

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
HOUARI BOUMEDIENE

4/83

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

المدرسة الوطنية للعلوم التطبيقية  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

lex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

Filière d'Ingénieur en Électrotechnique

Projet de fin d'Etudes

**Thème**

OPTIMISATION DES SYSTEMES DE COMMANDE  
DE LA TEMPERATURE, D'HUMIDITE ET D'OPACITE  
DANS LES SERRES

PROPOSÉ PAR :

**Z. BARSKI**

Docteur ès-science

ETUDIE PAR :

**A. BADREDDINE**

**A. BENMOUNAH**

Promotion

JUIN 1983

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
HOUARI BOUMEDIENE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Filière d'Ingénieur en Électrotechnique

Projet de fin d'Etudes

**Thème**

**OPTIMISATION DES SYSTEMES DE COMMANDE  
DE LA TEMPERATURE, D'HUMIDITE ET D'OPACITE  
DANS LES SERRES**

PROPOSÉ PAR :

**Z. BARSKI**  
Docteur ès-science

ETUDIE PAR :

**A. BADREDDINE**  
**A. BENMOUNAH**

Promotion

JUIN 1983



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَالضُّحَىٰ وَاللَّيْلِ إِذَا سَجَىٰ مَا وَدَّعَكَ  
رَبُّكَ وَمَا قَلَىٰ وَالْآخِرَةُ خَيْرٌكَ مِنْ  
الْأُولَىٰ وَلَسَوْفَ يُعْطِيكَ رَبُّكَ فَتَرْضَىٰ  
صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

-0- IT) IT- IT) IT (IT IT-) (IT IT- IT-0-

-----

- A NOS PARENTS

- A NOS FRERES ET SOEURS

- A TOUS CEUX QUI NOUS ONT ENSEIGNES  
DEPUIS NOTRE BAS AGE.

- A TOUS NOS AMIS

ABDELWAHAB ET SALIM.



-o- IT -o-

-----0000000\$0000000-----

Nous remercions Mr. Z. BARSKI qui nous a guidés  
tout le long notre travail.

Nous tenons à remercier également :

Mr. BENSADA Djillali (I.D.C.M. STAOUELI)

Mr. BOUDIAF (C.R.A.U EL-HARRACH)

Sans omettre tous ceux qui ont contribué à la  
frappe et au tirage de ce document.

## TABLE DES MATIERES

Introduction

Chapitre I: GENERALITES.....

Chapitre II: DESCRIPTION DE LA SERRE.....

Chapitre III: ANALYSE ET CHOIX DE LA METHODE D'IDENTIFICATION..

Chapitre IV: ANALYSE EXPERIMENTALE DES PROPRIETES DYNAMIQUES

1. Methode de mesure.....

2. Essais et interpretations.....

Chapitre V: SYSTEMES DE REGULATION DE TEMPERATURE ET

D'HUMIDITE

1. Capteurs de temperature.....

2. Capteurs d'humidité.....

3. Systèmes de régulation.....

4. Systèmes technologiques.....

5. Choix optimal.....

Chapitre VI: SYSTEMES DE REGULATION D'OPACITE

1. Capteurs.....

2. Procédé de régulation d'opacité utilisant un mélange  
de fluide opaque et transparent.....

3. Procédé de régulation avec réflecteurs paraboloides.....

4. Système de régulation d'opacité par bandes plastiques..

5. Conclusions.....

Chapitre VII: ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES SERRES.....

CONCLUSIONS

- INTRODUCTION -

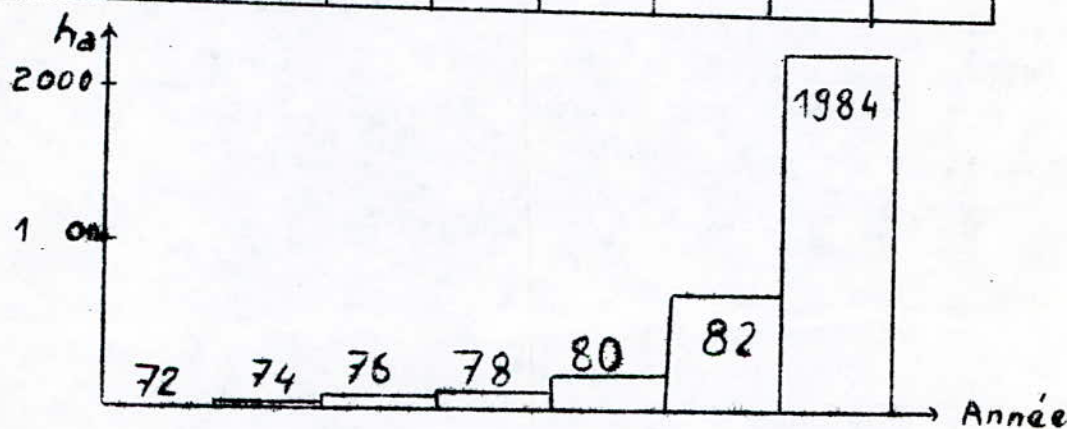
1. Les produits alimentaires sont devenus une arme redoutable utilisée par certains pays riches comme moyen de pression sur les pays pauvres pour orienter leurs décisions politiques.

Notre pays déploie des efforts considérables pour l'autosuffisance en donnant une importance particulière au développement de l'agriculture.

Dans ce cadre, le plan quinquennal prévoit l'élargissement de l'utilisation de la technique des serres agricoles.

2. Plan de développement des serres en Algérie.

ANNEE	1970	1972	1974	1976	1978	1980	1982	1984
SERRE/ha	5	42	60	73	96	200	850	2150



3. Une serre a pour but de créer un microclimat adapté à une culture donnée. En fait une serre classique et passive joue convenablement son rôle de régulation du climat extérieur seulement lorsque le temps est froid et ensoleillé ( élévation de la température intérieure par effet de serre). Par contre la nuit par temps froid, la faible inertie thermique et la faible isolation thermique des serres ne permettent pas de conserver une température convenable. Egalement par temps chaud et ensoleillé on obtient une température trop élevée due à l'effet de serre qui devient indésirable.

.../...



Ces serres passives peuvent être améliorées en augmentant l'isolation (double paroi) et l'inertie (mur de stockage). Mais ces solutions ont des actions limitées.

Pour fonctionner de façon optimale la serre doit s'adapter d'une part aux conditions extérieures en favorisant :

- l'effet de serre par temps froid et ensoleillé
- l'isolation par temps froid et non ensoleillé
- le refroidissement par temps chaud et ensoleillé

Elle doit s'adapter d'autre part aux besoins spécifiques de la culture

- en température
- en eau (humidité)
- en lumière
- en gaz carbonique (aération).

Ces besoins dépendent de la nature de la plantation et de son degré de développement, ce qui nécessite une commande automatique.

4. L'introduction de la régulation automatique s'impose par économie de main-d'oeuvre et pour un meilleur contrôle.

Vu la diversité des systèmes de commandes existants l'optimisation de la régulation de température de l'humidité et de l'opacité sera d'un grand intérêt pour la conception d'un programme de développement de serres adaptées aux conditions climatiques de l'Algérie.

5. Notre travail consiste à :

- l'analyse expérimentale des propriétés dynamiques d'une serre réelle.
- la comparaison de différents systèmes de régulation de température d'humidité et d'opacité.

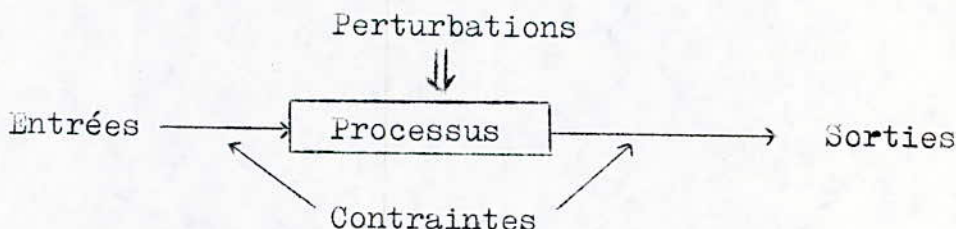
CHAPITRE .I GENERALITES

I.1 NOTION DE PROCESSUS.

1.1 Définition : nous appellerons processus un ensemble physique susceptible d'évoluer en fonction d'une variable indépendante : le temps.

1.2. Caractéristiques : Il possède des sorties, sur lesquelles on peut caractériser des tâches ou consignes. En général, notre objectif sera donc d'obliger ces sorties à atteindre puis à s'aligner sur la consigne. Nous noterons cette valeur : Le point de Consigne. Il possède des entrées, ou commandes, qui nous permettront de réaliser l'objectif décrit précédemment. Mais il est possible que ces commandes et ces consignes soient liées par des conditions : Les contraintes.

D'autres grandeurs peuvent agir sur ce processus, grandeurs qui échappent à notre contrôle, ce sont les perturbations.



1.3. EVOLUTION DU CONTROLE DE PROCESSUS :

a/ Le contrôle manuel : c'est le plus ancien type de contrôle (Fig I.1)

- La mesure d'une grandeur en sortie est effectuée manuellement par un opérateur.
- Il compare ce résultat avec une valeur connue.
- Il effectue si besoin une commande manuelle sur une grandeur d'entrée

b/ Le contrôle manuel avec enregistrement (Fig I.2).

- La mesure d'une grandeur en sortie est enregistrée.
- L'opérateur a donc à sa disposition des mesures plus rapides et plus précises.
- Les deux derniers points sont identiques ou ces précédents.

c/ Le contrôle avec régulateurs automatiques locaux : l'opérateur ne fait plus partie de la boucle de contrôle (Fig I.3).

- La mesure d'une grandeur de sortie est toujours enregistrée.
- La fonction de mesure et de comparaison par rapport à un point de consigne s'effectue par le régulateur analogique qui est situé près de l'organe à commander.



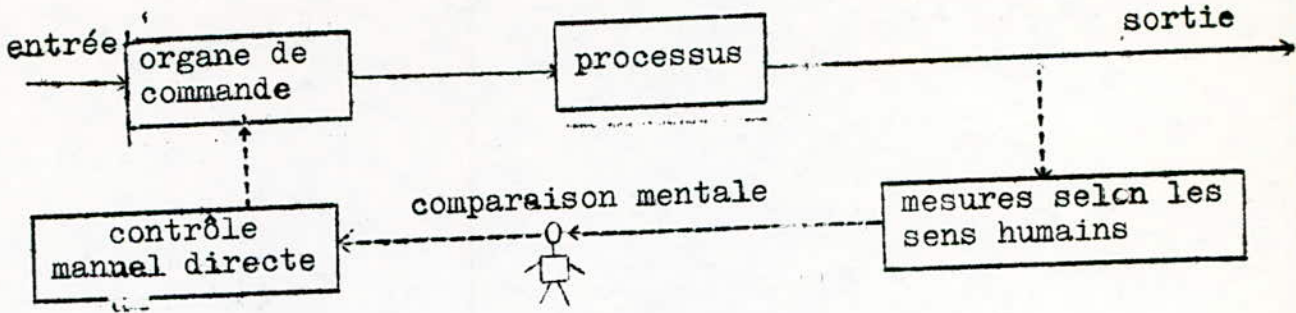


Fig I.1 Contrôle manuel

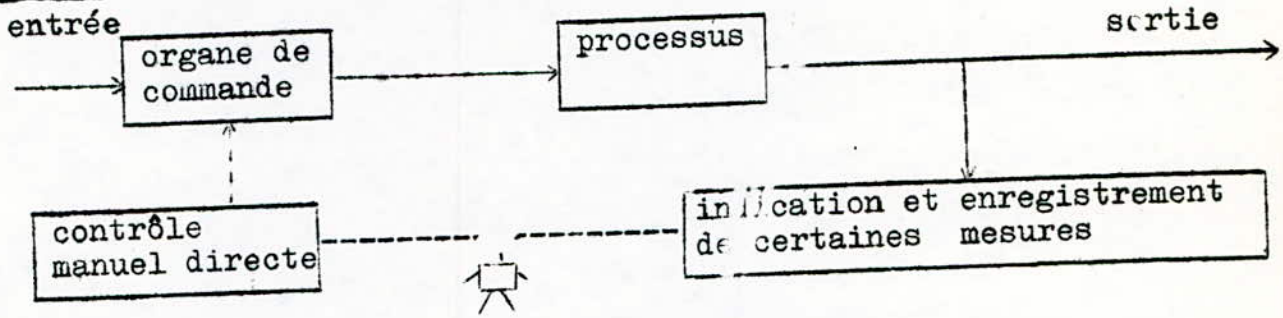


FIG I.2 Contrôle manuel avec enregistrement

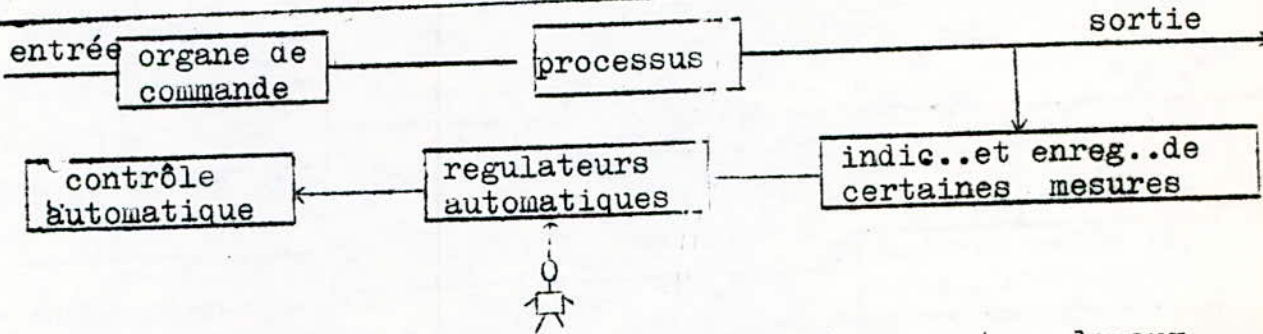


Fig I.3 Contrôle avec regulateurs auto.. locaux

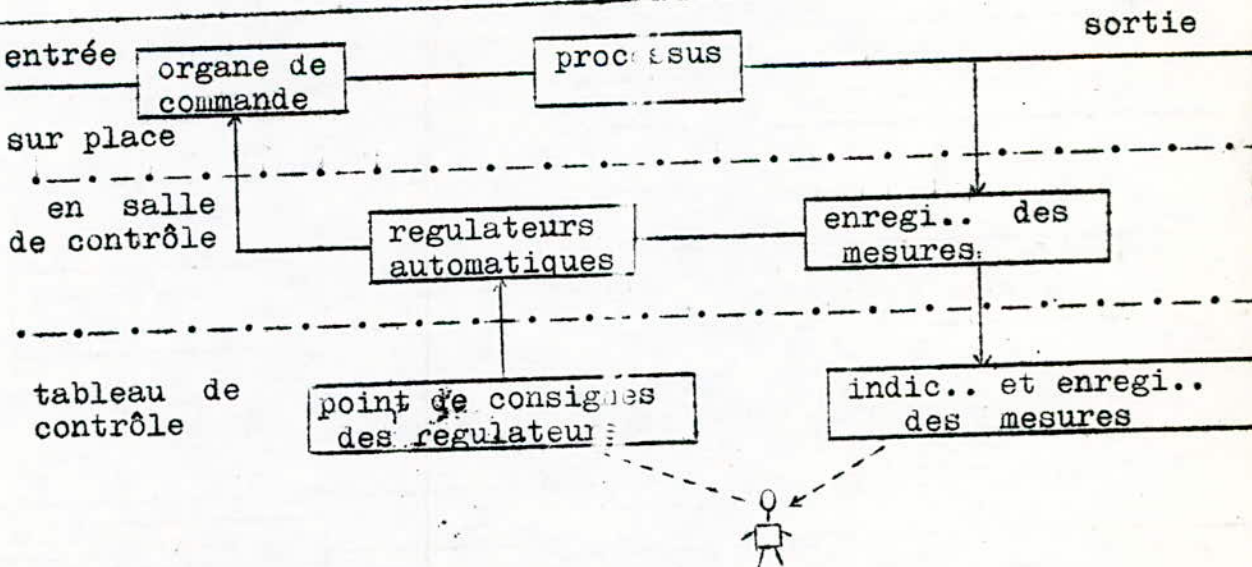


Fig I.4 Contrôle avec regulateur centralisés en salle de contrôle



- Le travail de l'opérateur se limite en fait au positionnement des nouveaux points de consigne sur les régulateurs.

d/ LE CONTROLE AVEC REGULATEURS CENTRALISES EN SALLE DE CONTROLE (Fig I.4).

Utilisé lorsque le nombre de variables à contrôler se mit à croître rendant plus difficile l'opération de contrôle.

On a donc centralisé dans une Salle de contrôle tous les enregistrements et tous les régulateurs, ce qui permet d'avoir une vue globale du fonctionnement du Système.

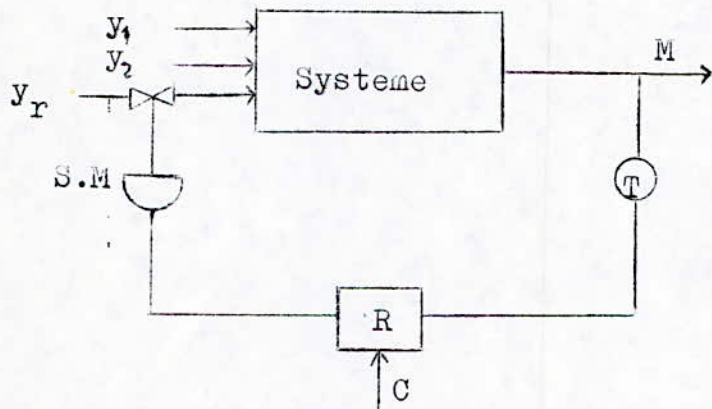
L'introduction des ordinateurs industriels dans les boucles de contrôle a pu lever certains inconviens des anciens systèmes :

- Manque d'intégration des informations.
- Difficulté de contrôle globale.
- Manque de cohérence des résultats (interventions opérateurs).

I.2. ASSERVISSEMENT :

2.1. Définition : Un Système asservi ou à régulation est un système dont le fonctionnement est régi par les écarts de son comportement effectif ou instantané par rapport a son comportement assigné.

2.2. Principe :



- $Y_1, Y_2$  : grandeurs perturbatrices
- $Y_r$  : grandeurs de réglage
- $M$  : grandeur mesurée et réglée.
- $C$  : grandeur de consigne.
- $R$  : régulateur.
- S.M : Servo-moteur.
- T : Transmetteur (capteur).

Le transmetteur (Capteur) "T" convertit la grandeur mesurée M (pression, débit, température, Humidité,...) en un signal analogique (pneumatique ou électrique) le régulateur "R" reçoit cette information et la compare à la valeur de consigne "C". Cette consigne est généralement de la même nature (pneumatique, électrique). Lorsque la mesure "M" varie, le régulateur "R" est informé par le transmetteur et modifié son signal de réglage vers le servomoteur "S.M" de la vanne.

2.3. Elements de constitution des boucles de régulation.

les Systèmes asservis de commande possèdent généralement un certain nombre d'éléments que l'on retrouve dans tous les Systèmes bouclés.

a/ Capteur : Pour conduire une opération, un Système de commande a besoin d'information sur la situation actuelle du Système à régler, caractérisée par des paramètres physiques, chimiques ou autres.

Ces informations sont fournies par les capteurs de mesure. Toute opération est donc basée sur une mesure, et la précision relative exigée de cette mesure peut être élevée. Les capteurs sont conçus pour produire la plus grande variation possible à la sortie pour une variation donnée à l'entrée comme tout dispositif de mesure de qualité, ils doivent avoir un fonctionnement stable, reproductible et fiable.

b/ Régulateur : Il détermine l'écart entre la valeur de la grandeur réglée (donnée par le capteur) et sa valeur prescrite pour produire l'action opposée pour maintenir le plus petit écart possible. En général on distingue trois types de régulateurs.

- Régulateur continu.
- Régulateur discontinu.
- Régulateur quasi - continu.

c/ Servo-moteur : C'est l'élément qui applique les instructions du régulateur le signal émis par le régulateur a pour mission de commander l'exécution des ordres par l'intermédiaire du Servo-moteur agissant sur l'organe de réglage. Suivant le type du régulateur le signal de commande est hydraulique, pneumatique, ou électrique.

d/ Vanne : Les Vannes de régulation sont des éléments essentiels dans tout contrôle de procédé industriel dont le rôle consiste à régler de la manière la plus stable un débit de fluide dans une canalisation. Les Vannes du point de vue dynamique, sont considérées comme éléments sans retard. Selon les conditions du processus, la vanne peut être choisie parmi un certain nombre de modèles. On distingue, deux grandes familles de vannes :

- Vanne à clapet.
- Vanne papillon.

I.3. ANALYSE THEORIQUE DES PROPRIETES STATIQUES ET DYNAMIQUES.

Le comportement statique qui consiste à déterminer la relation entre la grandeur de sortie et la grandeur d'entrée indépendamment du temps ne suffit pas à considérer le fonctionnement d'une boucle de régulation. On est amenés à considérer le comportement dynamique qui tient compte des variations des différentes grandeurs dans le temps pour cela on détermine la variation de la grandeur de sortie lorsque la grandeur d'entrée subit un saut brusque.



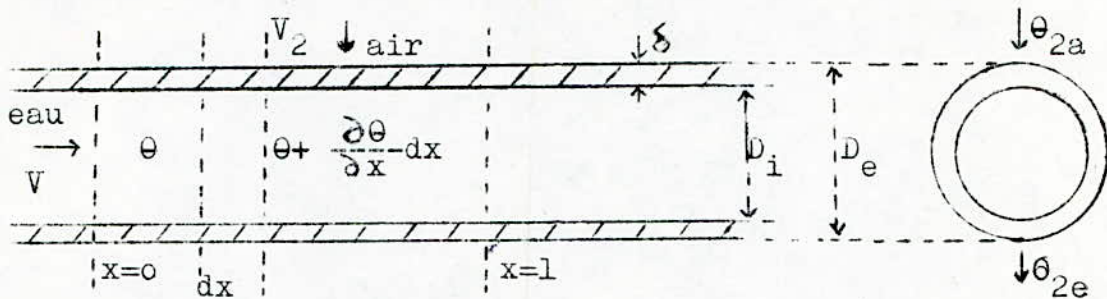


3.1. Dynamique de la température :

Vu qu'on retrouve cette étude dans plusieurs projets déjà présentés; on se contente de donner les résultats sans détailler.

a/ Echangeur de chaleur :

L'échangeur de chaleur est représenté souvent par un tube cylindrique.



$V_1$  : Vitesse d'écoulement d'eau.

$V_2$  : Vitesse d'écoulement de l'air.

$\theta_1$  : Température de l'eau.

$\theta_2$  : Température de l'air.

$\alpha_i$  : Coefficient d'échange thermique.

$\rho_1$  : Masse volumique de l'eau.

$C_1$  : Capacité calorifique de l'eau.

$\rho_r$  : Masse volumique des parois.

$C_r$  : Capacité calorifique des parois.

$D_m$  : Diamètre moyen du tube.

$\rho_2$  : Masse volumique de l'air.

$C_2$  : Capacité calorifique de l'air.

$R_a$  : Écartement des tubes du rechauffeur.

$\theta_{2m}$  : Température moyenne de sortie de l'air.

et en posant :  $\tau = V_1 \cdot t / l$  ;  $\Delta\theta' = \partial\theta / \partial\tau$  ;  $\Delta\theta'_r = \partial\theta_r / \partial\tau$

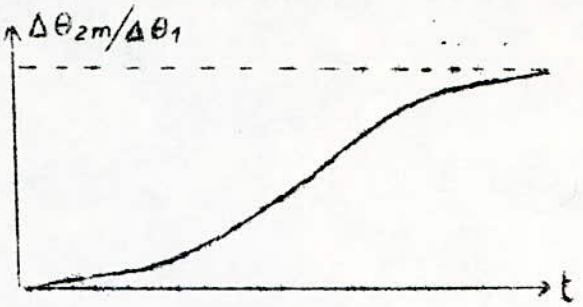
$$\beta_1 = \frac{4\rho_1\alpha_i}{\rho_1 C_1 D_i V_1} ; \beta_2 = \frac{D_e \rho_r \alpha_e}{\rho_r C_r D_m \delta V_1} ; \beta_3 = \frac{D_i \cdot l \cdot \alpha_i}{\rho_r C_r D_m \delta V_1} ; \beta_4 = \frac{\pi D_e \cdot \alpha_e}{\rho_2 C_{p2} R_a V_2} ;$$

$$a = \beta_3 + 2\beta_2 / (2 + \beta_4) .$$

on obtient la fonction de transfert de l'échangeur :

$$F_e(p) = \frac{\Delta\theta_{2m}(p)}{\Delta\theta_1(p)} = \frac{2\beta_3 \beta_4 (1 - e^{-p}) \cdot e^{-\beta_1} \cdot e^{\frac{\beta_1 \beta_3}{p+a}}}{(2 + \beta_4) [(p + \beta_1)(p + a) - \beta_1 \beta_2]}$$





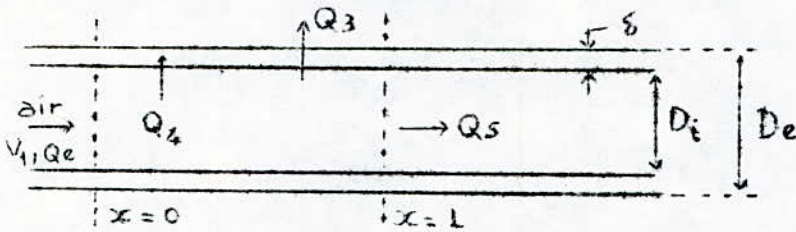
dont la caractéristique est :

Remarque : cette caractéristique est obtenue en supposant les conditions suivantes : matière homogène

coefficient de transmission de chaleur constant suivant l'axe, aucun mélange axial et l'écoulement sans frottement.

b/ GAINÉ :

La gaine est souvent représentée par le schéma.



$Q_e$  : quantité de chaleur entrant dans la gaine.

$Q_s$  : " " " sortant de " " .

$Q_3$  : " " " cédée à la paroi.

$Q_4$  : " " " emmagasinée par la paroi.

$S$  : Section interne de la gaine.

$\rho_r$  : Masse volumique de la paroi.

$C_p$  : Capacité calorifique de la paroi.

$C_p$  : Chaleur Spécifique de l'air à pression constante.

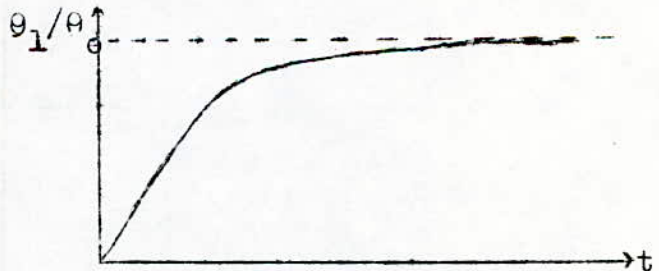
Si pour  $x=0$   $\theta = \theta_0$  ;  $x=L$   $\theta = \theta_L$

et  $F(p) = \frac{Kp}{1+Tp}$  où  $Kp = f(\delta, \rho_r, C_p)$

Alors la fonction de transfert de la gaine aura la forme :

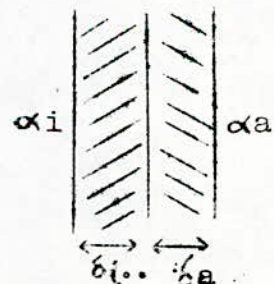
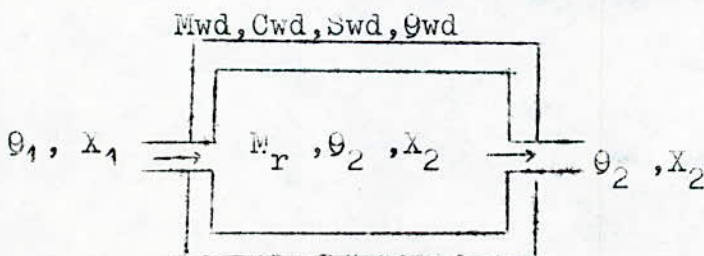
$$F_G(p) = \frac{\theta_L}{\theta_0} = e^{-KL} = e^{-\frac{1}{\delta} p} \cdot e^{-\alpha_i \frac{\pi}{S C_p} \cdot L (1 - F(p))}$$

Qui a pour caractéristique :



c/ LOCAL :

En adoptant la simplification de Lenz :



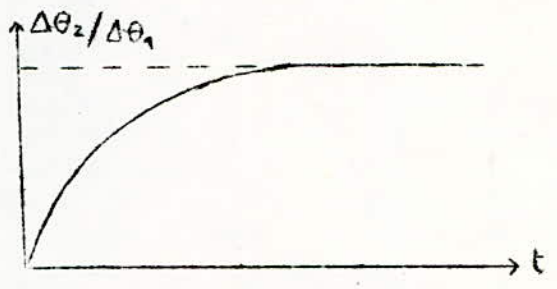
En posant :  $T_1 = Mwd.Cwd \left[ \sum (Swd)(\alpha_i + \alpha_a) \right]$  ;  $T_2 = M_r C_{pl} / b$

$$K_p = \frac{a M_r C_{pl}}{b} \quad \text{avec} \quad a = \frac{M_1}{M_r} \quad \text{et} \quad b = a M_r C_{pl} + \frac{\sum (\alpha_i Swd) \sum (\alpha_a Swd)}{\sum [(\alpha_i + \alpha_a)] Swd}$$

On obtient la fonction de transfert du local :

$$F_l(p) = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1 + T_1 p}{T_1 T_2 p^2 + K_p + 1} \quad \text{où : } K = f(T_1, T_2)$$

dont la caractéristique est :



d/ Capteurs : La loi d'échauffement d'un capteur dont la température  $\theta$  varie avec le temps au cours de la mise en équilibre thermique avec un milieu à la température  $\theta'$ , s'écrit à l'aide d'une loi de NEWTON simplifiée

- S : Surface du Capteur.
- $\dot{Q}$  : Flux de chaleur se propageant du milieu vers le capteur.
- K : Coefficient de convection du transfert de chaleur.

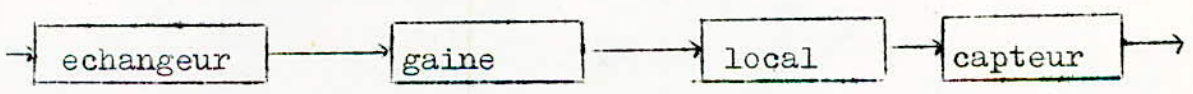
$$\dot{Q} dt = Q = mc d\theta \quad \text{d'où on tire}$$

$$\theta'(p) - \theta(p) = p \tau \theta(p) \quad \frac{\theta(p)}{\theta'(p)} = \frac{1}{1 + \tau p} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{mc}{K S}$$

- m : Masse du capteur.
- C : Chaleur massique du capteur.

En passant à la transformation de la place, on a :

e/ Fonction de transfert du processus :



$$F_t(p) = F_e(p) \cdot F_l(p) \cdot F_c(p) = K_o e^{-T_o p} / (1 + T_p)^n$$

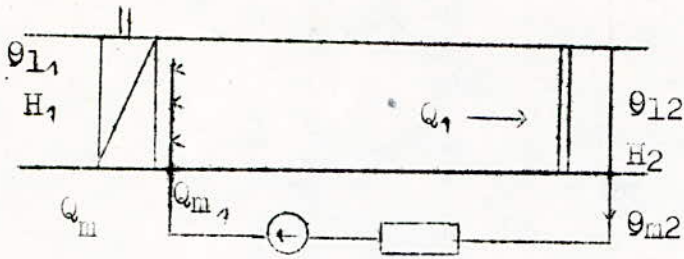
En fait il est très rare que la chaîne de régulation soit parfaitement connue, et même si c'est le cas on sera dans l'obligation d'introduire certaines approximations et simplifications (ce qui est notre cas).

