

17/83

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger

Département d'Electrotechnique

Filière d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique

red

THESE DE FIN D'ETUDES



**SYSTEME DE LA COMMANDE
AUTOMATIQUE DE CLIMATISATION
DANS DES CONDITIONS DESERTIQUES**

Proposé par :

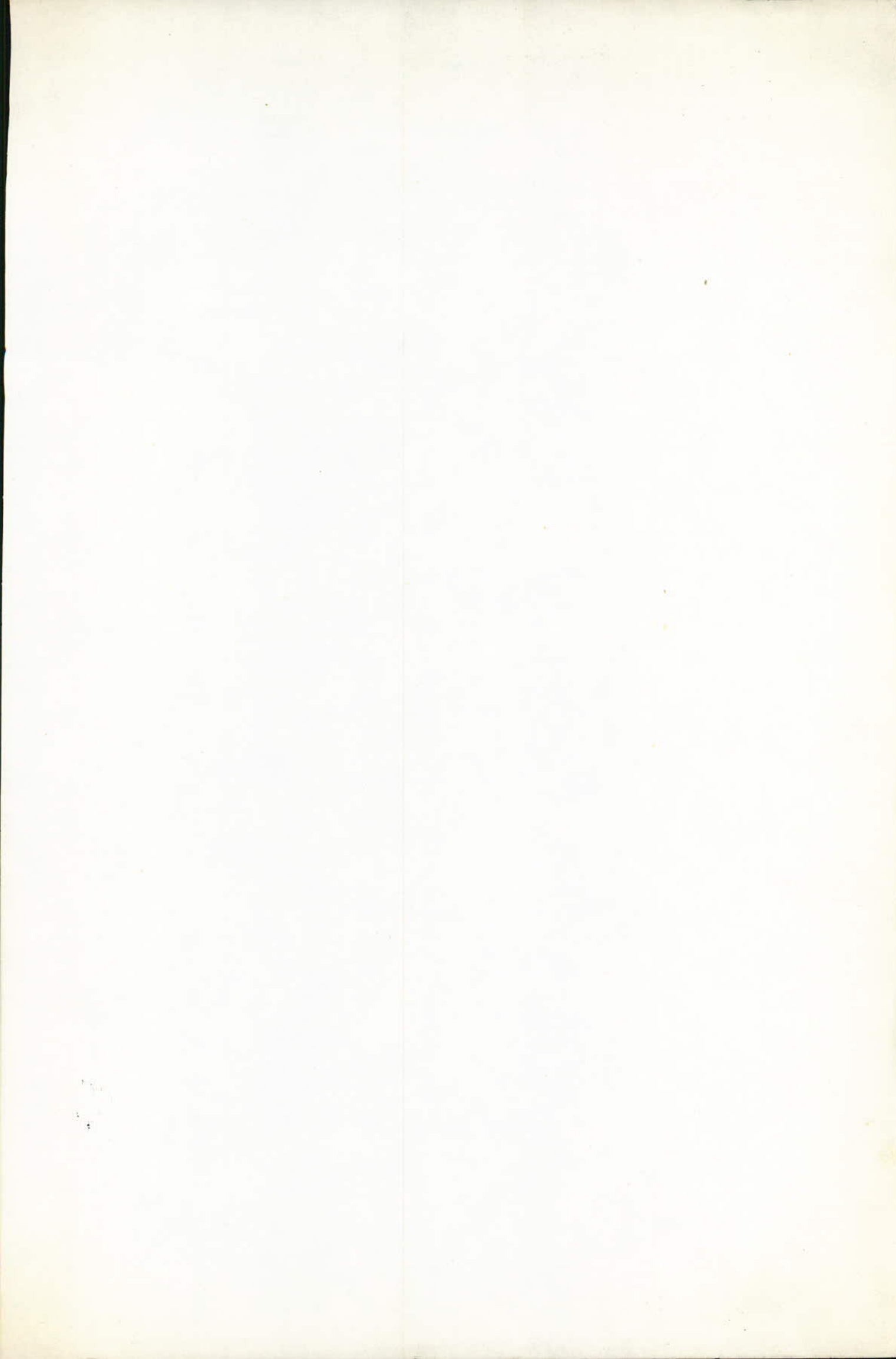
Z. BARSKI (Docteur-ès-sciences)

Etudié par :

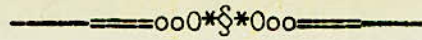
Hamid SIAD

Salah AIT GHERBI

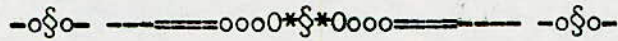
Promotion : Juin 1983



-o§o- R E M E R C I E M E N T S -o§o-



- Notre gratitude va à Monsieur BARSKI (Professeur à l'ENPA) pour nous avoir suivi et conseillé durant tout notre travail.
- Que tous les professeurs ayant contribué à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.
- Que tous ceux qui nous ont aidés à la frappe et au tirage de cette thèse trouvent ici notre profonde reconnaissance.



Réussir sa vocation
c'est

avoir la joie de vivre
dans l'amour de son métier



DEDICACES



- CET HUMBLE TRAVAIL EST DÉDIÉ
- A MES PARENTS ET TOUTE MA FAMILLE
 - A TOUS MES AMIS
 - A BENSaid - MOHAND
 - A TOUTE L'ÉQUIPE DE LA CHAÎNE II

SALAH - AIT - GHERBI



JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

- A MON PÈRE
- A MA MÈRE
- A MES FRÈRES ET SŒURS
- A TOUTE MA FAMILLE
- A TOUS MES AMIS (ES)

SIAD HAMID



TABLE DES MATIERES

1.)	INTRODUCTION.....	1
1.1.)	Conditionnement.	
1.2.)	Climatisation.	
1.3.)	Conditions désertiques.	
2.)	GENERALITES.....	3
2.1.)	Modes d'installation de climatisation.	
2.2.)	Propriétés de l'air.	
2.3.)	Transmission de chaleur et d'humidité.	
3.)	DESCRIPTION DU SYSTEME DE CLIMATISATION.....	8
3.1.)	Central de conditionnement d'air.	
3.2.)	Definitions et role de chaque élément de la centrale.	
3.3.)	Canneaux d'air.	
3.4.)	Realisation de boucles de réglage.	
3.5.)	Ex: de calcul du systeme de climatisation pour une salle de cinéma.	
3.6.)	Systemes frigorifiques.	
3.6.1.)	Refroidissement à l'aide de l'air sursaturé.	
3.6.2.)	Machine à absorption.	
4.)	SOURCES D'ENERGIE.....	20
4.1.)	Energie électrique.	
4.2.)	Energie solaire.	
4.3.)	Autre source.	
5.)	ANALYSE THEORIQUE ET EXPERIMENTALE DES PROPRIETES DYNAMIQUES ET STATIQUES DU SYSTEME DE COMMANDE.....	
5.1.)	Analyse théorique.	
5.2.)	Analyse expérimentale.	
5.3.)	Interprétations des résultats expérimentaux et conclusion.	
5.4.)	Analyse et choix des régulateurs.	
6.)	ETABLISSEMENT DU SCHEMA DE CONCEPTION DU SYSTEME DE COMMANDE POUR LA SALLE DE CINEMA.....	63
6.1.)	Systeme sans commande automatique.	
6.2.)	Systeme de commande automatique.	
6.3.)	Schéma général du systeme de commande.	
6.4.)	Systeme de mesure.	
7.)	ANALYSE ET CHOIX DES ELEMENTS DE COMMANDE ET DE MESURE.....	73
7.1.)	Capteurs.	
7.2.)	Régulateurs.	
7.3.)	Servomoteurs.	
7.4.)	Organes de réglage.	
8.)	ETABLISSEMENT DU PROJET DE REALISATION.....	78
8.1.)	Spécification des éléments.	
8.2.)	Emplacement des éléments de mesure et de commande .	
8.3.)	Tableau de commande.	
9.)	CONCLUSION.....	83
	BIBLIHOGRAPHIE.....	

1) INTRODUCTION

-1-

Depuis le début de sa présence sur terre, l'homme n'a cessé de s'organiser, tant bien que mal, contre la chaleur, le froid, les intempéries et cela de diverses façons, notamment:

- Par certaines évolutions physiques.
- Par le port de vêtements adaptés.
- En choisissant convenablement l'isolation la ventilation ou l'isolation de son habitat.

1-1) CONDITIONNEMENT :

Le conditionnement de l'air consiste à modifier sa température et son état hygrométrique dans un certain milieu. L'air doit être préparé (conditionné) non pas pour créer un climat de confort ou de bien être uniquement pour les occupants d'un local, mais aussi pour répondre aux besoins impératifs particuliers d'une industrie, d'une fabrication, d'un traitement spécifique.

1-2) CLIMATISATION :

La climatisation vise essentiellement le confort de l'individu ou son aptitude à exercer une activité manuelle ou intellectuelle:

- Soit au travail
- Soit au repos.

Les paramètres dont dépend l'équilibre thermique de l'homme et par conséquent son état de confort sont:

- la résistance thermique moyenne de la conductivité des vêtements.
- le niveau d'activité déterminant la production interne de chaleur du corps ou chaleur métabolique.
- la température sèche de l'air.
- la température moyenne de rayonnement.
- la vitesse relative par rapport au système.
- l'humidité de l'air.

.../...

1-3) CONDITIONS DESERTIQUES:

La presque totalité des nations situées dans la zone à climat chaud est constituée de pays en développement. En effet, l'exposition à des conditions chaudes pénibles des populations de ces zones, tout au long de leur vie, est cause importante du faible degré de leur développement économique et industriel.

Les principaux problèmes économiques des pays chauds sont:

- Les coûts des installations de climatisation sont en général plus élevés que dans les pays industrialisés car le matériel approprié doit être le plus souvent importé.

- Les coûts d'exploitation sont plus importants en général.

- Les gains de productivité à attendre du conditionnement d'air sont plus importants que dans les pays tempérés.

Afin d'illustrer les différentes fluctuations de température et d'humidité, on a pu obtenir des relevés de température et d'humidité, enregistrés par l'ONM (Office National de Météorologie) dans une région du Sud du pays qui est BECHAR. Ceci durant les années 1963 à 1977 ou l'on voit que la différence de température a atteint 20°C en 24 heures et celle de l'humidité a atteint jusqu'à 84%.

TABLEAU DES TEMPERATURES ET HUMIDITES EXTREMES MOYENNES ENREGISTREES
POUR LA REGION DE BECHAR (1963 à 1977).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TEMPERATURES MAX. (°c)	20,3	22,8	24,7	27,8	36,2	37,4	40,8	40,5	40,7	29,4	23,1	18,5
TEMPERATURES MIN. (°c)	0,9	4,2	6,7	10,9	9,1	20,5	24,1	24,6	16,2	13,3	6,1	1,4
HUMIDITE MAX. (%)	92	78	66	72	58	48	41	95	80	76	83	87
HUMIDITE MIN. (%)	29,1	22,1	17,1	16,2	13,1	11,4	10	11,5	18,9	20,5	26,2	35,7

.../...

2-) GENERALITES :

2-1) MODES D'INSTALLATION DE CLIMATISATION

2-1-1) Avec traitement de l'air extérieur.

Ce fonctionnement est très hygienique mais rarement utilisé car il exige une forte consommation d'énergie (voir fig 1.)

2-1-2) Avec traitement de l'air de mélange:

C'est le fonctionnement le plus utilisé car il nécessite le moins d'énergie. Il est très avantageux du fait qu'il respecte le compromis hygiène économie. On opte pour ce cas (fig. 2).

2-1-3) Avec traitement de l'air recyclé.

Dans ce système, la totalité de l'air utilisé est recyclée. Il est très économique mais n'est pas utilisé car il n'est pas hygienique (fig. 3).

2-1-4) Notre centrale fonctionnera avec un traitement de l'air de mélange en prenant soin que la bouche d'apport d'air neuf soit placée à un niveau assez haut et le moins exposée au vent afin d'éviter l'ensablement des éléments de commande d'apport d'air (clapets) qui est un des principaux problème à éviter dans les conditions désertiques.

2-2) PROPRIETES DE L'AIR.

2-2-1) L'AIR SEC.

L'air sec se comporte comme un gaz parfait, on peut donc lui appliquer l'équation $PV=RT$.

Soit M le poids moléculaire de l'air, on sait q'une molécule.

Kilogramme d'un gaz parfait occupe un volume de 22,412 m³, donc pour une température de 0°c et une pression de 760 mm de mercure correspond à 10332 mm d'eau.

$$10332. \quad 22,412 = MR. 273,15$$

$$R = \frac{848}{M}$$

.../...

- Poids moléculaire de l'air sec:

$$M = 22,412 \cdot 1,293 = 29$$

- Constante d'air sec:

$$R = \frac{848}{M} = \frac{848}{29} = 29,2$$

- Chaleur spécifique:

$$c_p = 0,24$$

- Enthalpie.

$$h = c_p \Delta t = 0,24 \Delta t.$$

2-2-3) L'AIR HUMIDE:

- l'air atmosphérique n'est jamais exempt de vapeur d'eau.

Le poids moléculaire de l'eau étant égal à 18:

$$\text{La constante } R \text{ de l'eau est } R = \frac{848}{18} = 47.$$

- Chaleur spécifique de la vapeur d'eau:

la variation de la chaleur spécifique de la vapeur saturée ou surchauffée étant très faible, dans la plage de température considérée par le conditionnement, on peut prendre une valeur constante de 0,45 qu'il s'agisse de vapeur saturée ou surchauffée.

- Humidité absolue W:

C'est la quantité de vapeur d'eau associée à 1 Kg d'air sec.

- Humidité d'air humide:

l'ensemble: 1Kg d'air sec + W de vapeur d'eau constitue l'unité d'air humide (poids d'air humide que constitue 1 Kg d'air sec) le mélange étant à la pression P souvent atmosphérique.

- Température sèche:

C'est la température de mélange air-vapeur.

- Température de rosée

C'est la température à laquelle apparait la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air et ce au contact d'une paroi humide.

