAR COMTE PAUL ET REPETTI  
RENE EN FRANCE
- (3.3) BREVET D'INVENTION N°79.03130 DEPOSE LE 07.02.79 PAR TOUPIN JOSEPH FRANCOIS  
EN FRANCE
- (3.4) BREVET D'INVENTION N° 76.18103 DEPOSE LE 15.06.76 PAR SOCIETE GENERAL DE FONDRIE  
EN FRANCE
- (3.5) BREVET D'INVENTION N° 76.13141 DEPOSE LE 03.05.76 PAR SOCIETE ESQUIRE,INC(USA)
- (4.) REVUES
- (4.1) TECHNIQUES AGRICOLES  
"SERRES" PAR JEAN MARIE LEMOYNE DE FORGES. 1974
- (4.2) ELECTRONIQUE PRATIQUE
- (4.3) INFOMATION TECHNIQUE LANDYS & GYR
- (5.) ARTICLES
- (5.1) COLLOQUE SUR LES SERRES NIMES 1967
- (5.2) RAPPORT SUR LE DEVELOPPEMENT DES SERRES EN ALGERIE IDCM.1980

ANNEXE



# I GENERALITES :

## ACTION SUR L'ENVIRONNEMENT INTERNE

### A. ECLAIREMENT:

#### - LUMIERE SOLAIRE

La quantité de lumière atteignant les cultures en serre depend, par un climat, du type de charpente, de l'orientation du bâtiment, de la pente de la toiture, du vitrage, ainsi que de sa propreté .

#### - LUMIERE ARTIFICIELLE:

Des progrès considérables ont été accomplis en matières de sources lumineuses. Non seulement l'efficacité des tubes à décharge habituellement utilisés est environ trois fois supérieure à celle des lampes ordinaires à filament, mais aussi la qualité du spectre émis a été améliorée. Ceci rend donc possible l'emploi commercial de l'éclairage artificiel.

Ce mode d'éclairage est utilisé soit pour activer la croissance avec des intensités de l'ordre de 500 lux à 2000 lux, soit pour décaler la floraison avec des intensités de l'ordre de 50 lux.

### B. TEMPERATURE:

Une enceinte telle qu'une serre échange de la chaleur avec l'extérieur de trois façons:

- par rayonnement: tout corps émet des radiations, d'autant plus qu'il est plus chaud, ce qui le refroidit, et en capte ce qui le rechauffe.

- par convection: cette transmission par véhicules moléculaires mobile a lieu dans les fluides. Les mouvements sont dus à des différences de pression provenant soit des conditions naturelles et, en particulier, de différences de densité liées à des différences de température soit d'un dispositif mécanique.

- par conduction: Cette transmission par véhicules moléculaires immobiles a lieu de proche en proche entre particules en contact.

#### 1°) Elevation de la température de l'air

##### a) APPORTS CALORIFIQUES

L'ensoleillement peut provoquer des montées locales de la température assez importantes, même en saison froide, car la valeur de l'énergie ainsi transportée est considérable par rapport à celle disponible dans les appareils de chauffage; l'énergie solaire incidente au sol peut, en plein été en serre dépasser 700 watts par mètre carré, alors qu'un chauffage prévu pour fournir 400 watts par mètre carré est à considérer comme très puissant. Il est donc logique d'essayer de maîtriser l'éclairage reçu dans la serre pour éviter de surcharges d'énergie calorifique tout en conservant les radiations à action photosynthétique.

En général, dans les grandes installations, la chaleur est produite dans un local spécial, la chaufferie.



Les combustibles utilisés en ALGERIE sont les produits pétroliers. Ces derniers, liquides ou gazeux, occupent de loin la première place aujourd'hui.

La chaleur se répartit dans la serre elle même par radiation à partir des surfaces de chauffe et par convection, l'air venant s'échauffer sur ces mêmes surfaces; Selon les types d'installations, la dispersion de l'énergie se fera plus ou moins par l'un des processus.

La convection peut être simplement naturelle (c'est le thermosiphonage de l'air qui se produit) ou bien forcée grâce à des ventilateurs pulsant l'air.

Le système le plus classique est le tuyau lisse, de 50 à 70 mm de diamètre extérieur, des "cordons" de tuyaux sont disposés en ceinture le long des poteaux des chapelles, et également en aérien au-dessus de la végétation, pour éviter les retombées de l'air qui s'est refroidi au contact de la toiture.

En revanche, l'utilisation de générateurs d'air chaud type aérotherme se rencontre assez fréquemment; Dans les installations à chaufferie centrale, les calories sont transportées par eau chaude jusqu'à des échangeurs comprenant des batteries de tubes assez fins sur lesquels l'air est pulsé par un ventilateur; des volets deflecteurs permettent de régler la direction de flux d'air chaud sortant de l'appareil. Le chauffage ainsi obtenu est convectif et très peu radiatif.