### 3.2. Dynamique de l'humidité :

a/ Humidificateur : la variation d'humidité par rapport de vapeur et par pulvérisation d'eau se produit sans retard. Cette variation est fonction de celle de la température. La relation entre du courant d'air et la puissance calorifique transportée est donnée par :



$$\alpha \cdot S \cdot (\Delta \theta_{lm} + \Delta \theta_{mm}) = Q_1 \cdot C_{p1} (\Delta \theta_1 - \Delta \theta_{12}) \quad \text{où :}$$



$$\Delta \theta_{lm} = \frac{\Delta \theta_1 + \Delta \theta_{12}}{2}$$

$$\Delta \theta_{mm} = \frac{\Delta \theta_m + \Delta \theta_{m2}}{2}$$

de plus on a l'equation :

$$Q_m C_m (\Delta \theta_m - \Delta \theta_{m2}) + r \sigma S (\Delta H_{2m} - \Delta H_i / 2) = \alpha S (\Delta \theta_{lm} - \Delta \theta_{mm})$$

- où :
- $\sigma$  : Coefficient de transfert de matiere.
  - S : Surface exterieure.
  - r : Chaleur de vaporisation de l'eau.

L'equation ci-dessus exprime que la chaleur apportee par le courant d'air Q1 doit couvrir la chaleur necessaire pour la variation de la temperature et par la vaporisation d'eau.

$$\Delta H_{2m} = (\Delta H_{1i} + \Delta H_i) / 2$$

La relation entre la matiere transferee et l'humidite de l'air est donnee par

$$\sigma S (\Delta H_{2m} - \Delta H_i / 2) = Q_1 \Delta H_i$$

cette equation decrit le processus d'emmagasinage dans le recipient collectant l'eau.  $Q_m C_m (\Delta \theta_{mi} - \Delta \theta_{m1}) = Q_1 C_m \cdot \Delta \theta_{m1} / dt$

En utilisant la transformation de la place. On aura la fonction de transfert de l'humidification :

$$F_h(p) = \frac{\Delta H_2}{\Delta \theta_{1i}} = K \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}$$

b/ GAINÉ : La gaine n'emmagasine pas d'humidite, l'air la traverse a une vitesse V limitee. En tant qu'element de transfert, la gaine se comporte comme un temps mort, qui peut etre calcule comme :  $tg = \frac{L}{V}$  (L : etant la longueur de la gaine). Si  $\Delta H_2[\%]$  et  $\Delta H_i[\%]$  sont respectivement l'humidite relative a l'exteriorite de la gaine et a l'entree de la gaine la fonction de transfert sera :

$$F_g(p) = \Delta H_1 / \Delta H_0 = K_p \cdot \exp(-tg p)$$

Si l'on considere qu'il n'y a aucune condensation en evaporation supplementaire alors  $K_p = 1$  et on aura ainsi

$$F_g(p) = \exp(-tg p)$$

c/ LOCAL : Negligeant la capacite d'emmagasinage des parois et la condensation tenant compte des petites variation et se basant sur un melange d'air ideal, on obtient :

$$Q_2 \Delta H_2 + Q_1 \Delta H_2 = Q \Delta H_1 \quad (1)$$

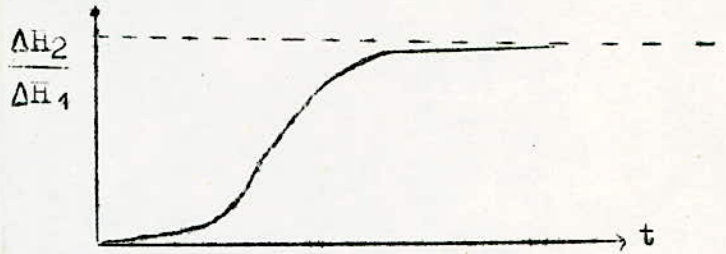
La fonction de transfert est .

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \frac{Kp}{1 + Tp}$$

dans le cas idéal où  $Kp = 1$  on aura.

$$F_1(p) = 1/1 + Tp$$

dont la caractéristique est :



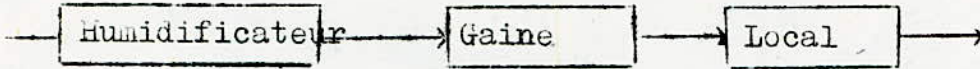
A partir de (1) on a

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{1}{1 + Q_2/Q_1}$$

d'où on tire  $T = Q_2/Q_1$

d/ Fonction de transfert du processus

$$F_h(p) = \frac{\Delta H_2}{\Delta \theta_1} \cdot \frac{\Delta G_1}{\Delta H_0} \cdot \frac{\Delta H_2}{\Delta H} = \frac{K(1 + Tp)}{(1 + T_2p)} \cdot e^{-tg p} \cdot \frac{1}{1 + Tp}$$

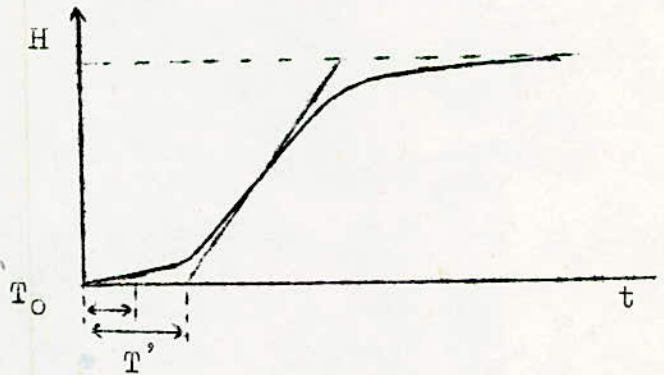


$$F_h(p) = e^{-tg p} \cdot K' \cdot \frac{1}{1 + T'p}$$

$$T_0 = tg \frac{L}{V} = \text{temps mort}$$

$T'$  = constante de temps moyenne

On aura la courbe :





CHAPITRE II.

DESCRIPTION DE LA SERRE D'ESSAI.

Avant d'exposer les mesures faites et les resultats, nous allons decrire la serre de l'I.D.C.M, à STAQUELI où nous avons pu effectuer nos essais. (après plusieurs demar-ches) . (Fig II. 1).

- Dimensions :

Longueur L= 21m ; Largeur l= 9m.

Hauteur du Sommet = 4,50 m ; Hauteur des pieds = 2,50 m

Pente des Versants 45% ; Surface cultivable 189 m<sup>2</sup> ; Volume 662 m<sup>3</sup>.

- Armatures : métalliques en tubes galvanisés.
  - Vitres : verre martelé de 0,75 m de large; la tenue et l'etancheite des verres sont assurés par un joint polyster.
  - Portes : une porte de 3m X 2,50m à coulisse en pignon (protégée par un portique en plastique pour isolation).
  - Canalisation : toute l'installation est montée avec des tubes fer recouverts d'une couche de peinture anti-corrosive brun rouge.
  - Désinfection du Sol : une conduite de distribution de vapeur (en provenance de la chaudière) est placée sous cheneaux centrale.
  - Aération ; couverture : continue sur chaque versant de la serre par chassis de 1,60m de largeur, ouverture par crémaillères de 1m de longueur, Commande automatique par deux moto-reducteur asservis par thermostats, Selection du côte ouvrant par girouette.
- Pieds : Continue sur chaque pied par chassis de 1,00m de hauteur, projection par crémaillères à commande automatique par deux moto-reducteurs de même type que la couverture asservis par thermostats.
- Eclairage : Assuré par 14 tubes fluorescents de 1,5m de longueur raccordes en cables vultyprenes Un interrupteur commande d'éclairage.
  - Arrosage : Arrosage automatique (voir Fig ) par aspersion utilisant des rampes d'arrosage en tube P.V.C. rigide suspendues sous fermes.
  - chauffage : un circuit de 11 tuyaux suspendus, et un autre circuit de 10 tuyaux sous les tablettes, traversés par eau chaude pulsée à 100°C, assurent le chauffage comman- par thermostats.

- 1 Chassis
- 2 cremaileres
- 3 Tuyaux
- 4 conduite d'eau (Pour humidification)
- 5 Panneau humidificateur
- 6 Ventilateur
- 7 Tablette
- 8 Tableau (pour capteurs)
- 9 bacs de decantation

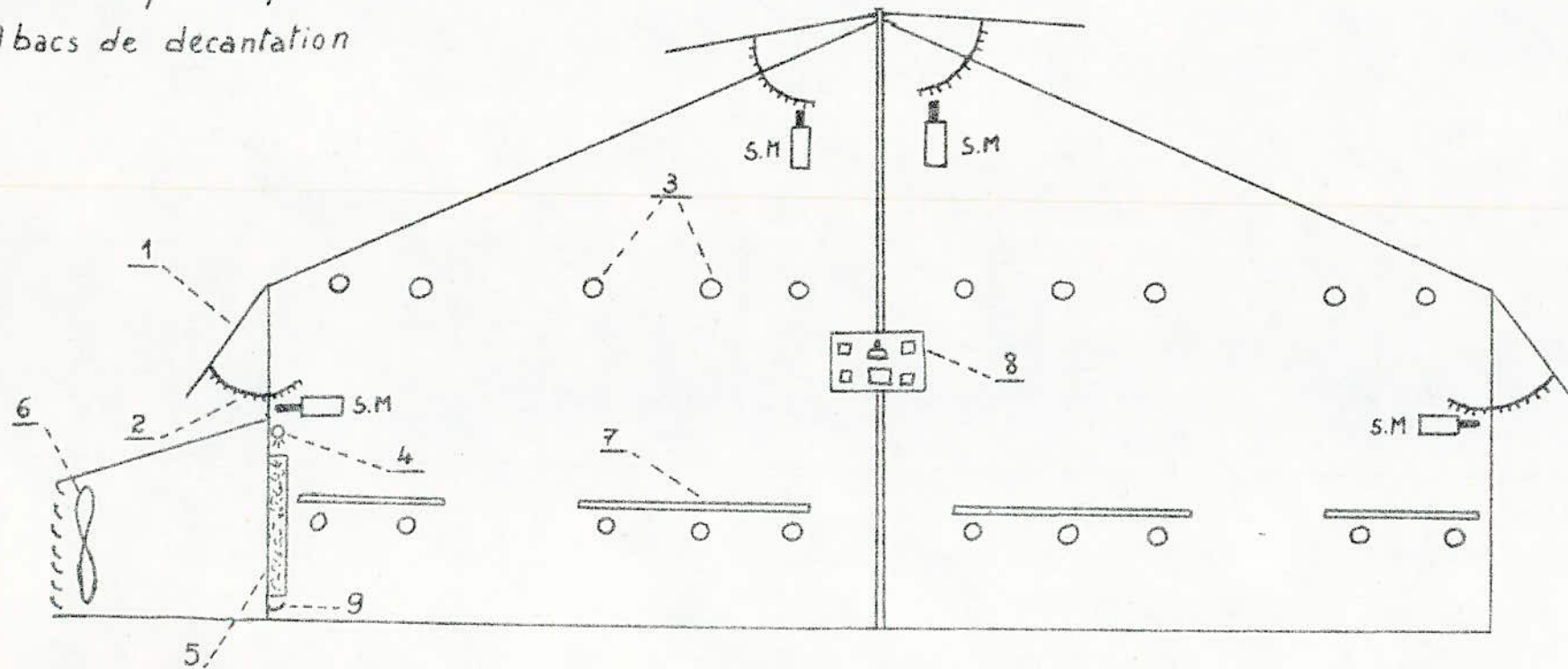


Fig II.1



Une pompe assure la circulation alors qu'une autre assure le recyclage.

La Régulation de la température est assurée par un TA Control progressive comprenant :

- 1; Moteur avec régulateur incorporé.
2. Sondes d'ambiance.
3. Potentiometres de consigne à distance.

Le moteur est un régulateur électronique à fonction proportionnelle et intégrale. La stabilité du système est obtenue par un potentiometre de réponse (fonction proportionnelle) et par l'asservissement thermique (fonction intégrale), ces deux fonctions peuvent être réglées séparément selon l'inertie de l'installation et également selon la stabilité de la boucle de régulation.

- Cooling Système : le principe de ce Système qui assure le refroidissement de la serre repose sur une constatation simple :

L'évaporation produit du froid, ainsi tout air sec à une température donnée, diminue sa température sèche proportionnellement au poids d'eau absorbé. D'autre part étant donné qu'il n'y a pas d'apport d'énergie extérieur le passage dans le panneau humidificateur se fait de la face extérieure vers la face intérieure à enthalpie constante.

Par conséquent le refroidissement de l'air dans la serre se détermine en fonction des conditions climatiques extérieures (température et humidité). Étant donné que la serre est équipée de chassis ouvrants, le Système de cooling est à surpression. Le principe est :

Des ventilateurs soufflent dans un caisson de 1,60m de longueur construit à l'extérieur de la serre, l'air est obligé de passer au travers des pads (panneau humidificateur constitués de sciure de bois mouillée). L'air traverse la serre à une vitesse très faible a fin de ne pas provoquer d'agitation importante au niveau des plantes et sort en suite par les volets ouvrants du côté gauche.

Une pompe de recyclage de l'eau récupérée dans les bacs de décantation situés au bas des pads.

- Système d'alarme : un système d'alarme commandé par thermostats déclenche un avertisseur sonore, branché sur une batterie, en cas de pannes (dès que la température est trop basse ou trop haute).

- Robinetterie et Vannes :

- 1 Vanne manuelle d'isolement au départ du circuit de chauffage.
- 1 Vanne d'arrêt sous chaque tablette.
- 1 Vanne d'arrêt par nappe de tube sous fermes.
- 1 Vanne à 3 voies motorisée, TA Control sur le départ du circuit de chauffage .
- 1 Electrovanne au départ du roseau d'alimentation en eau des panneaux humidificateurs;
- 2 Electrovanes dans le circuit d'arrosage.
- 1 Vanne manuelle au départ du circuit de Vapeur.
- 1 Robinet à boisseau sur le circuit de chauffage sous l'une des tablettes.

- Tableau de Commande :

Une armoire de Commande située à l'entrée de la serre renferme les disjoncteurs de protection et les contacteurs. Les interrupteurs et les voyants lumineux de signalisation seront placés sur la facade (voir Fig II 2).

L'ensemble sera raccordé aux appareils par câble vultyprene. Un Système d'alarme en cas de disjonction d'un appareil ou de panne du secteur prolongée.

Amperage : 6,4 A (220V).

3,7 A (3,7 ).

- Caractéristiques des Appareils :

\* 4 Servo-Moteurs pour les volets

FIMET MOTO REDUCTEURS.

Type : R1 dx - MVT 63 A4

Rap: 1/52 ; Ch: 0,2 ; Volt : 380 V ; Amp : 0,56

tr/min 261 ;  $\cos \varphi = 0,16$  ; Hz = 50

\* Pompe de chauffage.

WILG P 40-2

$\Delta$  : 220 V ;  $\Delta$  : 380V ; 10A ; 50Hz ; 1-3~

75 W 10 $\mu$ F ; 240 V.D.B ;  $\frac{10 \times}{0,55 \times}$ .



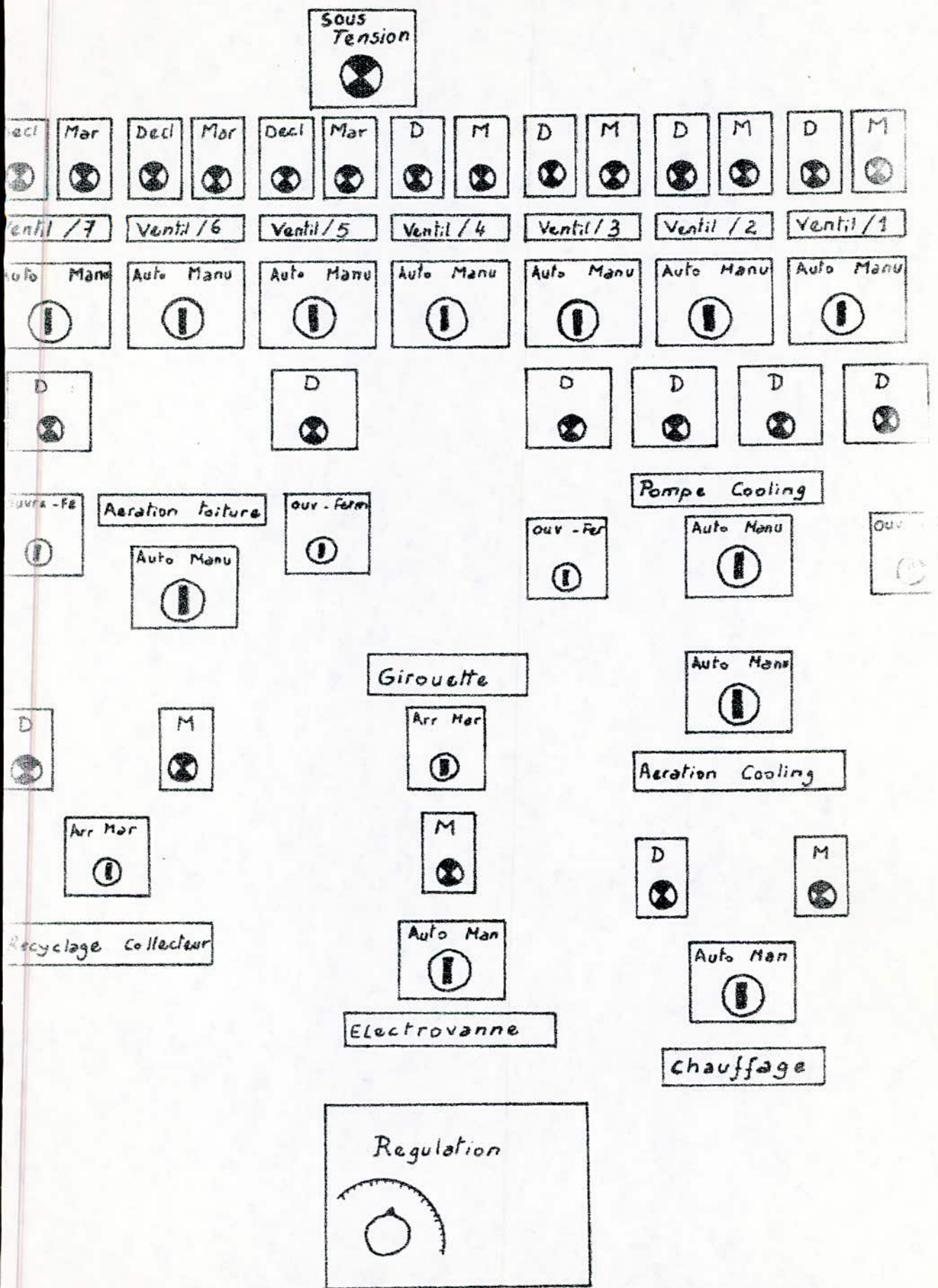


Fig II.2 Tableau de commande

\* Pompe de recyclage.

WILLO D30.

$\Delta$  : 220V ;  $\Delta$  : 380V ; 0,42A ; 50Hz ; 1-3 ~

20 w ; 5  $\mu$ f ; 240 V.D.B ; 0,47 x ; 1400 Tr/min -1

\* Moteurs des Ventilateurs. 0,284 1

Moteurs Asynchrone rotor c.

Type LEROY SOMER Ls 80L2.

Pn = 0,55 KW ; Cos  $\phi$  = 0,76 ;  $\Delta$  : 380V  $\div$  1,6A ;  $\Delta$  220V  $\div$  2,8A ;

Vitesse ; 930 Tr/min ; 50Hz ; 3ph ; Isolation classe E ; Ambiance : 40°C.

\* Moteur TA CONTROL

Température ambiante max + 40°C et min 0°C.

Alimentation électrique 24V, puissance 12,5 VA.

Pointe de consigne - 10 à 50°C.

Asservissement thermique 1-5

Calibrage  $\pm$  7° c.

Bande proportionnelle 0 à 12°C.

- Description du R.A.102. (Fig II 3).

- (1). Fusible Principal.
  - (2). Lampe-Temoin du Secteur.
  - (3). Lampe-Temoin "START" : allumée pendant la programmation.
  - (4). Lampe-Temoin "AUTO-START".
  - (5). Lampe-Temoin : s'allume lors du passage d'une Vanne à une autre.
  - (6). Commutateur Principal "NET" Secteur.
  - (7). Touche "START" pour un demarage instantané.
  - (8). Touche "AUTO-START".
  - (9). Dispositif avec bouton de reglage du temps d'arrosage.
  - (10). Compteur d'impulsion : montre le temps d'arrosage écoulé en %
  - (11). Touche "SEC".
  - (12). Touche "MIN x0,1".
  - (13). Dispositif de dosage d'engrais.
  - (14). Compteur d'impulsion pour ordre de programmation.
  - (15). Touche "A" "B-C"."D-E". pour le fonctionnement des Vannes.
  - (16). Touche-Poussoir : pour l'interruption et le reglage manuel.
  - (17). Touche "L".
  - (18). Touche "M".
  - (19). Touche "N".
  - (20). Touche "O".
  - (21). Touche "P".
- } En appuyant sur une ou plusieurs  
} touches, on obtient le nombre voulu de  
} repetition du programme choisi.  
} Si aucune touche n'étant enfoncée, le programme  
} se deroule de façon continue.



# Description du Programmeur d'Arrosage Automatique RA 102

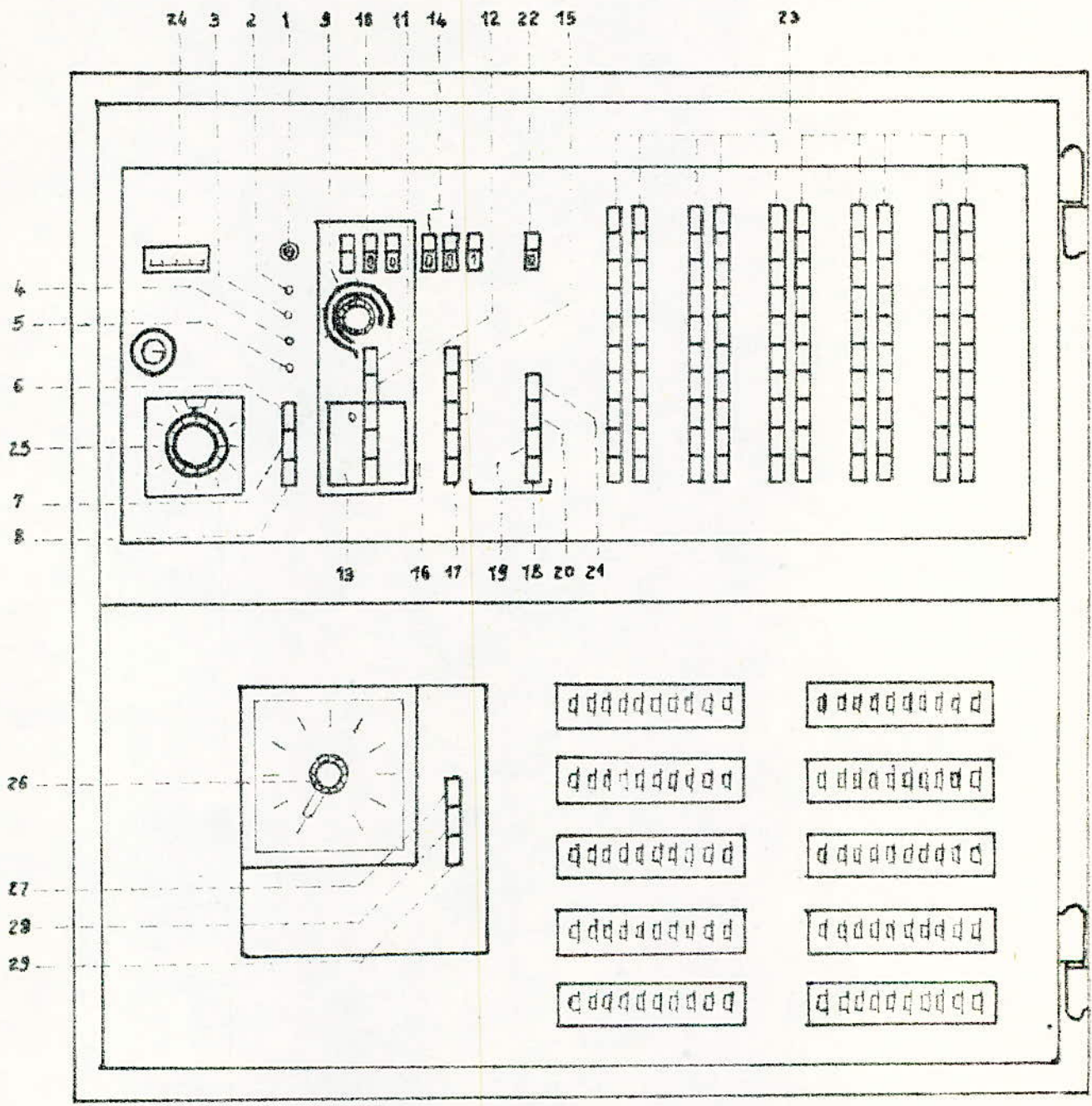


Fig. II 3

- (22). Compteur d'impulsion : montre le nombre de répétition.
- (23). Touches " " à " 00" : Pour le branchement des vannes magnétiques.
- (24). Instruments de mesure pour le contrôle du circuit des vannes.
- (25). Préréglage VI ou VIC.
- (26). Préréglage VS 24 avec les touches "R" (27) ; "S" (28) et "T" (29).



CHAPITRE III :

ANALYSE ET CHOIX DE LA METHODE D'IDENTIFICATION .

Introduction :

L'identification d'un processus, ou l'analyse de ses parametres dynamiques revient à faire une modelisation.

DEFINITION : La modelisation est une opération de calcul scientifique qui a pour objet de rechercher des relations mathématiques existantes dans un processus. L'ensemble de ces relations qui relient un certain nombre de parametres constitue le modele mathématique du processus. Pour cela il existe plusieurs méthodes :

- Methodes de simulation.
- " non parametriques.
- " parametriques.
- " iteratives.
- " empiriques ou Statistiques.

III. 1 : Methodes de simulation : c'est une technique qui consiste à utiliser les résultats de la modelisation mathématique et a réaliser le modele sur un calculateur qui constitue alors une image physique du processus reel. Cette image doit posseder les mêmes variables d'état, de sortie et d'entrée que le processus réel.

Cette methode présente l'avantage de fonctionner de manière continu et en plus toutes les opérations peuvent être effectuées simultanément, mais son utilisation est limitée par sa précision dépendant directement de la quantité des éléments du calculateur.

Notons qu'il existe aussi la méthode de simulation directe où on injecte le même signal sur l'entrée du Système, ainsi que sur l'entrée d'un Système de circuits électroniques présentant une certaine transmittance à parametres dynamiques réglables, et on les regle de telle sorte a annuler la différence existante entre les deux sorties, ce réglage peut être automatique.

Dans notre cas ou l'analyse est basée sur des réponses indicielles d'un processus reel, la simulation ne nous convient pas.

On pourrait penser à une simulation pour une comparaison avec le processus reel. Mais en fait les calculateurs analogiques bien qu'ils resolvent très bien les équations aux dérivées partielles, d'autant plus que le modele mathématique de notre processus est incomplet et approximatif.

III. 2 : Methodes non parametriques :

Elles permettent de déterminer la réponse impulsionnelle :  $h(t)$  en utilisant des relations mathématiques telle que :

$$Y(t) = \int_0^{\infty} h(u) u(t-z) dz \qquad u(t-z)=0 \qquad \text{pour } t < z$$

Mais l'inconvénient de cette méthodes est qu'elle nécessite l'utilisation des signaux d'entrée un peu particuliers, auxquels le Système reel peut être insensible.

III. 3 : Méthodes paramétriques :

Elles consistent à déterminer les paramètres du Système dont le modèle est sous une forme paramétrique.

Parmi les formes les plus courantes, on trouve les fonctions de transfert du 1er et 2ém ordre.

3.1. Système du 1er ordre : sa fonction de transfert est de la forme :

$$F(p) = \frac{k e^{-zP}}{1 + T_p}$$

Vu qu'on s'intéresse aux réponses indicielles, l'entrée appliquée au Système est  $E(p) = E/P$  d'où la sortie :  $Y(p) = \frac{E \cdot k}{p (1+T_p)}$  (ou on sous entend le retard) la transformée

inverse est  $Y(t) = E(1 - e^{-t/T})$

Ainsi l'évolution de la réponse sera donnée par le tableau ci-dessous :

Temps de réponse.	Valeur atteinte / Valeur initiale.
T	63%
3T	95%
4T	98%
4,6T	99%
6,9T	99,9%

Ce qui nous permet de déterminer T donc un modèle mathématique approximatif du 1er ordre.

3.2. Système du 2nd ordre : sa fonction de transfert est de la forme

$$F(p) = \frac{k e^{-zP}}{(1+T_1P)(1+T_2P)}$$

Si on sous entend le retard on aura :  $F(p) = \frac{K}{(1+T_1P)(1+T_2P)}$

La réponse a un échelon d'amplitude K est.

$$Y(p) = K \left( \frac{I}{p} - \frac{\frac{T_1}{T_1 - T_2}}{p + I/T_1} + \frac{\frac{T_2}{T_1 - T_2}}{p + I/T_2} \right)$$

Dont la transformée inverse est :

$$y(t) = K \left( I - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-t/T_1} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-t/T_2} \right)$$

si  $t \rightarrow \infty$  :  $y(\infty) = K$  où : K est le gain statique  
 $T_1, T_2$  les constantes de temps du Système.



3.3. Méthode exponentielle : on identifié le Système à un modele du 2<sup>ém</sup> ordre donc :

$$y(t) = K \left( I - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-t/T_1} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-t/T_2} \right) \quad \text{si : } T_1 \neq T_2$$

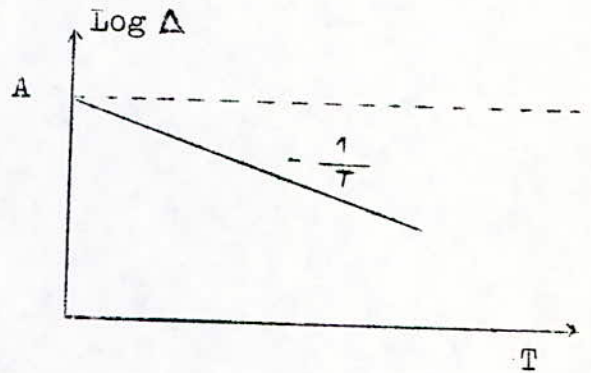
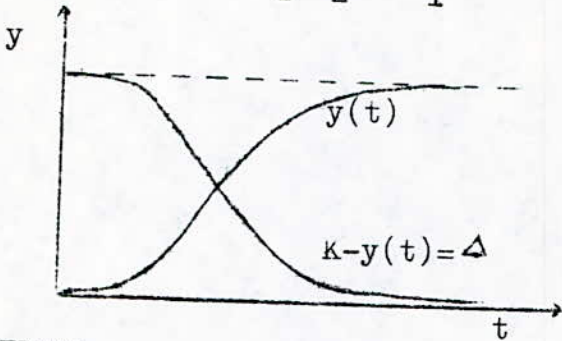
et on pourra écrire

$$y(t) = K \left( I - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-t/T_1} \right)$$

Ainsi K peut être lu directement sur la courbe. Pour les constantes de temps on considère  $\Delta$  l'écart entre le régime permanent et la réponse soit :

$$\Delta = K - K \left( I - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-t/T_1} \right) = \frac{KT_1}{T_1 - T_2} e^{-t/T_1}$$

$$\text{Log } \Delta = \text{Log } \frac{KT_1}{T_1 - T_2} - \frac{t}{T_1} = A - BT$$



PROCEDURE :

- on trace  $\Delta$
  - on trace  $\log \Delta$  d'où on tire  $T_1$  la pente étant
  - on détermine A l'ordonnée à l'origine qui est
- étant connus, on tire donc  $T_2$ .