- Température humide:

C'est la température atteinte par l'air non saturé lorsqu'il le devient au contact d'eau déjà à cette température.

- Chaleur totale de l'air humide (enthalpie)

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un corps pour l'emmener à la température t et à pression constante.

.../...

2-3) TRANSMISSION DE CHALEUR ET D'HUMIDITE:

2.3.1) TRANSMISSION DE CHALEUR.

La transmission de chaleur se transmet de trois façons différentes: le rayonnement, la conduction et la convection.

2.3.1.1.) RAYONNEMENT:

Tout corps chaud émet des radiations calorifiques en perdant une partie de son énergie interne et sa température s'abaisse. Ces radiations sont recues par tout corps froid situé au voisinage du corps chaud mais sans contact avec lui, la température de ce corps froid monte.

Pour les murs d'une construction, la quantité on flux de chaleur ϕ_R émis par rayonnement par une paroi pour une surface S(m²) et pendant une heure est proportionnelle:

- A la différence $T_p - T$ entre la température T_p de la paroi et la température T de l'air ambéant.

- A un coefficient de rayonnement $\overline{\epsilon}$ (kcal. h⁻¹ M². degré⁻¹) caractéristique du matériaux.

$$\phi_R = (T_p - T) \cdot \overline{\epsilon} S$$

2.3.1.2.) CONDUCTION:

Le flux de chaleur qui traverse une paroi séparant deux milieux à des températures différentes caractérise la conductibilité de la paroi. Ce flux ϕ_D pour une surface S (m²) et pendant une heure est proportionnelle:

- A l'inverse de l'épaisseur d(m) de la paroi.

- A un coefficient de conductibilité λ (kcal. h⁻¹.m⁻¹ degré⁻¹)

qui est l'une des caractéristiques du matériaux constiuant la paroi.

On a donc en kcal.h⁻¹ on watt la loi de fourier:

$$\phi_D = \frac{\lambda \cdot S}{d} (T_i - T_e)$$

.../...

2.3.1.3) CONVECTION:

Entre une paroi à température T_p et l'atmosphère qui baigne cette paroi et dont la température est T , il s'établit un flux de chaleur ϕ_v , c'est la convection. Ce flux pour une surface $S(m^2)$ et pendant une heure est proportionnelle:

- A la différence de température $T_p - T$ en °c
 - Au coefficient de convection β (kcal.h⁻¹. M⁻¹.degré⁻¹) qui dépend de la vitesse de la masse volumique du milieu baignant la paroi, de la rugosité de cette paroi et de sa forme
- On a donc en kcal.h⁻¹ on watt, la loi de Newton=

$$\phi_v = (T_p - T) \beta \cdot S$$

2.3.1.4. PRESSION MAXIMUM DE VAPEUR D'EAU EN CONCTION DE LA TEMPERATURE

T (:C)	-10	-5	0	2	4	6	8	10	12
P (mm Hg)	2,1	3,1	4,6	5,3	6,1	7	8	9,2	10,5
T (: C)	14	16	18	20	24	28	35	40	60
P (mm Hg)	11,9	13,6	15,4	17,4	22,2	28,1	41,8	54,9	148,8

2.3.2. CONTROLE DE L'HUMIDITE:

Le réglage de la teneur de l'air en vapeur d'eau doit, suivant les cas consister en une humidification de l'air (climats chauds et secs) ou une déshumidification (climats chauds et humides).

- la déshumidification peut être obtenue par procédés physiques: refroidissement de l'air pour condenser l'excès sur une paroi froide puis réchauffage à la température d'utilisation, ou même refroidissement par contact direct avec l'eau froide. On peut aussi déshumidifier l'air par des procédés physico-chimiques, utilisant des produits adsorbants tels que le gel de silice, alumine activée, tri-éthylène-glycol. A noter que la substance utilisée peut-être régénérée c'est à dire débarrassée de l'eau qu'elle a retenue, par un simple chauffage qui peut, dans les pays chauds, être obtenu par l'énergie solaire.

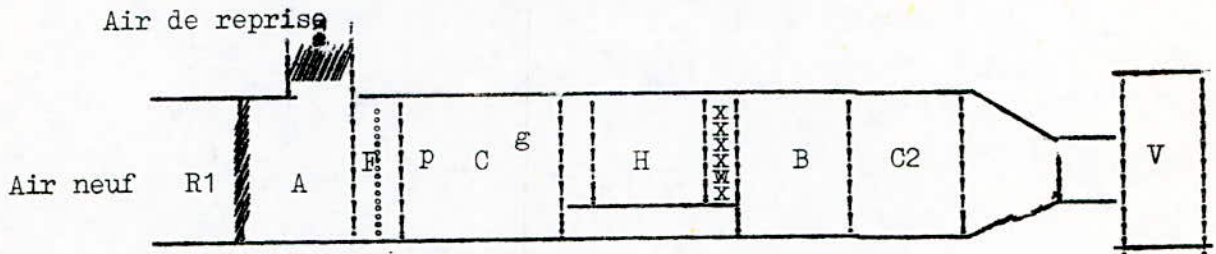
.../...

- L'humidification peut-être obtenue par injection de vapeur (nécessitant une chaudière classique ou électrique) ou plus facilement par contact direct avec un appareil humidificateur souvent appelé laveur lorsqu'il remplit également le rôle de filtre. Une bonne humidification s'obtient par l'emploi de pulvérisateurs (à air comprimé ou plus simplement à pression d'eau) l'eau peut-être utilisée en circuit fermé avec les précautions d'usage: compensation de l'eau évaporée, filtration etc...

Le laveur est en général suivi d'un séparateur de gouttelettes, ou les diffuseurs ou bouches de soufflage quand on utilise de l'air sursaturé.

3.) DESCRIPTION DU SYSTEME DE CLIMATISATION:

3-1) CENTRALE DE CONDITIONNEMENT D'AIR:



- R1 R2: Registres de réglage.
- F: Filtres.
- C1: Préchauffage.
- C2: réchauffer
- H: Humidification.
- (P: rampe de pulvérisation, g: séparateur de gouttes)
- V: Ventilateur
- A: Chambre de mélange.

3-2) DEFINITION ET ROLE DE CHAQUE ELEMENT DE LA CENTRALE:

La centrale comprend essentiellement la source frigorifique qui peut-être mécanique (avec compresseur à piston ou centrifuge), à absorption, éventuellement à évaporation d'eau et différents appareils de traitement.

3-2-1) CHAMBRE DE MELANGE:

C'est une chambre à double entrées commandées par des clapets servant à réaliser un mélange d'air dans les proportions désirées (Air extérieur + Air recyclé).

.../...

3.2.2 FILTRES A POUSSIÈRES

Le filtre à poussière se trouve juste après la chambre de mélange. Son rôle est d'épurer afin d'éviter les dépôts de poussière dans les locaux à climatiser. Vu les conditions dont doit fonctionner notre centrale, les filtres à poussière jouent un rôle primordial et doivent être choisis d'une façon judicieuse afin de filtrer l'air d'apport des grains de sable y existant dans un premier lieu et d'éviter les dépôts de poussière dans les locaux à climatiser dans un second lieu. Notre centrale sera équipée de trois types de filtres qu'on mettra l'un après l'autre à petit intervalle et ceci par ordre décroissant des diamètres des trous filtrants. Les filtres varient suivant le matériel de construction (filtres à papier, toles de choc, huilée à matière filtrante) et suivant la gamme de fabrication.

	GAMME DE FABRICATION	POUR DES GRAINS DE DIMENSIONS
A	FILTRES GROSSIERS	0,8 μ
B	FILTRES FINS	0,7 μ
C	FILTRES ULTRA-FINS	0,7 μ

3.2.3 - PRECHAUFFEUR.

Il est utilisé pour rapprocher l'air de son point de rosée lors de son refroidissement, et son humidification.

3.2.4 - HUMIDIFICATEUR (LAVEUR)

Il sert à humidifier l'air pour lequel ou doit maintenir la teneur en eau constante et à le purifier par lavage l'humidification se fait par éjection de vapeur ou pulvérisation d'eau.

3.2.5 - REFRIGERATEUR

Utilisé pour l'assèchement de l'air pendant le processus de climatisation. On utilise le fait que le refroidissement se fait avec condensation de l'eau donc pour assécher l'air il suffit de refroidir l'air jusqu'à la température correspondant à la teneur en eau pour l'air saturé.

3.2.6. - RECHAUFFEUR.

Il sert à ramener l'air à la température désirée car l'effet du préchauffeur est souvent mouffisant. Ce chauffage se fait à l'aide d'échangeurs de chaleur qui sont à vapeur ou à eau chaude.

3.2.7 - VENTILATEUR

Il sert à véhiculer l'air conditionné, dans le local à climatiser.

3.3 CANNEAUX D'AIR.

Le transfert de l'air conditionné d'un point à un autre se fait à l'aide d'une gaine qui doit être homogène sur toutes ses faces et doit avoir le minimum d'irrégularité de surface possible.

3.3.1 - SYSTEME BASSE PRESSION

Dans ce genre de système, on utilise des canneaux rectangulaires de 40.30 cm² dans le cas où la distance séparant la centrale et les locaux à climatiser reste assez petite. La vitesse de l'air est de $3 \div 5$ m/s.

3.3.2 - SYSTEME HAUTE PRESSION.

Dans ce système, la vitesse de l'air étant assez grande ($8 \div 12$ m/s), on utilise des canneaux circulaires dont le diamètre est fonction du débit d'air qui y passe.

- Dans notre étude on a opté pour le système basse pression, car le système haute pression est bruyant.

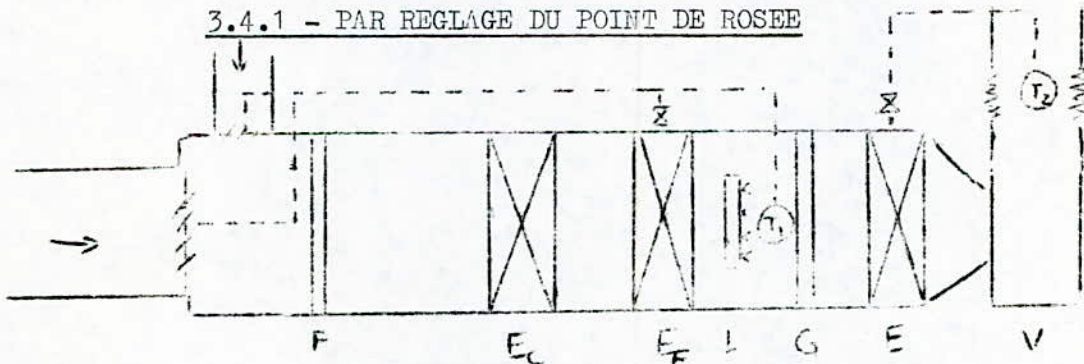
3.3.3 - EXIGENCES POUR LES CONDITIONS DESERTIQUES

Il serait très souhaitable d'avoir des éléments du système de commande qui répondent aux critères suivants :

- Robustesse et étanchéité (ensablement)
- Résistance à la corrosion
- Stabilité et précision
- Cout d'installation et d'entretien assez modéré.
- Interchangeabilité.
- Sécurité.

3.4 - REALISATION DES BOUCLES DE REGLAGE.

3.4.1 - PAR REGLAGE DU POINT DE ROSEE



Un thermostat T1 placé devant le laveur (Endroit où l'air est évidemment saturé) est réglé sur le point de rosée désirée.

Il commandé :

- Deux registres placés devant les entrées de l'air neuf et recyclé de façon à accroître la proportion d'air de reprise si la température du mélange s'abaisse.

- Le débit de fluide réfrigérant dans l'échangeur Ef de façon à l'accroître si la température du mélange augmente. Un second thermostat T2 situé dans le local, règle le débit de l'échangeur E afin que la température soit maintenue à la température de consigne.

- La chaleur pénétrant de l'extérieur par murs et fenêtres (le calcul peut être fait comme un calcul de diperdition en chauffage à partir de la surface, de la nature et de l'orientation des parois. Nous admettons cette charge égale à 8000 kcal/h

- La chaleur produite par les spectateurs.

$$100.500 = 50000 \text{ kcal/h}$$

Remarque : S'il s'agissait d'une usine il faudrait ajouter la chaleur dégagée par les machines, appareils d'éclairage etc...

La charge frigorifique totale est donc :

$$50000 + 8000 = 58000 \text{ kcal/h.}$$

L'humidité à éliminer est celle produite par les occupants sera (un individu dégage 65 g d'humidité)

$$65.500 = 32500 \text{ g} = 32,5 \text{ kg.}$$

Là aussi, il faudrait ajouter l'humidité produite par les machines dans le cas d'une usine.

Sur le diagramme de Mollier, la pente de la droite IS est égale à :

$$\frac{I_i - i_s}{X_i - x_s} = \frac{58000}{32,5} = 1785$$

Le point S sera donc sur la droite de pente 1785 menée par le point I. D'autre part, pour que l'air soufflé ne produise pas des vents coulis désagréables, on admet que la différence de température entre l'air du local et l'air soufflé doit être comprise entre 6 et 8°C. Ici la température de l'air soufflé sera 20°C et le point S, sur la droite T = 20°C sera parfaitement déterminé.