Ces générateurs sont suspendus et relativement peu encombrants. Un générateur remplace couramment 200 à 300 mètres de tubes.

#### b) REDUCTION DES PERTES :

Le sol, les plantes, même à la température ambiante, émettent des radiations de même nature que celles à effet lumineuse, mais de plus grande longueur d'onde.

Il est donc intéressant, dans le cas où l'on recherche l'élevation de la température, de revêtir le local d'un matériau laissant entrer les radiations d'origine solaire et réduisant la sortie de celles provenant de l'intérieur. Le verre a précisément ce genre de propriété, et c'est ce qui explique son emploi depuis fort longtemps.

#### 2°) ABAISSEMENT DE LA TEMPERATURE DE L'AIR:

##### a) Réduction des apports calorifiques:

L'idéal serait de laisser passer la partie du spectre solaire indispensable à la photosynthèse et de réduire l'autre partie. Faut de mieux, on se contente d'atténuer l'ensemble des rayonnements solaires par des ombrages non sélectifs.

##### b) Augmentation des pertes:

La ventilation permet d'agir convectivement. Elle peut être naturelle ou artificielle. Dans le premier cas, il s'agit de disposer des ouvrants de la façon la plus efficace, en particulier le "tirage" est meilleur si l'admission de l'air frais est prévue en bas et l'évacuation assez près du faitage. La circulation artificielle est réalisée grâce à des ventilateurs entraînés par moteur électrique.

##### c) Humidité:

L'humidité de l'air est le poids de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec; Pour toute température, il existe une valeur maximale de cette humidité qui correspond à la saturation de l'air. En général, à cette même température l'air contient seulement une fraction de la vapeur d'eau qu'il pourrait contenir; cette fraction exprimée le plus souvent en %, est " l'humidité relative" ou "degré hygrométrique (ainsi la saturation correspond à 100%)". Si la température augmente, la capacité d'absorption de l'air croît et, par conséquent, si l'on ne rajoute pas de vapeur d'eau, le degré hygrométrique diminue et inversement.



..../....

C'est pourquoi, dans les serres, selon les saisons, l'humidité relative devient grande ou petite.

Un air sec est mauvais pour la très grande majorité des plantes produites en serre et ce état peut favoriser certains parasites. Une humidité relative élevée a sans doute moins d'inconvénient quant à la physiologie des végétaux, mais cette situation est éminemment favorable au développement des maladies cryptogamiques.

a) Elevation de l'humidité relative :

On peut pulvériser de l'eau en gouttelettes très fines ou bien on procède à des injections de vapeur.

b) Abaissement du degré hygrométrique ;

Il faut évacuer de l'air riche en vapeur d'eau et le remplacer par un air plus sec; donc la ventilation est le moyen normal; Si l'état de l'air est tel que ce procédé ne suffit pas, on peut être amené à pratiquer un léger chauffage.

### EXIGENCES CLIMATIQUES

Les besoins en lumière sont souvent la principale contrainte: ce sont eux qui devraient guider l'orientation et la conception de la serre.

La température minimale dans la serre, en hiver, sert de base pour le calcul du chauffage. Des indications sur les conditions extérieures, sont fort utiles pour orienter la décision. Des exigences particulières concernent les serres de sélection lorsqu'on veut éviter toute pénétration d'insecte. Il faut alors prévoir la ventilation en tenant compte du fait que tous les orifices doivent être protégés par une sorte de filet très fin qui a pour effet une importante perte de charge et gêne donc les échanges gazeux.

### PROPRIÉTÉS DYNAMIQUES DES PROCESSUS THERMIQUES

#### ANALYSE THÉORIQUE (SUCCINCTE) /:

Lorsque la chaîne de régulation est parfaitement connue, ce qui est très rare, il est possible de déterminer théoriquement la caractéristique dynamique en résolvant les équations différentielles régissant le système. Mais par cette méthode théorique, on est dans l'obligation d'introduire certaines approximations et simplifications qui font que les caractéristiques dynamiques des éléments ainsi obtenus ne correspondent pas exactement à leurs caractéristiques dynamiques réelles. A cela s'ajoute la complexité de la fonction de transfert en boucle ouverte qui est le produit des fonctions de transfert de chacun des éléments de la boucle.