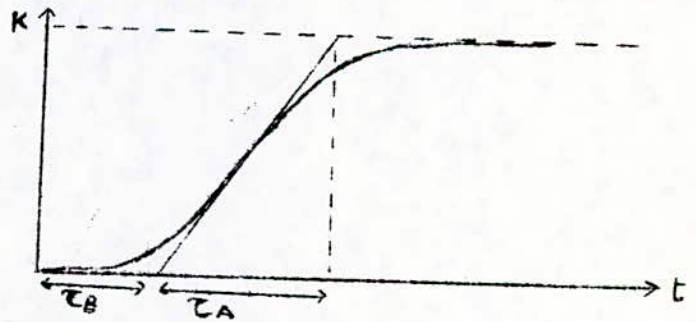
$$-\frac{1}{T_1} \quad \text{Log } \frac{KT_1}{T_1 - T_2} ; K \text{ et } T_1$$

3.4. : Méthode de LUDWICK MICHALSKI

ELLE consiste à tracer la tangente au point d'inflexion de la courbe de la réponse indicielle.

on pose :  $T_1 = \alpha_1 \tau_A ; T_2 = \alpha_2 \tau_A$

où  $\alpha_1 ; \alpha_2$  sont des coefficient qu'on détermine par le nomogramme de la Fig IV.1



PROCEDURE : on calcule le rapport  $\tau_B/\tau_A$  et on porte cette valeur sur les axes du nomogramme. on trace la droite joignant ces deux points qui coupera la courbe en deux points symétriques, les coordonnées de ces deux points sont les valeurs de  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  connaissant  $\tau_A, \alpha_1$  et  $\alpha_2$  on détermine  $T_1, T_2$  alors que la valeur de K est lue directement sur la courbe.

NOMOGRAMME DE LUDWICK

MICHALSKI

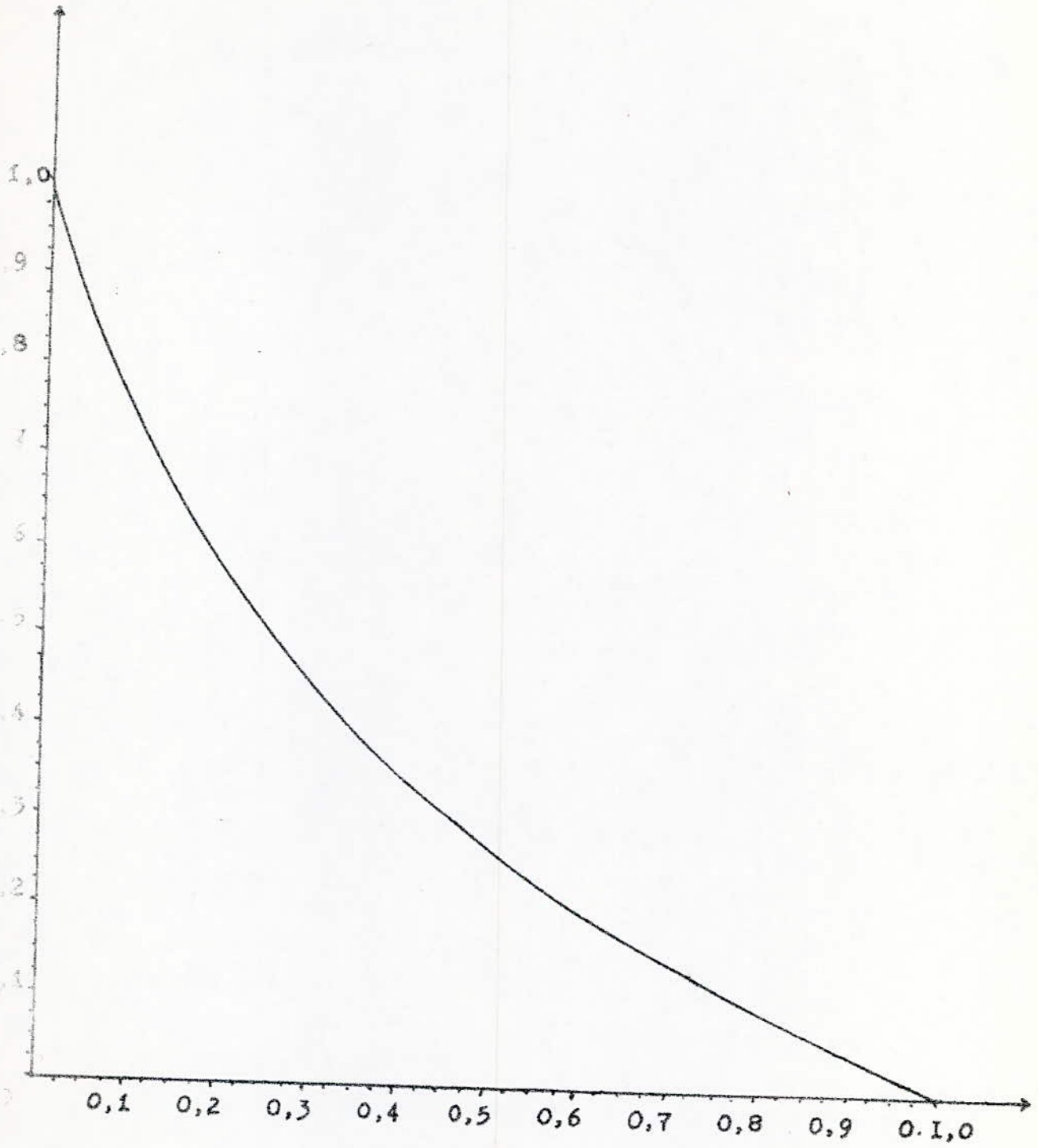


Fig III.1



### 3.5. Méthode de STREJC.

Une fonction de transfert peut contenir un terme qui exprime le temps mort alors elle sera représentée sous la forme :

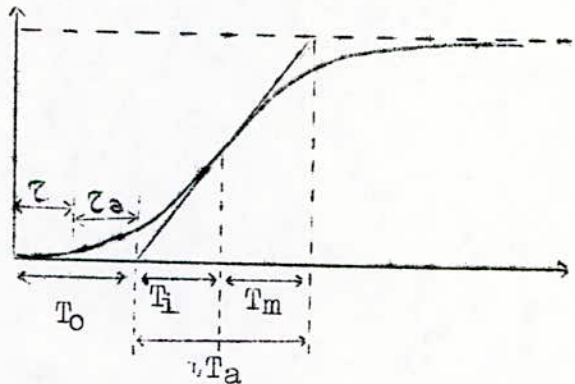
$$F(p) = F_n(p) \cdot e^{-Tp} \quad ; \quad F_n(p) \text{ est une fonction d'ordre quelconque.}$$

L'introduction du temps mort permet de tenir compte de la présence d'un retard de parcours dans le processus, et de compenser l'erreur résiduelle entre la réponse indicielle du processus et celle de la forme du modèle (fonction de transfert).

Ainsi l'idée fondamentale de STREJC est que la transmittance d'un processus à réponse aperiodique peut être valablement représentée par une expression dite forme de STREJC :  $F(p) = \frac{K \cdot e^{-Tp}}{(1 + T \cdot p)^n}$

L'utilisation de cette méthode est justifiée chaque fois que le retard de la réponse indicielle résulte d'une accumulation de constantes de temps d'ordres de grandeur comparables.

Procédure : - On détermine le temps mort naturel s'il existe.  
 - On trace la tangente au point d'inflexion ce qui nous donne :  $T_0$  ;  $T_a$  ;  $T_i$  ;  $T_m$  ;  $\varphi_i$  et  $\tau_a$



- En utilisant le tableau ci-dessous, on tire  $n$  à partir

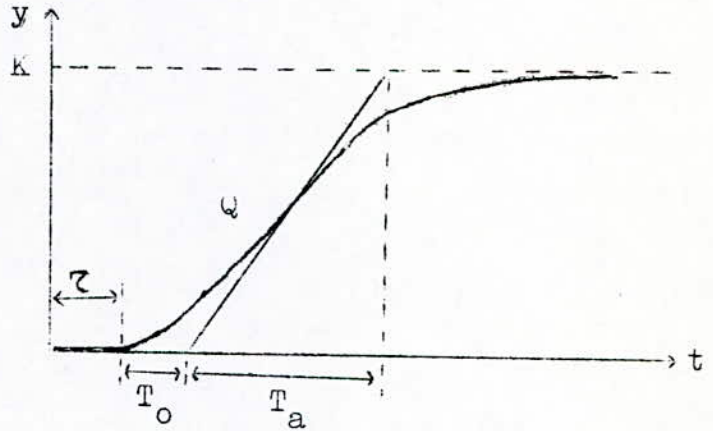
$n$	$T_a/T$	$T_0/T_a$	$T_0/T$	$T_i/T$	$\varphi_i$	$T_m/T$	$T_m/T_a$
1	1,000	0,000	0,000	0	0,000	1,000	1,000
2	2,718	0,104	0,282	1	0,264	2,000	0,736
3	3,695	0,218	0,805	2	0,323	2,500	0,677
4	4,463	0,314	1,425	3	0,353	2,888	0,647
5	5,119	0,410	2,100	4	0,371	3,219	0,629
6	5,699	0,493	2,811	5	0,384	3,510	0,616
7	6,226	0,570	3,549	6	0,394	3,775	0,606
8	6,711	0,642	4,307	7	0,401	4,018	0,599
9	7,164	0,709	5,081	8	0,407	4,245	0,587

de  $T_0/T_a$  (on prendra la valeur de  $n$  entière inférieure)  
 on tire de la même ligne la valeur de  $T_i/T$  d'où on tire  $T$ .

3.6. Méthode de STREJC améliorée :

Dans la méthode classique de Strejc classique lorsque le rapport des paramètres ne coorespond pas a une valeur entière de n (c'est souvent le cas). On prend la valeur immédiatement inférieure et on tient compte de la simplification en introduisant un temps mort artificiel. La Ainsi même si la courbe ne présente pas de temps mort reel l'expression obtenue sera généralement de la forme:  $Ke^{-\tau ep} / (I+Tp)^n$  cette approximation peut affecter le calcul de la structure du régulateur et ses réglages. Pour remedier à cela on introduit la notion de derivée fractionnaire qu'on trouve en utilisant le nomogramme (Fig IV 2) utilisation:

- On enregistre la courbe, on tire le gain statique K
- On trace la tangente au point d'inflexion Q, ce qui nous donne le temps mort reel  $\tau$  , et  $T_0$  qui cette fois-ci est mesuré à partir de l'instant où la variable commence à évoluer.
- On calcule  $T_0/T_a$  l'echelle située à gauche du nomogramme donne directement la valeur de n en face de celle du rapport  $T_0/T_a$ .
- On trace une droite entre le point n de l'echelle de gauche et  $T_d$  de l'echelle de droite, l'intersection de celle-ci avec l'echelle mediane nous donne la constante de temps T.



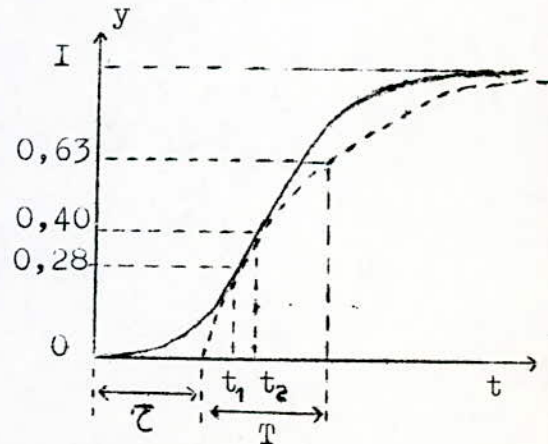
3.7. Méthode de BROIDA :

Elle consiste à identifier une fonction du n<sup>ieme</sup> ordre à une fonction du premier ordre affectée d'un retard pur la courbe du premier ordre passe par deux points situés sur la courbe enregistrée ayant pour ordonnée 0,28 et 0,40

Ces deux points déterminent deux temps  $t_1$  et  $t_2$  on calcule alors la constante de temps et le retard pur par les formules :

$$T = 5,5(t_2 - t_1)$$

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





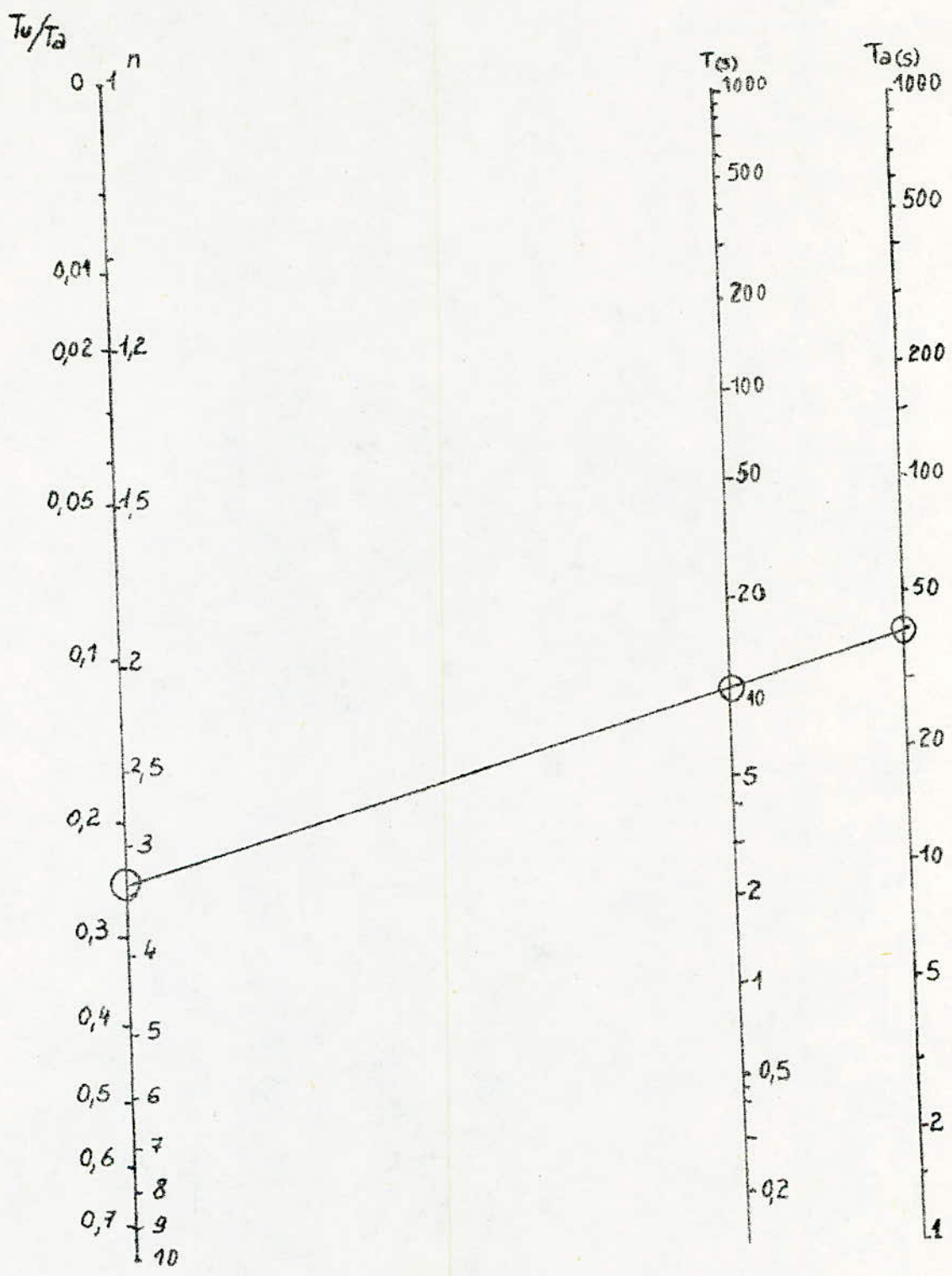


Fig III.2 Nomogramme Transmittances

3.8. Méthode de CSYPKIN :

Soit  $y(t)$  la réponse indicielle d'un Système du 2<sup>ème</sup> ordre, considérons la fonction :

$$h(t) = K-y(t) = K \left[ \frac{T}{T-T_1} \exp(-t/T) - \frac{T}{T-T_2} \exp(-t/T_2) \right] = A \cdot \exp(-t/T) + B \cdot \exp(-t/T_2)$$

Soit :  $h_1(t) = h(t) = A \exp(-t/T_1) + B \exp(-t/T_2)$  (a)

$$h_2(t) = h(t+\Delta t) = A \exp[-(t+\Delta t)/T_1] + B \exp[-(t+\Delta t)/T_2]$$
 (b)

$$h_3(t) = h(t+2\Delta t) = A \exp[-(t+2\Delta t)/T_1] + B \exp[-(t+2\Delta t)/T_2]$$
 (c)

de (a) et (b) on obtient :

$$A \cdot \exp(-t/T_1) = \frac{h_2(t) - h_1(t) \exp(-\Delta t/T_2)}{\exp(-t/T_1) - \exp(-\Delta t/T_2)} ; B \cdot e^{-t/T_2} = \frac{h_1(t) e^{-t/T_1} - h_2(t)}{e^{-\Delta t/T_1} - e^{-\Delta t/T_2}}$$

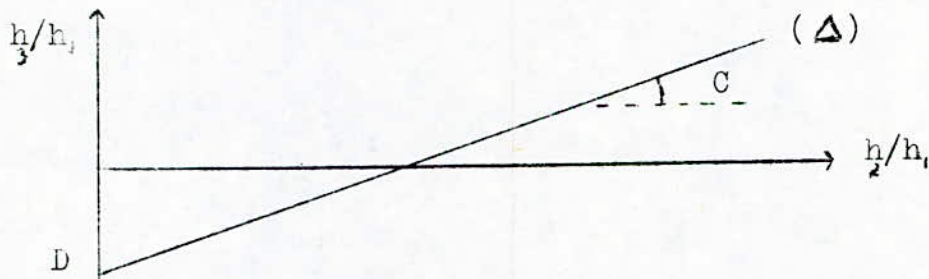
En reportant ces valeurs dans l'équation (c) on trouve :

$$h_3(t) = h_1(t) [\exp(-t/T_1) + \exp(-t/T_1)] - h_2(t) [\exp(-t/T_1) - \exp(-t/T_1)]$$

$$h_3(t)/h_1(t) = C \cdot h_2(t)/h_1(t) + D \text{ avec : } C = e^{-\Delta t/T_1} + e^{-\Delta t/T_2} ; D = -e^{-\Delta t(1/T_1 + 1/T_2)}$$

C et D donnent la somme et produit de  $e^{-\Delta t/T_1}$  et  $e^{-\Delta t/T_2}$  qui permettent de calculer  $-1/T_1$  et  $-1/T_2$  puisque  $t$  a été choisi à priori. Procédure :

- On choisit  $\Delta t$  de telle sorte qu'on puisse différencier  $h_1, h_2$  et  $h_3$  pour plusieurs valeurs de  $t$ .
- On détermine le triplet  $h_1, h_2, h_3$  pour diverses valeurs de  $t$ , chaque triplet donne un point de la droite ( $\Delta$ ) de la courbe ci-dessous.



- On détermine  $-\frac{1}{T_1}$ ,  $-\frac{1}{T_2}$  à partir des valeurs de C et D.

3.9. Choix de la méthode (paramétrique).

Le choix d'une méthode parmi celles exposées dépend en fait de la forme de la transmittance et de certaines conditions.

- La méthode exponentielle du premier ordre, où il suffit de trouver  $t=T$  correspondant à 63,2% de la valeur finale de la réponse est simple et facilement applicable.



- La méthode exponentielle du second ordre permet de déterminer les paramètres dynamiques directement mais à conditions que  $T_1 \gg T_2$  le résultat donné sera donc toujours approximatif.
- Méthode de LUDWICK-MICHALSKI : nous donne les paramètres dynamiques directement en utilisant un nomogramme mais à condition que  $0,7 \leq \frac{\tau_B}{\tau_A} < 1$ , et il y a aussi l'inconvénient de l'utilisation du point d'inflexion dont la détermination est souvent très délicate.
- La Méthode de STRESJC : facile et pratique à l'inconvénient du repérage du point d'inflexion en plus du fait que généralement le rapport des paramètres ne correspond pas dans le tableau à une valeur entière de n.
- La Méthode de STREJC améliorée permet à n d'être fractionnaire mais a l'inconvénient de n'utiliser que l'information donnée par le point d'inflexion et de négliger les autres points de la réponse. Ainsi que le fait que n ne soit pas entier est non souhaitable pour le calcul des régulateurs et rend difficile la vérification.
- La Méthode de BROIDA : ne nécessite pas la recherche du point d'inflexion mais les résultats sont approximatifs car on utilise des formules empiriques.
- La méthode de CSYPKIN présente la difficulté du choix de  $\Delta t$  et n'est pas très pratique pour l'application.

- CONCLUSION :

Pour les transmittances du premier ordre on adoptera la méthode exponentielle. Pour les transmittances du second ordre on écarte la méthode exponentielle et celle de CSYPKIN. Pour les autres méthodes on doit faire un compromis entre Simplicité et précision de la méthode, et vu qu'on utilisera les résultats pour les calculs des régulateurs par la suite nous pensons que pour les courbes enregistrées la méthode de STREJC peut être adoptée.

III. 4. METHODES ITERATIVES :

Elles constituent un problème d'optimisation paramétrique dans lequel on doit minimiser un critère mathématique par les algorithmes de la méthode du gradient, de la méthode de NEWTON - RAPHSON, de la méthode de GAUSS - NEWTON ou celui de la méthode de l'approximation Stochastique. Le développement de ces méthodes nous paraît inutile pour notre travail.

III. 5. METHODES EMPIRIQUES OU STATISTIQUES :

Ces méthodes purement mathématiques, considèrent le signal de sortie aléatoire, et grâce aux méthodes telles que la méthode de LEAST SQUARES, méthode des moindres carrées... etc. Identifient le Système étudié ces méthodes ne sont pas applicables dans notre cas.

III. 6. ANALYSE FREQUENTIELLE :

Cette méthode qui consiste à voir le comportement du processus en régime harmonique ou Sinusoïdal permet aussi de déterminer ses paramètres dynamiques. Mais vu que notre processus est lent, il nous faudra un signal Sinusoïdal à très basses fréquences ce qui est pratiquement difficile à réaliser (générateurs mécaniques) la précision sera limitée par les imperfections de l'appareillage.



IV-1 METHODE DE MESURE :

Le dispositif de mesure fig (IV 1) comprend.

- un circuit de stabilisation de la tension
- deux ponts de mesure
- deux thermomètres à résistance  $R_{e100}$

Pour la température, on disposera les deux thermomètres en deux lieux différents.

Pour l'humidité, on utilisera la méthode psychrométrique, ils seront donc placés dans le même lieu.

- Une table traçante à deux entrées.

Pour l'enregistrement de la réponse indicielle, on soumet le système à un échelon d'excitation matérialisé par l'ouverture de la vanne pour le chauffage, et enclenchement du système cooling pour le refroidissement et l'humidification.

IV.2 ESSAIS ET INTERPRETATIONS :

Vu que les capteurs du système de régulation existant sont situés sur un tableau au milieu de la serre, incorporés dans les boîtes de réglage, et puisqu'on voudrait vérifier l'efficacité de ce système, on placera chaque fois un des deux capteurs en cet endroit.

2/1 CHAUFFAGE DE LA SERRE :

a) 1er essai

capteur (1) au milieu de la serre

capteur (2) au fond de la serre

Enregistrement : Courbes (Fig. IV 2)

Vitesse : 10 s/cm

Sensibilité : 0,04 mv/cm

Pour le capteur (1)

$T_0 = 10 \text{ S}$

$T_a = 268 \text{ S}$

$D_0 = 5,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

$K = 5,6/20\% = 0,28^\circ\text{C}/\%$

Pour le capteur (2)

$T_0 = 15 \text{ S}$

$T_a = 198 \text{ S}$

$D_0 = 7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$K = 0,37^\circ\text{C}/\%$

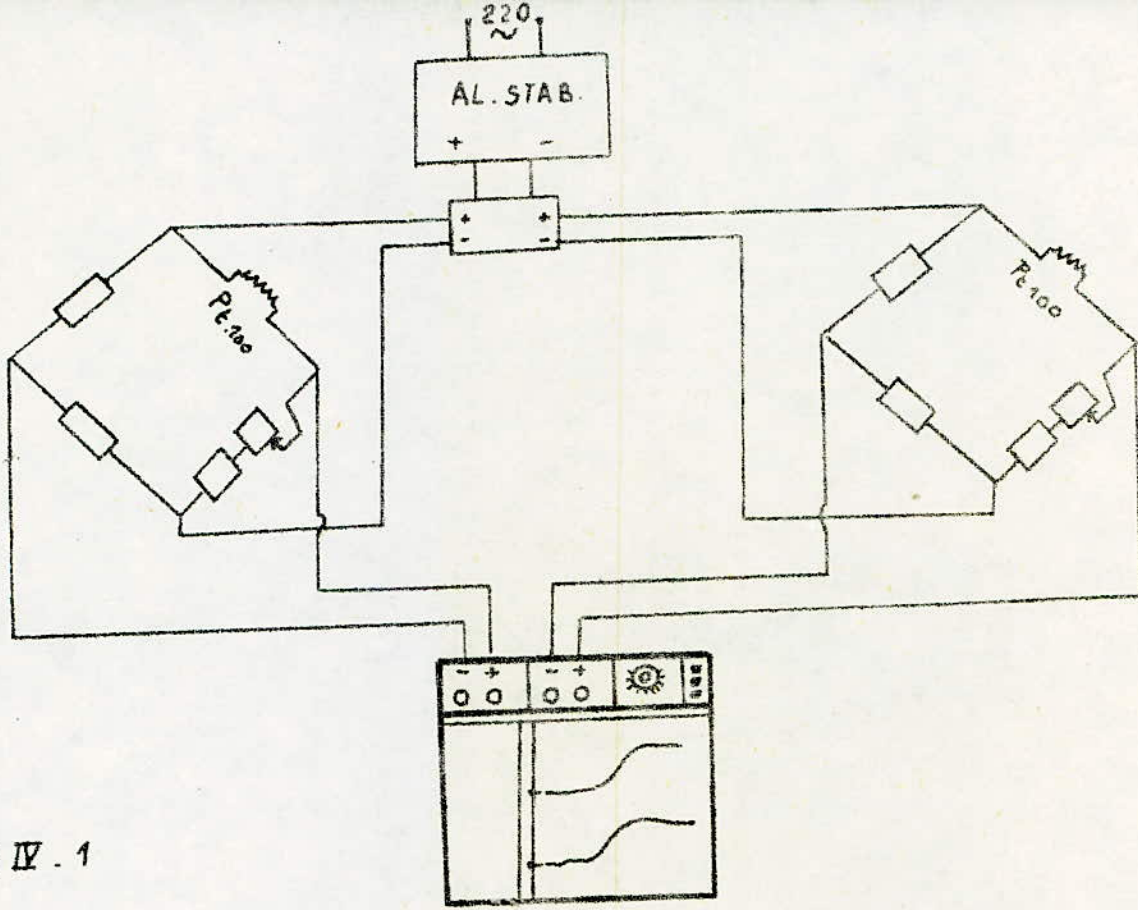
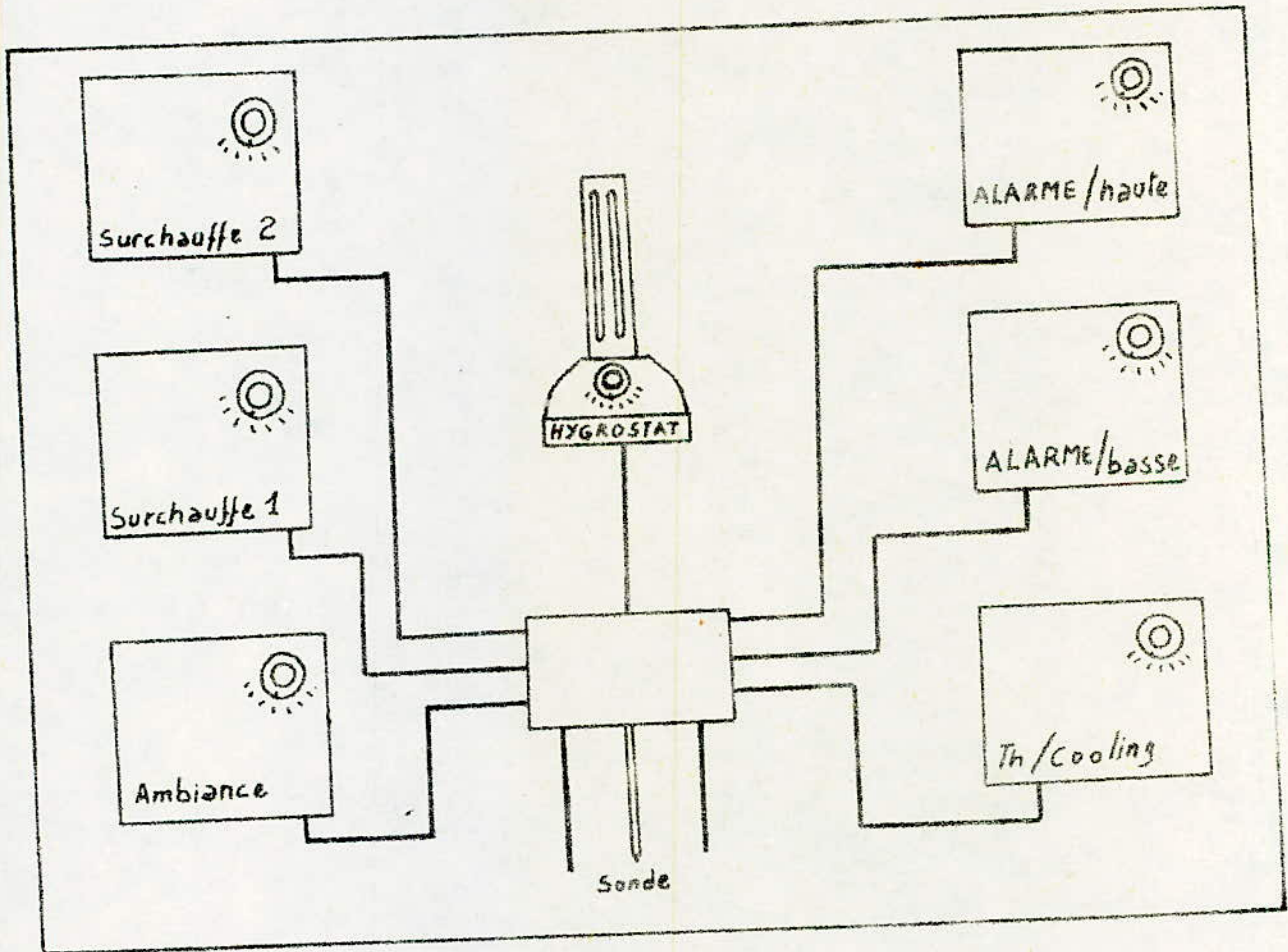


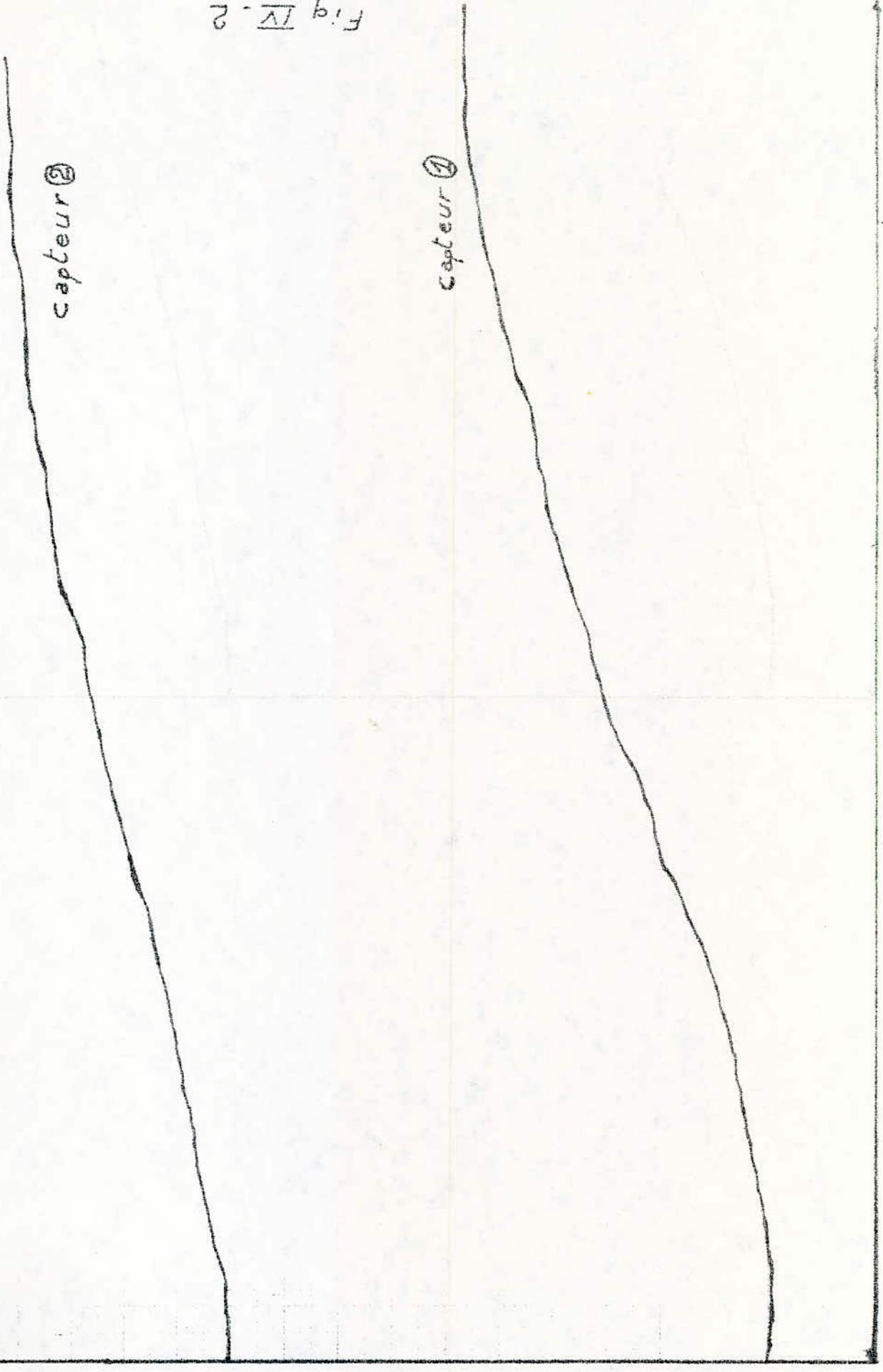
Fig IV.1





Chauffage: Essai n° 1

Fig IV. 2



On applique la méthode de STREJC (voir chapitre IV III)

$$F(p) = \frac{K e^{-TOP}}{(1 + T.p)^n}$$

Pour le capteur (1)  
n = 1 et T = Ta = 268 s  
F1(p) =  $\frac{0,28 e^{-10p}}{1 + 268p}$

Pour le capteur (2)  
n = 1 et T = Ta = 198s  
F2(p) =  $\frac{0,37 e^{-15p}}{1 + 198p}$

b) 2ème essai

Capteur (1) au milieu de la serre  
Capteur (2) près de la porte d'entrée  
Enregistrement : Courbes (Fig IV.3)

Vitesse : 10 S/cm ; sensibilité : 0,04 mv/cm

Pour le capteur (1)  
To = 15 S  
Ta = 158S  
D0 = 5,3° C  
K = 0,26°c/%

Pour le capteur (2)  
To = 15S  
Ta = 160 S  
D0 = 6,5°c  
K = 0,32 e /%

Methode de STREJC

Capteur (1)  
n=1 ; T a=158 S  
F1(p) =  $\frac{0,26 e^{-15P}}{1 + 158p}$

Capteur (2)  
n = 1 ; Ta= 160s  
F2(p) =  $\frac{0,32 e^{-15p}}{1 + 160p}$

Application de la méthode exponentielle du 1er ordre

$$F(p) = \frac{K}{1 + Tp}$$

1er ESSAI

Capteur(1)  
F1(p) =  $\frac{0,28}{1 + 210 p}$

Capteur (2)  
F2(p) =  $\frac{0,37}{1 + 150p}$

2ème ESSAI

Capteur (1)  
F1(p) =  $\frac{0,28}{1 + 195 p}$

Capteur (2)  
F2(p) =  $\frac{0,37}{1 + 140p}$

On voit que les ~~transmittance~~ par les deux méthodes ne sont pas très différentes, mais le retard est sous entendu dans la méthode exponentielle.

c) Remarques :

- Les propriétés dynamiques différent d'un point à l'autre de la serre. Le point milieu n'est pas suffisant, ainsi nous jugeons utile de placer plusieurs capteurs



1%  
10 s

capteur ②



capteur ①

Fig. IV 3 Chauffage  
essai N° 2



dans différents points de la serre, surtout que l'utilisateur exige une précision de plus u moins 1°C.