On tire alors ses caractéristiques du diagramme :

$$X_s = 10,25 \text{ g/Kg} \quad \text{et} \quad i_s = 11 \text{ kcal/kg}$$

Le débit d'air soufflé sera donc :

$$P_s = \frac{58000}{14-11} = 19300 \text{ kg/h} \quad (I_i = 14 \text{ et } I_s = 11)$$

Cherchons dans quelle proportion l'air neuf doit être mélangé à l'air de reprise dans la chambre de mélange et pour cela cherchons les coordonnées du point M du diagramme représentant cette chambre. L'hygiène impose un apport d'air pur d'au moins 15 m³/h par personne. Le poids d'air extérieur à fournir est donc.

$$P_e = 15.500 = 7500 \text{ m}^3/\text{h} = 7500.1,2 = 9000 \text{ kg/h} \quad (I_i=14 \text{ et } I_s=11)$$

Si Pr est le poids horaire d'air de reprise, les proportions de mélange sont :

$$\frac{P_r}{P_e} = \frac{19300 - 9000}{9000} = 1,14$$

Etablissons un bilan thermique de la chambre de mélange :

$$(Pr + Pe) im = Pr Ii + Pe Ie \quad \text{avec} \quad \frac{Pe}{Pr} = 1,14 \Rightarrow P_e = 1,14 P_r = 10260 \text{ Kg/h}$$

Car les caractéristiques de l'air de reprise et en particulier

l'enthalpie sont celles de l'intérieur du local :

$$im = \frac{10260 \cdot 14 + 9000 \cdot 18}{10260 + 9000} = 15,8 \text{ kcal/Kg.}$$

Faisons un bilan analogue pour l'humidité.

$$xm = \frac{10260 \cdot 12,8 + 9000 \cdot 13,9}{10260 + 9000} = 13,31 \text{ g/Kg}$$

Calculons maintenant la puissance du réfrigérateur : Soit Z le point du diagramme caractérisant l'état du fluide à la sortie du réfrigérant et avant la traversée du ventilateur.

De l'état caractérisé par le point Z jusqu'à sa sortie de gaine, la variation d'enthalpie de l'air a deux causes.

- L'échauffement causé par la traversée du ventilateur, supposons sa puissance égale à 350 kgm/s, l'échauffement sera.

$$\frac{350 \cdot 3600}{42,7} = 2950 \text{ kcal/h}$$

- La pénétration de la chaleur dans les gaines se calcule par la même méthode que les déperditions calorifiques. Supposons là égale à 3000 kcal/h.

$$Ps (is - iz) = 5950$$

$$iz = is - \frac{5950}{Ps} = 11 - \frac{5950}{19300} = 10,69$$

La puissance du réfrigérant est donc :

$$Ps (im - iz) = 19300(15,8 - 10,69) = 98623 \text{ kcal/h}$$

(voir représentation sur diagramme i,x figure 4)

3.5.2 - PERIODE HIVER

Les données sont $Ti = 22^\circ\text{C}$

$$Ii = 50 \%$$

$Te = 5^\circ\text{C}$

$$Ie = 30 \%$$

Du diagramme de Mollier, on tire les points I et E

$$xi = 8,25 \text{ g/Kg}$$

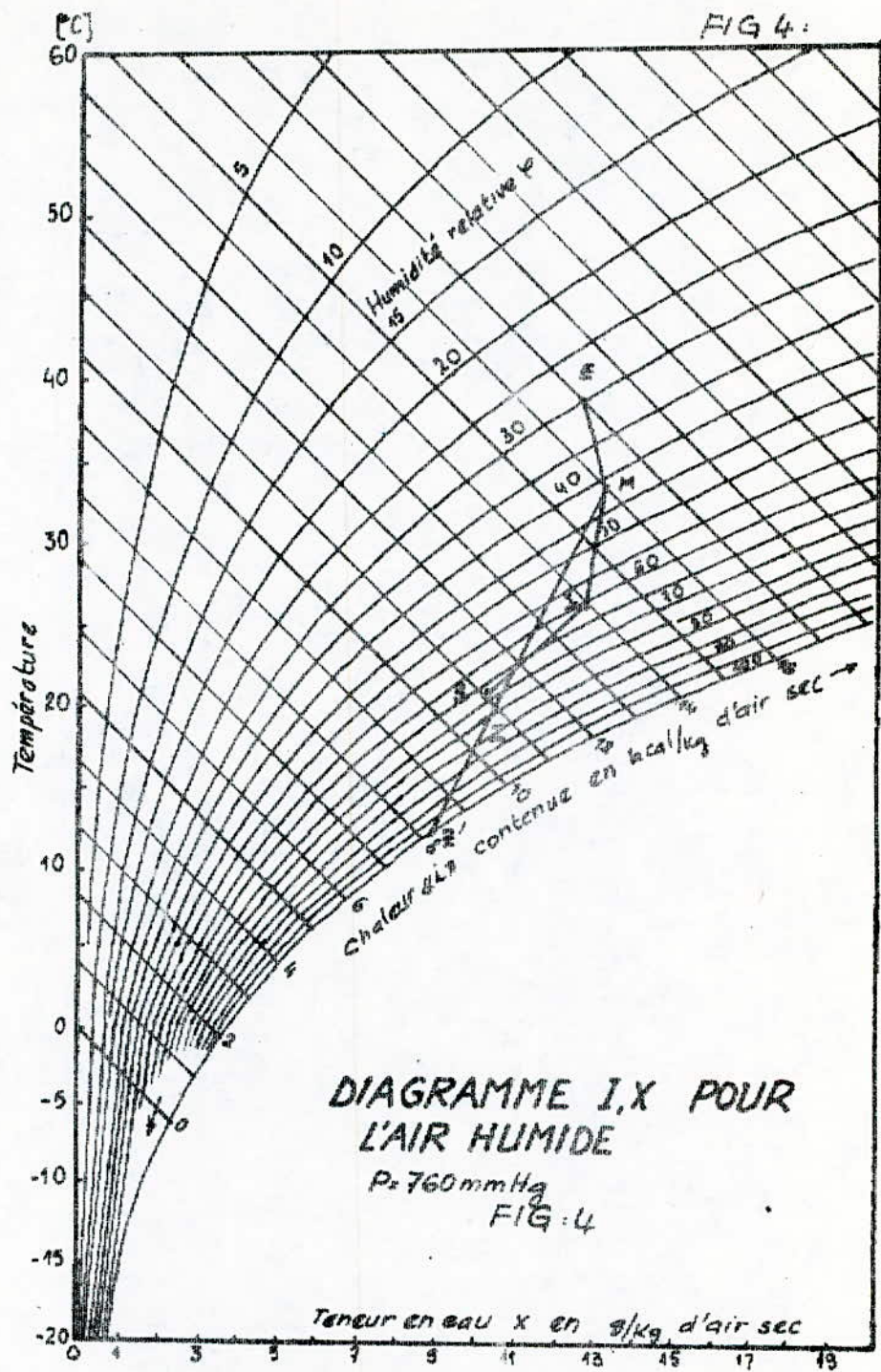
$$Ii = 10,25 \text{ kcal/Kg}$$

$$xe = 0,85 \text{ g/Kg}$$

$$Ie = -0,9 \text{ kcal/Kg}$$

La température intérieure a été prise égale à 22°C , en climatisation on majore de 2°C environ les températures de bases admises en chauffage pour neutraliser les vents coulis provoqués par l'afflure d'air extérieur. Nous faisons aussi une convention : La chambre de ventilation devant utilisée toute l'année, le poids d'air soufflé sera le même :

$$Ps = 19300 \text{ Kg/h}$$



Ce refroidissement s'est effectué sans perte d'humidité, le point S a pour coordonnées :

$$x_s = x_r = 7$$

$$T_s = 25^{\circ}\text{C}$$

Le traitement de l'air soufflé se suit sur le diagramme : du point M (mélange d'air neuf et d'air recyclé) au point H (sortie de l'humidificateur) puis sur le segment HR qui traduit son réchauffement jusqu'à sa sortie des gaines, au point S.

- Remarque : Si la proportion d'air neuf avait été plus grande, le point M serait plus près du point I. L'humidification de l'air serait insuffisante, le segment MA étant trop court. Il aurait fallu dans ce cas prévoir un préchauffage avant l'humidification.

3.5.3 - LES DIAGRAMMES PSYCHROMETRIQUES

Appelés également courbes de l'air humide, ils permettent de représenter clairement et de calculer les évolutions de l'état de l'air lors de son conditionnement. Dans ces diagrammes, les différentes caractéristiques d'un air humide sont rapportées de cet air humide qui contient 1 Kg d'air sec. C'est cette manière de calculer qui s'est généralisée car elle seule permet de se ramener à une quantité indépendante du chauffage et du refroidissement simple. En effet, le volume de l'air sec ou humide varie avec la température alors que la masse d'air sec est invariante (voir fig 4)

3.6 - SYSTEMES FRIGORIFIQUES

Etant donné que l'air extérieur est suffisamment chaud, on profitera de son énergie pour réaliser un refroidissement par évaporation d'eau, en premier lieu, qui n'étant pas toujours suffisant, on fait intervenir la machine à absorption pour afficher les propriétés désirées.

3.6.1 - CONDITIONNEMENT DE L'AIR PAR EVAPORATION D'EAU

(AIR SURSATURE)

L'évaporation de l'eau peut être utilisée soit pour rafraichir de l'eau, soit pour refroidir de l'air. Il existe un bon nombre d'installations de climatisation utilisant cette méthode et donnant satisfaction. ON distingue d'eux systèmes distincts :

3.6.1.1 - HUMIDIFICATION SIMPLE (FIG 5)

L'air extérieur, chaud et sec passe à travers un rideau d'eau dans un humidificateur ou il se refroidit en se chargeant de vapeur d'eau. Il est mélangé à l'air de l'enceinte à climatiser en proportion convenable pour obtenir les conditions désirées.

Par exemple : En partant d'air extérieur à 38°C, humidité relative 20 %, on obtient par passage sur un refroidisseur à évaporation d'eau un air à 24°C et 74 % d'humidité, cet air est envoyé dans le local ou il se mélange à l'air chaud, l'air évacué du local étant de 30°C et 52 % d'humidité.

A cela s'ajoute le côté économique car, au Sahara, une installation de ce type coûte 40 à 50 % de moins qu'un équipement frigorifique.

3.6.1.2 - HUMIDIFICATION AVEC PREREFROIDISSEMENT (FIG 6)

Le perfectionnement par rapport au schéma précédent est le suivant avant de passer à l'humidificateur, l'air extérieur traverse un pré-refroidisseur, échangeur sec ou l'air est refroidi par de l'eau qui a, elle même, été préalablement rafraîchie sur un réfrigérant d'eau, par évaporation partielle.

Voici par exemple les caractéristiques de l'air dans une installation réalisée suivant ce schéma au Sahara :

Air extérieur 48°C et 10 % d'humidité, 36°C à la sortie du pré-refroidisseur, après passage à l'humidificateur 22°C et 77%, dans la salle 31°C et 50%.

On remarque que ce cas est plus favorable que le premier.

3.6.2 - MACHINES A ABSORPTION (FIG 7)

3.6.2.1 - PRINCIPE ET COUPLE BINAIRE

Le principe de fonctionnement de ces machines repose sur la théorie et les propriétés des mélanges binaires. Les mélanges utilisés comprennent un "Solvant" et un fluide frigorifique qui en un certain point du cycle est "absorbé" (d'où le nom donné à ce type de machines), et en un autre point chassé du solvant.

3.6.2.2. - MACHINE INDUSTRIELLE (H₂O + NH₃)

Cette machine utilise la propriété que présente l'eau à basse température d'absorber l'ammoniac (1000 fois son volume à 0°C) et de libérer par chauffage le gaz absorbé (à 100°C la presque totalité du gaz a été libérée) les vapeurs d'ammoniac une fois condensées pourrons donc nous assurer la production du froid désiré dans un évaporateur.

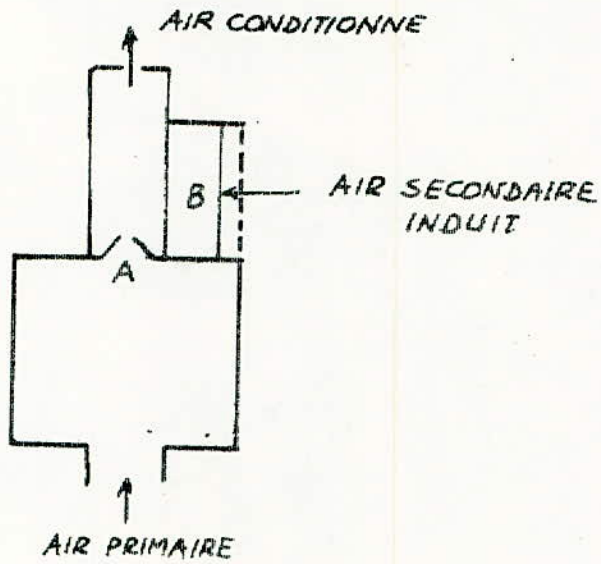
Voir schéma d'une machine à absorption (H₂O+NH₃) en figure 7.

3.6.2.3 - FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE A ABSORPTION

Le cycle à absorption comprend essentiellement :

- Un bouilleur B relié à une source de chauffage pour en chasser par vaporisation le fluide frigorifique à la pression P₁.
- Un condensateur C relié à une source de refroidissement pour permettre la condensation à la pression P₁.
- Un détendeur D abaissant la pression du fluide condensé, à la valeur P₂.