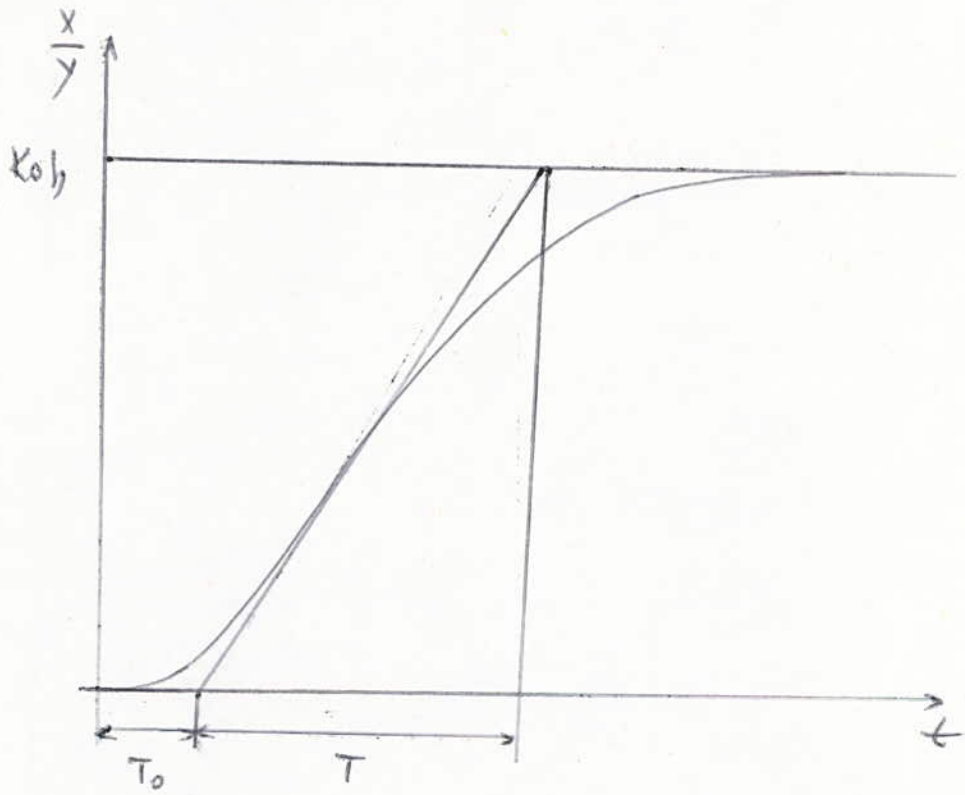
$$\frac{X}{Y} = F = F1.F2.F3.F4.F5$$

de ce fait, dans la plupart des processus thermiques, on utilise la méthode simplifiée qui consiste à assimiler la fonction de transfert du système à la fonction de transfert d'un système du premier ordre avec retard pur. Ce temps de retard est pris supérieur au temps de retard réel du système; ainsi nous considérons le système dans des conditions les plus défavorables. Si la stabilité du système est réalisée dans de telles conditions, à fortiori, elle sera dans les conditions réelles de travail on prend donc :

$$\frac{X}{Y} = K_{ob} \cdot \frac{e^{-T_{op}}}{1 + T_p}$$

avec:  $K_{ob}$  : gain statique du processus  
 $T_o$  : temps mort du processus  
 $T$  : constante de temps

42





.... / .....

BILANS THERMIQUES DES SERRES

Du point de vue physique, une serre peut être considérée comme un volume d'air limité par les parois verticales, le toit et le sol.

Le climat intérieur résulte des échanges avec le milieu extérieur (atmosphère et sol) qui interviennent à la surface des parois et du sol. Comme l'inertie thermique du volume d'air est très petite, la caractéristique du climat, à un moment donné, traduit un état d'équilibre qui existe nécessairement à ce moment entre les apports et les pertes d'énergies. Toute modification des apports ou des pertes engendre un déplacement de l'état d'équilibre et donc une modification du climat dans la serre. La maîtrise du climat d'une enceinte consiste donc à accroître ou diminuer la valeur de l'un ou de plusieurs des postes du bilan.

BILANS THERMIQUES :

Le bilan thermique global d'une serre exprime que la somme algébrique au niveau des parois et du sol est nulle.

Considérons une serre dépourvue de toute végétation, nous avons alors les bilans ou postes suivants:

- bilan radiatifs
- bilan convectif

BILAN RADTATIFS :

On peut distinguer deux catégories d'échanges radiatifs selon qu'il s'agit de lumière et rayonnement infrarouge court de rayonnement infra-rouge: long:

bilan solaire: Les à courtes longueurs d'onde, en provenance du soleil et diffusés par le ciel, traversent les parois de serre quelle que soit leur nature. Dans la pratique expérimentale, la détermination directe du flux solaire parvenant à l'intérieur de la serre est assez facile (emploi du pyranomètre). Comme les serres comportent des armatures dont la surface est de l'ordre de 10% à 15% de la surface des superstructures, et le rayonnement incident et réfléchi par le sol; le bilan radiatif à courtes longueurs d'onde pour une serre n'excède pas 60% du flux total solaire extérieur. Pour améliorer l'utilisation de l'énergie on peut soit, accroître le rayonnement pénétrant, soit réduire le flux renvoyé vers l'extérieur. Pour réduire les apports solaires, c'est à dire limiter l'effet de serre, on ne peut agir que sur le coefficient de transmissions de la couverture (emploi de paillassons extérieurs de peinture blanche, de solutions colorées ..... etc)