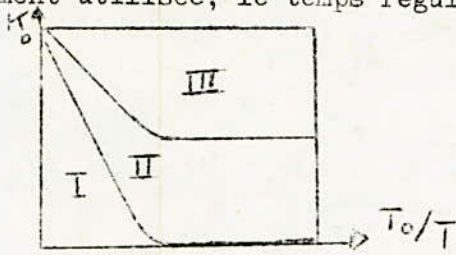
- Pour des raisons de répartition homogène de la température et pour des raisons économiques nous proposons l'utilisation des aérothermes au lieu du système de tuyauterie (un générateur remplace 200 à 300 m de tuyaux).

- On remarque en fin qu'on assiste à une augmentation de la température dans la zone où celle-ci devrait se stabiliser. Une raison est la radiation de la tuyauterie chauffée, la deuxième raison plus importante, est le rayonnement solaire, car le jour des essais était ensoleillé, et le système cooling fonctionnait pour maintenir la température à 20°C. On a éliminé le cooling et enlanché le chauffage seulement son influence n'est importante que dans la zone où le chauffage ne joue plus aucun rôle, c-a-d dans la zone de stabilisation.

- le même phénomène de rayonnement explique aussi les faibles temps morts.

d) Choix du régulateur de température.

Pour faire le choix du régulateur on utilisera les caractéristiques. On distingue trois zones pour les regulateurs Proportionnels : (P) Zone I : Zone de régime transitoire apériodique rarement utilisée, le temps régulat<sub>i</sub> est très long



Zone II : elle est utilisée, car elle correspond à un fonctionnement stable avec oscilations.

Zone III : Zone d'instabilité.

On se placera donc dans la zone II, et pour assurer la stabilité on évitera la limite de cette zone, pour cela on prendra une marge de sécurité de 10 %.

Pour la caractéristique du régulateur P.I où :

T<sub>i</sub> : Temps d'intégration

T.O : Temps de retard global

T : constante de temps

la stabilité en pratique est assurée

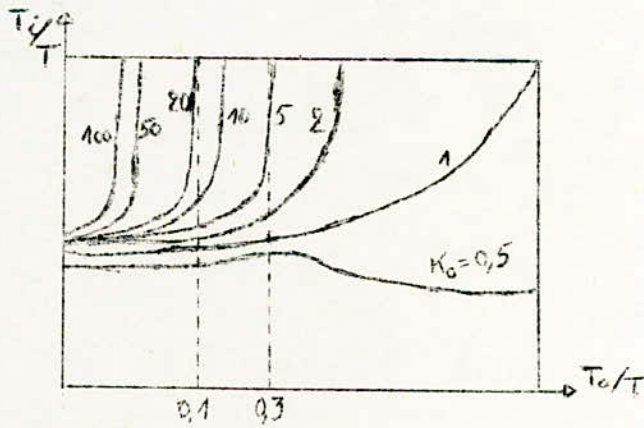
dans la zone  $0,1 \frac{TO}{T} < 0,3$

La limite de stabilité

$$K_{omax} = \frac{1}{TO/T}$$

$$T_i : (2 + 3) TO$$

$$KO = 5 \div 10$$



Le choix de KO est décisif car si celui-ci est trop élevé T.I sera grand et le régime transitoire de même. Si par contre KO est trop bas on aura instabilité. Dans notre cas la valeur moyenne des quatre essais nous donne.



pour le capteur (1)

To = 32 s; Ta = 328 s; z = 186 s

D6 = 8 C ; k = 0,08 C/%

To/Ta = 0; I; n=12; T= 120 S

$$F_1(p) = \frac{0,08 \cdot e^{-186p}}{(I + 120p)^2}$$

pour le capteur (2)

To = 120 S; Ta = 236 S; z = 80 S

D6 = 9,8 C ; K = 0,098 C/%

To/Ta = 0,5; n= 6; T= 40 S

$$F_2(p) = \frac{0,09 \cdot e^{-80p}}{(I + 40p)^6}$$

### 2.2.3 Remarque :

- Les propriétés dynamiques cette fois sont très différentes, ceci est dû au mode de fonctionnement du système cooling, qui est :

1<sup>ere</sup> étape : les volets en face des pads commencent à s'ouvrir et en même temps, l'eau est pulvérisée à travers les pads.

Cette première étape qui dure environ trois minutes est la raison essentielle du temps mort.

2<sup>eme</sup> étape : LES ventilateurs commencent à tourner, l'air traverse les pads, et se dirige vers les volets de sortie en face. Cette étape correspond au fonctionnement réel du système .

~~2.2.4 choix du régulateur.~~

~~kp = 0,09 ; To = 120 s ; Ta = 236 s ; z = 80 s ; To/Ta = 0,5  
d'après caractéristique du régulateur p. 2 :  $\frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s^6}$   
so = 120, 44, 120 C~~

~~Pour assurer la stabilité, on laisse une marge de sécurité de 10%  
so = 120, 44, 120 C ; kp = 10/Kmoy~~

### 2.3 Humidification de la serre .

#### 2.3.1 Rappels.

- Humidité relative : (ou degré hygrométrique) C'est le pourcentage de vapeur d'eau contenu dans l'air par rapport à la quantité contenue dans l'air saturé à la même température.

- Diagramme psychrométrique : Ce diagramme comportant température sèche ; température humide ; humidité relative ; enthalpie ; masse d'eau par Kg d'air sec ; et d'autres renseignements quelquefois, permet de représenter les caractéristiques



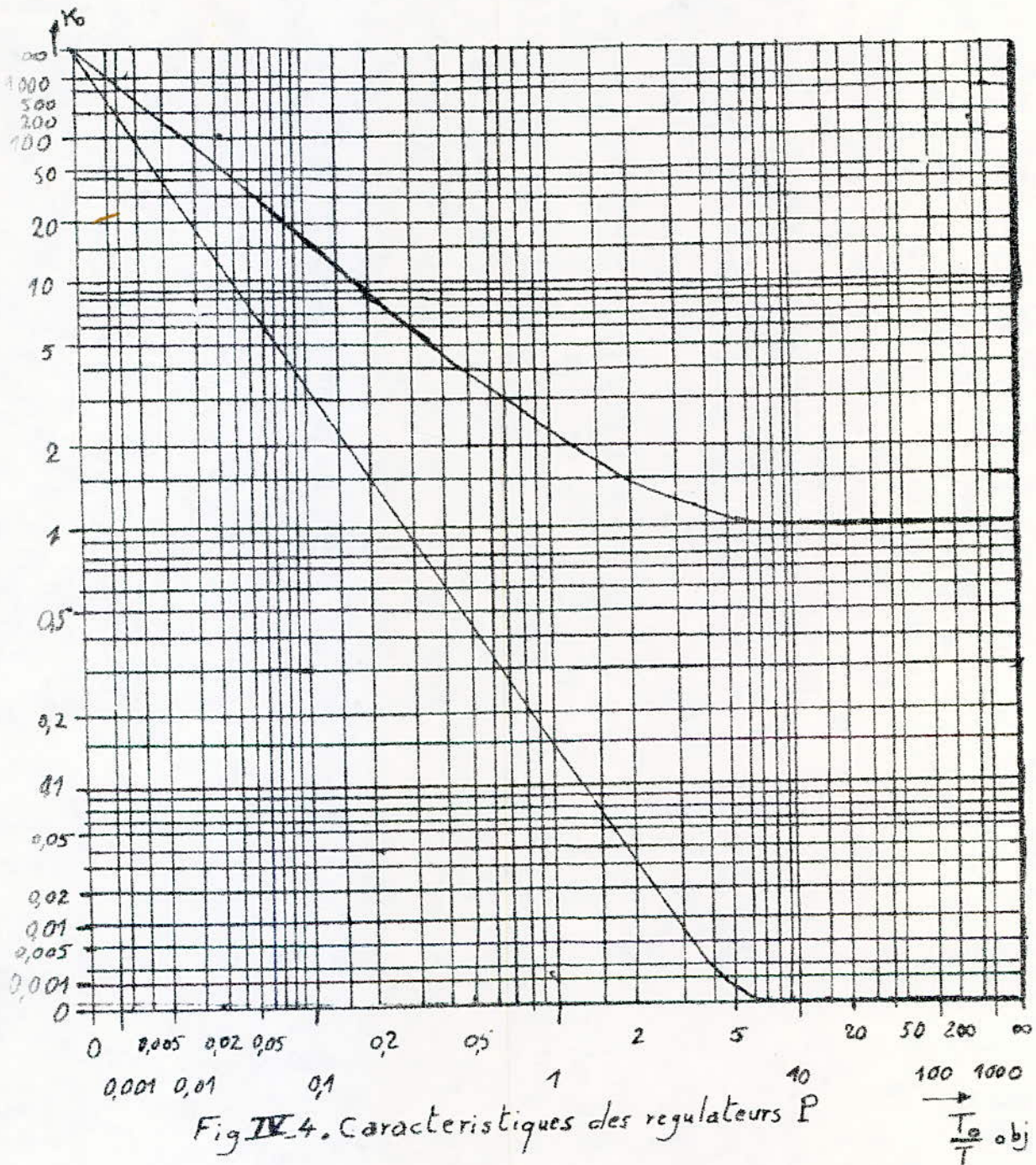


Fig IV 4. Caracteristiques des regulateurs P

$\frac{T_e \text{ obj}}{T}$



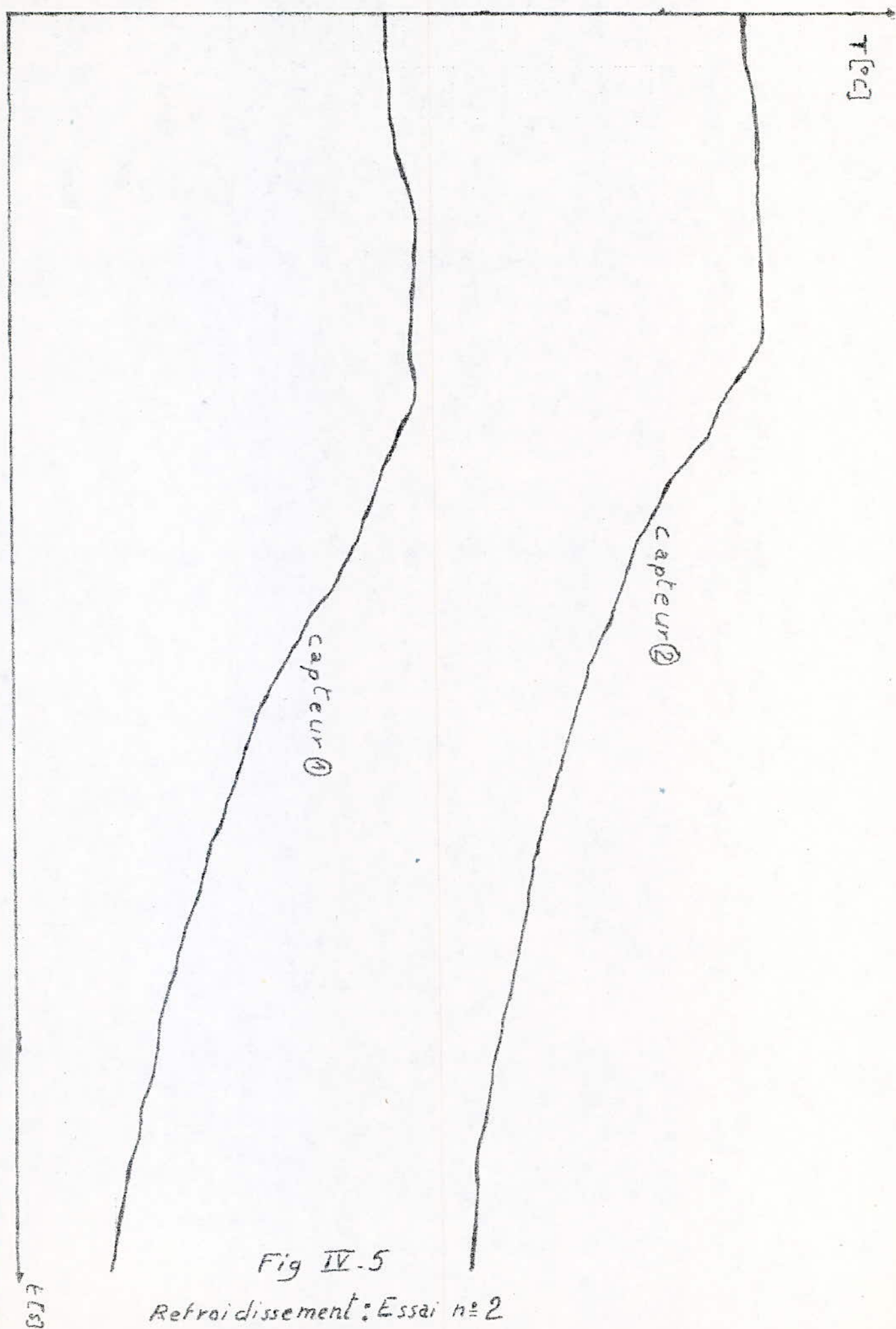


Fig IV-5

Refroidissement: Essai n° 2

$r[\text{cm}]$

capteur ①

capteur ②

Fig IV-6

Refroidissement: Essai n° 2



$k_{moy} = 0,31 \text{ C} \quad ; \quad T_o \text{ moy} = 14 \text{ S} \quad ; \quad T_i \text{ moy} = 39 \text{ S}$

$T_a \text{ moy} = 196 \text{ S} \quad ; \quad T_o/T_a = 0,07$

D'après la caractéristique du régulateur P (Fig IV 4) on a :

$5 \leq K_o \leq 20, k_o = k_{ob} \text{ moy} \cdot K_r \quad I_o \ll K_r \ll 66$

En laissant une marge de sécurité de 10% pour la stabilité on

aura  $K'o = 18 \Rightarrow K_r = K'o / K_{ob} \text{ moy} = 60$

d'où l'écart permanent :  $E_o = I / (1 + K'o) = 0,053$

l'écart admissible  $E_a = D\theta / \theta_{max} = 2/60 = 0,033 \Rightarrow E_o > E_a$

Donc le choix d'un régulateur P ne convient pas.

D'après la caractéristique du régulateur PI on a pour  $\omega$

$T_o/T_a = 0,07, K_o = 20$  ; on tire  $K_r = K_o / K_{ob} \text{ moy} = 20 / 0,31 = 64,5$

La condition de stabilité étant  $T_i/T_o = 2,8$  est vérifiée.

Donc on prendra un régulateur PI où l'écart permanent  $E_o = 0$

IV -22 Refroidissement de la serre.

2.2.1. 1<sup>er</sup> essai

capteur (1) au milieu de la serre.

capteur (2) au fond de la serre

Enregistrement : courbe (Fig IV 5)

vitesse 20 S/cm

sensib 0,04 mV/cm

ON applique la méthode de STREJC améliorée

$F(p) = K \cdot \exp(-p) / (1 + T_p p)^n$

Pour le capteur (1)

$T_o = 40 \text{ S}; T_a = 284 \text{ S}; \tau = 170 \text{ S}$

$D\theta = 8,6 \text{ C}; K = 0,066 \text{ C}/\%$

$T_o/T_a = 0,141; n = 2,32; T = 90 \text{ S}$

$F_1(p) = \frac{0,066 \cdot \exp(-170p)}{(1 + 90 p)^{2,5}}$

Pour le capteur (2)

$T_o = 14 \text{ S}; T_a = 182 \text{ S}; \tau = 210 \text{ S}$

$D\theta = 9,8 \text{ C}; K = 0,098 \text{ C}/\%$

$T_o/T_a = 0,077; n = 1,75; T = 75 \text{ S}$

$F_2(p) = \frac{0,098 \cdot \exp(-210p)}{(1 + 75 p)^{1,7}}$

2.2.2 : 2<sup>ème</sup> essai

capteur (1) au milieu de la serre

capteur (2) près de la porte

Enregistrement : courbe (Fig IV 6)

Vitesse : 20 S/cm

Sensibilité : 0,04 mV/cm

de l'air et l'évolution de ces caractéristiques en fonction des traitements qu'on lui fait subir on peut ainsi déterminer :

- le degré hygrométrique de l'air en fonction de la température sèche mesurée par un thermomètre ordinaire et de la température humide mesurée par un thermomètre dont le bulbe est entouré d'une gaze imbibée d'eau distillée et ventilé avec une vitesse d'air suffisante.
- Le point de rosée de l'air qui est la température à laquelle débute la condensation de la vapeur d'eau quand on refroidit à pression constante et sans variation de la masse d'eau qu'il contient.
- la quantité de chaleur totale à ôter ou à fournir à l'air au cours d'une transformation.
- la masse d'eau en gramme contenue par Kg ou m<sup>3</sup> d'air dans des conditions déterminées.
- les conditions résultantes en température et hygrométrie d'un mélange d'air de conditions différentes.

Dans notre cas, on utilisera le Diagramme psychométrique pour déterminer le degré hygrométrique en fonction de la température sèche et de la température humide.

2.3.2 : 1er essai : les deux thermomètres sont placés près des panneaux humidificateurs.

Enregistrement : Courbes (Fig. IV 7)  
 Vitesse 20s/cm  
 Sensibilité 0,04 mv/cm

A partir des deux courbes, et en utilisant le Diagramme psychométrique, on trouve les valeurs ci-dessous :

t [s]	20	100	200	240	280	300	320	340	380	420	460	520	560	600	700	760
θ <sub>s</sub> [°C]	22	22	22	21,5	21	20,7	20,5	20,2	20	19,7	19,5	19,2	19,1	19	19	19
θ <sub>h</sub> [°C]	18	18	18	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,5	17,5	17,5	17,5
H <sub>r</sub> [%]	69	69	69	70	74	75,5	77,5	79,5	81	83	85	87	87	87	87	87

Ce tableau nous permet de tracer la courbe Hr = f(t) (Fig V.8). A partir de cette courbe, en appliquant la méthode de STREJC améliorée, on trouve.

To = 30 s ; Ta = 230 s ; T=200s ; Dhr=18 % ; Kob=0,18 ; To/ Ta=0,13

le nomogramme donne n= 2,25 et T = 75 S

d'où la transmittance :  $F(p) = \frac{0,18 E^{-200p}}{(1 + 75p)^{2,25}}$

2.3.3 2ème essai : les deux thermomètres sont placés au milieu de la serre (près du tableau des capteurs).

Enregistrement ; courbes (Fig. IV 9)

de la même façon que pour le 1er essai, on obtient les valeurs ci-dessous



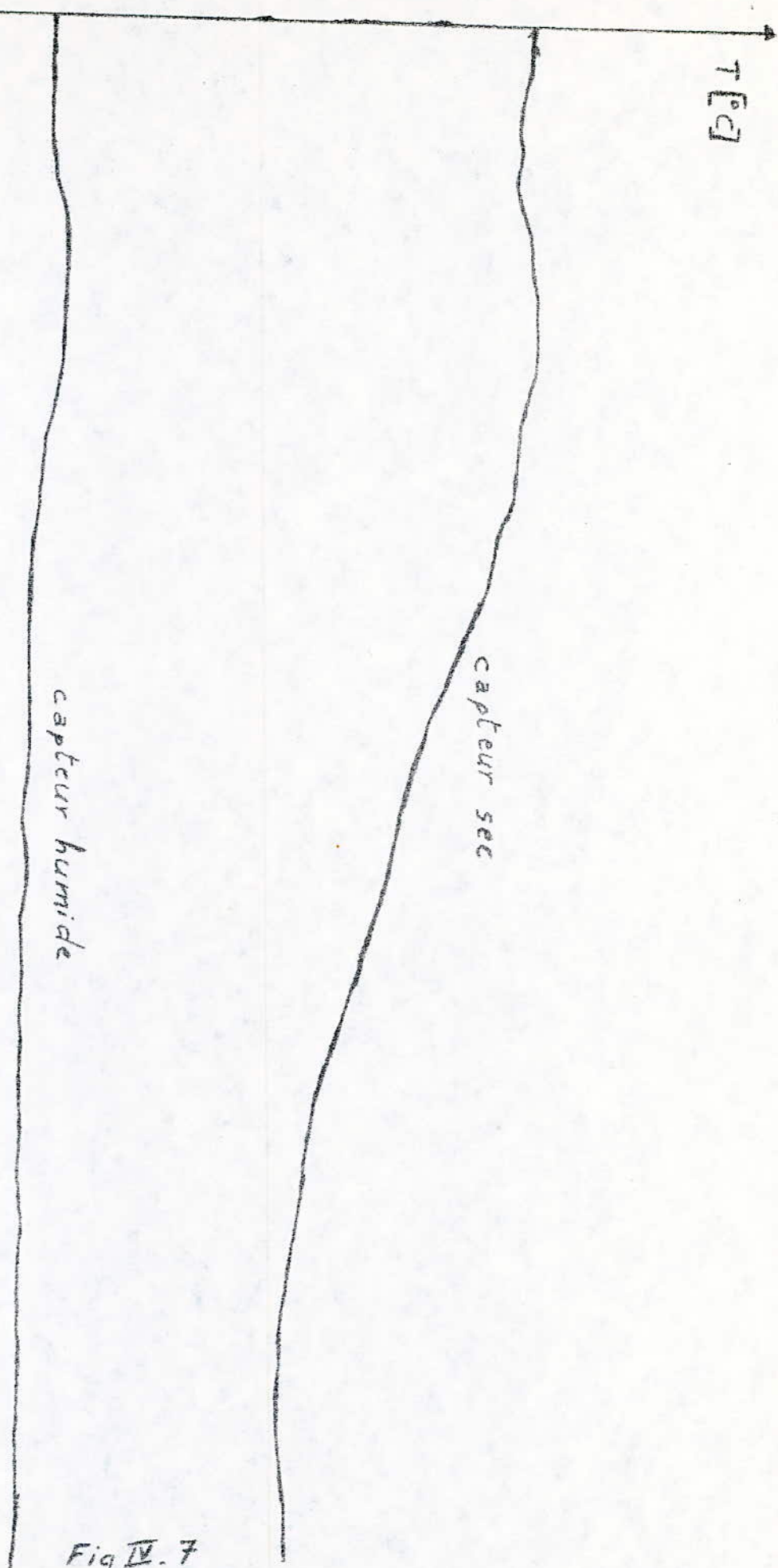


Fig IV. 7

Humidification: Essai n° 1

[57]

$H_r = f(t)$  Pour 1<sup>er</sup> essai d'humidification

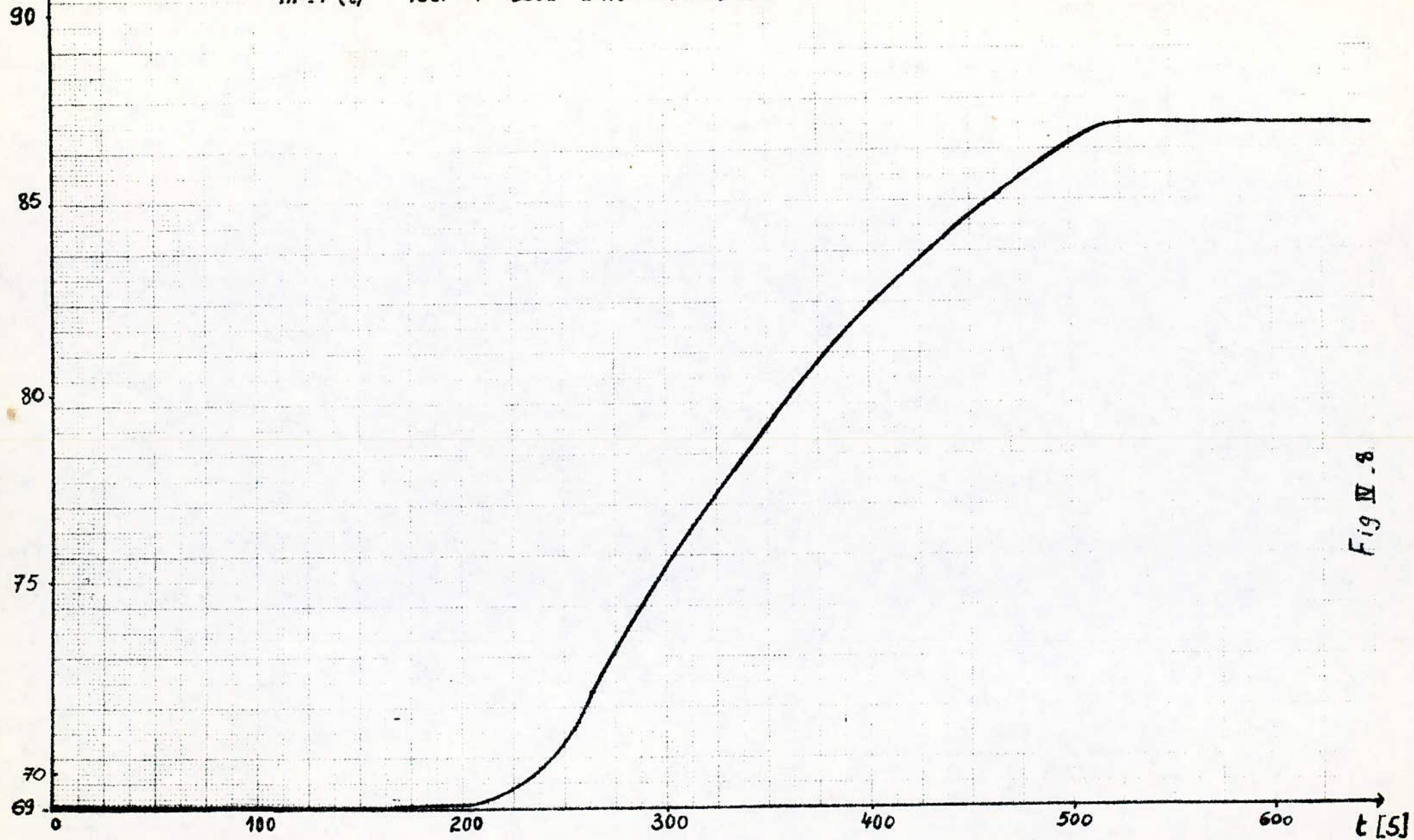


Fig IV.8



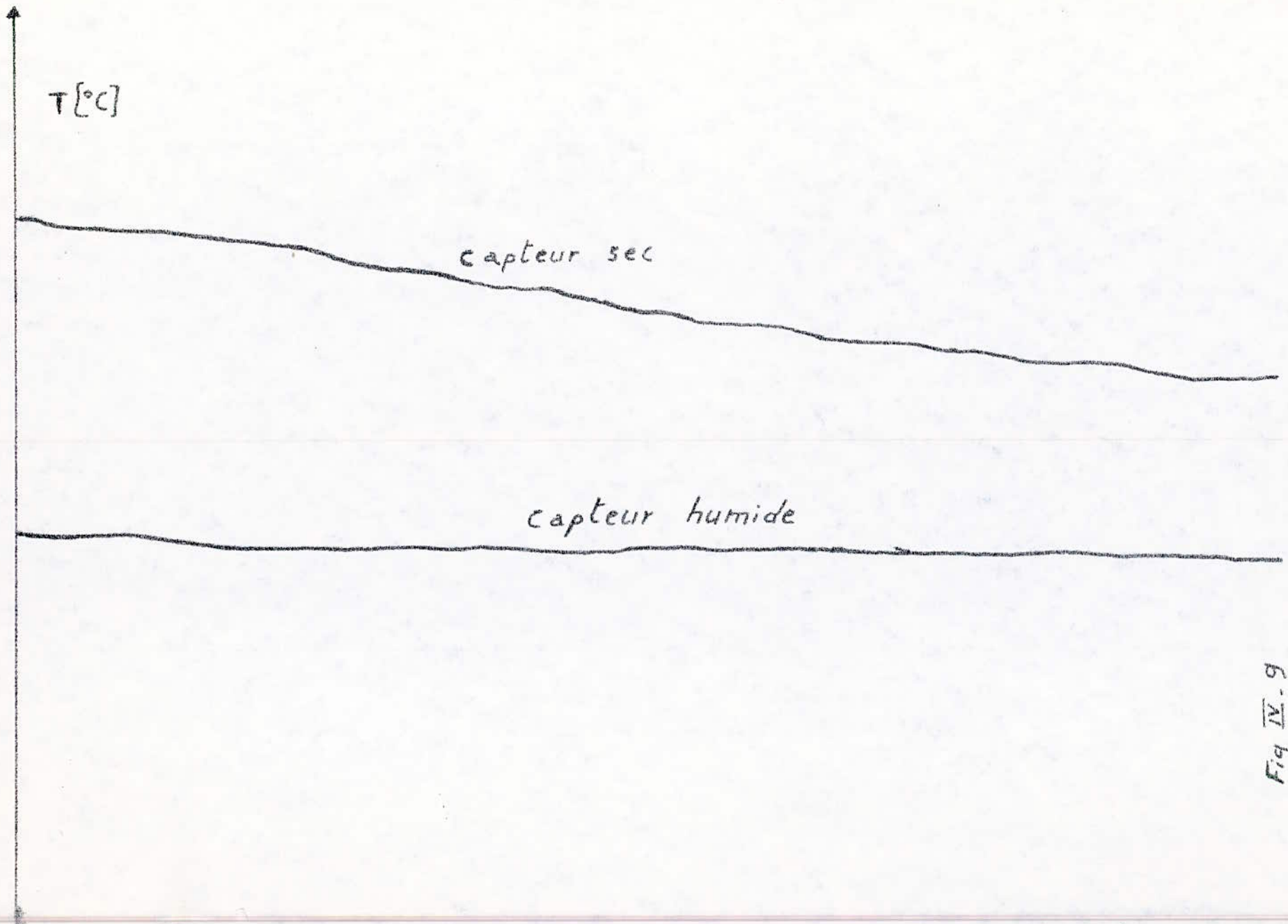


Fig IV-9

Humidification: Essai n° 2

$t [s]$

t [s]	10	20	30	90	130	170	190	220	240	340	360
$\theta_s$ [C]	21	21	21	205	20	197	195	192	193	192	192
$\theta_h$ [C]	18	18	179	177	175	175	175	175	175	175	175
H <sub>r</sub> [%]	76	76	775	775	79	81	83	85	85	85	85

On trace Hr. = f(t) (Fig. IV - 10)

On applique la méthode de STREJC améliorée, on trouve:

$T_0 = 74S$ ,  $T_a = 116S$ ;  $\tau = 30.S$ ;  $\Delta H_r = 9\%$ ;  $K_{ob} = 0,09$ ;  $T_0/T_a = 0,64$

$n = 8$ ;  $T = 18 S$

$$F(p) = \frac{0,09 e^{-30p}}{(1 + 18p)^8}$$

#### 2.3.4. choix du servo-moteurs.

On distingue différents types de S.M, électrique, hydraulique, pneumatique, ....etc. chaque type a des avantages et des inconvénients qui décident des conditions de son utilisation.