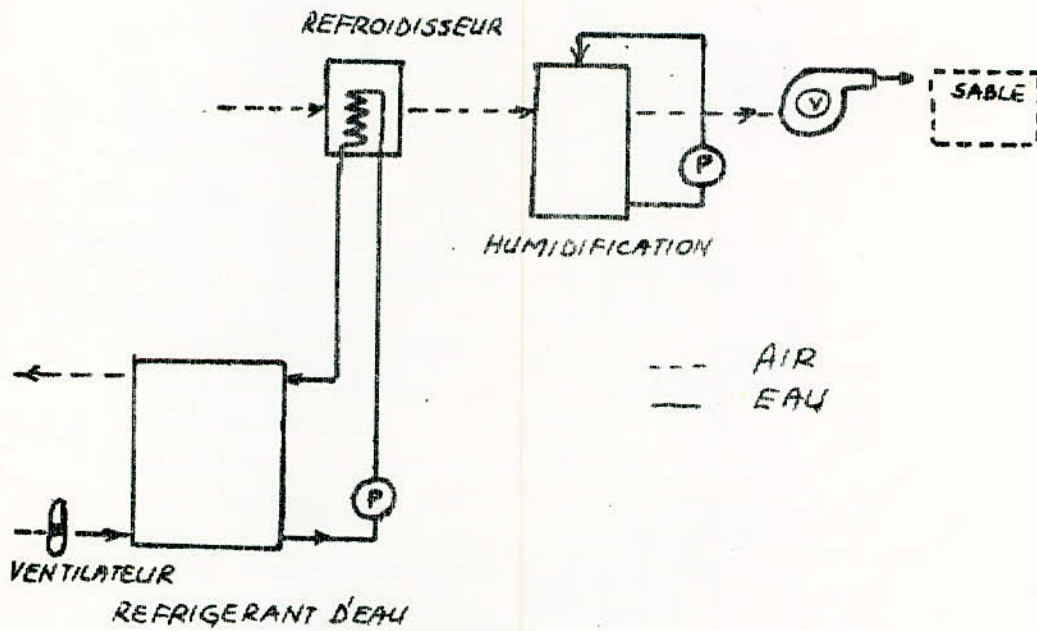
HUMIDIFICATEUR SIMPLE FIG 6



A : AJUTAGE

B : BATTERIE FROIDE

HUMIDIFICATEUR AVEC PREREFROIDISSEMENT FIG 6



--- AIR
 — EAU

FIG 7 MACHINE à ABSORPTION D'AMMONIAC

- A : Absorbants
- B : Bouilleur
- C : Condenseur
- Cl : Colonne
- D : Détendeur
- Ec : Echangeur
- Ev : Evaporateur
- P : Pompe
- R : Réservoir
- Re : Reflux
- V : Vapeur

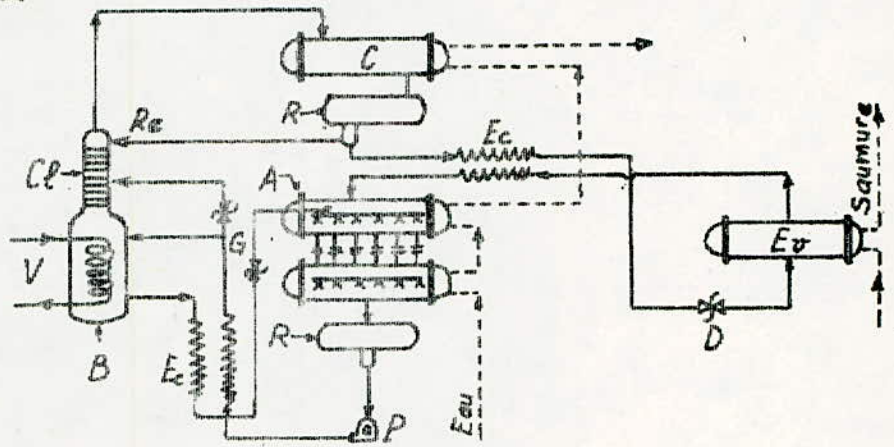


FIG :

DIAGRAMME de Oldham du MELANGE H₂O-NH₃

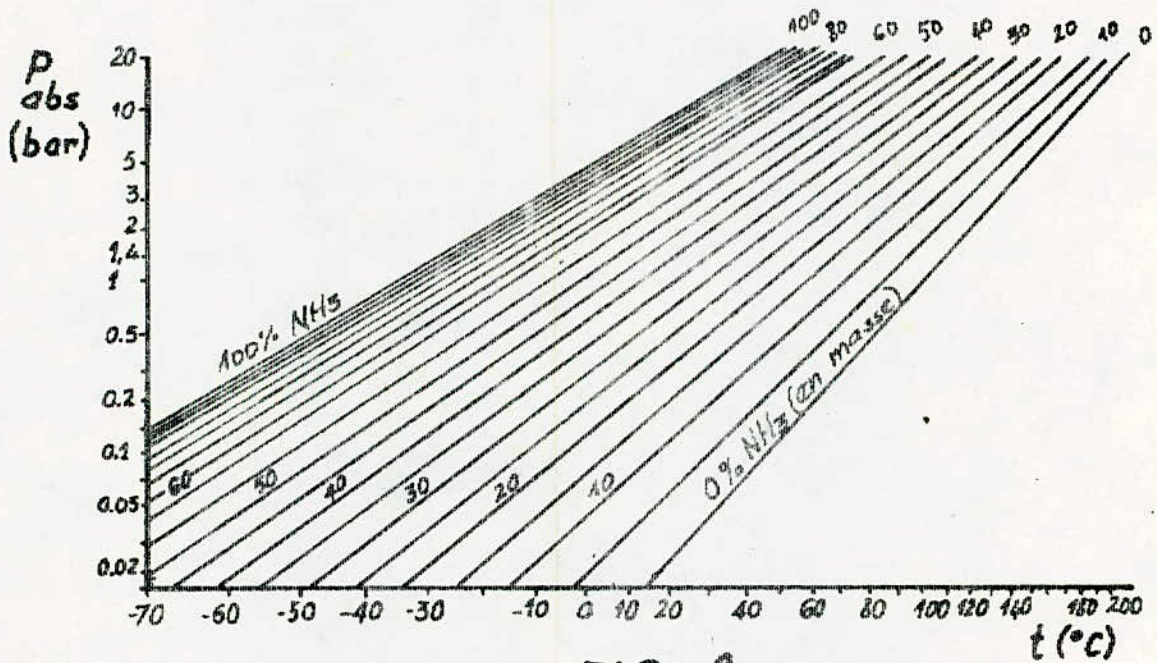


FIG: 8

- Un évaporateur Ev où le fluide frigorigène se vaporise à la pression P2, produisant le froid recherché dans la source de chaleur à laquelle il est relié.

- Un absorbeur A où le fluide frigorigène est réabsorbé dans la solution appauvrie en dégageant une certaine quantité de chaleur dans la source de refroidissement à laquelle il est relié.

- Une pompe P qui refoule la solution reconcentrée de la pression P2 à la pression P1 du bouilleur.

- Un détendeur G sur la tuyauterie qui alimente l'absorbeur en solution diluée venant du bouilleur.

3.6.2.4. - DIAGRAMME DE OLDHAM

C'est le diagramme le plus utilisé. L'axe des abscisses est gradué $1/K$ et l'axe des ordonnées en $\log p$.

Dans ce système binaire dans la phase vapeur aussi bien que dans la phase liquide, à très peu de chose près, sont des droites (voir figure 8).

4 - SOURCE D'ENERGIE

4.1 - ENERGIE ELECTRIQUE

On utilisera l'énergie électrique directement du réseau quand l'énergie thermique (solaire + énergie d'autre source) est insuffisante.

4.2 - ENERGIE SOLAIRE

Etant donné que notre projet est conçu pour un fonctionnement dans des conditions désertiques (Régions du Sud du pays) l'utilisation de l'énergie solaire comme source d'énergie pour le fonctionnement de notre système sera très favorable, vu que le Sud est une région la plus ensoleillée du monde.

La conversion de l'énergie solaire par effet photo voltaïque présente des qualités assez séduisantes de robustesse, de simplicité et de propreté, mais elle a l'inconvénient d'être assez coûteuse. D'après les constructeurs de cellules solaires, le prix de revient des photopiles subira, dans l'avenir une diminution très sensible, rendant ainsi la conversion photo voltaïque à un prix réduit.

4.2.1 - PHOTOPILES ET PANNEAUX SOLAIRES

- Photopiles :

Les photopiles ou cellules solaires sont des diodes. à jonction de grande surface, dont on utilise l'effet photovoltaïque pour la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique.

- Panneaux : (FIG:9)

Les cellules solaires étant groupées de manière à ce qu'elles fournissent une puissance P continue, sous e volts et i ampères, constituent un module solaire. Un module peut être considéré du point de vue électrique comme un composant à deux points (+) et (-) de sorties, fournissant une tension sous un certain courant. Les montages d'association sont les mêmes que ceux des accumulateurs :

- Montage série : augmentation de la tension.
- Montage parallèle : augmentation du courant.
- La puissance peut être augmentée par les divers montage série-parallèle.

4.2.2 - CONCEPTION D'UNE MICRO CENTRALE

Le type de centrale solaire qu'il faut concevoir dans notre cas est celui de la figure 10.

Dans ce cas la durée d'ensoleillement au cours d'une journée ne coïncide pas avec les besoins en électricité. On prévoit donc un système de stockage de l'énergie solaire sous forme d'électricité. Une partie du courant électrique délivrée par le panneau sera utilisée directement ; tandis que l'autre va charger des batteries d'accumulateurs (au plomb doux) En période non éclairée, c'est aux batteries d'accumulateurs de se charger de la distribution de l'électricité.

Le système de régulation permettra un couplage correct panneau-batterie.

4.2.2.1 ORGANES DE REGULATION

Il existe deux grandes catégories de régulateurs, les régulateurs séries et ceux parallèles. Ces derniers sont utilisés, uniquement pour le contrôle de la charge des batteries et ceux sont les plus fréquemment utilisés.

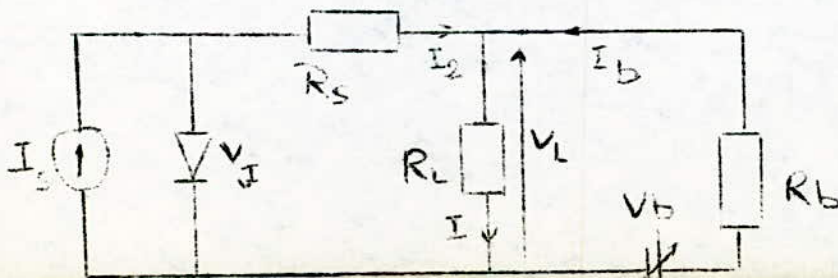
4.2.2.2 - CIRCUIT ELECTRIQUE D'UNE MICRO-CENTRALE :

La caractéristique (V,I) d'une cellule solaire est donnée par :

$$V_L = - I_L R_s + \frac{KT}{q} \ln \frac{I_s - I_L + I_0}{I_0}$$

- avec I_0 = courant de saturation inverse
- K = constante de BOLTXMAN
- q = charge de l'électron
- T = Température

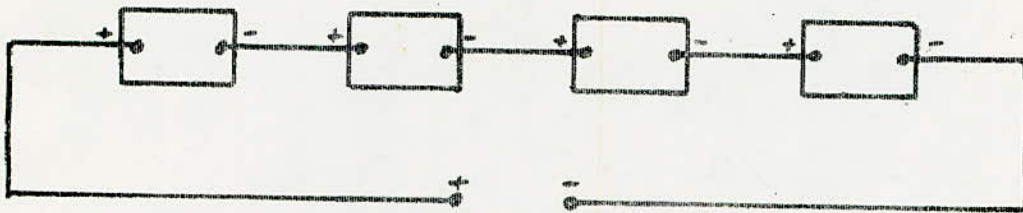
Le schéma équivalent est le suivant



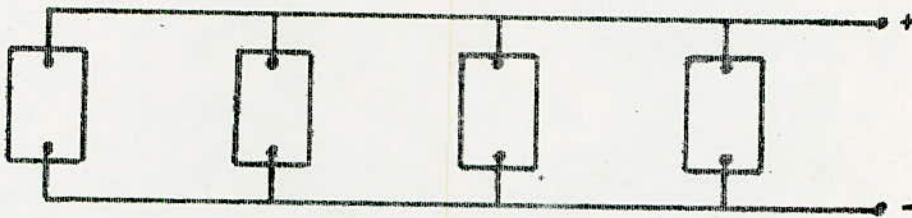
FIGURES 9 et 10

GROUPEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES FIG 9

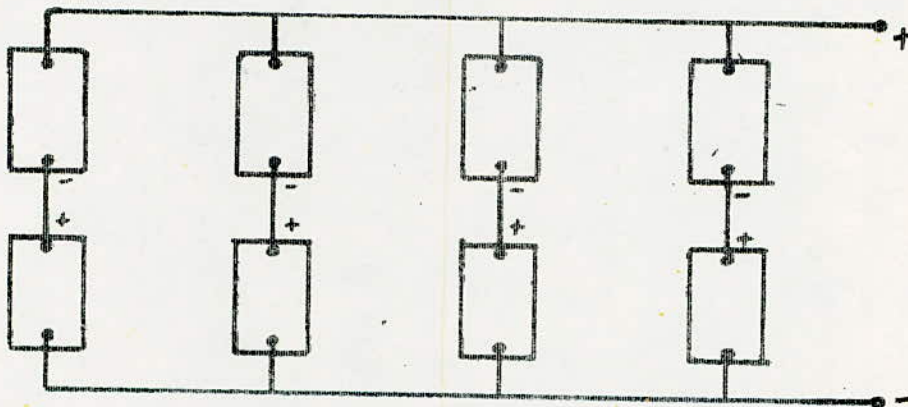
- GROUPEMENT SERIE



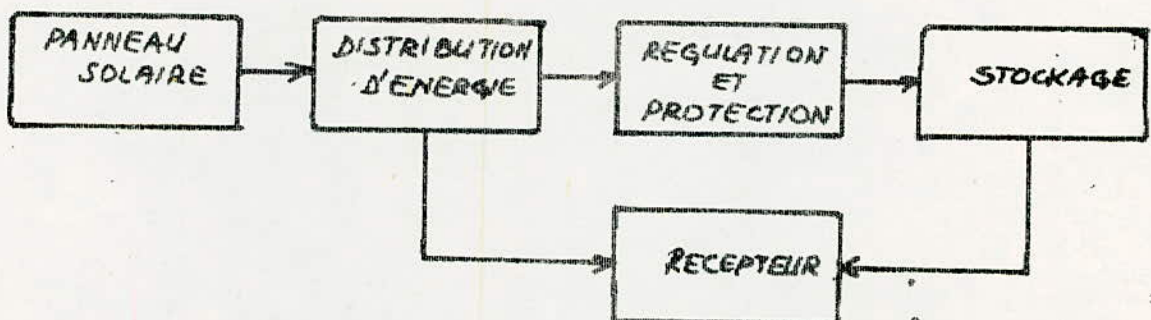
- GROUPEMENT PARALLELE



- GROUPEMENT SERIE-PARALLELE



CONCEPTION D'UNE MICRO-CENTRALE FIG 10



on a :

$$\left. \begin{aligned} V_L &= V_b - R_b I_b \\ I &= I_b + I_L \\ V_L &= R_L I \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_b = \frac{V_b - R_e I_e}{R_b + R_L}$$