- bilan infrarouge long:

Le rayonnement infrarouge long ( ) est plus ou moins absorbé par les parois de serre. Ce rayonnement provient de l'atmosphère. Il est émis dans la serre par le sol (et sa couverture végétale). SOIENT :

- $\Sigma$  : surface totale développée des parois
- $S$  : " " au sol à l'intérieur de la serre
- $\epsilon$  : émissivité du corps noir
- $\epsilon_a$  : " " du ciel ( $\epsilon_a \approx 0,7$  pour Paris)
- $\epsilon_p$  : " " des parois ( $\epsilon_p \approx 0,95$ )
- $\epsilon_s$  : " " du sol ( $\epsilon_s \approx 0,98$ )
- $T_e$ : température extérieure
- $T_s$ : " " " " superficielle du sol.

L'apport d'énergie pénétrant dans la serre est (énergie reçue)

$$E_R = \frac{1}{2} \Sigma \epsilon_a \epsilon_p \epsilon T_e^4$$

La perte d'énergie vers l'extérieur est (énergie émise)

$$E_E = \frac{1}{2} \Sigma \epsilon_s \epsilon_p \epsilon T_s^4$$

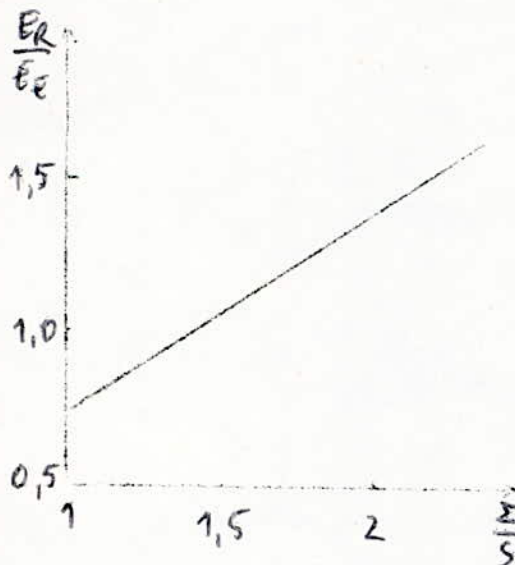
le bilan radiatif en infrarouge long est:

..... / .....



...../.....

Le rapport de l'énergie reçue à l'énergie émise est :  $\frac{E_R}{E_E} = \frac{\sum \epsilon_A}{\sum \epsilon_B} \frac{T_e^4}{T_s^4}$



on remarque que le rapport de l'énergie reçue à l'énergie émise dépend du rapport  $\frac{\sum \epsilon_A}{\sum \epsilon_B}$ ; pour une région donnée et climat intérieur défini il existe un optimum pour le rapport  $\frac{\sum \epsilon_A}{\sum \epsilon_B}$ ; le bilan radiatif infrarouge long dépend directement des dimensions de la construction.

#### BILAN CONVECTIF :

Le bilan convectif comprend deux pos l'un concerne les échanges de chaleur par convection conduction à travers les parois et l'autre les échanges par renouvellement de l'atmosphère.

#### BILAN PAR CONVECTION CONDUCTION

Pour des conditions définies de température à l'extérieur de la serre, la puissance mise en jeu dépend de la surface totale de la superstructure et du coefficient de convection intérieure. L'échange de chaleur est proportionnel au coefficient K:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{H} + \frac{1}{h_p} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_i}}$$

#### BILAN PAR RENOUVELLEMENT DE L'ATMOSPHÈRE :

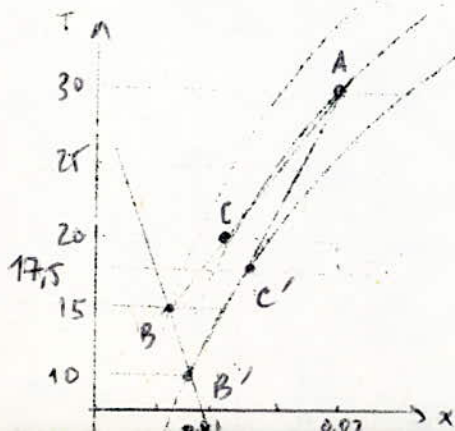
Le renouvellement de l'atmosphère par tous les orifices et imperfection d'étanchéité constitue soit une perte d'énergie en hiver, soit un moyen d'éliminer un excès des apports thermiques en été. La puissance thermique W mise en jeu par le renouvellement est exprimée par la relation suivante :  $W = D (T_i - T_e)$

D = délit de renouvellement, (non constant)

$(T_i - T_e)$  = variation d'enthalpie

le délit D dépend des conditions météorologiques extérieures (vitesse du vent), de la qualité de la construction (imperfection d'étanchéité) et de l'équipement intérieur de brassage de l'air. L'enthalpie de l'atmosphère extérieure est définie par les conditions climatiques.