. Le choix du type de S.M/ dépend surtout des conditions d'exploitation.

- risques d'incendie ou d'explosion
- source d'alimentation déjà existante
- facilités de la commande.

- le choix du S.M électrique existant est justifié. Seulement, l'importance considérable du temps mort (pour le refroidissement) qui est dû comme nous l'avons déjà noté, au temps assez grand mis par le S.M pour ouvrir les volets de sortie d'air nous mène à envisager l'augmentation de la vitesse d'ouverture d'où le changement des caractéristiques du S.M.



$H_r = F(t)$  Pour 2<sup>ème</sup> essai d'humidification

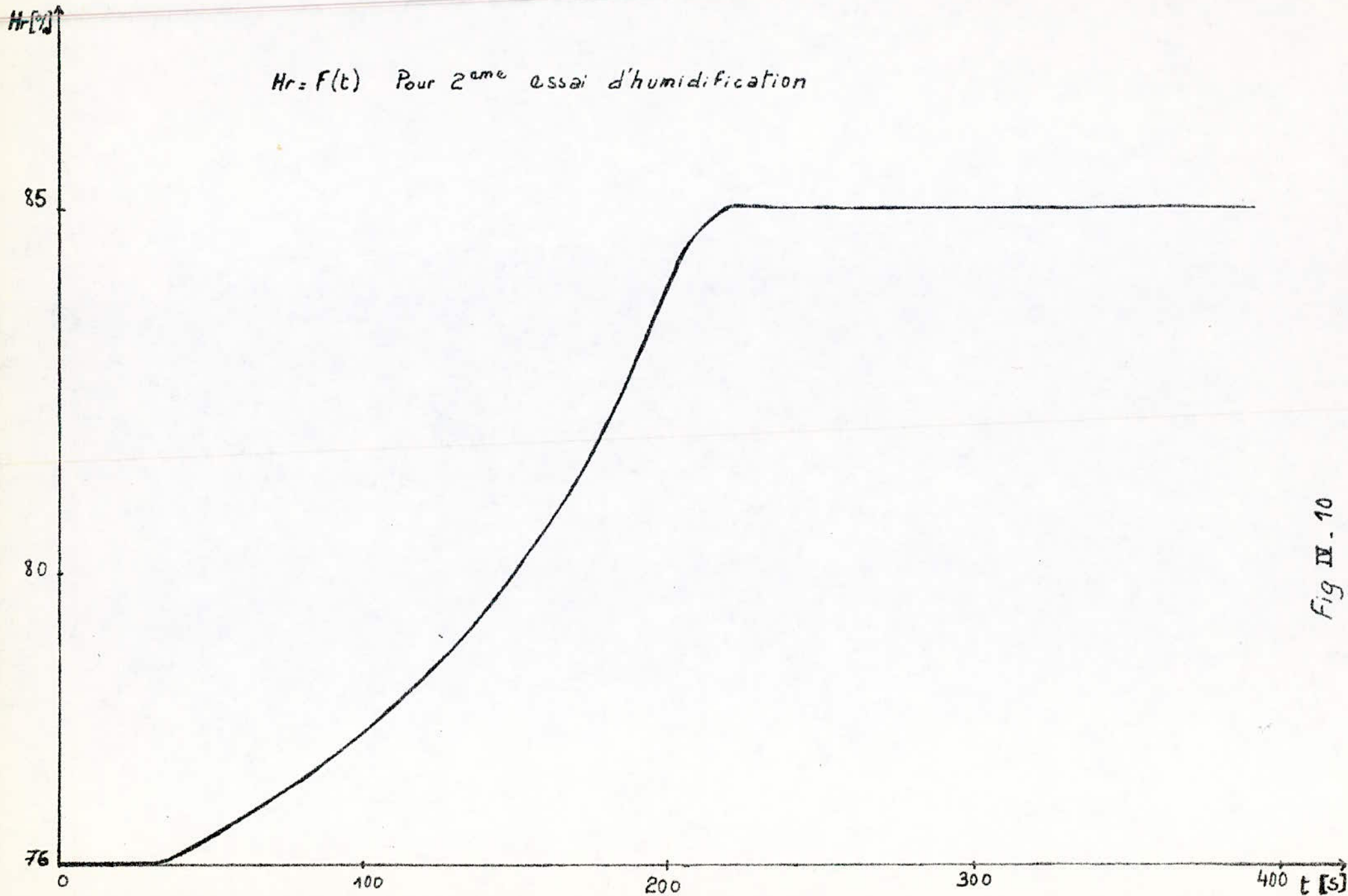


Fig IV - 10

CHAPITRE V : Système de régulation de température et et d'humidité.

Certaines transformations physiques ou chimiques, pour lesquelles un apport de chaleur est indispensable, demandent des températures plus ou moins précises. Le produit obtenu peut n'avoir que des qualités très médiocres ou même aucune valeur si la température requise n'a pas été atteinte, ou a été dépassée.

Par ailleurs, le rendement de certaines installations est fortement amélioré lorsque la température est réglée à une valeur convenable. Tel est le cas, par exemple du chauffage des serres.

Si l'hygrométrie dans l'air est un facteur ayant une grande influence sur le confort de l'être humain, pour les plantes, bien plus, les exigences en hygrométrie qui dépendent de l'espace considérée, ainsi que de la phase de son développement, sont d'ordre vital.

Ce fait explique l'existence de différents systèmes de régulation d'humidité dans les serres.

V.1 CAPTEURS DE TEMPERATURE :

1.1 Thermomètre à liquide , à réservoir et tube capillaire : son principe est connu. Il est peu sensible à partir d'une distance dépassant quelques décimètres. Il est employé pour de petites étuves jusqu'à des températures inférieures à -600°C.

1.2 Thermomètre à tube manométrique : le mercure est logé à l'intérieure d'un tube manométrique sous l'action de la différence de dilatation entre le mercure et son enveloppe, le tube se déforme et entraine une aiguille. Il est employé également pour les températures inférieure à 600° C.

1.3 Thermomètre à bilames : très simples et robustes, ils fonctionnent jusqu'à 550° C. Ils sont très employés.

1.4 Thermomètre à résistance. La résistance électrique d'un fil métallique varie avec la température. La mesure de sa résistance permet donc de déterminer la température.

Suivant la précision recherchée, la variation de résistance est détectée par :

- un montage potentiométrique (précision du 1/100 de degré)
- Un montage en pont de Wheatstone équilibré (précision du 1/100 de degré).



- Un montage en pont non équilibré : le galvanomètre est réglé pour ne pas dévier à la plus faible température, et est gradué directement en degré. L'utilisation est possible jusqu'à 700°C.

1.5 Thermomètres à semi-conducteurs : on peut remplacer la résistance du système précédent par une thermistance dont le coefficient de température est très élevé. On obtient une très grande sensibilité. La méthode est applicable jusqu'à des températures de 1200°C.

1.6. Couples thermoélectrique : (figure V I) On utilise l'effet seebeck responsable de l'apparition d'une force électro-motrice entre deux jonctions de métaux différents soumises à des écarts de température.

Les soudures froides peuvent être remplacées par des jonctions sur les bornes de l'appareil de mesure. La f.e.m. dépend de la nature des métaux, et on peut la trouver sur le graphe des caractéristiques de couples thermo-électriques.

Chaque couple possède une plage pour la température d'emploi.

La mesure de la f.e.m. s'effectue, suivant la précision recherchée par

- Un montage potentiométrique avec pile étalon, cette méthode essentiellement utilisée en laboratoire, permet d'apprécier le degré.
- Un montage potentiométrique non équilibré.
- Millivoltmètre : cette méthode est la plus employée pour les mesures industrielles.

1.7 Appareils sensibles au rayonnement :

principe : Un corps noir placé dans l'enceinte dont on veut déterminer la température, émet de l'énergie sous forme de rayonnement et son spectre est défini par la température.

On peut : - Comparer ce spectre, ou une partie du spectre, à un spectre émis par une source étalonnée, en obtient le pyromètre à disparition de filament.



- Concentrer ou diriger l'énergie rayonnée sur une résistance ou une thermistance incérées dans un pont de Wheatstone l'appareil constitue un bolometre ; sa sensibilité est remarquable puisqu'il permet de détecter des variations de température de  $10^{\circ}\text{C}$ .
- Diriger le rayonnement sur un tube photo-emissif., une photopile ou une cellule photo-conductrice.
- Diriger le rayonnement sur un couple thermo-électrique.

1.8 Pyromètre à dilatation : il met en jeu les phénomènes de dilatation des métaux. Un barreau métallique à l'intérieur d'un tube en silice se dilate et transmet son allongement à une aiguille indicatrice.

#### V 2 - CAPTEURS D'HUMIDITE :

2.1 Psychromètre : Il utilise deux thermomètres, l'un exposé à l'atmosphère sèche, l'autre ayant son réservoir constamment humidifié.

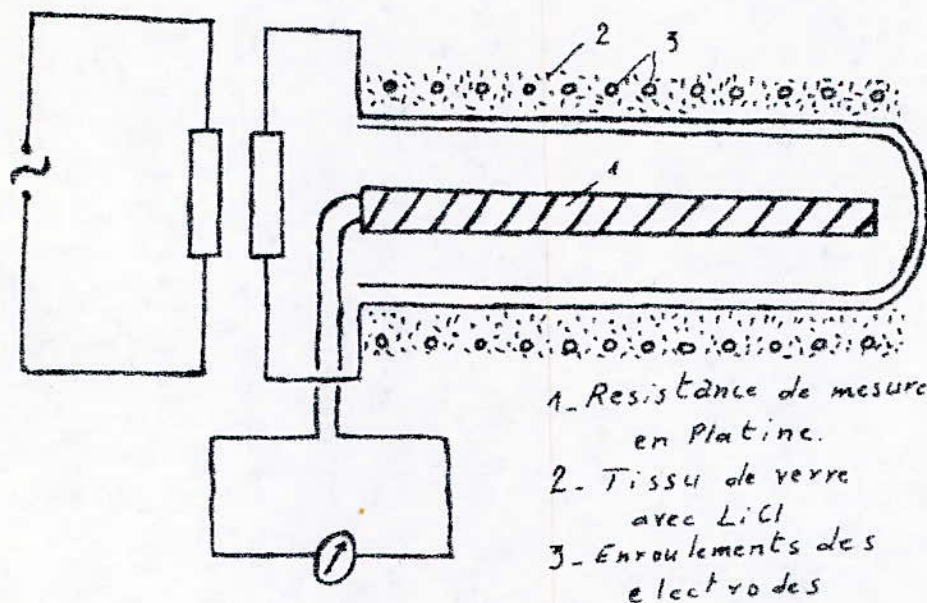
2.2 Tygromètres à chlorure de lithium : (Fig V 2)

principe : l'évaporation de l'eau contenue dans la solution de  $\text{LiCl}$  entraîne une forte décroissance de la conductivité entre les électrodes ainsi que le courant. La température baisse. Le chlorure de lithium hygroscopique peut reprendre de l'eau dans l'air, donc la conductivité recroît ainsi que le courant entre les électrodes. L'état d'équilibre dépend que de la tension de vapeur de l'air environnant, et est donc une mesure de l'humidité absolue. La variation de température est enregistrée par un thermomètre à résistance. L'inconvénient de cette méthode est le temps de mesure, excessivement long.

2.3 Hygromètre électroniques : ce type d'hygromètre basé sur la variation de la capacité d'un condensateur en fonction de la quantité d'eau absorbée.

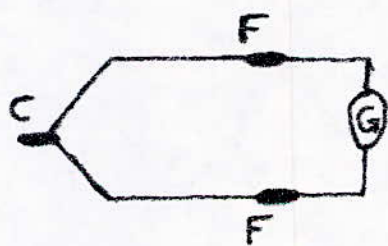
Exemple de l'hygromètre électronique "hygrocor" mis au point récemment par le L.E.T.I (Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique du C.E.A à Grenoble). Mesurant l'humidité relative de 5 à 98% de façon instantané avec une réponse de moins d'une seconde et une reproductibilité de 1%, l'hygrocor comporte une électrode en chrome, une électrode en tantale, et un diélectrique constitué par un polymère hygroscopique l'acetate de cellulose. Ce polymère, qui est l'élément





- 1 - Résistance de mesure en Platine.
- 2 - Tissu de verre avec LiCl
- 3 - Enroulements des électrodes

Fig V. 2. Hygromètre à Chlorure de Lithium



- C : Soudure chaude
- F : Soudure froide
- G : Appareil de mesure

Fig V. 1. Couple Thermo-électrique

de base de l'instrument a la propriété d'absorber une quantité d'eau en fonction du degré hygrométrique de l'air. La constante diélectrique étant élevée, cette propriété du polymere donne lieu à une variation de capacité proportionnelle à la quantité d'eau absorbée.

Le procédé possède divers avantages ; tout d'abord, il est pratiquement insensible à la température de 0 à 70°C, le capteur étant associé à un oscillateur et un circuit électronique approprié permet d'obtenir un signal à la sortie linéaire.

L'utilisation d'une électrode à couche épaisse (à la place des habituelles couches fines d'or) constitue un facteur de bonne tenue dans les milieux pollués notamment soufrés.

- .2.4 Hygrostats : ces hygrostats utilisent comme sensible, soit : des cheveux, des synthétiques, des fibres végétales (coton), des rubans de plastique(nylon). Ils sont à transmission mécanique.

#### V - 3 SYSTEMES DE REGULATION :

##### 3.1 Système de régulation quasi-continu par sommation d'impulsions :

Les régulateurs utilisés dans ce type de système ont des caractéristiques qui peuvent être assimilées à des modes de régulation continus, mais dont les signaux instantanés sont des series d'impulsions. Ce type de régulation a l'avantage d'être plus simple que les régulateurs continus et peut être appliqué aux processus difficiles à régler avec  $T/T$  grand.

Ce genre de régulateur peut recevoir le signal provenant de plusieurs sondes simultanément, ce qui est très intéressant car ceci permet de placer plusieurs sondes dans un même local et par là avoir une température à peu près constante.

Il utilise un sommateur d'impulsions tel le sommateur BELOS type 5.025 (fig.V.3). Ce sommateur qui est utilisé pour la température et pour l'humidité, se présente en deux versions :

- Sommation en serie
- Sommation en parallèle.

Il est appliqué pour la commande de la position des éléments de réglage (vannes, clapets) à l'aide de S.M pas à pas électropneumatiques ou électrique en fonction des signaux provenant du



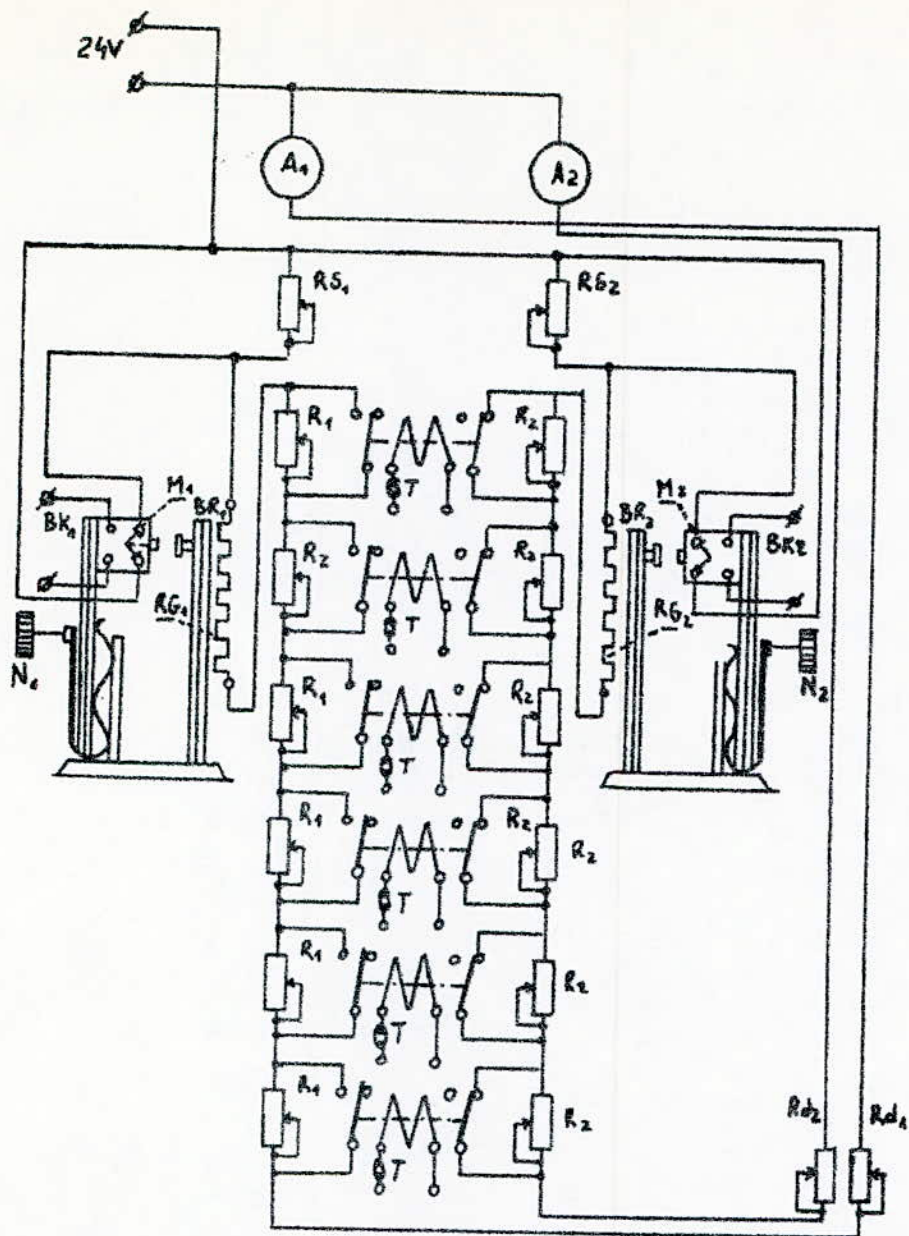


Fig V.3

régulateur à deux positions (thermomètre ou hygromètre à contact);

La fig.V 3 représente le schéma de principe et de fonctionnement dans le cas de sommation en service. Deux relais thermobimétabliques de sommation avec les micro-contacteurs M et M2 collaborent avec le système de résistances de sommation R R2 enclenchées ou déclenchées par les contacts des thermomètres ou hygromètres à contact, chacun des relaiisse compose d'un ensemble de bi-métaux de fonctionnement (BR), avec une résistance de chauffage (RG) et d'un bimetal de compensation (BK) avec un bouton de mise ou point sur lequel est fixé un micro-contacteurs M. En série avec l'ensemble des résistances R sont connectées les résistances bi-métalliques (RG), la résistance de contre-réaction (RS) et l'ampèremètre (A). Dans le cas où la moitié des thermomètres à contact signalent que la valeur de la température réelle est supérieure à la consigne, par les ampèremètres A1 et A2 passera pratiquement le même courant et le système sera ainsi en équilibre.

Dans le cas où la température réelle est supérieur à la valeur fixée sur le thermomètre à contact, le courant passant par les résistances de chauffage (RG I) augmente et le courant passant par (RG2) diminue, le bi-métal BRI s'incline vers le micro-contacteur BRI et change la position de ses contacts en envoyant le signal de commande vers le S.M pas à pas dans la direction correspondant à la diminution du débit du facteur de chauffage (air, eau). En même temps, dans le circuit de la résistance RgI sont enclenchées les résistances de contre-réaction RsI, et comme résultat, on aura la diminution du courant et après un certain temps, le bi-métal reprend la valeur initiale en provoquant le retour du contact du micro-contacteur vers l'état initial. Les impulsions sont créés jusqu'au moment où la température réelle sera égale à la consigne. Les signaux moyens de la commande exprimés par le coefficient d'impulsion

$\frac{T_z}{T_z + T_w}$  (où  $T_z$  est le temps d'enclenchement,  $T_w$  de déclenchement,  $T_z + T_w$  temps d'oscillation) dépendent de manière non-linéaire de l'écart de régulation (nombre de thermomètres à contact enclenchés). On peut observer l'augmentation progressive du signal en fonction de l'écart qui assure la stabilité de la



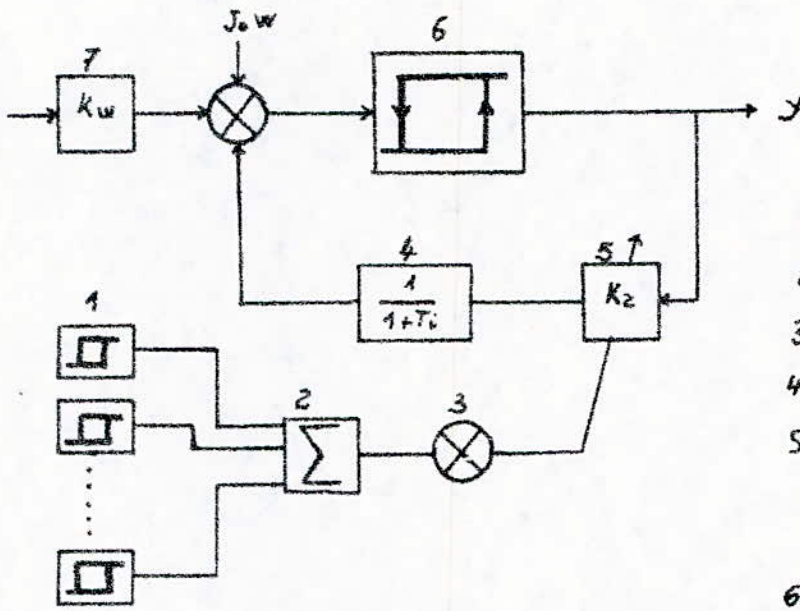
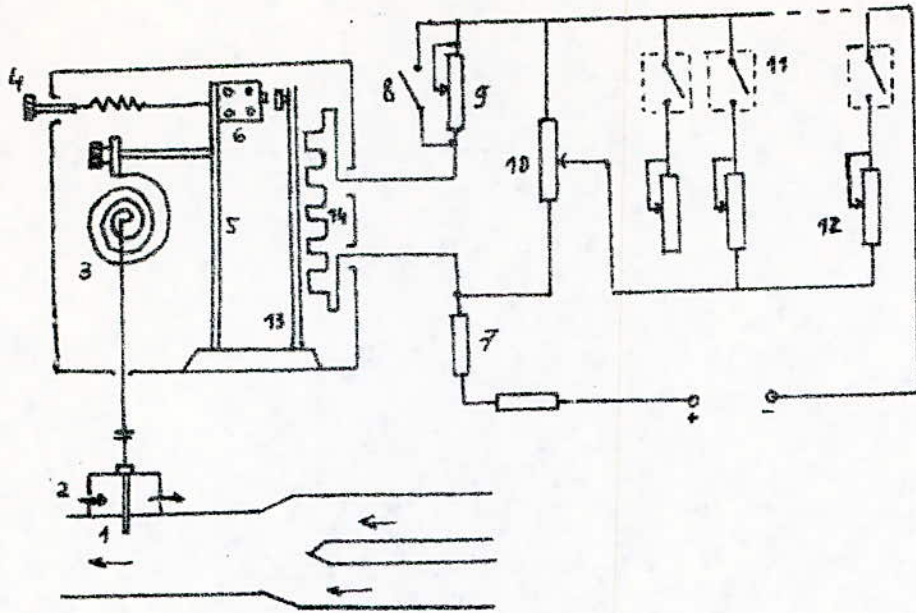
commande.

Dans le cas d'une diminution de la température au dessous de la valeur fixée, le courant passant par R<sub>G2</sub> augmente alors que celui passant par R<sub>G1</sub> diminue. En effet, le sommateur commence à commander le S.M pas à pas dans la direction d'ouverture du passage du liquide caloporteur.

Le fonctionnement des éléments du sommateur avec la sommation en parallèle est le même. Le sommateur en parallèle possède des caractéristiques meilleurs et n'exige pas la stabilisation de la tension, seulement il exige la stabilisation du courant.

3.2 Système utilisant un régulateur électrique auto-adaptatif :  
A partir de la (fig V.4), on voit que le relais contient le bi-métal de service (I3) avec la résistance de chauffage (I4), isolée du bi-métal par des lamelles de micanite. Une petite butée fixée à l'extrémité du bi-métal de service appuie sur le poussoir du micro-connecteur (6) au moment de l'écartement du bi-métal. Le bi-métal (5) repose sur un palier rotatif et solidaire du levier, à l'extrémité duquel est fixé le ressort de tension. La tension de ce ressort peut-être modifiée en agissant sur le bouton de la vis de tension (4), cette vis ainsi que l'écrou sont montés sur le bâti du régulateur, le levier du bi-métal de compensation est actionné, outre le ressort de tension par le poussoir à aiguilles à longueur variable. La deuxième extrémité du poussoir est logée dans le siège du segment, qui est solidaire de l'extrémité du ressort spiral (3), qui termine le capillaire du palpeur du thermomètre manométrique (I) :  
Une partie du palpeur de ce thermomètre est placé à l'intérieur du canal par lequel passe le mélange d'eau et la partie restante est placée à l'extérieur du canal dans le coffret (2) comportant une fente et une membrane réglable permettant de modifier l'influence des conditions extérieures sur le fonctionnement du régulateur.

Le circuit d'alimentation comporte deux varistances (7) connectées en parallèle et rendant la valeur du courant dans le circuit indépendante des variations de la tension d'alimentation



- 1: thermostat à contact interne
- 2: système de résistance d'inter.
- 3: Nœud de sommations
- 4: contre-réaction inertielle
- 5: élément de contre-réaction dont le coefficient d'amplification est variable
- 6: Micro-Commutateur
- 7: Élément pour adaptation de la mise au point du régulateur aux conditions extérieures.

Fig V-4 : Régulateur électrique auto-adaptatif à deux positions et schéma fonctionnel du système de régulation.



et de la résistance du circuit. Ce dernier comporte deux dérivations parallèles ; la résistance de chauffe (I4) et la résistance auxiliaire (9) qui sert à compenser l'hystérésis mécanique du micro-commutateur (6) court-circuitée par les contacts (8) du relais du régulateur, sont connectées dans la première dérivation ; alors que dans la deuxième dérivation, sont connectées, la résistance de réglage (I0) et une série de résistances (I2) montées en parallèle avec cette dernière ; les résistances (I2) sont insérées dans le circuit par les contacts des relais (II) des thermomètres à contact placés en différents lieux de l'enceinte. La valeur totale du courant dans le circuit est pratiquement constante, alors que la répartition dépend de la résistance (I0) et du nombre de résistances (I2) mises en court-circuit par les contacts des thermomètres. La commutation des contacts du micro-commutateur (6) et l'ouverture des contacts (8) du relais du régulateur se font dans un temps déterminé et pour une valeur donnée du courant de l'élément de chauffe du régulateur. Ceci entraîne la variation du courant passant par la résistance (I4) dont la valeur dépend de celle de la résistance (9). Après un certain temps, qui dépend de la valeur de la résistance (9), les contacts du micro-commutateur (6) sont de nouveaux commutés. Ce circuit constitue un couplage inerte par réaction qui corrige les propriétés dynamiques du régulateur, si celui-ci travaille dans des installations à paramètres dynamiques à variations lentes et à perturbations à variations lentes.

Si la température augmente plus que la consigne, le bi-métal de service s'écarte et se trouvera à la limite de la mise au travail. Le circuit de chauffage s'enclenchera de nouveau quand la température dans un lieu ou deux où sont placés les thermomètres à contact descend au dessous de la consigne.

Dans ce circuit le régulateur suit les variations signalées par les thermomètres à contact, par conséquent les périodes des oscillations sont plus longues, l'usure de l'appareillage de commande plus réduit, mais les écarts instantanés de température par rapport aux valeurs moyennes sont plus grands.

### 3.3 SYSTEME DE REGULATION A 3 POSITIONS.

Cette régulation est adoptée surtout pour la température et l'humidité des locaux et des dispositifs industriels par sa large limite d'utilisation et ces bons indices techniques.



On peut utiliser des régulateurs tels que RE1, RE2, qui collaborent les thermomètres Pt 100 et fonctionnent de  $-100^{\circ}\text{C}$  à  $+650^{\circ}\text{C}$ , ou RE 4 qui collaborent avec les thermo-couples et fonctionnent entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $1600^{\circ}\text{C}$ . Pour un thermo-couple comme capteur (I) (fig.V 5). Le régulateur utilise la partie A, qui comporte un système de compensation de température (3). La mise au point de la valeur demandée est réalisée par l'élément (4) qui est relié au sommateur (5). Si c'est un thermomètre Pt 100 qui est utilisé comme capteur (2), la partie B sera incorporée au régulateur. Elle comporte un élément de mise au point relié au sommateur. La tension de sortie VI de A ou de B passe par l'amplificateur intégré de la tension constante (6) pour attaquer l'amplificateur bistable (7) qui actionne le relais (8) d'où la commande par exemple d'un servo-moteur dans le sens de diminution de la température ou d'humidité. De même la tension de sortie V<sup>o</sup> passe par l'amplificateur (I3) et agit sur l'amplificateur bistable (I4) qui alimente la bobine du relais (I5) qui actionne le S.M dans le sens de l'augmentation de la température ou d'humidité. En jouant sur les paramètres réglables de la contre-réaction (I0), on peut obtenir des propriétés dynamiques P.I ou P.I.D. Deux lampes signalisation (9) sont reliées aux relais pour indiquer lequel des deux qu'est en marche. Un amplificateur intégré (II) connecté à l'entrée de l'amplificateur (I3), nous indique l'indice d'écart (I2) du régulateur.