De même que :

$$V_J = V_L + R_s I_L \Rightarrow V_J = \frac{R_L}{R_b + R_L} V_b + I_L \left(R_s + \frac{R_b R_L}{R_b + R_L} \right)$$

Soit : $V_J = \alpha V_b + R_s' I_L$ Avec $\alpha = \frac{R_L}{R_b + R_L}$

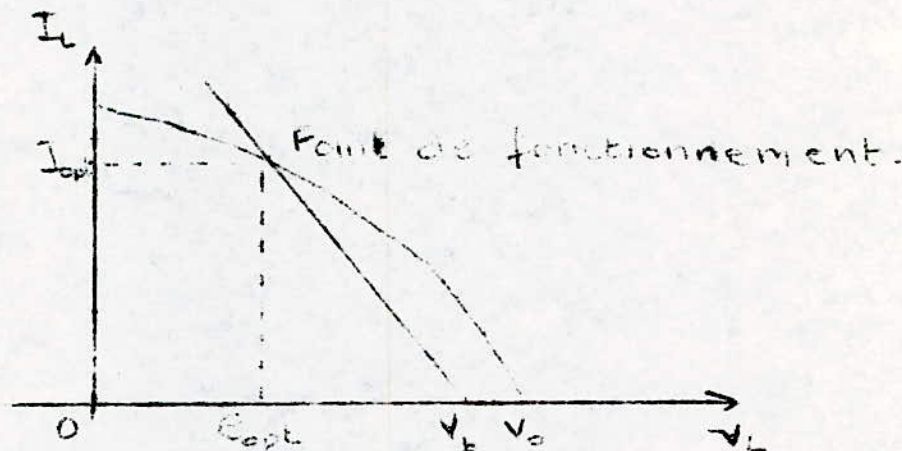
$$R_s' = R_s + \frac{R_b R_L}{R_b + R_L}$$

Généralement $R_b \ll R_L \Rightarrow \alpha \approx 1$

on tire que $V_L = V_b + R_b I_L$

$$I_L = \frac{I}{1 + R_b} V_L - \frac{V_b}{R_b} \Rightarrow I_L = \frac{- I_L R_s + \left(\frac{K T}{q} \right) \left(\ln \frac{I_s - I_L + I_0}{I_c} \right) - V_b}{1 + R_b}$$

Le point de fonctionnement du système est déterminé par l'intersection de la droite de charge avec la caractéristique (V,I) de la cellule.



4.3 - AUTRE SOURCE

Comme autre source, on utilisera la chaudière à combustible liquide qui sera le mazout.

En principe général, une chaudière est un bloc de fonte ou d'acier, de forme parallèle pipédique. Dans la partie centrale creuse est disposée la grille surmontée du combustible, constituant le foyer, au dessous de laquelle se trouve le cendrier. L'enveloppe à double parois, elle-même creuse (échangeur) est remplie d'eau la chaleur du foyer se transmet à l'eau par l'intermédiaire de la paroi métallique.

Comme combustible liquide, le mazout brute difficilement à l'état liquide. Il faut préalablement le vaporiser ou le pulvériser.

Une chaudière à mazout comprend donc essentiellement :

- Une citerne de stockage.
- Un "BRULEUR" où le liquide est pulvérisé puis mélangé à l'air comburant .
- Une chaudière naturellement sans grille. Elle comprend donc uniquement une chambre de combustion où brûlent les vapeurs de mazout, en tourée d'une enveloppe à double paroi (échangeur) remplie d'eau qui s'échauffe par conduction et rayonnement.

5- ANALYSE THEORIQUE ET EXPERIMENTALE DES PROPRIETES DYNAMIQUES ET STATIQUES DU SYSTEME DE COMMANDE

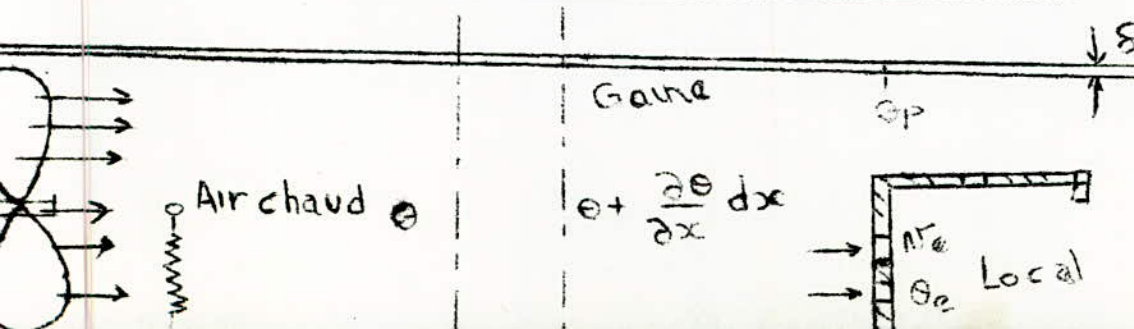
5-1 - ANALYSE THEORIQUE

5.11 - MODELES MATHEMATIQUES

Il est intéressant de trouver une représentation ou modèle mathématique qui se comporte de la même manière que le processus envisagé. Le modèle dépendra de la complexité du processus, des moyens de calcul dont on dispose et du type de régulateur que l'on applique. Le modèle mathématique choisi doit être suffisamment précis pour bien rendre compte de sorte qu'il soit assez simple de ne pas compliquer la structure de la commande.

5.12 - BILAN DE CHALEUR DANS LA GAINÉ

SCHEMA DU MODELE PHYSIQUE DU PROCEDE UTILISE



- La quantité de chaleur véhiculée dans la gaine par le courant d'air chaud à l'entrée d'abscisse x et à la température θ , pendant le temps dt est :

$$P.c. (v dt) . A \theta$$

- La quantité de chaleur véhiculée par l'air chaud à la sortie de l'élément dx, à une distance x+dx, à la température $\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx$ pendant le temps dt est :

$$P.(V dt) A.C(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx$$

- La quantité de chaleur accumulée pendant un temps dt dans l'élément dx est : $P.A dx. C d\theta$.

L'échauffement se fait pendant un temps dt, ou a donc

$$d\theta = \frac{\partial \theta}{\partial t} dt = P.A dx C d\theta = P.A dx C \frac{\partial \theta}{\partial t} dt$$

Cette quantité de chaleur a servi à élever la température de l'élément de volume $\Delta V = A. dx$.

L'écoulement de la chaleur dans la gaine ne s'effectuant pas seulement dans la direction dx, on a une quantité de chaleur qui est échangée pendant le temps dt par convection ou conduction du fluide chaud vers la paroi qui est:

$$h (P dx)(\theta - \theta_p) dt$$

En appliquant le principe de conservation de la quantité de chaleur nous aurons :

$$P(v dt) A.C.d\theta = P(v dt).A.C(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx) + P.A dx (\frac{\partial \theta}{\partial t} dt + h (P dx)(\theta - \theta_p) dt).$$

$$d'où : \quad v \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{h P_i}{P C A} (\theta - \theta_p) = 0$$

Cette équation dépend de v, de $\theta = P(x, t)$ et de θ_p . Pour trouver la relation entre θ et θ_p nous appliquons la loi de Newton :

$$h(P dx)(\theta - \theta_p) = P_p C_p S_p g dx \frac{\partial \theta_p}{\partial t}$$

En appliquant la transformée de la place on obtient :

$$F(p) = \frac{G_p}{\theta} = \frac{h P_i}{h P_i + P_p C_p S_p P} = \frac{1}{1 + \frac{P_p C_p S_p P}{h P_i}} \quad \text{avec } P = j \omega$$

$$F(p) = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{1}{1 + T_p P} = \text{avec } T_p = \frac{P_p C_p S_p g}{h P_i}$$

5-13) BILAN DE CHALEUR DANS LE LOCAL:

Pour le local le bilan est le même, seulement il y a une quantité de chaleur échangée entre les parois et le local et une autre échangée entre la gaine et le local. Le bilan donne l'équation suivante:

$$\rho \frac{\partial \theta_l}{\partial x} + \frac{\partial \theta_l}{\partial t} + \frac{P_{cl}}{\rho_p c_p S_{pl}} h_{pl} (\theta_p - \theta_l) + \frac{P_{cl}}{\rho_p c_p S_{pl}} h_{gl} (\theta - \theta_l) = 0$$

5-1-4) DYNAMIQUE DU CAPTEUR

D'après les essais expérimentaux qu'on a effectué montre que le processus est très lent, et que le capteur suit correctement l'évolution de la température. Cela veut dire que sa constante de temps sera négligeable si ou la comparait à celle du processus, donc sa fonction de transfert sera négligeable devant celle du processus. Nous donnons néanmoins cette fonction de transfert en appliquant la loi de Newton: $q_c = h_c S (\theta - \theta_c)$ (1) La quantité de chaleur transférée au capteur pendant le temps dt sera: $q_c = mc \frac{d\theta_c}{dt}$ (2).

Des équations (1) et (2) on tire $\theta - \theta_c = \frac{mc}{h_c S} \frac{d\theta_c}{dt}$

En appliquant la transformée de Laplace on obtient la fonction de transfert: $F_c(p) = \frac{\theta_c(p)}{\theta(p)} = \frac{1}{1 + T_c p}$ avec $T_c = \frac{mc}{h_c S}$ constante de temps.

Remarque:

Pour établir le modèle de connaissance, nous avons fait les approximations suivantes:

- Le fluide qui s'écoule dans la gaine est incompressible et les propriétés physiques (p,c) restent constante dans l'intervalle considéré.
- La conduction thermique dans les parois est nulle dans le sens axial.
- La température et la vitesse du fluide sont uniformes en tout point d'une section normale au sens de la propagation de la chaleur.

.../...

5-1-5) SYMBOLES UTILISES DANS LE MODELE

- A : Section de la gaine
- C : Chaleur massique du fluide
- Cp: Chaleur massique de la paroi
- C : Chaleur massique du capteur
- Cc: Capacité calorifique.
- D : Débit massique
- h : Coefficient d'échange de chaleur entre gaine et ses parois
- hpl: Coefficient d'échange de chaleur entre local et ses parois
- hgl: Coefficient d'échange de chaleur entre local et gaine
- m : Masse du capteur
- p_i: Périmètre intérieur de la gaine
- pil: périmètre intérieur du local
- pel: Périmètre extérieur du local
- P : Masse volumique du fluide
- Pp: Masse volumique de la paroi
- Spg: Section de la paroi de la gaine
- Spl Section de la paroi du local
- S : Surface du capteur
- θ : Température du capteur
- θp: Température de la paroi
- θl: Température du local
- θ_e: Température d'entrée
- θs: Température de sortie
- V : Vitesse du fluide dans la gaine
- Vl: Vitesse du fluide dans le local

5-1-6) DIFFERENTES METHODES D'ANALYSES DES PARAMETRES DYNAMIQUES D'un PROCESSUS:

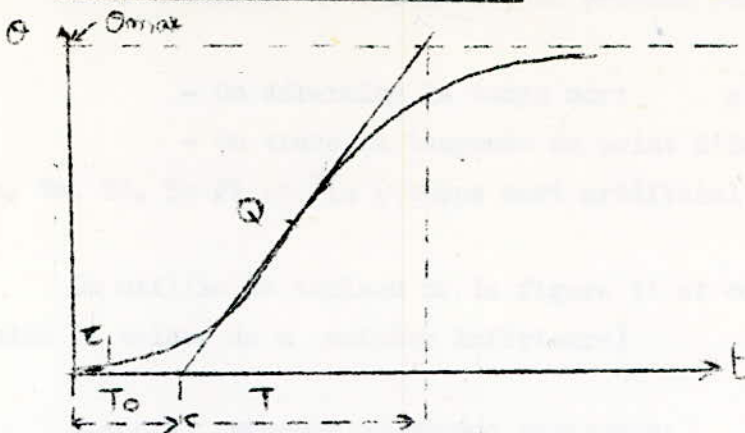
L'identification d'un système ou l'analyse de ses propriétés dynamiques peut se définir comme la recherche d'un modèle mathématique qui représente avec une certaine précision son comportement dynamique, compte tenu de son état et des actions qui le sollicitent.

Lors d'une analyse d'un système, on considère deux modèles d'analyse:
Le modèle statique et le modèle dynamique.

- Le modèle statique se limite à définir le comportement du système lorsque celui-ci est en régime stable.

- Le modèle dynamique met en jeu des équations différentielles ou aux dérivées partielles, souvent très difficiles à établir, pour cela on utilise des méthodes déjà établies pour l'analyse des paramètres dynamiques, nous nous limiterons pour notre étude à la méthode dite simplifiée, méthode de STREJC, et la méthode de STREJC améliorée.