L'enthalpie de l'air de la serre dépend du climat désiré. Plus le climat doit être chaud et humide et plus grande est la puissance de renouvellement de l'air. Le refroidissement d'une serre en saison chaude peut être obtenu, soit en augmentant le délit de renouvellement (ouvrants, ventilation intérieure), soit en augmentant l'écart de température  $(T_i - T_e)$  en saturant adiabatement l'air extérieur au moment de son introduction dans la serre.



l'état de l'air de la serre est représenté par le point A et celui de l'air extérieur par le point B. L'état de l'air extérieur, après renouvellement est représenté par le point C, avec humidification il peut être représenté par le point C'.

...../.....



...../.....

CAPTEURS SOLAIRES

Les figures A2 à A6 représentent un mode de réalisation préférenciel des panneaux de capteur(4). On voit sur la figure A2 une partie de la toiture transparente(2) par exemple une toiture en verre ou en matière plastique résistante à la chaleur soutenue par des éléments de charpente(2a).

Les panneaux(4) sont placés sous la charpente, de sorte qu'ils délimitent avec la couverture, un espace intermédiaire (5).

La figure (A4) représente un panneau élémentaire autoporteur désigné dans son ensemble par le repère(20). Ce panneau a, de préférence, une largeur de 0,60 m, qui correspond à la largeur courante des châssis vitrés d'une toiture de serre. Chaque panneau(20) est composé d'une plaque abvéolaire(21) comportant des canneaux parallèles(22) qui sont disposés selon la ligne de plus grande pente comme le montre la figure(5).

Les plaques(21) sont en matériau transparent. L'épaisseur des plaques(21) est de l'ordre de quelques millimètres afin que l'inertie thermique et le poids des capteurs(4) soient très faibles. Le matériau qui compose les panneaux(20) doit avoir un facteur de transmission énergétique et optique supérieur à 80%. Il doit aussi avoir une bonne résistance mécanique en chaleur humides supérieure à 90 °c. Il doit être résistant, peu fragile, léger et flexible, il doit garder ses propriétés mécanique et optiques en vieillissant. De préférence on utilise des résines polymérisables qui répondent bien aux conditions pré-citées.

Chaque panneau élémentaire(20) comporte, en outre, le long de ses petits côtés, un collecteur(23a), (23b) de section rectangulaire ou carrée, qui comporte un raccord carrelé, respectivement(24a) et (24b), lesquels raccords sont disposés en diagonal. Sur chaque raccord est connecté un flexible 25a et 25b qui relie le panneau respectivement au collecteur aller 6a et au collecteur retour (7)

La figure A2 montre le montage des capteurs élémentaires sous la toiture.

La figure A3 représente la jonction entre deux panneaux élémentaires(20 a et (20b). Ceux-ci sont reliés, le long de leurs grands côtés, par des joints(30) à double lèvres, qui sont suspendus à la charpente par des suspentes(31)