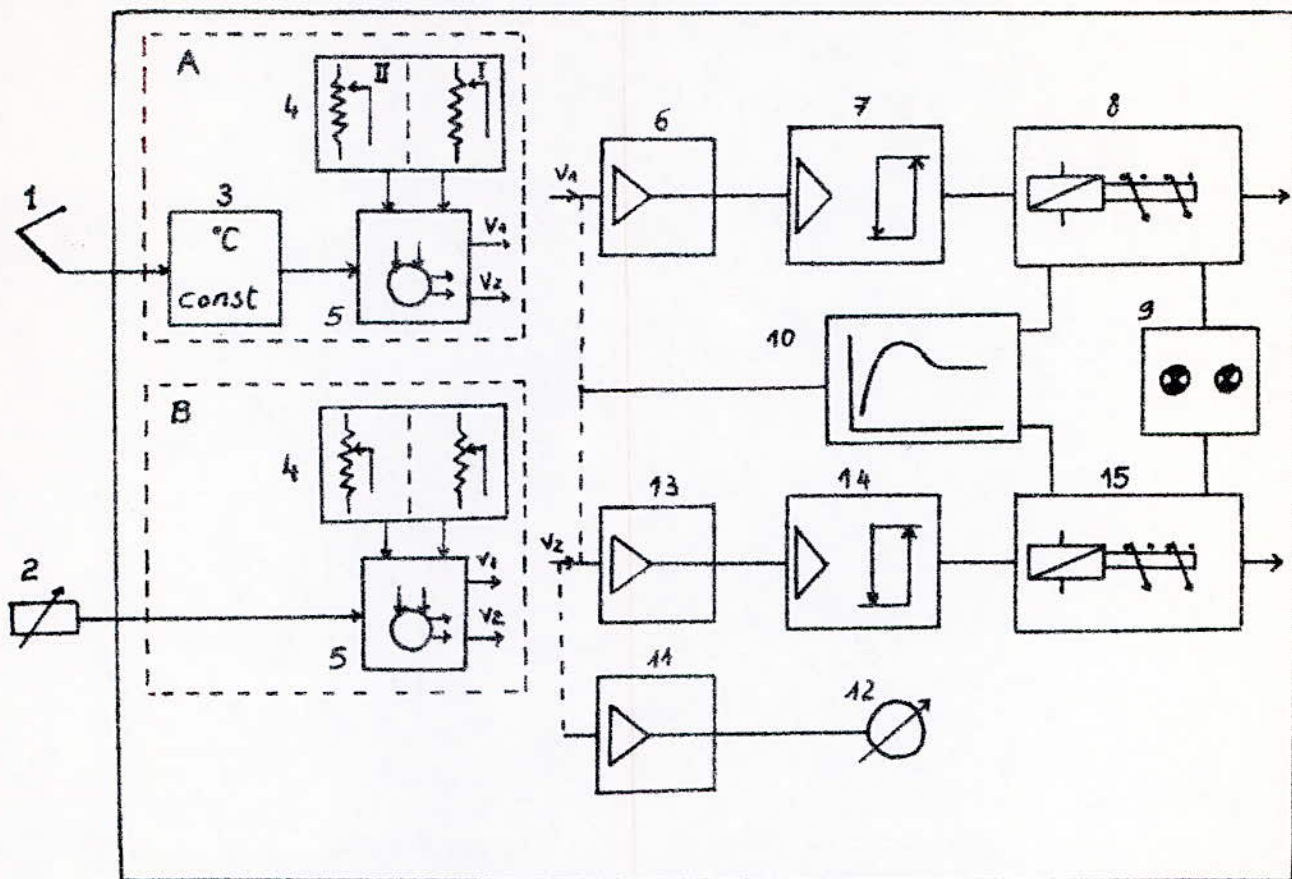


Fig V-5

#### V 4 SYSTEMES TECHNOLOGIQUES POUR LA REGULATION:

##### 4-I Systemes de regulation avec centrale de climatisation:

Une centrale de climatisation est generalement constituee de: (Fig V 6 )

Chambre de melange: Dans laquelle l'air chaud et l'air froid (air recyclé et air chaud) sont melanges dans les proportions desirées grace aux clapets.

Filtre à poussiere: A travers lequel passe le melange d'air pour être épurée.

Rechauffeur primaire: Il rapproche l'air de son point de rosée lors de son humidification et son refroidissement.

Laveur (humidificateur d'air): Il ajuste le degre hygrometrique de l'air à la valeur de consigne apres son humidification par le systeme cooling. Cette humidification se fait par aspersion (nébulisation) d'eau ou par injection de vapeur.

Refroidisseur: Il sert au refroidissement de l'air et son asséchement. Pour assécher l'air il suffit de le refroidir jusqu'à la temperature correspondant à la teneur en eau pour l'air saturé.

Rechauffeur secondaire: Quand le rechauffeur primaire ne suffit pas pour amener la temperature de l'air à la valeur voulue, on utilise le rechauffeur secondaire.

Ventilateur: Il envoie l'air traité dans la centrale de climatisation vers l'interieur de la serre.

La centrale de climatisation est generalement située à l'exterieur de la serre.

REGULATION/Ce systeme comporte quatre circuits de commande pour la temperature:

I\_Circuit de commande de la temperature de l'air apres le rechauffeur primaire, dans ce circuit, on prévoit un capteur de temperature pour les canaux, celui-ci est relié à un régulateur electronique qui commande à son tour par l'intermediaire d'un impulsateur transistorisé, un servo-moteur pas à pas. Souvent il faut réaliser une fonction sequentielle pour deux servo-moteurs car il faut d'abord changer la position des clapets d'air recyclé et d'air frais par l'intermediaire d'un servo-moteur (S3), ensuite ouvrir les



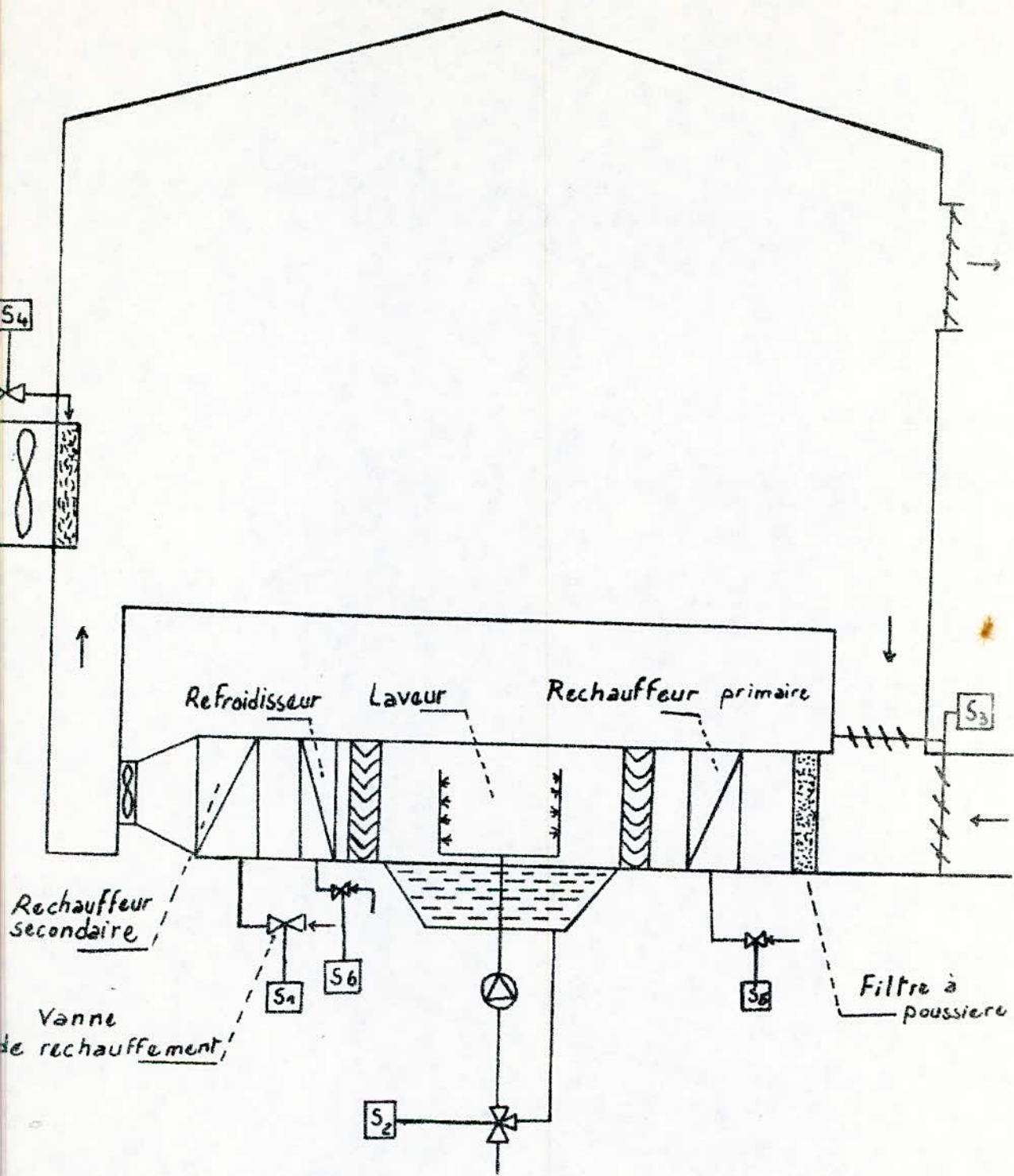


Fig V.6 Centrale de climatisation

vannes de contrôle avant le rechauffeur primaire. Pour cela les deux servomoteurs (S3) et (S5) électriques ou électropneumatiques doivent être reliés en série et les impulsions de commande passent par les commutateurs de fin de course du servomoteur (S3) avant d'arriver au servomoteur (S5).

2\_Circuit de commande de la température de rosée: Parfois 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, l'humidité peut être stabilisée par la commande de température.

3\_Circuit de commande de la température à la sortie de la centrale de climatisation: Ce circuit travaille souvent avec le circuit de commande de la température de rosée. Dans ce cas on utilise un rechauffeur et un refroidisseur à la sortie de la centrale de climatisation. Et là aussi il faut prévoir le fonctionnement en séquences de deux servomoteurs (S1) et (S6) commandant la vanne de contrôle du rechauffeur et celle du refroidisseur. Ce circuit utilise un capteur de température, un régulateur électronique et un impulsateur transistorisé commandant le servomoteur relié à la vanne de contrôle.

4\_Circuit de commande de correction avec la sommation des impulsions: L'expérience a montré que même avec une régulation très précise de l'air à la sortie de la chambre de climatisation, on n'arrive pas à assurer les paramètres demandés dans la serre. Pour remédier à cela, on applique très souvent les circuits de correction dans lesquels les impulsions de commande peuvent changer directement la position de l'élément de contrôle individuel ainsi que donner des informations au système de commande. On applique dans ce circuit un régulateur à deux positions et des éléments exécutifs comme les contacteurs, relais et vannes électromagnétiques. On forme des signaux provenant des thermostats à deux positions qui commandent des servomoteurs pas à pas ou



quasi-continus, par l'intermédiaire d'un régulateur avec sommation d'impulsions, les servomoteurs, vannes de contrôle du rechauffeur secondaire ou du refroidisseur. Grâce à l'impulsateur transistorisé, on peut changer la vitesse du servomoteur dans des bandes assez larges. L'utilisation de servomoteur électrique ou électropneumatique et l'impulsateur transistorisé donne la possibilité de mieux accorder les propriétés dynamiques du système de commande avec les propriétés du processus.

Ce système comporte deux circuits de commande pour l'humidité:

1\_Circuit de commande de l'humidité de l'air à la sortie de la centrale de climatisation: Ce circuit, qui n'est nécessaire que lorsqu'on n'utilise pas la commande d'humidité par stabilisation de la température du point de rosée, comporte un capteur d'humidité (humidistance) qui envoie l'information à un régulateur, lequel la transmet à un servomoteur qui commande la vanne de contrôle conduisant la vapeur pour l'humidification de l'air.

2\_Circuit de commande de correction d'humidité: Dans ce système, on applique des régulateurs d'humidité à deux positions pour régler directement l'humidité. Dans ce cas un impulsateur de commande règle de manière quasi-continue le servomoteur pas à pas de la centrale de climatisation.

4- 2 Système de régulation de la température par mélange d'eau chaude et d'eau froide:

Ce système schématisé sur la FigV-7 est constitué, d'une chaudière pour l'alimentation en eau chaude, une batterie d'eau glacée, un servomoteur électrique ou électropneumatique, un régulateur électronique, et un nombre de capteurs de température selon la surface de la serre.

Fonctionnement: L'organe de détection de température est une sonde à thermistance provoquant par l'intermédiaire d'un régulateur électronique, la rotation d'un micro-moteur réducteur dont la variation angulaire par rapport à un réglage donné est proportionnelle à la variation de la température (à l'exception de la partie de la sonde).

Le point de réglage est donné par le réglage de la sonde.

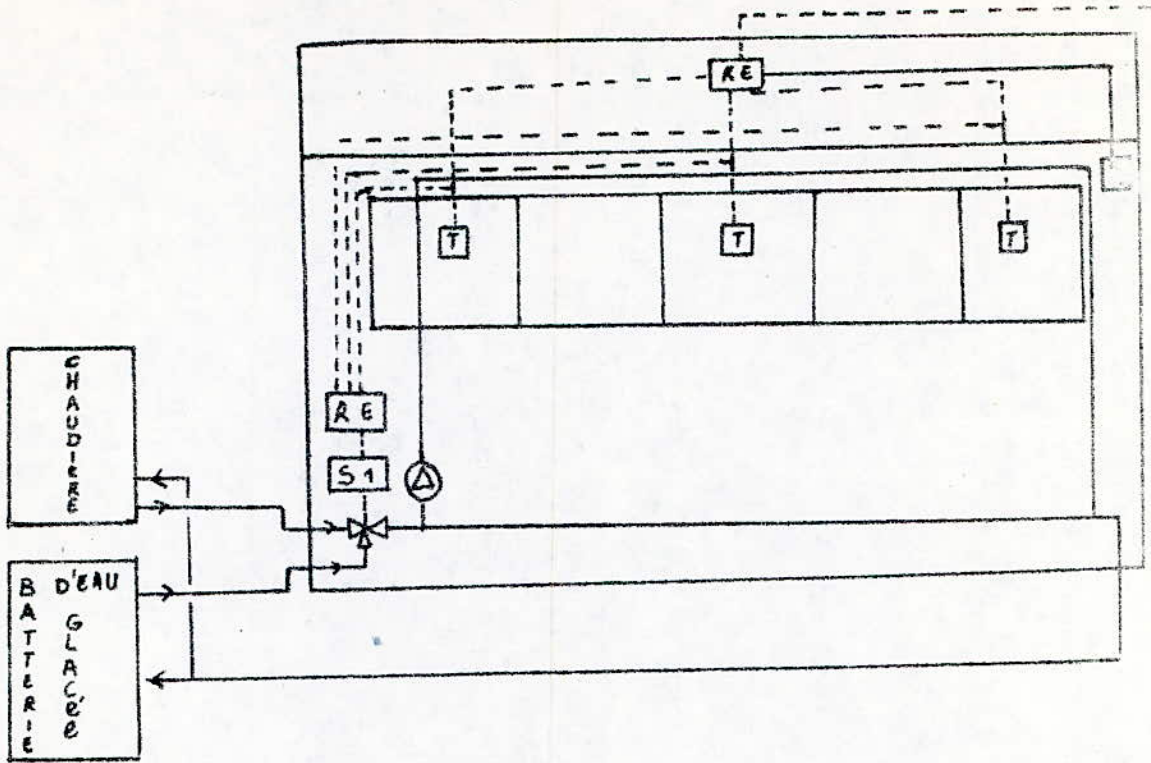


Fig V.7 Schéma technologique du Système de régulation par mélange d'eau chaude et eau froide



variation de température contrôlée (température ambiante de la serre).

Le principe de cette régulation est basé sur le pont de Wheatstone, deux branches du pont étant dans la sonde, les deux autres dans l'organe terminal.

Généralement, dans ce type de régulation, on élimine l'écart permanent entre la température de consigne et celle obtenue par l'utilisation de régulateurs P-I.

Un avantage de ce système de régulation est qu'il permet un fonctionnement combiné chauffage-ventilation-refroidissement qui autorise pour les serres un maximum d'économie d'exploitation. Le chauffage est progressif par vanne à trois voies, il y a alors un renouvellement d'air minimum. Après la fermeture de la vanne de chauffage, un volet motorisé sur l'air neuf s'ouvre progressivement ce qui évite l'utilisation du circuit frigorifique. Puis la température de l'air extérieur augmentant, le volet d'air neuf revient à la position minimum et simultanément le froid est mis en fonctionnement par vanne à trois voies motorisée sur une batterie d'eau glacée. A cause de cela les deux servomoteurs (S1) et (S2) doivent être reliés en série et les impulsions de commande passent par les commutateurs de fin de course du servomoteur (S2) avant d'arriver au servomoteur (S1).

#### V\_5. CHOIX OPTIMAL:

Après avoir exposé différents systèmes de régulation pouvant être utilisés pour les serres, nous devons faire un choix, pour cela on a plusieurs critères:

1. Dans le cas d'une grande serre, où on peut trouver un point représentatif, on placera tout simplement en ce point, un capteur, celui-ci envoie le signal de commande à un régulateur électronique, qui donne des impulsions au servomoteur. Mais si la serre est divisée en compartiments et ceux-ci sont dans des conditions différentes, ce qui est le cas général, le mieux serait d'appliquer un système avec la sommation d'impulsions afin de tenir compte de la valeur moyenne. Et dans le cas où la différence entre compartiments, en ce qui concerne les perturbations intérieures et extérieures, est importante, il faudra des éléments exécutifs supplémentaires pour corriger les différences des paramètres entre les compartiments.

2. Selon la grandeur et les puissances du système technologiques, on choisira le système de régulation à deux positions au niveau des organes de réglage s'ils sont de petites dimensions, ou bien le système de régulation à trois positions continu ou quasi-continu pour



organes de grandes dimensions.

3. Bien sûr on ne peut parler de bon choix si on ne tient pas compte du coût d'investissement, d'exploitation et d'entretien.
4. La fiabilité, durée de vie, facilité d'exploitation, et les exigences du processus sont des facteurs qui décident souvent plus qu'aucun autre critère, du choix de la régulation.
5. Enfin, un facteur non moins important que ceux déjà cités, et parfois même il est décisif, c'est la source d'énergie disponible sur le lieu d'exploitation.

En réalité, le manque de main d'oeuvre spécialisée, l'absence de source d'énergie électrique, ne laissent souvent pas le choix. Bien sûr, lorsqu'on dispose d'énergie électrique, il est recommandable d'utiliser des moteurs électriques. Mais dans les champs, souvent ce n'est pas le cas, aussi on recommande les systèmes électro-hydrauliques où l'eau sous pression est la source d'énergie, ce système s'adapte à la régulation à deux ou à trois positions. Et puis dans l'agriculture on dispose souvent d'eau sous pression, et une petite pompe suffit pour donner les impulsions.

On ne peut terminer cette conclusion sans dire un mot sur le sud où l'utilisation des serres verrières est plus intéressante encore. On recommande l'utilisation du système du mélange d'eau, car pour le mélange d'air, on ne peut faire diminuer la température que de 15 à 20°C ce qui est insuffisant pour satisfaire les exigences du processus.

Mais on profitera, du soleil en utilisant celui-ci pour le chauffage de l'eau, et aussi pour le refroidissement de l'eau de la batterie d'eau glacée par absorption. Remarquons que le rendement est plus faible seulement l'utilisation de l'énergie solaire compense largement cet inconvénient.



et vu que notre but est le développement rapide de l'utilisation des serres dans les conditions désertiques et non la récupération de l'énergie (du moins pour le moment), le nouveau système proposé (bandes plastiques) est le plus intéressant par sa simplicité et le coût assez-bas des éléments utilisés.

~~1. (1/18/1977)~~

CHAPITRE VI - SYSTEMES DE REGULATION D'OPACITE :

Les serres utilisées jusqu'à présent sont généralement de deux types : enveloppes en matière synthétique, et serres verrières. Ces dernières comportent souvent des moyens internes de chauffage et d'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 l'enceinte, en effet leur rôle se limite à la protection contre le froid, de préférence vis à vis des premières gelées et lors de l'exposition aux rayonnements solaires, les dites enveloppes sont découvertes puis installées à nouveau en fonction de la baisse d'exposition. Il s'agit là de moyens assez peu élaborés, prenant du temps nécessitent 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 de l'hygrométrie relative à l'intérieur de l'enceinte, ainsi un système de thermostat régule la température pendant les heures d'éclairement et d'exposition du soleil ayant pour effet de baisser la consommation d'énergie pendant les dites heures.

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

Pour remédier à ce problème on a utilisé divers moyens tel que des bâches de couverture, des volets tant internes qu'externes, mais ces moyens, outre qu'ils ne permettent pas de récupérer l'énergie solaire, ne procurent pas, plus, un réglage précis et satisfaisant de l'opacité à l'intérieur de l'enceinte. On est arrivés ainsi à concevoir plusieurs systèmes de régulation de l'opacité dont nous exposerons trois systèmes :

- Procédé de régulation avec fluide caloporteur et un agent opacifiant entre deux parois transparentes.
- Procédé de régulation avec capteurs solaires cylindro-paraboliques.
- Procédé de régulation avec bande en plastique de différents degrés de transparences.



Mais avant de passer à la description, nous allons présenter les différents capteurs utilisés dans la régulation de l'opacité.

VI - 1 CAPTEURS : Il existe un certain nombre de dispositifs dont les caractéristiques électriques varient en fonction de la lumière incidente, et qui sont de ce fait utilisables comme capteurs photo-électriques. Nous distinguons les cellules photoémisives relevant de la technique des tubes à vide des dispositifs à l'état solide; photoconducteurs, photovoltaïques et autres ...

1.1) TUBES PHOTOEMISSIFS :

Une cellule photoémisive comprend (fig.VI.1), une ampoule de verre évacuée contenant une grande plaque métallique, généralement incurvée, qui constitue la cathode, et une tige droite placée devant la cathode et jouant le rôle d'anode. Par une source adéquate, l'anode est rendue positive par rapport à la cathode. La lumière tombant sur la cathode libère des électrons qui sont attirés par l'anode. Le courant ainsi obtenu traverse une résistance  $R$ , et la chute de tension aux bornes de  $R$ , fonction de l'éclairement de la cathode, est appliquée à l'entrée de l'amplificateur.

1.2) DISPOSITIFS A L'ETAT SOLIDE :

On peut distinguer trois catégories de dispositifs semi-conducteurs : Photo-électriques, les cellules photo-voltaïques, les résistances, photoconductrices et les éléments photosensibles à jonction.

1.2.1) Les cellules à couches d'arrêt ou photo-voltaïque (FIG.VI.2), sont le siège d'une F.E.M lorsqu'elles sont exposées à la lumière, et cette F.E.M augmente avec le niveau d'éclairement. C'est le principe utilisé depuis bien longtemps pour le posémètre employé en photo-graphie qui utilise une cellule photo-voltaïque au selenium. Le rendement de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique est faible pour les cellules au selenium environ 1 à 2 % seulement.

Plus récemment on a obtenu des rendements de 10 % et d'avantage avec les "batteries" solaire (FIG.VI.3) pour l'alimentation de satellites artificiels. Une telle cellule se compose d'un disque de silicium type n sur la face exposée duquel on forme une couche P par diffusion de bore.

La lumière traverse cette couche très mince (environ 2,5  $\mu$ m) et la jonction est le siège d'une différence de potentiel qui atteint 0,5 V en plein soleil. Ces cellules sont relativement coûteuses.



1.2.2 - Les résistances photoconductrices (FIG.VI 4) sont constituées par un matériau semi-conducteur déposé sur un support isolant entre deux électrodes imbriquées en peigne, le tout est ensuite enrobé dans une matière plastique transparente ou placé dans une ampoule de verre vidée ou remplie d'un gaz inerte. Cette cellule constitue une résistance dont la valeur peut-être dans l'obscurité très élevée (1 à 1.000 M $\Omega$ ) l'illumination réduit cette résistance à 1/1.000, et même au 1/10.000 de sa valeur dans l'obscurité. Une variation aussi forte facilite évidemment la réalisation de commande photo-électrique. Comme matériau photo-conducteur le sélénium est connu depuis plus d'un siècle. Aujourd'hui on utilise surtout le sulfure et le seleniure de cadmium sensible à la lumière visible avec un maximum dans le rouge, et le sulfure de plomb sensible à l'infrarouge. Ces photoresistances sont fabriquées avec des surfaces actives allant d'une fraction de MM<sup>2</sup> à plusieurs CM<sup>2</sup>. La tension appliquée peut atteindre 30 à 500 V. La dissipation est évidemment en rapport avec la surface active et va de 0,05 à 2 W. Dans ces conditions la puissance commandée peut atteindre 20 W ce qui est amplement suffisant pour actionner directement un relais. La sensibilité à la lumière de ces cellules augmente d'abord fortement aux faibles éclaircissements (inférieurs à 0,1 LUX) puis plus lentement et d'une manière à peu près linéaire (FIG.VI 5). La résistance, particulièrement dans l'obscurité, est sensible aux variations de température (elle augmente avec la température). Mais aux forts niveaux d'éclaircissement, cette influence est pratiquement négligeable. La réponse aux variations brusques d'éclaircissement n'est pas instantanée.

1.2.3 - PHOTO-DIODES : Le fonctionnement est basé sur l'action de la lumière sur une jonction p-n polarisée en sens inverse. Dans une telle jonction passe le courant inverse, normalement faible devant le courant directe, ce courant inverse augmente avec la température, et aussi avec l'éclaircissement de la jonction. Considéré comme gênant dans l'utilisation d'une diode comme redresseur, ce courant inverse devient le courant de travail.

1.2.4 - PHOTO-TRANSISTOR : C'est en quelque sorte une photodiode à étage amplificateur incorporé. Il se distingue du transistor ordinaire par le boîtier pourvu d'une fenêtre (généralement munie d'une lentille) par laquelle la lumière tombe directement sur la jonction émetteur - base. Comme l'injection d'un courant dans la base, l'illumination de la jonction donne lieu à un courant amplifié dans le circuit collecteur, et ce courant est suffisant pour commander un relais. Au prix d'un encombrement légèrement plus grand on peut donc souvent se passer de l'amplificateur que la photodiode exige normalement.



VI - 2) Procédé de régulation d'opacité utilisant un mélange de fluide opaque et transparent.

2.1 - DESCRIPTION : Pendant les périodes d'ensoleillement, on fait circuler dans des absorbeurs transparents, disposés sous la couverture de la serre, comme fluide caloporteur, un liquide transparent(EAU) chargée 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. Le système comporte :

- des capteurs solaires placés sous la couverture transparente qui comporte deux plaques transparentes de limitant entre-elles un espace dans lequel circule le fluide caloporteur.
- Un dispositif 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.
- Réservoir de stockage d'énergie récupérée pour être utilisée pendant la nuit ou pendant les jours froids pour le chauffage.

On a pu mesurer que lorsque la proportion de produit en suspension est de l'ordre de 3 % du poids total, 29 % de l'énergie du spectre visible était absorbée avec une épaisseur de lame de 5 mm.

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 ambrage artificiel ayant une opacité variable et contrôlable, ce qui permet d'agir sur la photosynthese et le développement des cultures.

2.2 ) FONCTIONNEMENT : Pendant les heures d'ensoleillement, on fait circuler le fluide caloporteur dans le circuit primaire 1 a, 1 b, 2 a, 2 b, 3, 4, 5. Les panneaux 3 font fonction de capteurs d'énergie solaire. L'énergie captée est transmise par l'échangeur 6 à un réservoir de stockage 7. L'eau chaude stockée dans le aérothermes et les rechauffeurs primaire et secondaire de la chambre de climatisation. La FIG.VI 6 - Représente le schéma technologique de la serre à commandé automatique. Sur le coffret de régulation 8 sont connectés trois thermostats externes 9, un capteur photo-électrique de flux lumineux 10, six capteurs de température 11, six capteurs d'humidité 12 et un capteur de flux lumineux placés à l'intérieur de la serre 13, un thermostat destiné à l'affichage et à la comparaison des températures captées et de consigne.

# Schema bloc de Commande

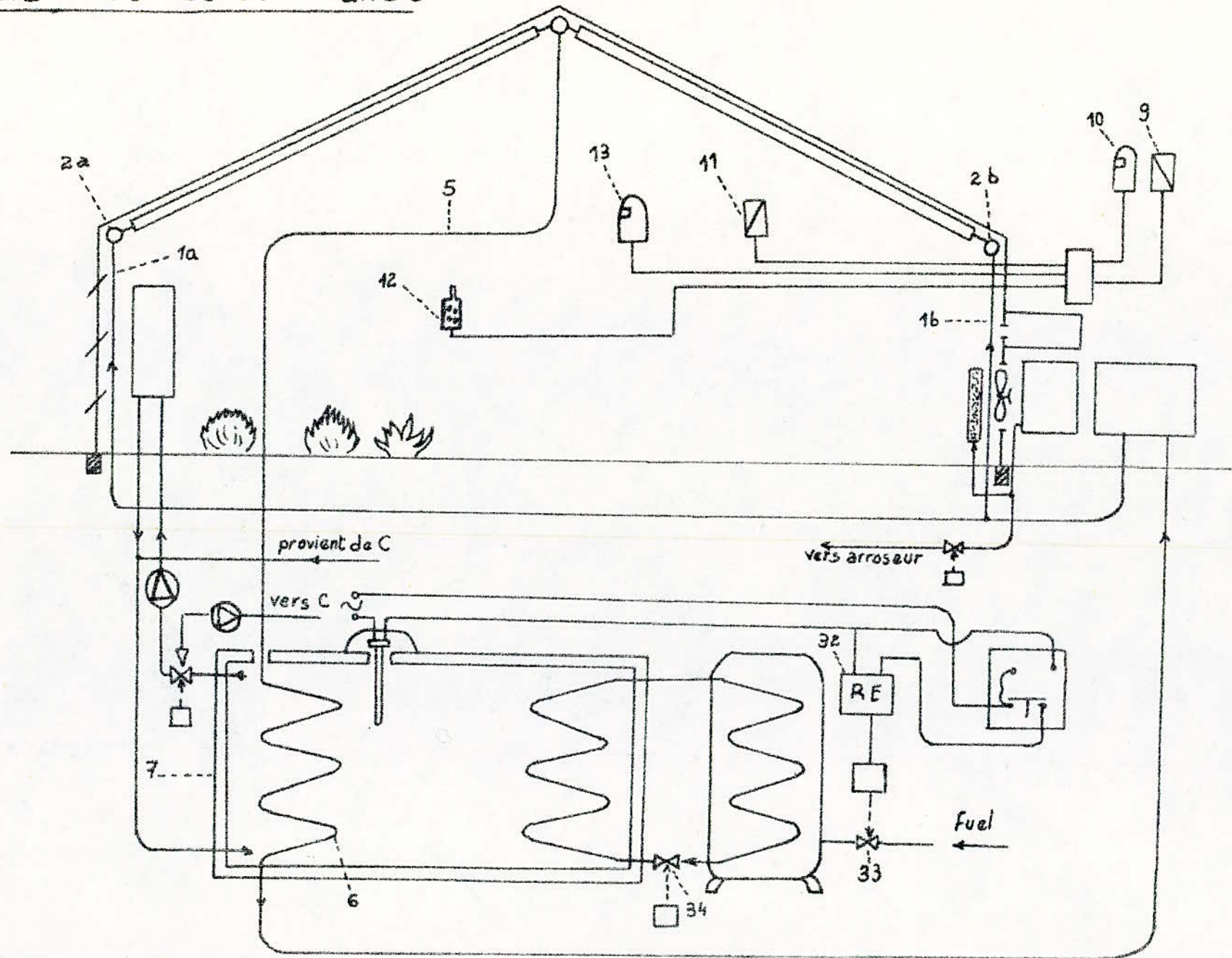


Fig VI.6



Le coffret de régulation pilote automatiquement les pompes ainsi que les servo-moteurs actionnant les vannes. La régulation se fait pour la température par comparaison différentielle de la température extérieure mesurée par les sondes 9 avec la température interne mesurée par les sondes 11.