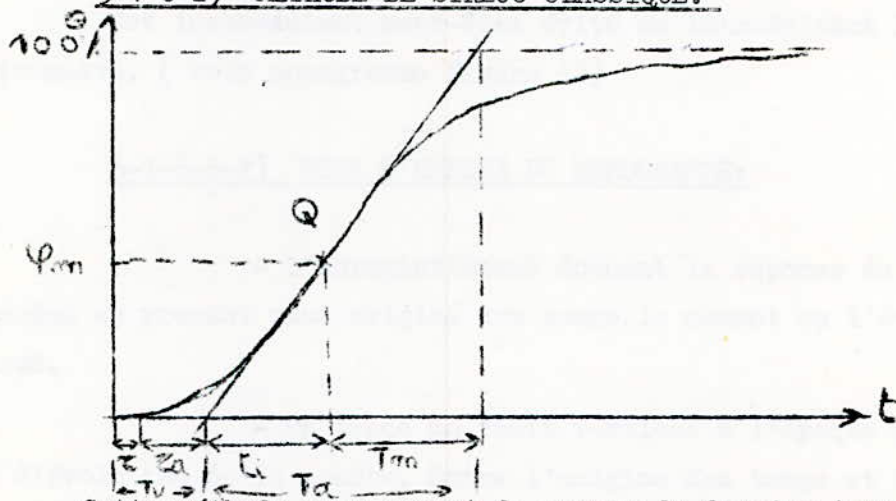
5-1-6-1) METHODE SIMPLIFIEE:



Tc: Temps mort artificiel
 : Temps mort naturel
 T : Constante de temps

Dans cette méthode on assimile la fonction de transfert du processus à : $F(p) = \frac{Kob e^{-T_0 p}}{1 + T p}$ et on prendra $z < T_0$, ainsi on considère est système dans les conditions les plus défavorables. Si la stabilité est assurée dans ces conditions elle le sera à fortiori dans le cas réel c'est à dire $z = T_0$. Remarquons qu'un temps mort est toujours néfaste pour un système. Dans la fonction de transfert Kob représente le gain statique.

5-1-6-2) METHODE DE STREJC CLASSIQUE:



Cette méthode nous permet de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel dans le cas d'un objet excité par un échelon. L'idée fondamentale de STREJC est que la transmittance d'un processus à réponse aperiodique peut être valablement représentée par une expression de la forme:

$$F(p) = \frac{Kob e^{-z p}}{(1+T_1 p) (1+T_2 p) \dots (1+T_n p)}$$

STREJC pose $(1+T_1 p) (1+T_2 p) \dots (1+T_n p) = (1+T p)^n$

d'où
$$F(p) = \frac{Kob e^{-z p}}{(1+T p)^n}$$

Pour utiliser cette méthode, on procède comme suit:

- On détermine le temps mort s'il existe.
- On trace la tangente au point d'inflexion Q, ce qui nous donne T_u , T_a , t_i , T_m et T_a (temps mort artificiel)

On utilise le tableau de la figure 11 et on détermine n à partir de ϕ_i (on prendra la valeur de n entière inférieure)

5-1-6-3) METHODE DE STREJC AMELIOREE:

5-1-6-3-1) PRINCIPE GENERAL

Un inconvénient de la méthode classique réside dans le fait que, lorsque le rapport des paramètres de forme de la courbe ne correspond pas à une valeur entière de n (cas général) on prend la valeur immédiatement inférieure et on rend compte de la simplification en introduisant un temps mort fictif qui est un inconvénient pour toute boucle de réglage. L'expression est de la forme:

$$F(p) = \frac{Se^{-T'p}}{(1+Tp)^n}$$

Cet inconvénient peut-être évité en introduisant la notion de dérivé fractionnaire. (voir nomogramme figure 12)

5-1-6-3-2) MODE D'EMPLOI DU NOMOGRAMME:

- L'enregistrement donnant la réponse du système est système est gradué en prenant pour origine des temps le moment où l'échelon unité a été appliqué.

- On trace un trait vertical à l'époque qui correspond au début d'évolution de la courbe. Entre l'origine des temps et de trait vertical, on mesure le temps mort éventuel.

- On trace la droite tangente à la courbe au point d'inflexion Q et on note les valeurs T_u et T_a . Il faut bien noter que T_u est mesuré à partir de l'instant où la variable commence à évoluer.

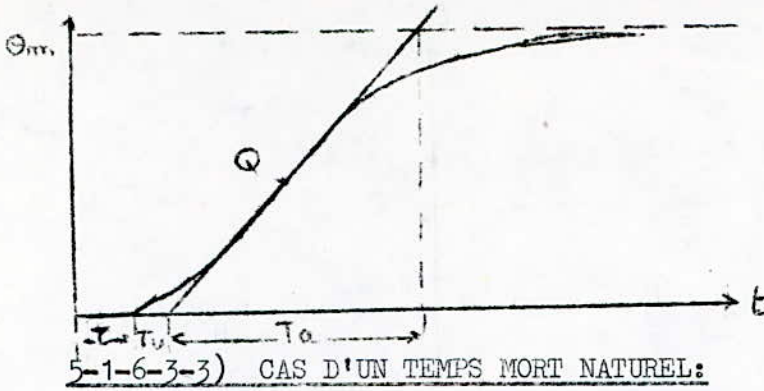
- On calcule T_u/T_a .

- L'échelle située à gauche du nomogramme donne directement la valeur de n en face de celle de T_u/T_a .

- En traçant une droite reliant les points, la valeur de n de l'échelle gauche et T_a de l'échelle de droite, on lit la valeur de la constante de temps T sur l'échelle médiane.

TABLEAU DE STREJC : FIG 11

m	T_2/T	T_u/T	T_u/T_2	T_i/T	ψ_i	T_m/T	T_m/T_2
1	1	0	0	0	0	1	1
2	2,718	0,882	0,104	1	0,264	2	0,736
3	3,695	0,805	0,218	2	0,323	2,5	0,677
4	4,463	1,485	0,319	3	0,353	2,888	0,647
5	5,119	2,1	0,410	4	0,371	3,219	0,629
6	5,699	2,811	0,493	5	0,384	3,510	0,616
7	6,226	3,549	0,570	6	0,394	3,775	0,606
8	6,711	4,307	0,642	7	0,401	4,018	0,599
9	7,164	5,081	0,709	8	0,407	4,245	0,593
10	7,590	5,869	0,773	9	0,413	4,458	0,587
11	7,980	6,650	0,835	10	0,417	4,680	0,582
12	8,330	7,590	0,880	11	0,419	4,830	0,578



- Le temps mort naturel T_0 que peut présenter un système est introduit dans la transmittance d'où la transformation:

$$e^{-Tp} = \frac{1}{(1 + T_p p)^{n'}}$$

- On calcul n' telle que $T_p/n' \Rightarrow T_0$

$$F(p) = \frac{S}{(1+Tp)^n} \cdot \frac{1}{(1+Tp)^{n'}} = \frac{S}{(1+Tp)^{n+n'}}$$

Cette méthode n'est valable que pour des pulsations inférieures à

$$\omega = \frac{n'}{2T}$$

5-2) ANALYSE EXPERIMENTALE:

Une analyse expérimentale de propriétés dynamiques d'un processus nécessite la réalisation d'un modèle physique du fait que l'analyse des propriétés dynamiques sur un processus réel, c'est à dire dans les conditions réelles pour notre cas n'a pas été fait et ce par manque de moyen, néanmoins on a fait des essais expérimentaux sur un modèle physique permettant de contrôler l'évolution de la température.

5-2-1) MODELE PHYSIQUE:

Ce modèle est constitué d'une gaine en bois, où nous pouvons faire circuler un flux d'air à l'aide d'un ventilateur. Cet air est réchauffé par une résistance située en aval du ventilateur. Un capteur de température placé à l'intérieur de la gaine ou du local (boite en bois trouée) permet de mesurer la température. Les différentes positions (trous) permettent de contrôler l'évolution de la température en plusieurs lieux de la gaine. (voir figure 13).

5-2-2) MODE OPERATOIRE DES ESSAIS (FIG: 12)

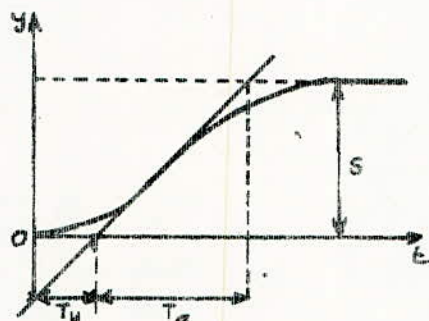
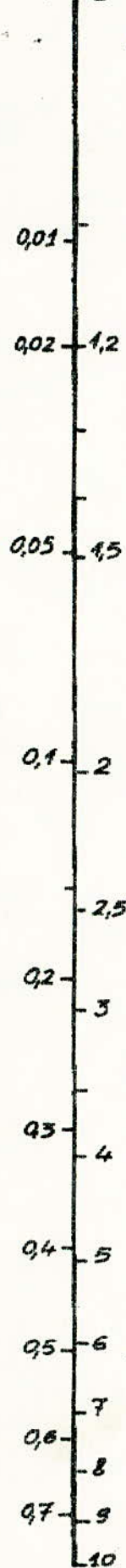
5-2-2-1) REGLAGES PRELIMINAIRES:

- Equilibrage du pont de mesure
- Réglage de l'amplitude de l'échelon de puissance.
- Choix des échelles de la talle tracante (vitesse et sensibilité)
- Emplacement du capteur dans la position désirée.