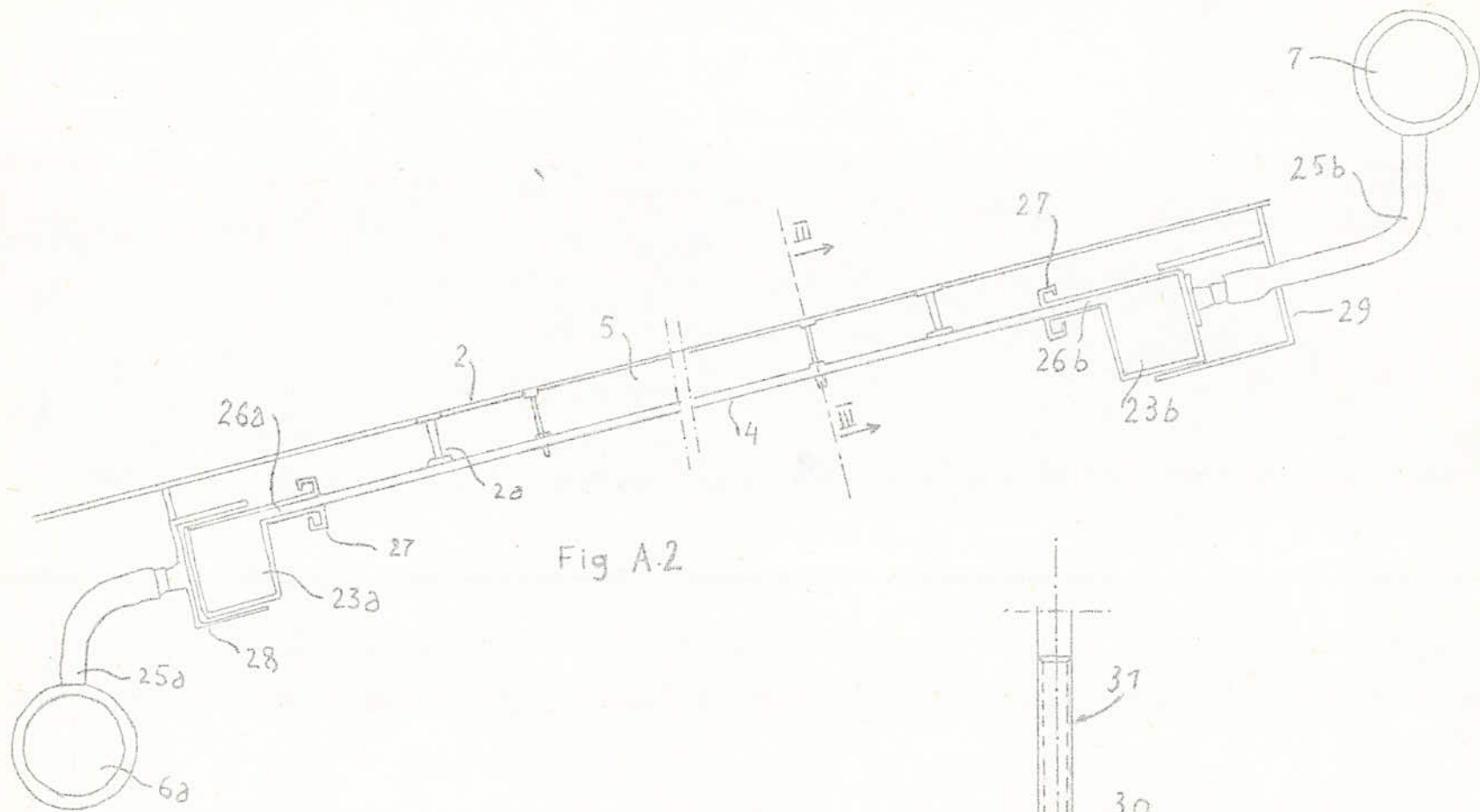


Fig A.2

capteur solaire

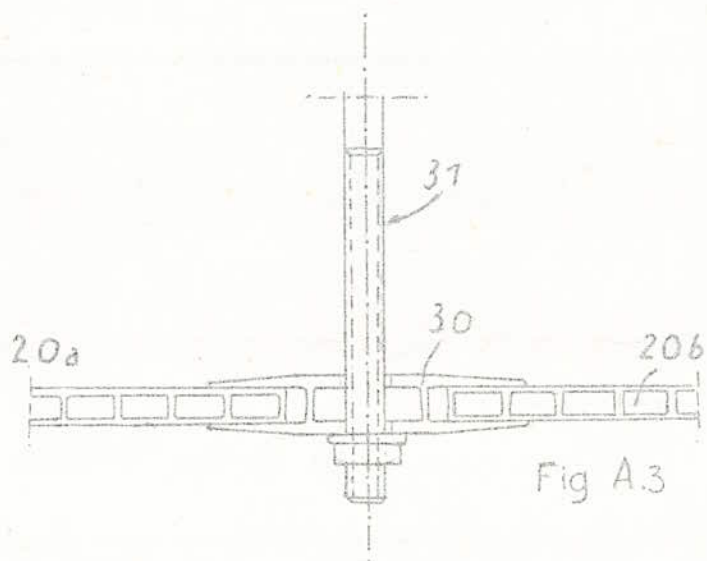
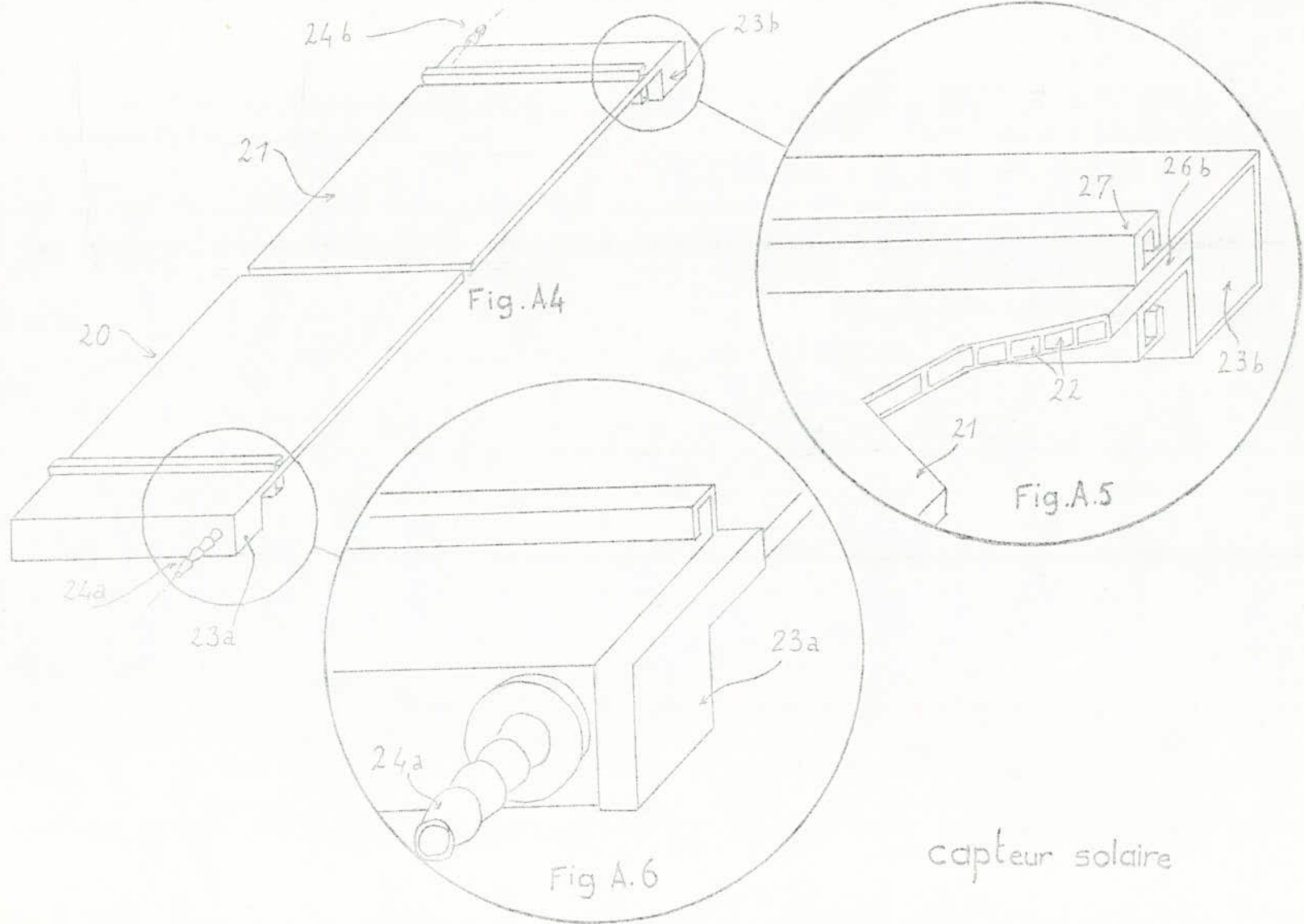


Fig A.3





9a.

capteur solaire

A.5 - RÉGULATEUR ÉLECTRONIQUE DE TEMPÉRATURE (Fig. 5.10)

Ce régulateur électronique de température est destiné à la commande individuelle par radiateur d'un chauffage central à eau.

- FONCTIONNEMENT -

On suppose que la température mesurée par la thermistance I6 est inférieure à la température de consigne affichée sur la résistance réglable I8, ce qui doit normalement conduire à une commande d'ouverture de l'lectrovanne constituant l'organe de réglage. On suppose également que le condensateur 64 de l'étage d'action proportionnelle et intégrale 56 est déchargé, c'est-à-dire que le potentiel en D est sensiblement égal au potentiel du pôle positif 2.

En l'absence d'impulsions du générateur 23, les transistors 22 et 35 sont bloqués et l'ensemble des éléments du pont est au potentiel du pôle positif 2, ainsi que les emetteurs des transistors 33 et 34 de la diagonale du pont. Le Condensateur 37 est chargé, la base du transistor 35 ayant été mise au potentiel du pôle négatif 3 lors de l'impulsion précédente. Le condensateur 64 reste déchargé car le transistor 66 ne conduit pas en raison de son potentiel d'emetteur.

Quant une impulsion engendrée par le générateur d'impulsion apparaît sur la diode 3I, elle débloquent immédiatement le transistor 22 qui se met à conduire pour alimenter normalement le pont I4. Suivant l'hypothèse auparavant sur les températures, le potentiel en B est supérieur au potentiel en A.

Le transistor 35 se débloquent avec un retard qui correspond au temps de décharge du condensateur 37. Quand il devient conducteur, les potentiels en A et B appliqués respectivement aux bases des transistors 33 et 34 ont eu le temps de se stabiliser malgré l'effet de capacités parasites éventuelles.