Pour l'intensité de la luminosité, la régulation peut-être obtenue par comparaison de l'intensité du flux lumineux externe mesurée par la sonde 10 soit à la valeur mesurée dans l'enceinte par la sonde 13 soit à un seul affiché. La FIG.VI 7 - Est un schéma synoptique du dispositif de régulation du flux de rayonnement solaire. Ce dispositif 14 est constitué d'un<sup>re</sup> réservoir 34 à deux compartiments, l'un sert à entreposer un fluide transparent en particulier de l'eau 15, tandis que l'autre 16 est rempli d'un produit opacifiant, entre les deux compartiments est placé le séparateur 17 ne permettant aucun mélange entre les deux produits. Chaque compartiment possède une sortie désignée par 18 pour le liquide transparent et 19 pour le produit opacifiant. Le liquide transparent quittant la sortie 18 est acheminé par la conduite 20 vers une pompe 21. Le produit opacifiant est dirigé à partir de la sortie 19 par l'intermédiaire d'une conduite 22, vers le doseur 23 réglant la quantité désirée en fonction des besoins comme déterminés par une photo-résistance 24 située à l'intérieur du dispositif. Après le dosage convenable, le produit opacifiant, par l'intermédiaire de la conduite 25 rejoint le fluide transparent à la fonction 26 et la suspension formée à concentration déterminée est dirigée par la conduite 27 en direction du capteur solaire 3. Le liquide caloporteur peut alors se déplacer sur le pourtour du capteur solaire 3 où il a un effet de modulation du rayonnement, absorbe une certaine quantité de chaleur et pénètre ensuite dans l'échangeur 6 duquel il peut transférer l'énergie absorbée à l'eau contenue dans le réservoir de stockage de calories 7. Le liquide caloporteur, débarrassé de l'énergie qu'il a absorbée, retourne alors au moyen de la conduite 28 en direction d'un séparateur 29 constitué d'un dispositif de filtration.

Le dispositif sépare le fluide transparent de l'agent opacifiant et chaque constituant élémentaire est réintroduit par les conduites respectives 30 et 3 dans les compartiments 15 et 16 de l'ensemble 14. 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 photo-résistante 24. Dans le cas où l'énergie absorbée par le réservoir devient insuffisante à la régulation de la température à l'intérieur de la serre, un thermostat 32 capte la température de l'eau dans le réservoir de stockage et envoie.

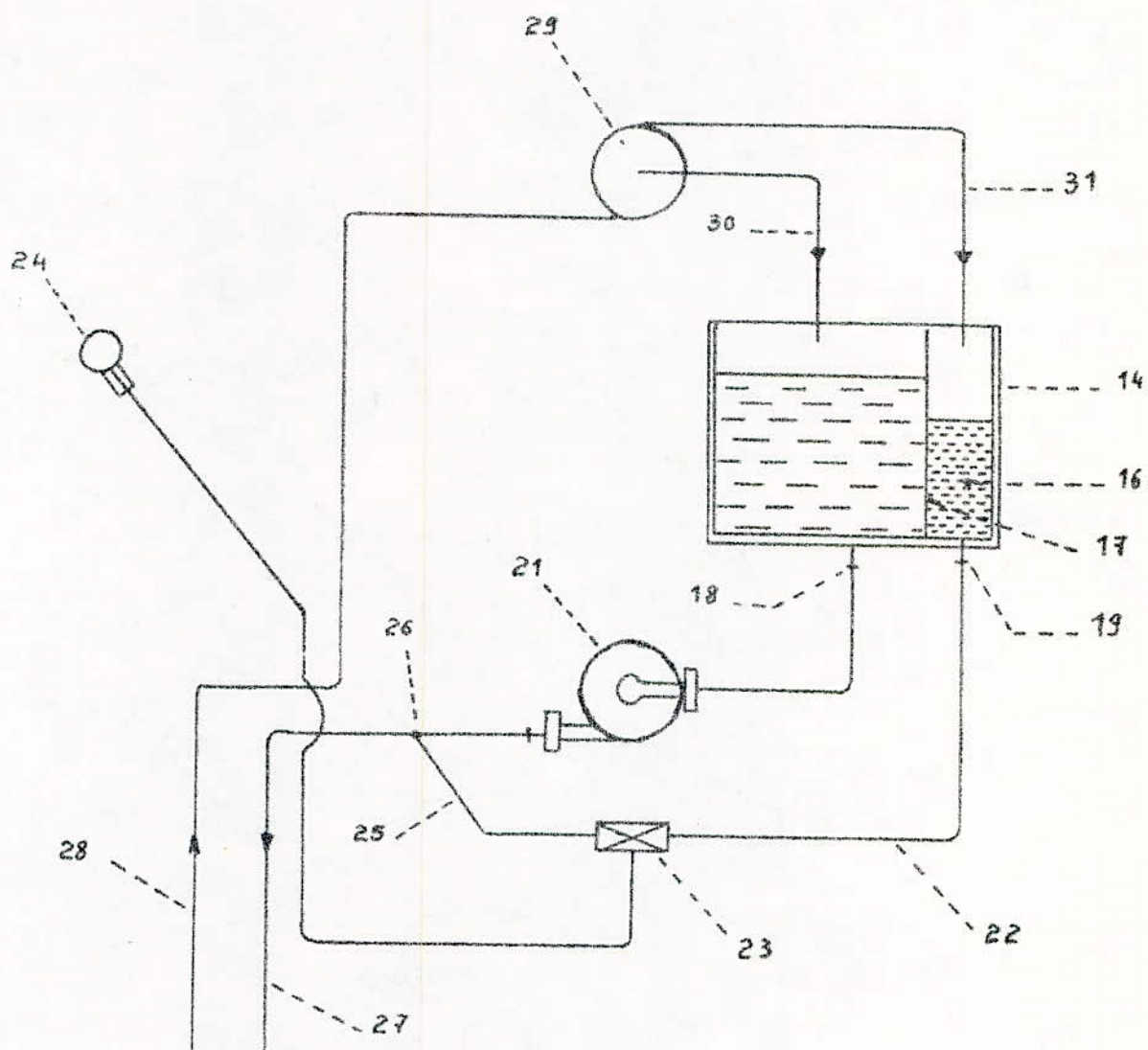


Fig. VI, 7



L'information à un régulateur 32 qui ouvre la vanne 33 de fuel et allume le bec de la chaudière puis ouvre la vanne 34 du circuit de chauffage d'eau par chaudière. Dès que la température de l'eau atteint une valeur suffisante (de consigne), le thermostat etteint le bec et ferme les vannes 33 et 34 supprimant ainsi le chauffage par chaudière.

VI 3) - Procédé de régulation avec réflecteurs cylindro-paraboloides comme le premier procédé, il a deux fonctions, la régulation de l'opacite et la récupération de l'énergie solaire.

3.1) DESCRIPTION DU PRINCIPE : On place un certain nombre de concentrateurs solaires (FIG.VI.8), en fonction de l'étendu de la serre, à la hauteur des pieds de la serre. On utilise des réflecteurs cylindro-paraboloides (FIG.VI.9) avec un absorbeur suivant l'axe de focalisation pour augmenter le rendement et diminuer les surfaces de captation. Ces réflecteurs sont orientables pour pouvoir jouer leurs rôles, en suivant le déplacements (relatif) du soleil, lorsque la luminosité à l'intérieur de la serre dépasse la consigne maximale. Pour cela on utilise un collimateur. Dans le cas contraire c'est l'opacimètre à trois positions qui commande l'opacité. Le collimateur et l'opacimètre sont connectés au même système de commande par un relais. Pendant les heures chaudes de la journée les réflecteurs sont orientés par les signaux du collimateur de telle façon qu'ils réfléchissent les rayons solaires (FIG.VI.10) et en même temps, ils les concentrent sur l'absorbeur qui, parcouru par l'eau, véhicule la chaleur récupérée qui sera stockée ou convertie en une autre énergie, pour être utilisée par la suite pour le chauffage.

Pendant, les faibles illuminations (FIG.VI.11) les réflecteurs sont orientés par les signaux de l'opacimètre à trois positions de telle façon que l'ensemble du rayonnement solaire soit dirigés sur la surface cultivée. Pendant la nuit et les périodes nuageuses les réflecteurs (FIG.VI.12) sont complètement retournés face au sol et jouent le rôle de couverture thermique en faisant réfléchir les radiateurs.

3.2) - Fonctionnement de la commande (FIG. VI . 14).

3.2.1) - Commande à l'aide du collimateur.

Un petit déplacement du soleil se traduit par rapport à un point quelconque du réflecteur par une petite variation d'angle. Le but est donc de détecter ces faibles déplacements angulaires afin de positionner le réflecteur.

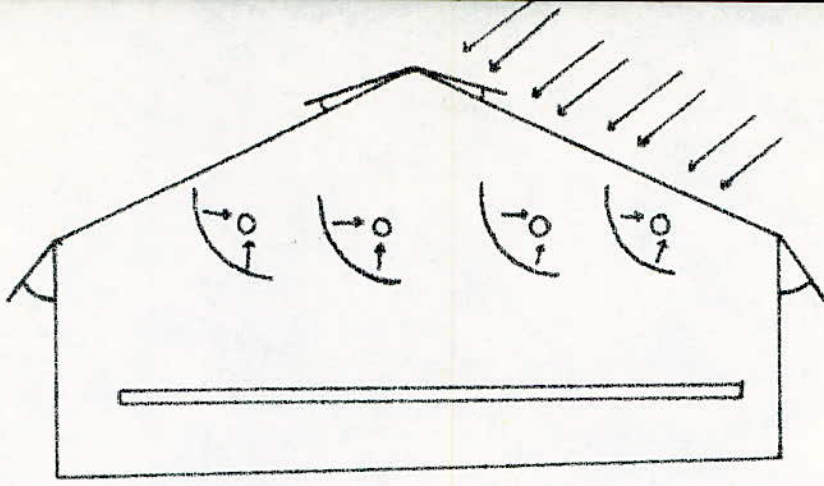


Fig VI. 8

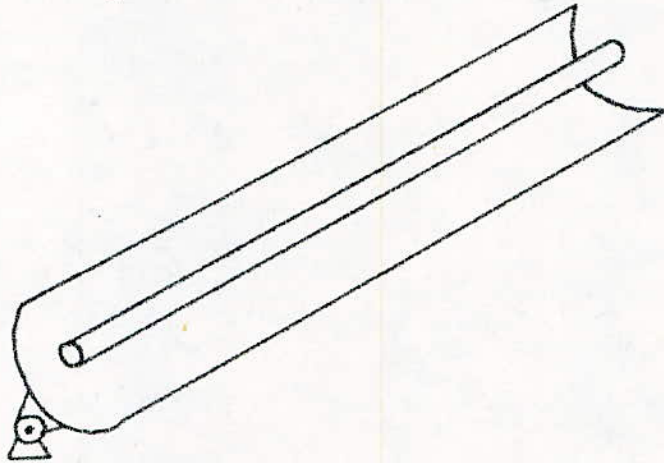


Fig VI. 9

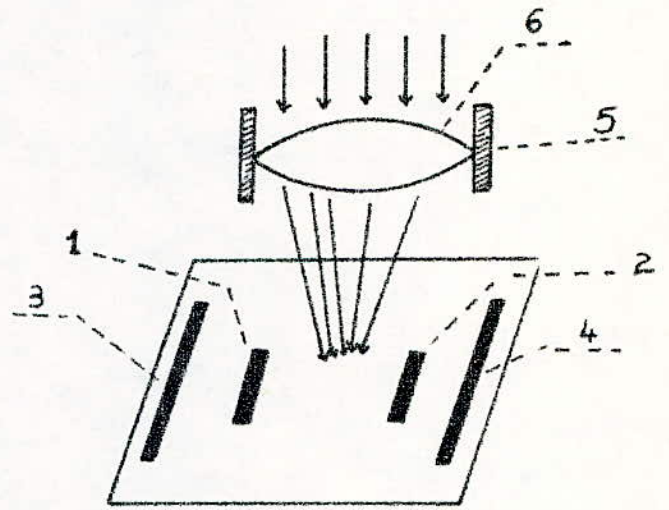


Fig VI. 13

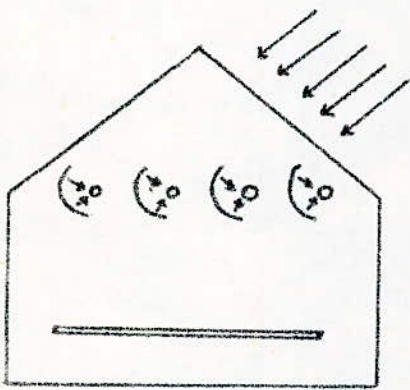


Fig VI. 10

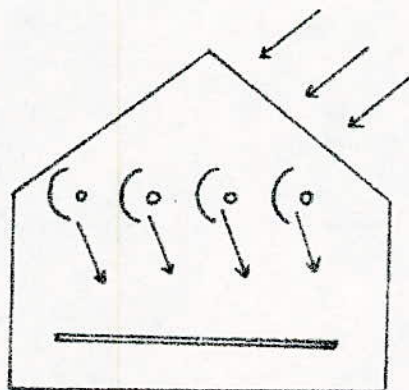


Fig VI. 11

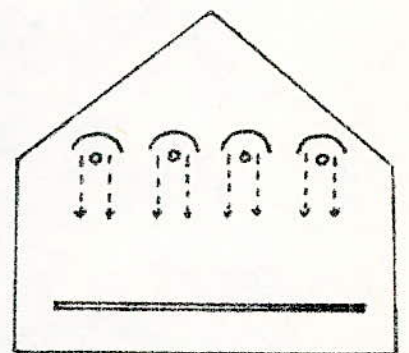


Fig VI. 12



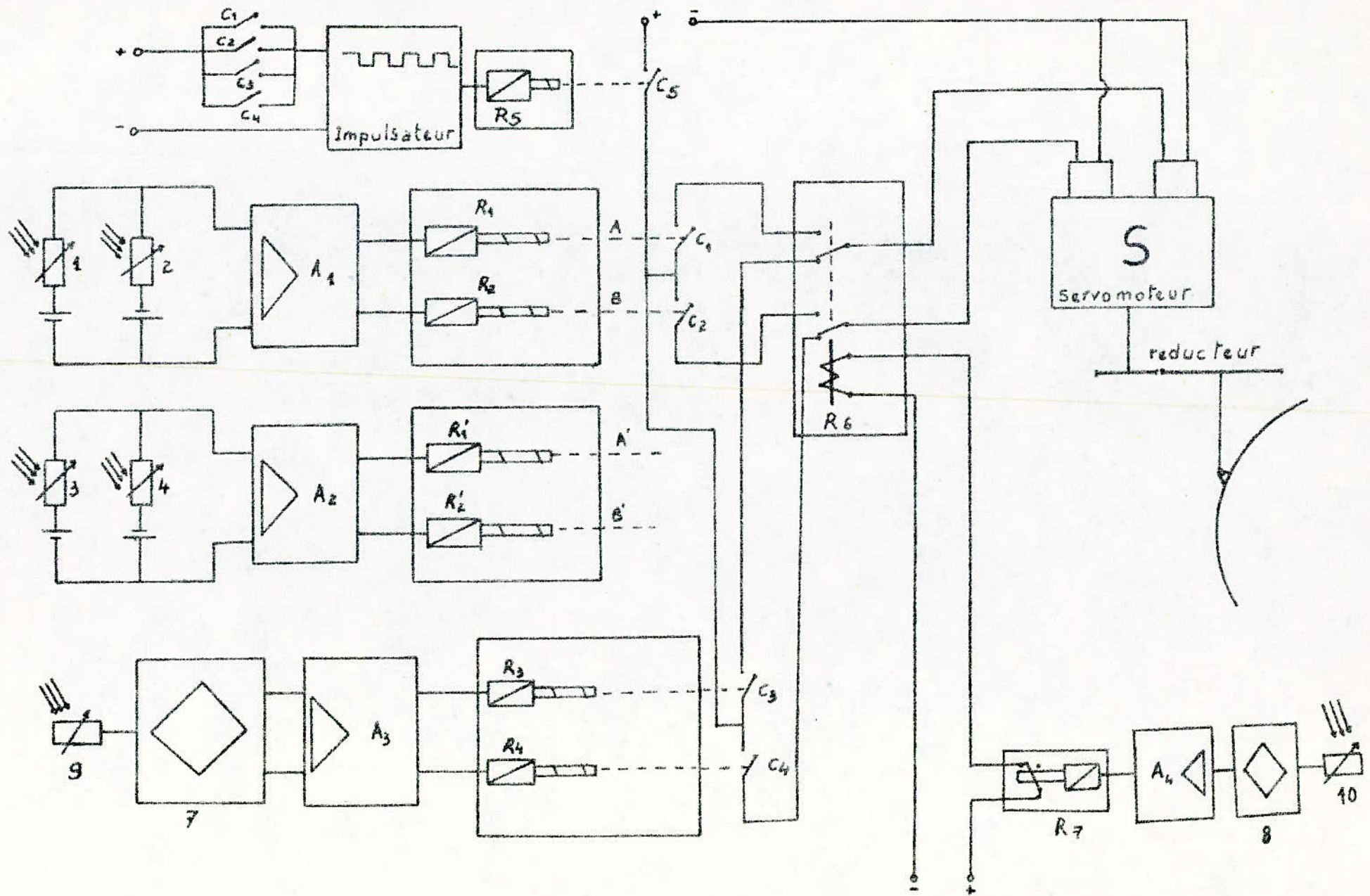


Fig: (VI, 14) ; SCHEMA FONCTIONNEL DE LA COMMANDE



Pour cela on utilise un collimateur (FIG.VI.13) placé sur le trajet du rayonnement, il sert à définir la direction que l'on désire imposer au réflecteur. Le système de capteurs du collimateur doit avoir la possibilité de corriger la position du réflecteur en fonction de la rotation du soleil à l'aide des cellules de précision (1) et (2) mais en plus le système de capteurs doit garantir la possibilité de la correction dans le cas où il y a des nuages ou brouillard avec les cellules de recherche (3) et (4). Il est constitué d'un concentrateur (5) à lentille (6) qui converge les rayons solaires sur les capteurs. Dans notre cas on a choisi comme cellule photosensible des photo-résistances. Ce choix est justifié par la très grande sensibilité au rayonnement visible et à l'éclairement, la fiabilité, et le prix de revient assez bas. Lorsque le rayonnement est parallèle à l'axe optique du collimateur aucun signal n'est traduit à la sortie des amplificateurs (A1) et (A2) et le système est au repos. Si au moins une des quatre cellules est éclairée, la tension de sortie à une valeur quelconque. Un signal électrique est alors traduit à la sortie de l'un des amplificateurs et attaque l'un des relais (R1) ou (R2) correspondant qui agit sur l'impulsateur, le signal ainsi obtenu va exciter une bobine qui va agir sur une vanne de commande à trois voies. Le servo-moteur (S) en fonction des impulsions délivrées à cette vanne de contrôle va tourner d'un certain nombre de pas bien déterminé dans le sens tendant à remettre le faisceau de lumière dans la position voulue. L'impulsateur n'est autre qu'un simple multivibrateur produisant des signaux rectangulaires ou carrés. Le servomoteur est du type électro-pneumatique pas à pas, avec réducteur, comme on peut le remplacer par un moteur à courant continu commandé par l'induit et à excitation séparée.

3.2.2 -- L'opacimètre placé à l'extérieur de la serre, coupe le circuit de commande provenant des cellules du collimateur lorsque l'intensité lumineuse atteint le niveau de la consigne, fixée par le potentiomètre de la boucle de réaction de l'amplificateur.

La commande est assurée par les signaux de l'opacimètre placé à l'intérieur de la serre. L'opacimètre placé à l'extérieur de la serre est constitué d'une photo-résistance (10) reliée au point de mesure (8) dont la tension de sortie est amplifiée par l'amplificateur (A4) qui alimente la bobine d'un relais (R7) pour la fermeture ou l'ouverture du circuit d'alimentation de la bobine du relais (R6) pour le choix du circuit de commande.

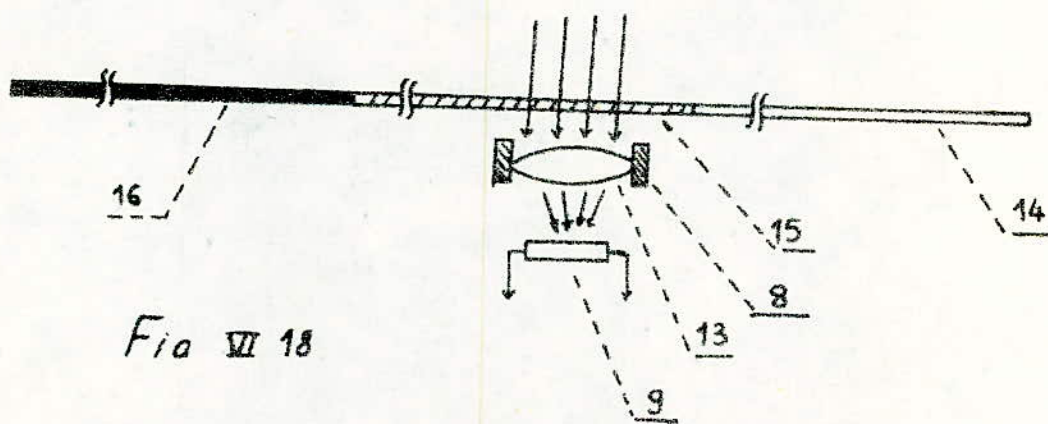
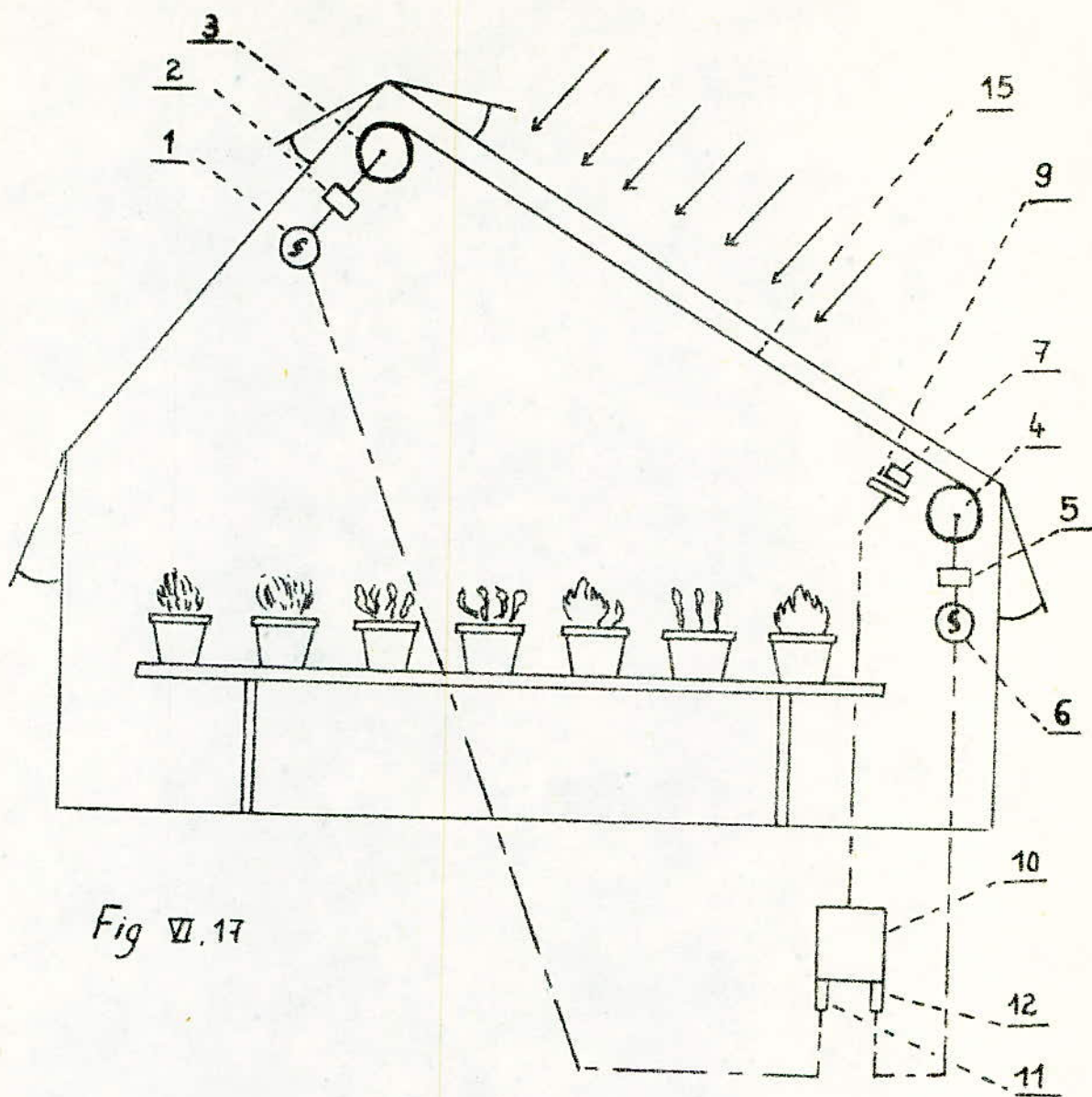


VI.4) - Système de régulation d'opacité par bandes plastiques :

Pour remédier aux inconvénients déjà cités (complexité;...)

Ce système a pour but de proposer une technique simple et économiquement réalisable, surtout dans des conditions désertiques. L'idée de base est de dérouler sous la paroi transparente la plus exposée au soleil une bande plastique constituée de parties de différents degrés de transparence.

4.1) - DESCRIPTION : On place le système de régulation d'opacité du côté de la serre le plus exposé au soleil (FIG.VI.17); la partie (15) de la bande plastique est tendue entre les deux poulies (3) et (4), la photo-résistance (9) est connectée au régulateur (10) avec le relais (11) à la sortie, relié avec le moteur électrique (1) qui est couplé par l'intermédiaire d'un réducteur (2) avec la poulie (3). Le régulateur (10) est également relié, par l'intermédiaire du relais (12), avec le moteur électrique (6) qui est couplé à l'aide du réducteur (5) avec la poulie (4). La bande plastique est constituée de trois parties (FIG.VI.18), une partie presque transparente (14), une partie de moyenne transparence (15) et une troisième (16) plus opaque que la partie (15), généralement pour diminuer la fréquence de changement de positions de la bande et minimiser la longueur totale on évite l'utilisation d'une bande de plus de quatre parties. Le dispositif du capteur (7) (FIG - VI.18) est constitué d'une lentille (13), placée dans un tube (8) qui concentre les rayons sur une photo-résistance (9), à fin d'avoir une bonne précision. La photo-résistance est connectée au noeud de sommation (17) (FIG - VI.19), avec la possibilité de mise au joint des deux valeurs demandées de luminosité  $\Delta L_1$ , et  $\Delta L_2$  par l'intermédiaire des deux potentiomètres I et II. Le noeud de sommation (17) est connecté avec l'amplificateur intégré de la tension constante (18) qui est relié avec l'amplificateur bi-stable (19) et le relais électro-magnétique (12). Le noeud de sommation est également connecté avec l'amplificateur intégré de la tension constante (23) qui est relié avec l'amplificateur bi-stable (24) et le relais électro-magnétique (11). L'entrée de l'amplificateur (23) est reliée parallèlement à l'entrée de l'amplificateur intégré (21) qui est connecté avec l'indicateur d'écart de régulation (22). La zone d'insensibilité  $\Delta L$  (FIG.VI.18) est réglable dans de larges limites, suivant les exigences d'utilisation, en fonction des positions des deux potentiomètres I et II.





#### 4.2) - FONCTIONNEMENT :

Lorsque la luminosité extérieure augmente, la résistance du capteur (9) diminue, alors que la tension à la sortie du nœud de sommation (17) correspondant au changement de luminosité  $\Delta L1$  augmente, ainsi que le signal à la sortie de l'amplificateur (18) faisant basculer l'amplificateur (19), qui excite la bobine du relais (12), celui-ci enclenche le moteur électrique (6) et ce dernier par l'intermédiaire du réducteur (5) fait tourner la poulie (4) qui enroule la partie (11) de la bande plastique jusqu'au moment où celle-ci est complètement remplacée par la partie (16) plus opaque. La luminosité captée par la photo-résistance (9) diminuera alors annulant l'écart  $\Delta L1$  ce qui provoque le déclenchement du relais (12) et l'arrêt du moteur électrique (6).

Par contre, lorsque la luminosité extérieure diminue, la résistance du capteur (9) augmente faisant augmenter la tension correspondant au changement de luminosité  $\Delta L2$  à la sortie du nœud de sommation, ainsi que le signal à la sortie de l'amplificateur (23), celui-ci excite la bobine du relais (11) qui enclenche le moteur électrique (1), et ce dernier par l'intermédiaire du réducteur (2) fait tourner la poulie (3), qui enroule la partie (15) de la bande jusqu'au moment où celle-ci est complètement remplacée par la partie (14) plus transparente.

La luminosité captée par la photo-résistance augmentera alors annulant ainsi l'écart  $\Delta L2$ , ce qui provoque le déclenchement du relais (11) et l'arrêt du moteur électrique (1) pour permettre à ce moteur (1) d'enrouler entièrement les parties (15) ou (16) de la bande plastique, on peut prévoir que le relais (11) soit temporisé ou utiliser un commutateur de fin de course.

#### VI.5) - CONCLUSIONS :

Après cette étude des systèmes de régulation d'opacité, qui nous a permis de proposer un nouveau système, nous pouvons dire qu'il reste encore beaucoup à faire.

Parmi les systèmes exposés on remarque que les deux premiers systèmes (système cylindro-parabolique, et mélange des deux fluides) présentent certes l'avantage de récupérer l'énergie solaire, mais vu leur complexité et leurs prix de revient, ainsi que l'entretien qu'ils exigent,

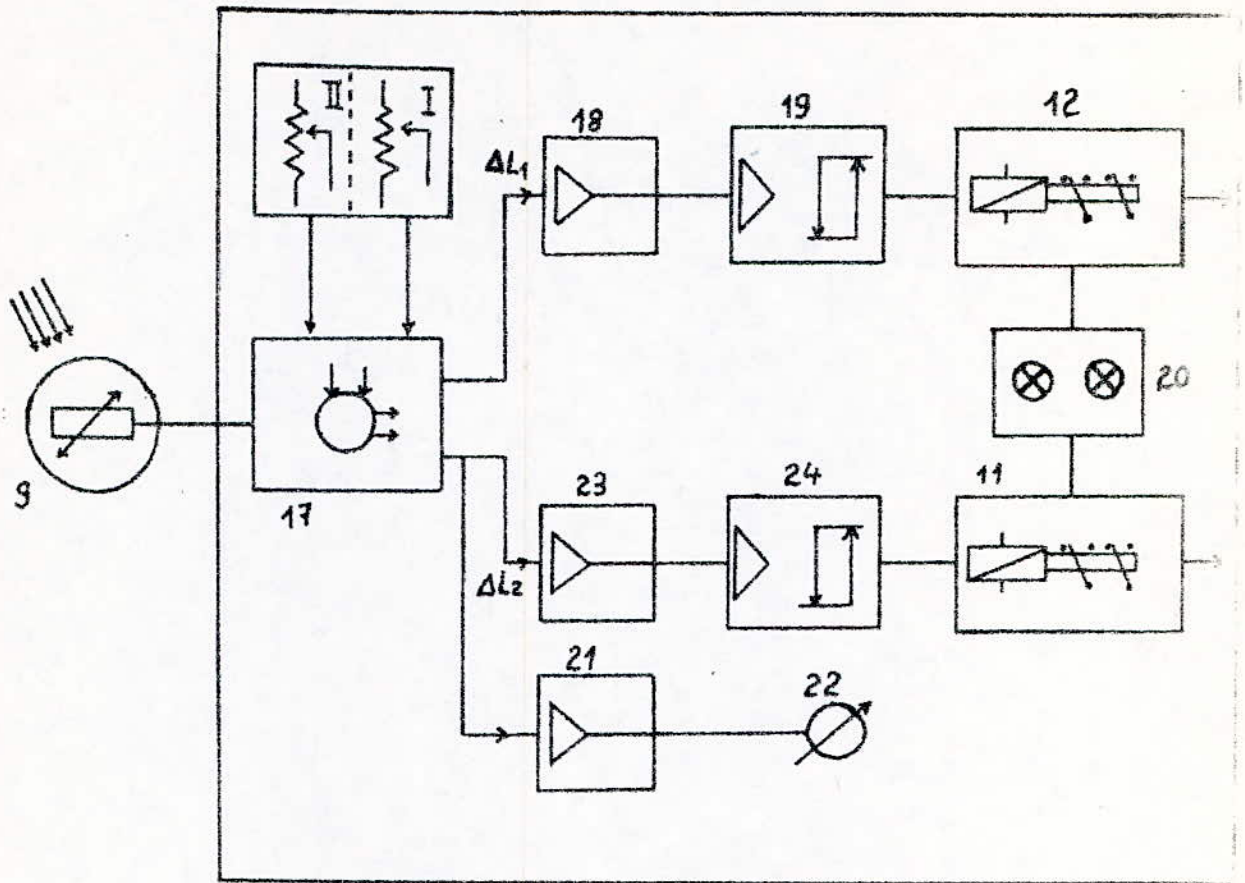


Fig: VI. 19

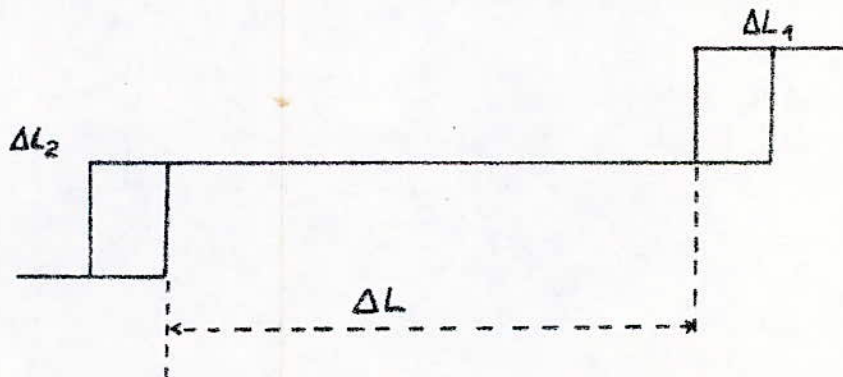


Fig: VI. 20



## CHAPITRE VII

Economie d'énergie dans les serres.