$T_u/T_a \quad n$

FIG 12

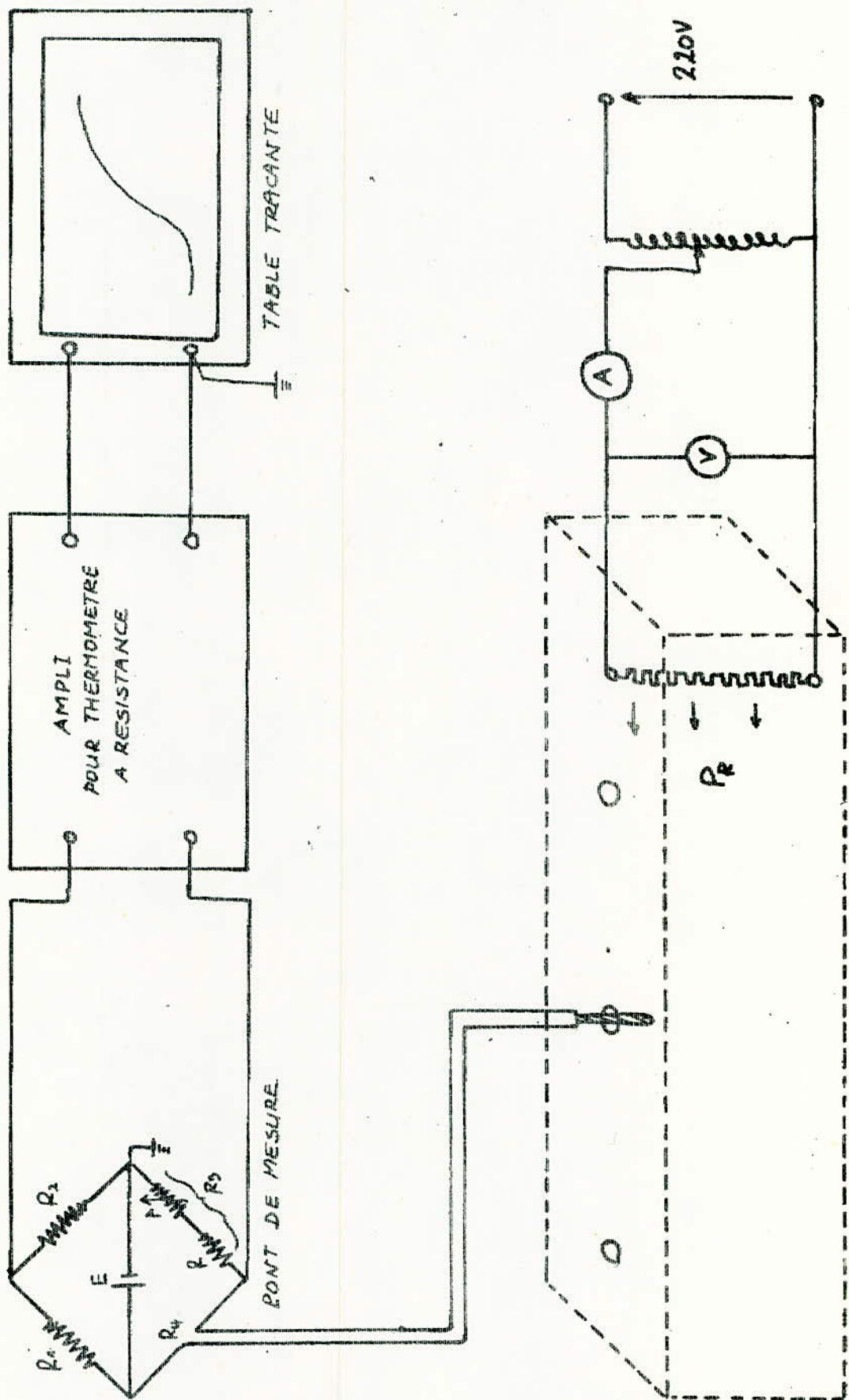
NOMOGRAMME TRANSMITTANCES



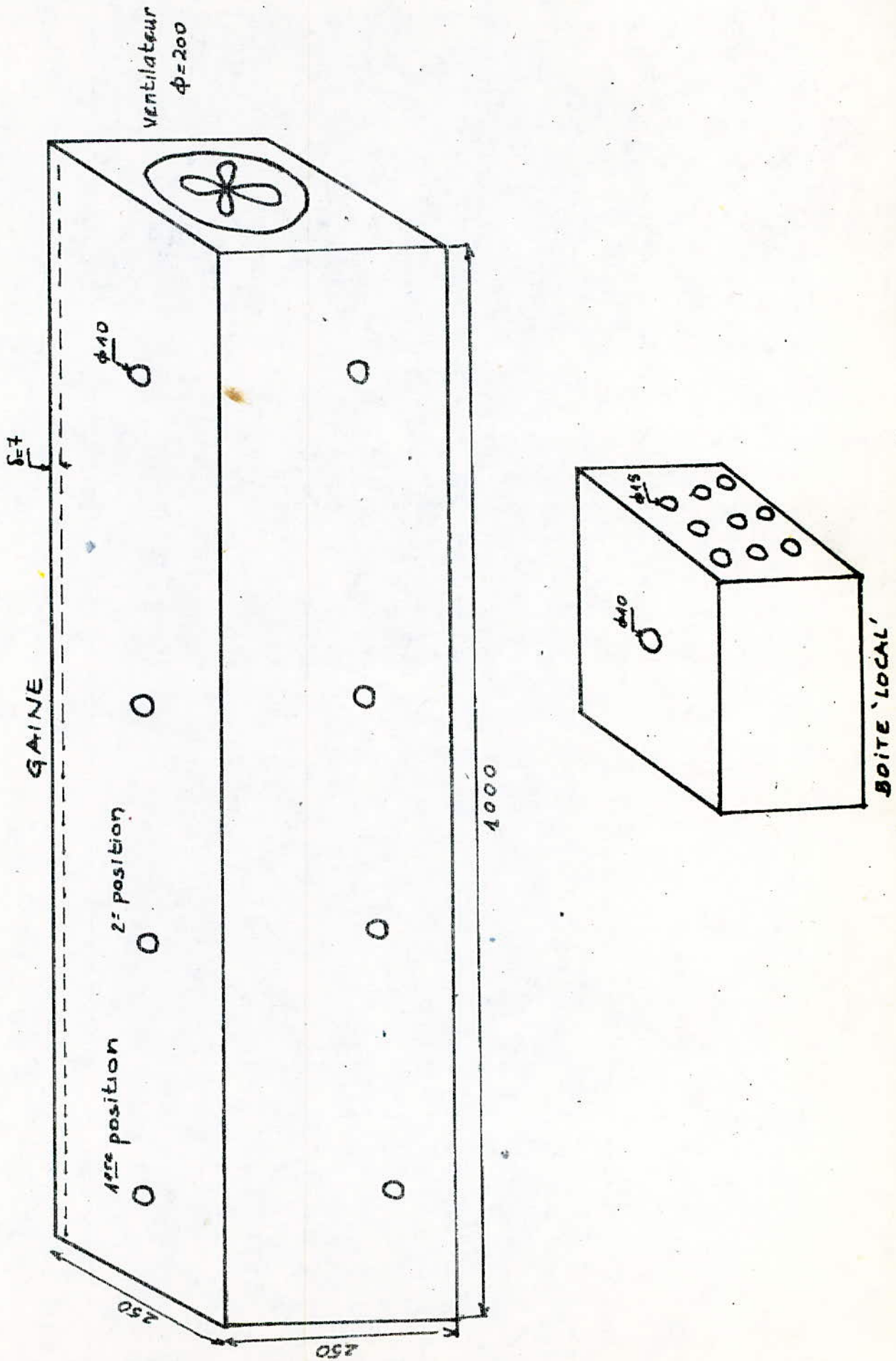
$$F(p) = \frac{S}{(1+Tp)^n}$$



SCHEMA DE MONTAGE DES ESSAIS
FIG. 12'



MODELE PHYSIQUE FIG 13



5-2-2-2) M E S U R E:

- Mise en marche du ventilateur
- Mesure de ϕ_0 .
- Alimentation de la puissance chauffante, relevé de U_R, I_R
($P_0 = U_R I_R$) et mise en marche simultanée de la table traçante
- Relevé du temps mort naturel.
- Après stabilité de la température, arrêt automatique de la table traçante, relevé de ϕ_f et pf.

Ceci pour le sens croissant de la température.

Pour le sens inverse, on coupe l'alimentation du ventilateur et de la résistance et on effectue les mêmes que lors de la croissance de la température.

5-3) INTERPRETATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX:

Les essais que l'on a effectué seront interprétés de trois manières différentes:

- méthode simplifiée.
- méthode de STREJC classique.
- méthode de STREJC améliorée.

Et ceci pour deux valeurs de la puissance de la résistance chauffante. ($P_1 = \frac{P_m}{2} = 375 \text{ w}$ et $p_2 = \frac{2}{3} P_m = 500 \text{ w}$, P_m étant égale à 750 w)

5-3-1) INDICES DES DIFFERENTS ESSAIS:

T : $P_1 = \frac{P_m}{2} = 375 \text{ w}$	II : $P_2 = \frac{2}{3} P_m = 500 \text{ w}$
1. Capteur m 1 ^{ère} position	1. Capteur m 1 ^{ère} position
2. Capteur m 2 [°] position	2. Capteur m 2 [°] position
3. Capteur dans local 1 ^{ère} position	3. Capteur dans local 1 ^{ère} position
4. Capteur dans local 2 [°] position	4. Capteur dans local 2 [°] position

5-3-2) GAIN STATIQUE:

Le gain statique dans notre cas sera le rapport de la variation de la température et de la variation de la puissance.

$$S = \frac{\Delta \phi}{\Delta P} = \frac{\phi_f - \phi_0}{P_f - P_0}$$

5-3-3) METHODE SIMPLIFIEE:

$$F(p) = \frac{Kob e^{-ToP}}{1+TP} \quad (\text{ voir tableaux I)+ I'}$$

5-3-4) METHODE DE STREJC CLASSIQUE

$$F(p) = \frac{Kob e^{-Top}}{(1+TP)^m} \quad n \in \mathbb{N} \text{ (entier) voir tableaux II+II'}$$

5-3-5) METHODE DE STREJC AMELIOREE.

$$F(p) = \frac{Kob}{(1+TP)^n} \quad n \text{ fractionnaire voir tableaux III+III'}$$

$$n = n' + n''$$

n' : tiré du monogramme

$$n'' = \frac{T}{T}$$

5-4) CONCLUSION:

Les courbes obtenues avec chauffage et ventilation de l'air chaud sont toutes de première ordre avec un retard très faible.

Ces courbes présentent des particularités qui pourraient être expliquées physiquement en considérant que la température de sortie de l'air est régie par deux phénomènes:

- Un transfert d'énergie par convection forcée (fluide-dynamique) dû principalement à la circulation de l'air dans la gaine qui est prédominant pendant la première phase.

- Un transfert d'énergie par convection et radiateur dû au chauffage des parois de la gaine, constituant une deuxième phase.

Pour expliquer cela, analysons le cas d'un échelon positif (sens croissant de la température) Dans la première phase de l'évolution, on observe une augmentation relativement rapide de sortie, due au transfert d'énergie, par le circulant de la zone chaude (résistance) vers la zone froide (thermomètre), pendant ce temps se produit aussi l'échauffement des parois de la gaine. Ceci conduira, un fois stabilisée l'augmentation de température due au phénomène de transport à la deuxième phase considéré où le transport par convection et radiation des parois devient prédominant. Dans le cas d'un échelon négatif, on observe des effets **inversés**.

5-3-3) METHODE SIMPLIFIEE:

$$F(p) = \frac{Kob e^{-T_0 p}}{1 + TP} \quad (\text{voir tableaux I)+ I'})$$

5-3-4) METHODE DE STREJC CLASSIQUE

$$F(p) = \frac{Kob e^{-T_0 p}}{(1+TP)^m} \quad n \in \mathbb{N} \text{ (entier) voir tableaux II+II'}$$

5-3-5) METHODE DE STREJC AMELIOREE.

$$F(p) = \frac{Kob}{(1+TP)^n} \quad n \text{ fractionnaire voir tableaux III+III'}$$

$$n = n' + n''$$

n' : tiré du monogramme

$$n'' = \frac{-T}{T}$$

5-4) CONCLUSION:

Les courbes obtenues avec chauffage et ventilation de l'air chaud sont toutes de première ordre avec un retard très faible.

Ces courbes présentent des particularités qui pourraient être expliquées physiquement en considérant que la température de sortie de l'air est régie par deux phénomènes:

- Un transfert d'énergie par convection forcée (fluidodynamique) dû principalement à la circulation de l'air dans la gaine qui est prédominant pendant la première phase.

- Un transfert d'énergie par convection et radiateur dû au chauffage des parois de la gaine, constituant une deuxième phase.

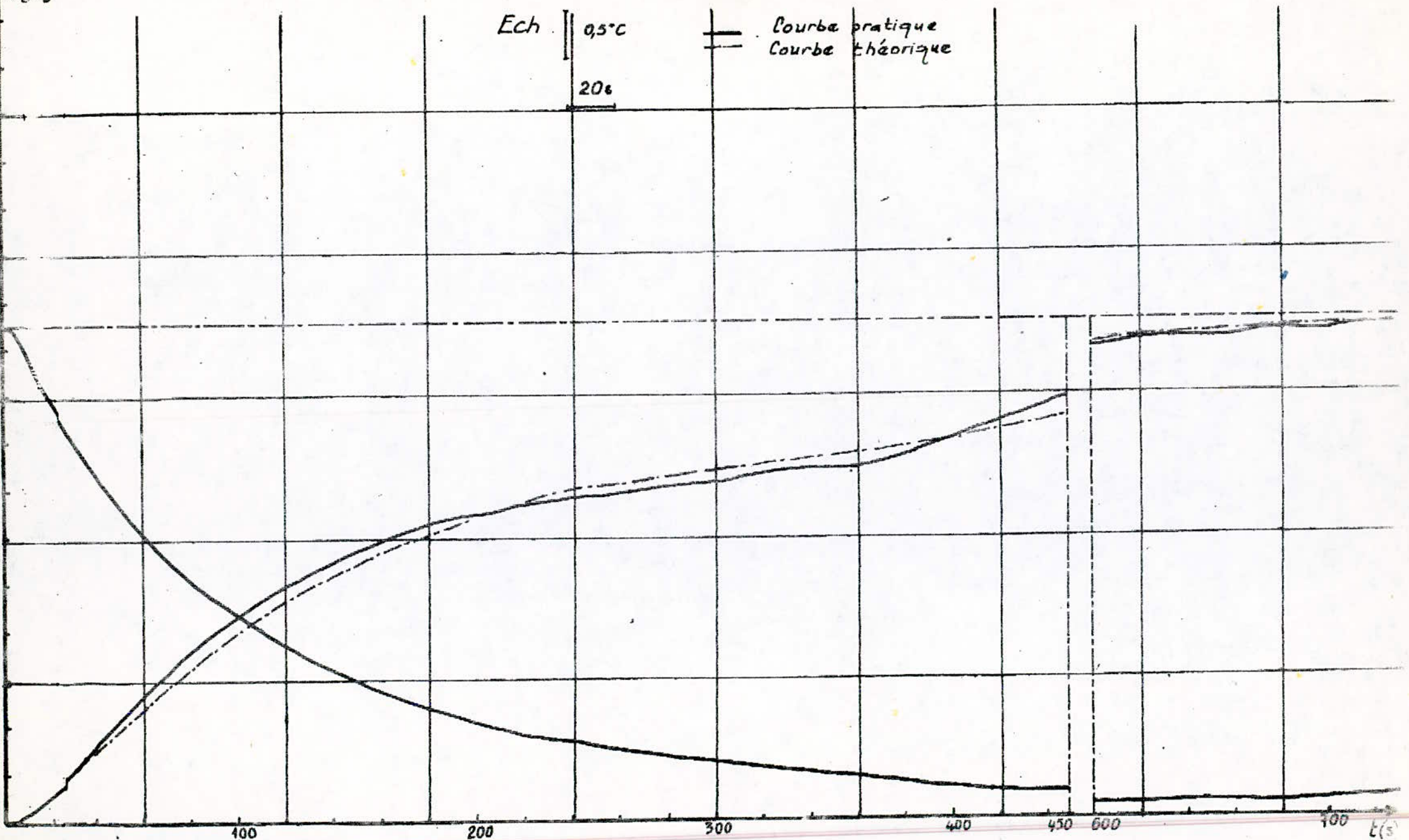
Pour expliquer cela, analysons le cas d'un échelon positif (sens croissant de la température) Dans la première phase de l'évolution, on observe une augmentation relativement rapide de sortie, due au transfert d'énergie, par le circulant de la zone chaude (résistance) vers la zone froide (thermomètre), pendant ce temps se produit aussi l'échauffement des parois de la gaine. Ceci conduira, un fois stabilisée l'augmentation de température due au phénomène de transport à la deuxième phase considéré où le transport par convection et radiation des parois devient prédominant. Dans le cas d'un échelon négatif, on observe des effets **inversés**.