Le potentiel d'emetteur des transistors précédents décroît alors progressivement par la charge progressive du condensateur dont la bornadjacente au collecteur du transistor 35 est reliée au pôle négatif 3.

Dés que la tension base-emetteur d'un des deux transistors devient suffisante, ce dernier se met à conduire. Dans l'exemple choisie, c'est donc le transistor 36, puisque le potentiel en B est supérieur au potentiel en A.

Ceci à pour effet de mettre la ligne de commande 39 au potentiel du pôle négatif, ce qui fait conduire le transistor 44, provoquant le déblocage du transistor 46, et la mise de la borne I3 au potentiel du pôle négatif. La bobine 7 est alors alimentée et la vanne d'eau chaude s'ouvre ( ou reste ouverte si elle l'était déjà).



Un autre effet du blocage du transistor 34 est de provoquer une chute de tension dans la résistance I5, ce qui abaisse le potentiel en A et assure le verrouillage des transistors 33 et 34 dans leurs états respectifs. On retrouve l'effet de bascule bistable.

Le potentiel en D étant positif, le potentiel en C l'est aussi par suite de l'amplificateur dans l'étage 59. La résistance I5 peut alors être considérée comme en parallèle sur la résistance réglable I8, ce qui équivaut à fausser la température de consigne dans le sens d'une augmentation de sa valeur, tendant à provoquer l'ouverture de l'électrovanne.

Pendant la durée de l'impulsion, la ligne de commande 38 étant restée au potentiel du pôle positif, le transistor 66 conduit et laisse passer, par la résistance réglable 68 et la diode 71 un courant de fuite qui charge le condensateur 64 par abaissement du potentiel en D et, par conséquent du potentiel en C.

Quand l'impulsion émise par le générateur de termine, l'état du circuit revient à ce qu'il était avant l'impulsion mais l'électrovanne, suivant ses caractéristiques reste dans l'état où l'impulsion l'a mise. Plus précisément, étant donné la brièveté de ces impulsions (  $I$  s ) qui pourraient ne pas laisser le temps à l'électrovanne d'effectuer son mouvement complètement, l'étage de temporisation 47 prolonge cette impulsion qui est alors émise par la diode 55.

Lors de l'impulsion suivante, le condensateur 64 est un peu plus chargé et les potentiels en D et C sont un peu plus bas de sorte que la température de consigne est moins faussée en hausse, ce qui atténue la tendance à commander l'ouverture de la vanne. Il ya donc là un effet d'anticipation de l'effet de chauffage produit depuis l'impulsion précédente.

Pendant la durée de cette impulsion suivante, le condensateur 64 continue de se charger, le potentiel en C et D diminuant encore, ce qui, continue d'atténuer le décalge en hausse de la température de consigne, et finit même au bout d'un certain temps, par provoquer un décalge en baisse. Ce décalge en baisse est maximal quand le condensateur 64 est complètement chargé, le potentiel C et D étant celui du pôle négatif. La résistance 57 est alors venue en parallèle sur la résistance 2I .

Dans l'exemple décrit, l'écart entre les valeurs maximales du décalage, respectivement en hausse et en baisse, est de 2°C et correspond aux états respectivement déchargé et chargé du condensateur. Il constitue la bande d'action proportionnelle de régulateur.

Dans le cas de condition climatique inverses ou la température mesurée par la thermistance I6 est plus élevée que la température de consigne, le régulateur fonctionne de façon analogue pour commander la fermeture de l'électrovanne par la conduction de transistor 33 qui met la ligne de commande 38 au potentiel du pôle négatif.

Mais sur une commande de fermeture c'est le transistor 67 qui est débloqué et provoque la décharge partielle du condensateur 64 par élévation du potentiel en D. L'élévation du potentiel en C qui en résulte a alors pour effet d'atténuer le décolage en baisse de la température de consigne, ce qui procure bien l'effet d'anticiation cherché.

Les résistances 68 et 69 en série respectivement avec les transistors 66 et 67 étant réglables, on dispose ainsi d'une action intégrale de constante de temps réglable indépendamment au chauffage et au refroidissement.

En période de nuit on peut, sans retoucher la résistance réglable I8, abaisser la température de consigne à une valeur prédéterminée par déplacement d'un commutateur 76 sur le plot NL ce qui vient fausser le pont I4 dans des conditions prédéterminées, fonction d'un réglage préalable de la résistance réglable 74. Par ce moyen, on peut à tout instant abaisser la température de consigne dans le local où se trouve le régulateur.

On peut également mettre en permanence le commutateur 76 sur la position NC. Grâce à un dispositif, le plot NC n'est alimenté en tension que pendant la nuit, suivant un signal automatique émanant d'une horloge centrale, pour provoquer l'abaissement nocturne de la température de consigne.