INTRODUCTION : l'optimisation du système de régularité nous même a faire une étude sur les méthodes d'économiser l'énergie dans les serres.

La méthode la plus évidente est bien sûr la diminution des pertes.

I) Pertes dans les serres : les modes de transfert de chaleur sont par ordre d'importance dans les structures existants :

a) Pertes par conduction à travers la surface vitrée (30, 60%).

b) Pertes par convection à travers. La surface vitrée ou infiltration (10-30%).

c) Pertes par radiation à travers la Surface vitrée (0% pour le verre mais jusqu'à 30% de reradiation en provenance du verre, jusqu'à 40% à travers les plastiques transparents ou partiellement transparent à l'extérieur, lointaine au delà de 3 m)

d) Pertes par conduction à travers le sol et pertes à travers le périmètre (2 - 10%)

Ainsi on peut réduire les pertes en agissant sur les échanges conductifs, convectif et radiatifs.

I.1. Action sur les échanges conductifs.

1.1. Au niveau du périmètre.

Les pertes par conduction au niveau du périmètre contribuent à réduire considérablement la  $t^{\circ}$  du sol. Pour cela, il est recommandé de.

- prévoir au moment de la construction un drain agricole périphérique entouré de gravier ou de pierre concassée.
- L'addition d'un isolant rigide de 5cm .... sur une profondeur de 60cm permettrait une diminution de chaleur, de moitié.

1.2. Au niveau du Sol : les pertes par le sol sont pratiquement négligeables et il n'est le plancher de la serre à moins d'utiliser de posé tels que :

- Copeaux de bois.
- Siure de bois.
- Paillis : Végétal.  
plastique.

I.2. Actions sur les échanges convectifs :

2.1. Au niveau de la paroi il est possible de reduire les échanges superficiels de deverses façons :

2.1.1 Localisation et orientation de la serre, la protection des vents dominants est un facteur primordial, l'idéal étant de choisir 1 site naturellement abrite des vents dominants.

Une solution qui s'avere en général plus efficace est le brise vent (ligne d'arbre ou brise vent en plastic).

La serre devra être oriente de façon à présenter la plus petite surface face aux vents.

Un autre facteur est la radiation incidente maximales, on recherchera l'orientation plus de lumière et un meilleur captage de l'energie radiante d'hivers et une réduction des chaleurs rayonnantes directes du Soleil durant l'été.

21.2. Emploi d'une double Paroi :

Dans ce Systeme qui est en essai dans une serre visitée au domaine BENMEHDI BOUDLEM -(BARAKI) la paroi est doublée intérieurement par une seconde paroi transparente avec espace d'air entre les deux et sans contact (si non il y a formation d'un point thermique et annulation de l'effet de la double paroi).

Le flux de chaleur  $\phi$  à travers une structure à paroi étanche mince peut être exprimée ainsi.

$$\phi = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda}} (T_e - T_i)$$

Où :  $h_e$  et  $h_i$  : sont les coeffi d'échange superficiel à l'ext et à l'int.

$e$  : epaisseur de la paroi.

$\lambda$  : conductivite thermique.

$e/\lambda \neq 10^3 \text{ a } 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{h}^\circ\text{c}/\text{K cal}$  (donc négligeable).

$h_e = 25 \text{ Kcal/h. M}^2 \text{ }^\circ\text{c.}$

$h_i \simeq 10 \text{ Kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{c.}$

d'où

$$\boxed{\phi = 7. \Delta T}$$



Si on dispose d'un film d'air l'expression de  $\phi$  devient.

$$\phi = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_p} + \frac{e}{\lambda}} (T_e - T_i)$$

où  $h_p$  est le coeff de transfert du film d'air.

$$h_p \approx 4K \text{ cal/h. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

on aura ainsi :  $\phi = 2,6 \cdot \Delta T$  !

Soit une reduction theorique de perte de chaleur de 60% en pratique les résultats sont moindre mais des essais ont démontré une économie de 5% pour une serre à double vitrage bien sûr il y a l'inconvenient de la diminution de la luminosité.

On note que les pertes de chaleur par rayonnements I.R. sont de plus diminuées alors que l'humidité relative est élevée.

\* Signalons l'emploi de la double paroi avec injecté, technique utilisée dans les régimes de neige.

L'air force l'espace isolant ce qui donne un coussin d'air rigide surtout pour supporter la charge de neige.

### 2.2. Au niveau de l'étanchéité de la serre.

Les fentes autour des portes, les louves d'aération et ventilation qui ferment mal et autre fissures causent des pertes de chaleur considérables surtout en présence du vent.

Pour corriger cet état de chose : les extrémités des serres devraient être doublées d'un film de polyethylene par l'intérieur de la serre.

. Les ouvertures des éventails de ventilation devraient également être bouchées par un panneau aérovoile s'ouvrant lorsque une pression d'air est créée cas de la serre (STAOUALI).

. L'emploi de doubles porte ou de portiques est recommandé à l'entrée de chacune des serre (pour la serre de STAOUALI) on trouve un petit hall en polyethylene).

. L'utilisation d'un mastic plastique à porte adhérence pour jointoyer les plaques de verre et un bon Système de serrage pour les ouvrants.

Néanmoins pour les serres étanches, il est indispensable d'aérer un peu pendant la journée pour éviter un déficit en gaz carbonique.

### I. 3. Action sur les échanges radiatifs :

Le refroidissement des serres et sur tout 1 phénomène nocturne l'effet de serre dû à l'apport solaire assure la plus grande partie du temps d'exploitation l'apport énergétique majeur permettant les conditions requise à la production végétale.

La chaleur accumulée pendant le jour dans le sol et la serre, est dissipée à la fois par convection et par rayonnement Infra-Rouge.

La réduction du rayonnement nocturne conduit à 1 ralentissement substantiel de refroidissement de la serre.

Divers système existe déjà parmi lesquelles.

- Couverture thermique : ce système permet d'isoler d'avantage les serres durant la nuit tout en modifiant peu l'intensité lumineuse qui pénètre dans les serres durant le jour.

- Panneaux aurovibles : Ils consistent en des panneaux d'aluminium couvert de styrofoam, ils peuvent être retractables articules appropriés pour des conditions climatiques severes.

### II. Augmentation du gain de chaleur :

comme on peut agir sur les pertes, on peut aussi augmenter le gain de chaleur de la serre.

Aussi est il recommande :

- Choix optimal des matériaux de couvertures.
- Favoriser l'effet serre.

### II. 1. Choix optimal des matériaux de couvertures.

Les revêtements doivent être aussi transparent que possible au rayonnement solaire et en particulière les matériaux usuels satisfont cette condition puisque la fonction d'énergie transmise est en général supérieur à 90% les figures N° = X1 X2 X4 représentent le Spectre de transmission en incidence normale de  $\neq$  matériaux de couverture de serre en fonction de la longueur d'onde.

Les matériaux de couverture peuvent être divisés en 4 grandes catégories soient :



- Le Verre.
- Les Films plastiques (Polyethylene, polyester, polyvinyl fluoride).
- Les Plastiques rigides (polycarbonate, acrylique).
- Les Plastiques renforcés (fibre de verre).

Les caractéristiques importantes à surveiller sont :

- Pouvoir de transmission de la lumière et d'énergie radiante.
- Pouvoir de transmission des longueurs d'ondes longues.
- Propriétés diffusantes.
- Résistance aux climats.
- Durée de vie.
- Facilité d'installation et de remplacement.
- Résistance au choc.
- Degré d'inflammabilité.
- Coefficient de transfert de la chaleur.
- Disponibilité sur le marché.
- Coût d'achat et d'opération.

\* Le verre demeure un matériel moyennement dispendieux avec de très bonnes caractéristiques optiques mais présente les inconvénients d'un haut Coefficient de transfert de chaleur, d'une infiltration élevée et d'une faible résistance aux chocs.

\* Mes films plastiques ont une bonne transmission de radiation mais sont de courte durée et fortement transmittants aux longues longueurs d'ondes (Infra-Rouge lointain).

L'emploi on est optimise si on prévoit une double paroi et écrans réflecteurs de pertes des radiations nocturne (couverture thermique).

\* La plupart des plastiques rigides et plastiques renforcés sont dispendieux et réduisent la transmission de la lumière l'événement d'inhibiteurs de l'ultra-violet a amélioré leur adaptation aux conditions climatiques. Ils possèdent toutefois une excellente résistance à l'impact.

II.2. Favoriser l'effet de serre : Il convient de maximiser l'effet de serre ce résultat étant atteint si le revêtement est parfaitement perméable au rayonnement visible et au proche Infra-Rouge (0,2 à 3  $\mu$ m) et rigoureusement opaque à l'Infra-Rouge lointain (au delà de 3  $\mu$ m). Cette condition est à peu près satisfaite par le verre alors que le polyéthylène est plus au moins transparent dans l'Infra-Rouge et notamment dans la bande de 8 à 10  $\mu$ m qui correspond au maximum de l'émission de l'Infra-Rouge terrestre (voir figure).  
cette situation pouvant être compensée par l'emploi d'une couverture thermique.

### III. Autre méthodes d'économie d'énergie.

Avant de cloturer ce chapitre signalons l'existence de beaucoup d'autres méthodes d'économie d'énergie dont à titre indicatif nous citons.

- Actions physiologiques.
- " " Génétiques.
- " " Sur la région des serres.
- " " " " Conduite des cultures.
- Chauffage localisé.
- Entretien du système de chauffage.
- Dimensions optimale des serres (emploi des serres jumelées).

L'adoption de chacun des procédés étudiés et également des diverses combinaisons possibles dépendra surtout de la région agricole et du coût.



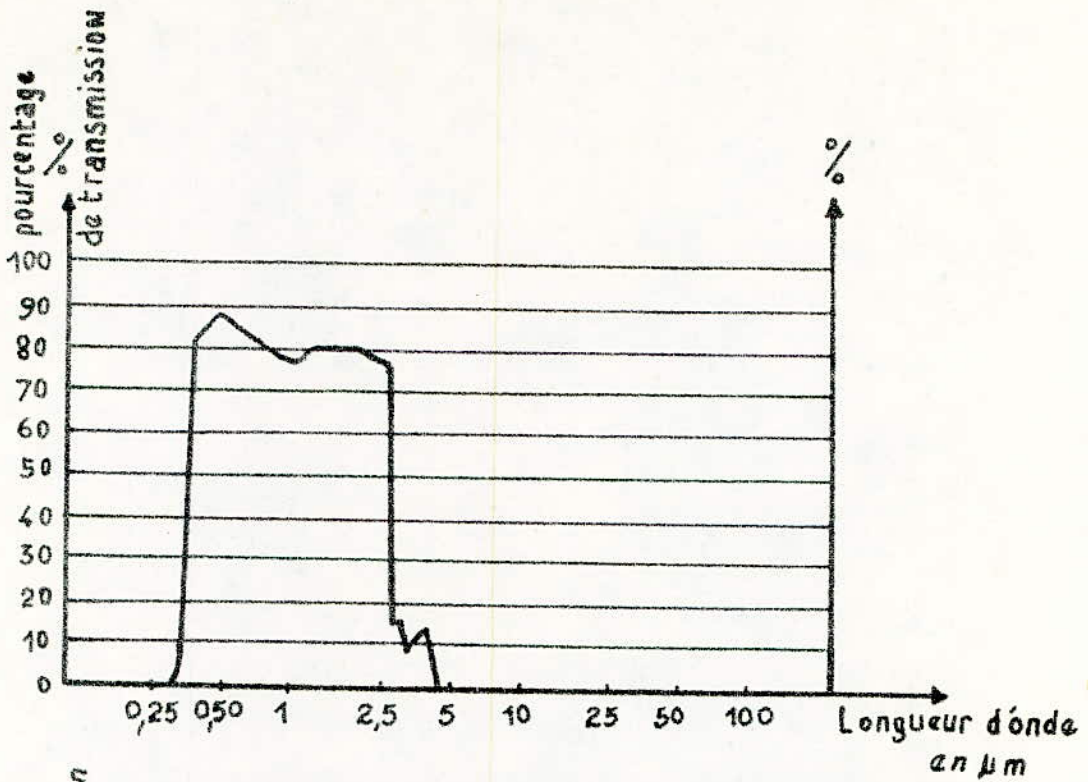


FIGURE X1 SPECTRE DE TRANSMISSION DU VERRE CATHEDRALE

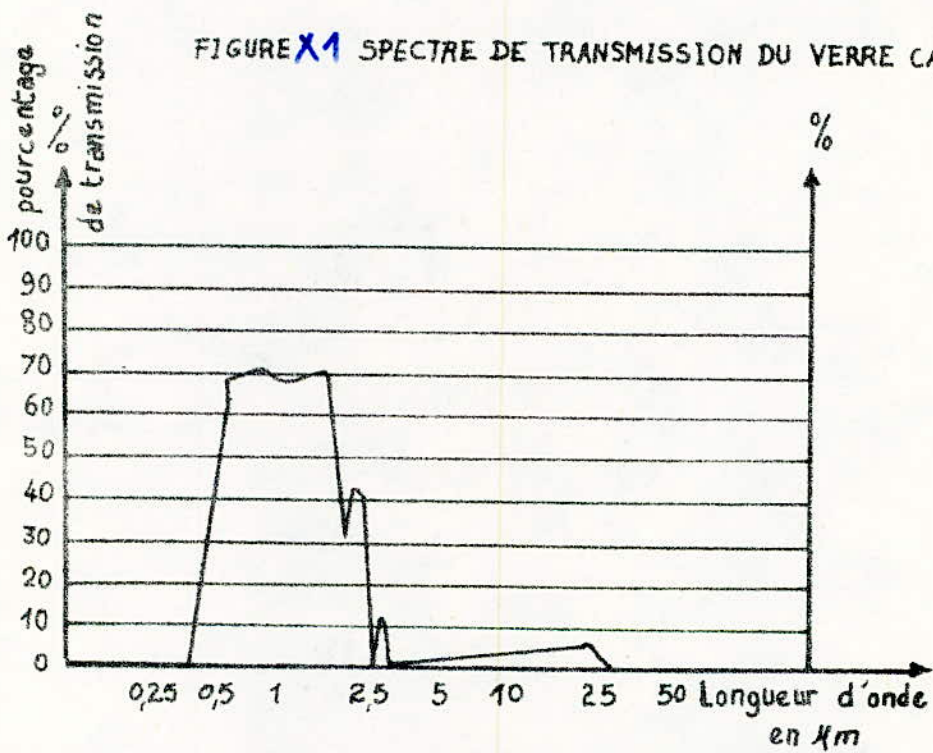


FIGURE X2 SPECTRE DE TRANSMISSION DU STRATIFIE VERRE POLYESTER

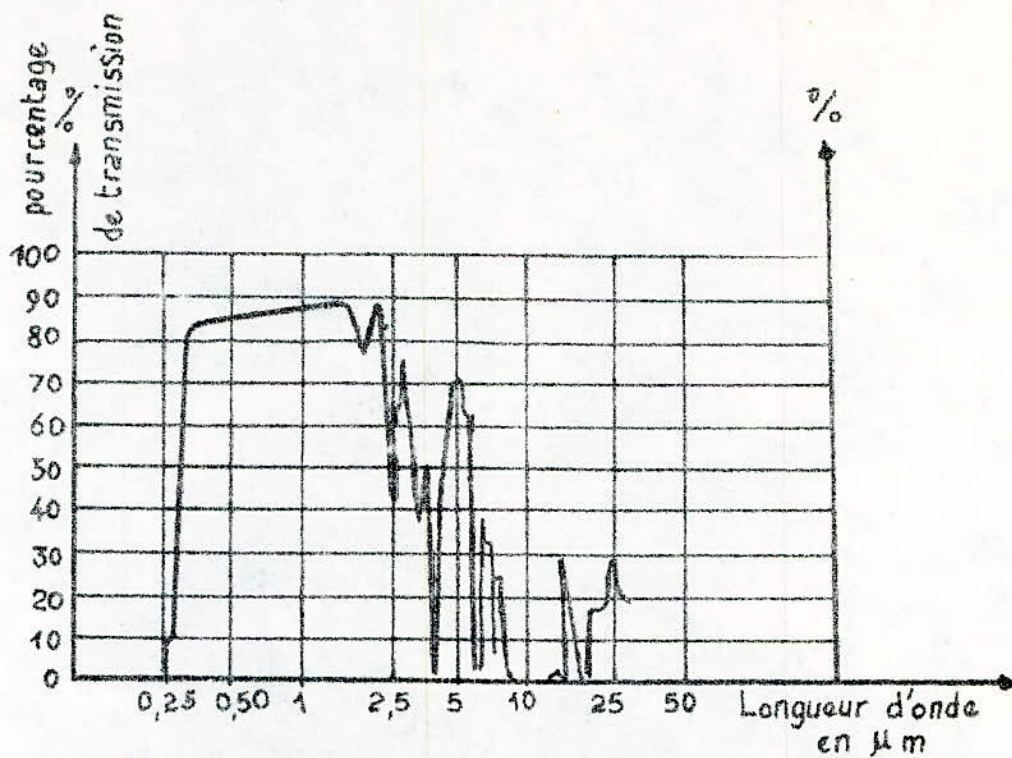


Figure X3 Spectre de transmission P.V.C Souple

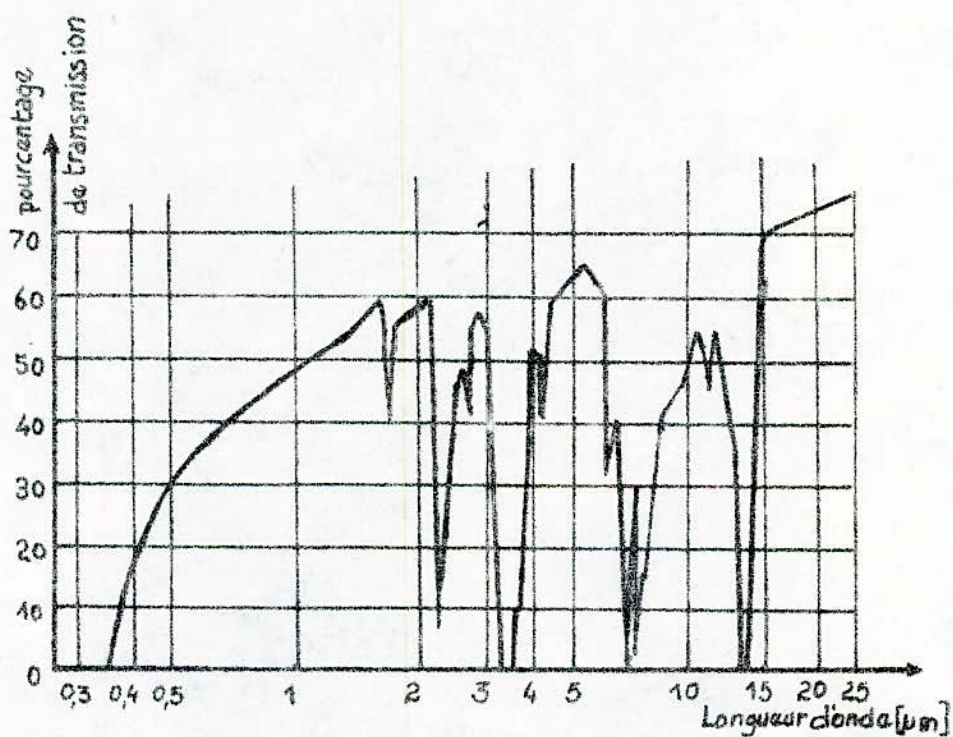


Figure X4 Spectre de transmission du polyéthylène double épaisseur (2 x 0,14 mm)



#### IV. Exemple de systeme d'economie d'energie :

Ce systeme schematisé sur la Fig ( VII 2 ) où la chaleur sensible est stockée dans le sol qui est actuellement à l'étude au C.R.A.U et dont la serre d'essai visitée à la station de bioclimatologie de l'I.N.R.A à MEHDI BOUALEM (BARAKI) a deux buts essentiels :

- Substituer le chauffage solaire actif au chauffage conventionnel.
- Créer un micro-climat évitant l'évaporation excessive due à l'irrigation et à la transpiration des plantes, car destiné à une zone subaride où en plus du problème du chauffage nocturne il faut résoudre celui de l'économie en eau.

IV. PRINCIPE : Il s'agit de récupérer le surplus de chaleur contenue dans l'air intérieur de la serre et le stocker sous forme de chaleur sensible dans le sol. Cette chaleur est restituée à la serre quand la température interne descend au-dessous de la température de consigne. Le stockage s'effectue dans deux différents corps : La terre, et les pierres qui entourent les gaines perforées.

Un ensemble de ventilateurs hélicoïdes aspire l'air chaud pendant le jour et l'envoie dans des gaines perforées, situées sous sol à travers desquelles l'air transmet l'énergie calorifique à un réservoir de stockage, alors qu'un autre ensemble expire l'air chaud pendant la nuit.

Seulement, la vitesse de rotation des ventilateurs hélicoïdes qui est le facteur essentiel du fonctionnement du système est constante, ceci nous a amenés à proposer un système de régulation.

#### IV 2 Regulation :

Le système que nous proposons est simple (Fig VII 4). Il est constitué d'un redresseur (R); un onduleur autonome (O.A); deux régulateurs RI, R2; trois capteurs de température TI, et T3.

Le redresseur(R) redresse la tension du réseau pour donner une tension continue, l'onduleur autonome(O.A) donne une fréquence variable selon l'information reçue du régulateur(RI) celui-ci est relié avec le capteur T3 de la température ambiante de la serre.

La vitesse du moteur asynchrone du ventilateur varie selon les variations de la fréquence F2 de l'onduleur autonome.

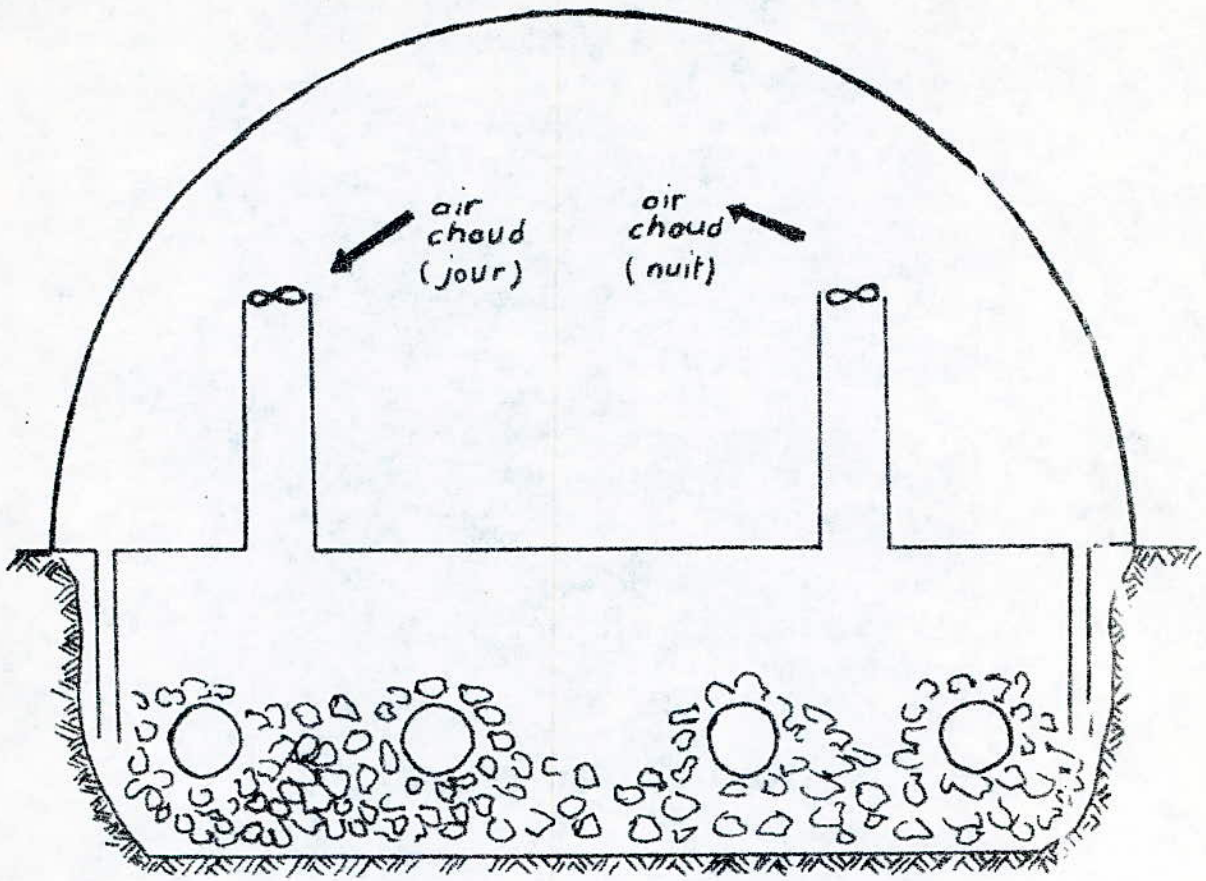


Fig VIII. 2 Systeme de stockage d'energie

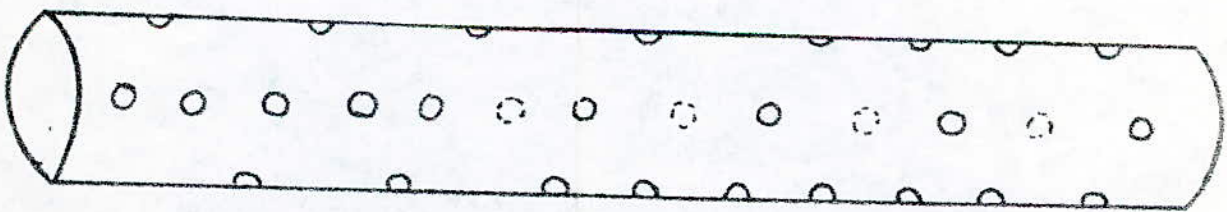


Fig VIII. 3 Gaine perforée



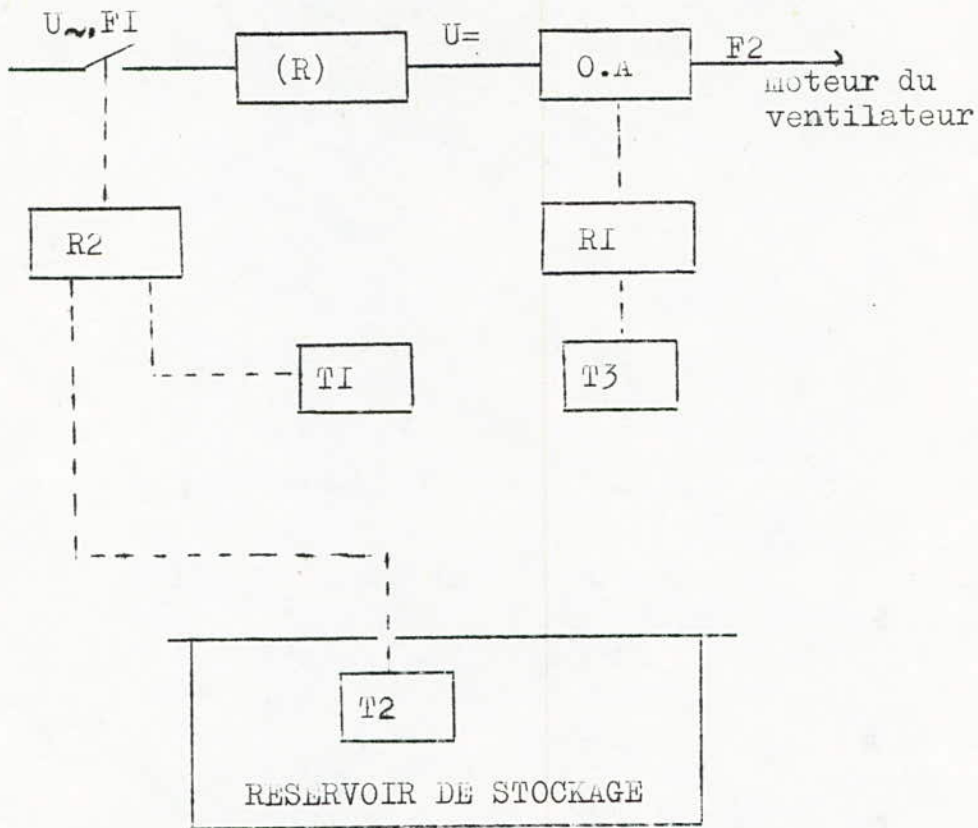


Fig VII 4

Selon l'écart entre la température de consigne et la température ambiante, le capteur T3 envoie un signal au régulateur RI qui le transmet à l'onduleur autonome, celui-ci fait varier la fréquence F2.

Lorsque l'écart entre la température ambiante de la serre, captée par T1, et la température du réservoir de stockage captée par T2, n'est pas utilisable, le régulateur R2, coupe le circuit d'alimentation principale.



—(((CONCLUSIONS)))—

Cette présente étude nous a, non seulement offert l'occasion d'utiliser nos connaissances dans la pratique, mais aussi d'approfondir ces connaissances et prendre contact avec le milieu industriel.

On a fait de notre mieux pour atteindre le but qui était l'optimisation des systèmes de commande, seulement, vu les moyens utilisés et le manque de documentation spécialisée, nous ne prétendons pas que l'optimisation (qui exige une très bonne expérience ainsi qu'une étude plus approfondie) a été atteinte, mais du moins améliorée.

D'autre part, ce premier contact avec l'industrie nous a permis de proposer un nouveau système de régulation pour l'opacité qui, nous espérons, verra la réalisation dans le proche futur.

## BIBLIOGRAPHIE

### Livres :

Technique de la régulation industrielle

Daniel Dindeleux

Applications industrielles des procédés électroniques

A. Haas

La climatisation et les pompes à chaleur.

Yves Guenand

### Theses :

Modélisation des systèmes orientés vers  
le contrôle de processus Grenoble Mai 80

Projets de fin d'études E.N.P.A

### Rapports :

Conservation d'énergie dans les serres

E. Perraton janv 79

Seminaire sur les énergies renouvelables

Alger nov 82

### Brevet d'invention :

B.I français n° 79 03130

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o