CARACTERISTIQUES 11

$\theta [^{\circ}\text{C}]$

Ech. $\left\{ \begin{array}{l} 0,5^{\circ}\text{C} \\ 20\% \end{array} \right.$

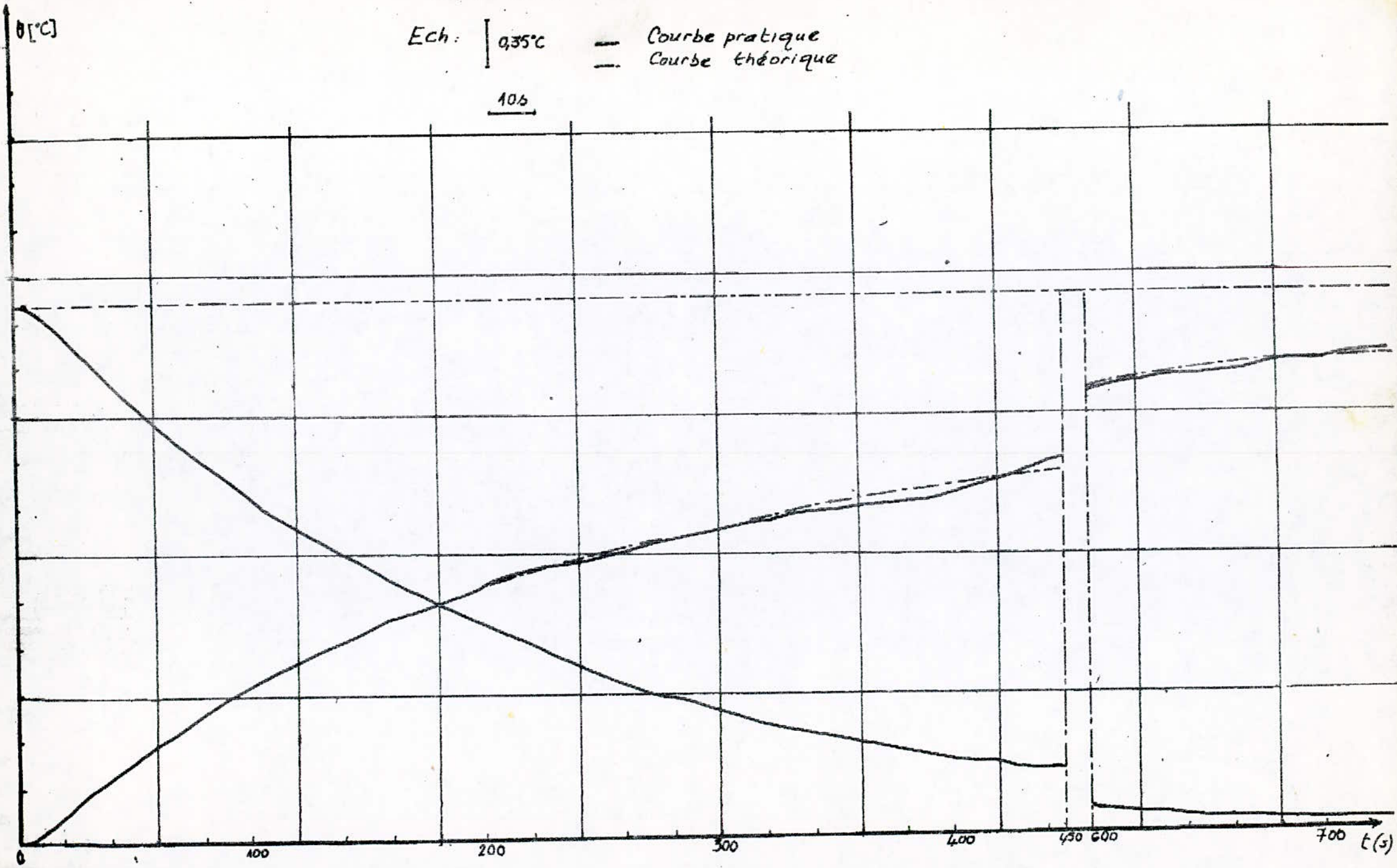
— Courbe pratique
- - Courbe théorique



100 L(s)

CARACTERISTIQUES I2

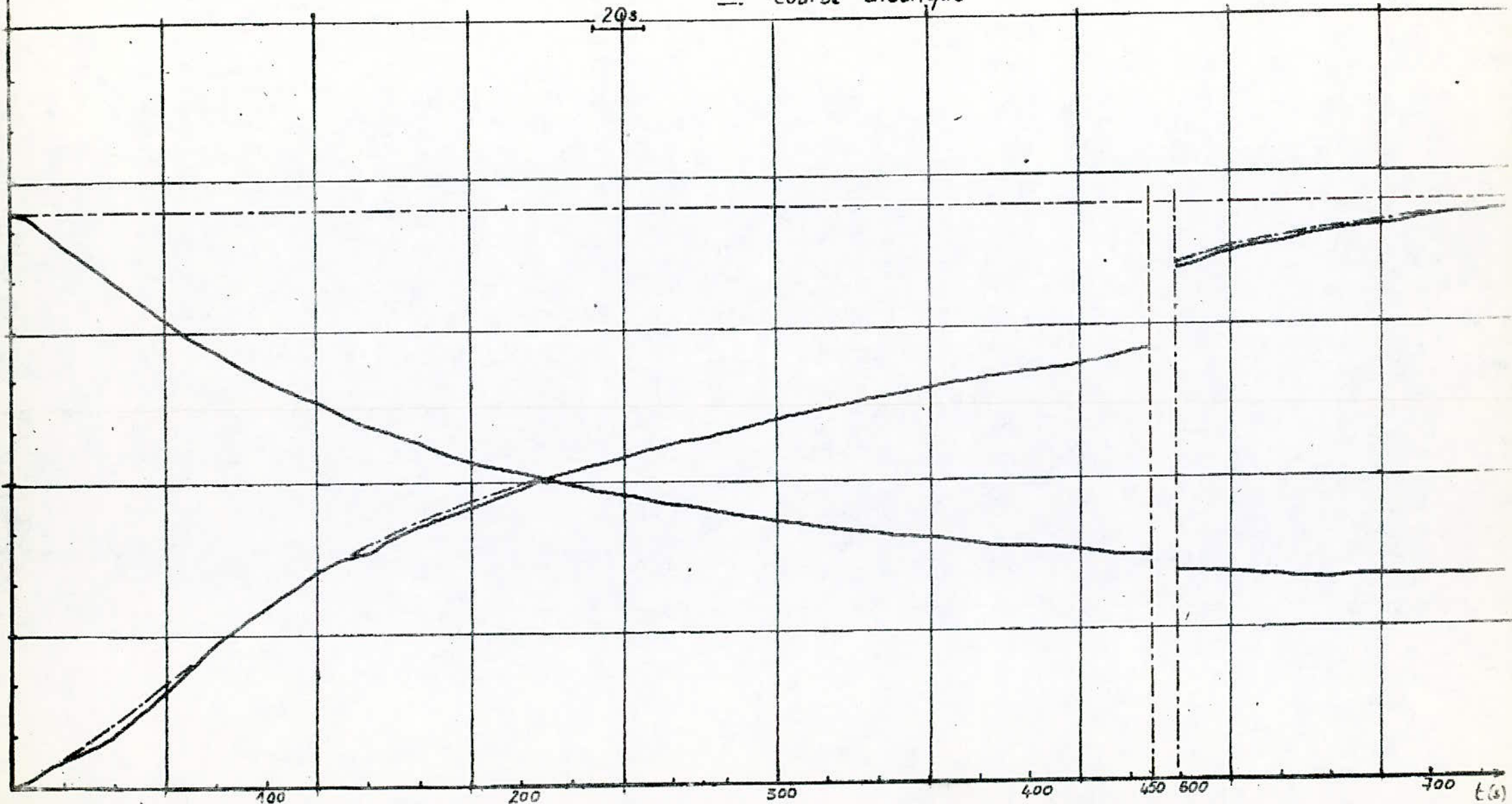
Ech: $\left[\begin{array}{l} 0,35^{\circ}\text{C} \\ 10\text{s} \end{array} \right.$ — Courbe pratique
— Courbe théorique



CARACTERISTIQUES 13

$\theta [^{\circ}\text{C}]$

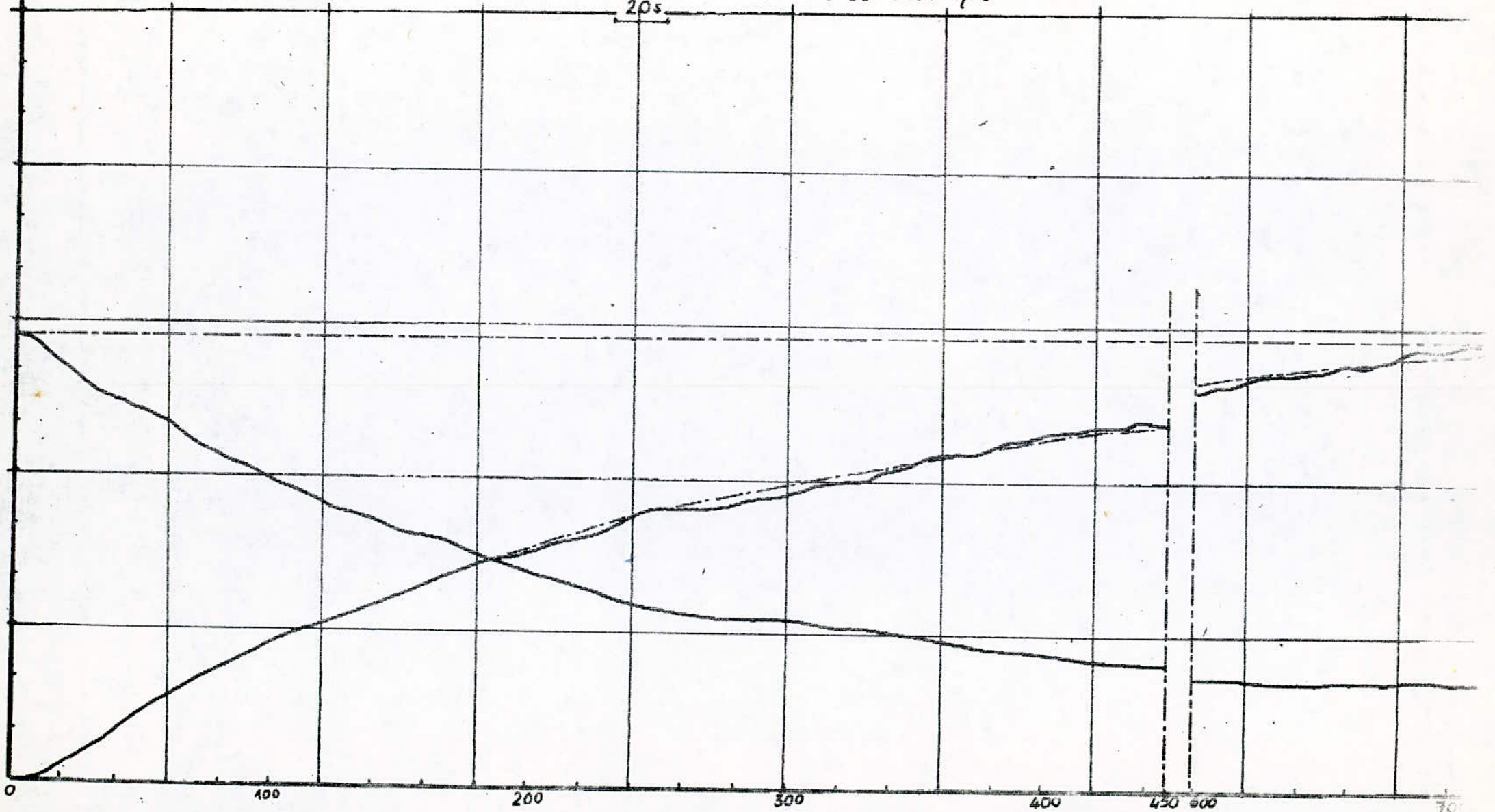
Ech $\left\{ \begin{array}{l} 0,35^{\circ}\text{C} \\ 20\text{s} \end{array} \right.$ — Courbe pratique
— Courbe théorique



CARACTERISTIQUES I4

$\theta [^{\circ}\text{C}]$

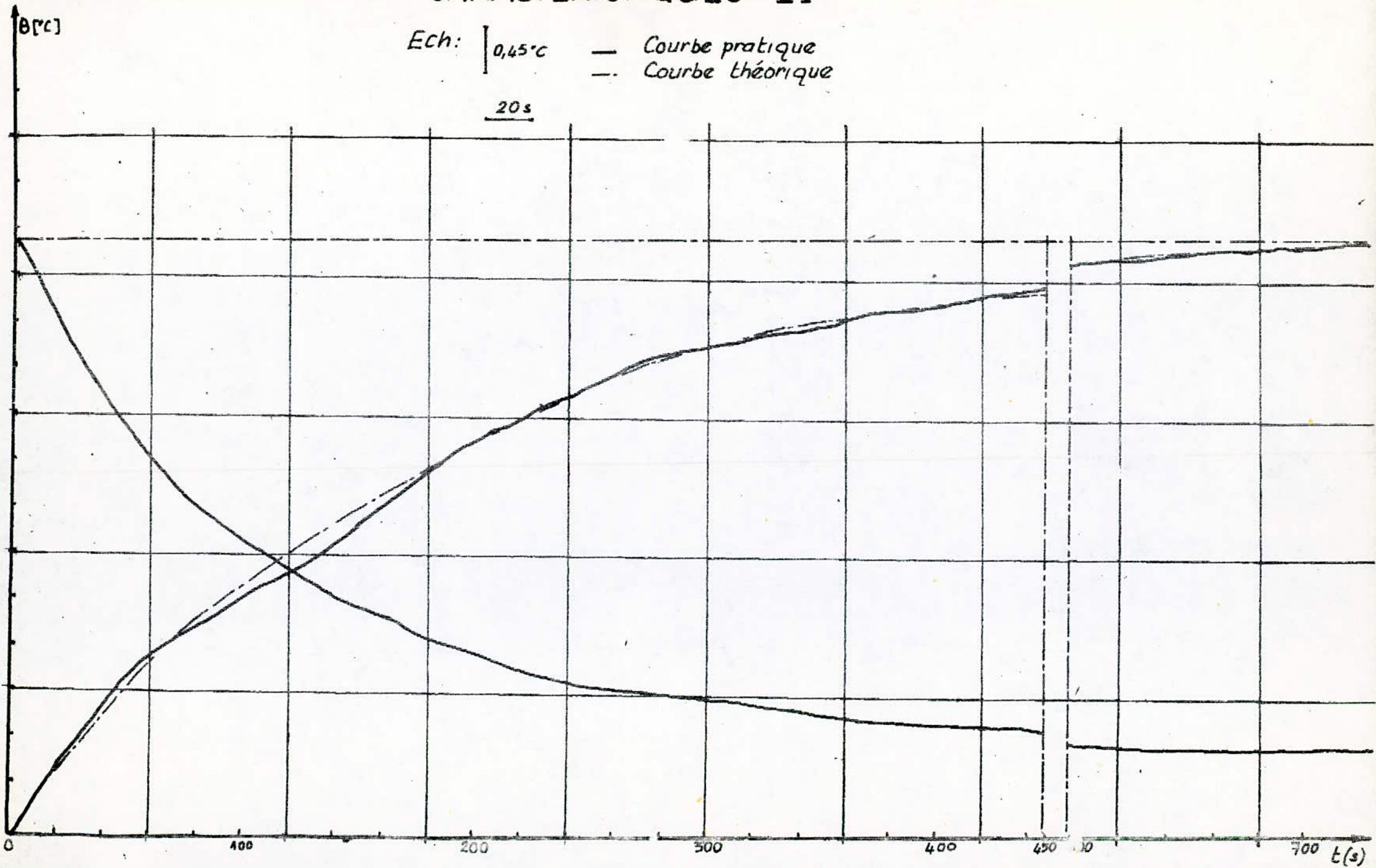
Ech: $\left\{ \begin{array}{l} 0,35^{\circ}\text{C} \\ 20\text{s} \end{array} \right.$ — Courbe pratique
--- Courbe théorique



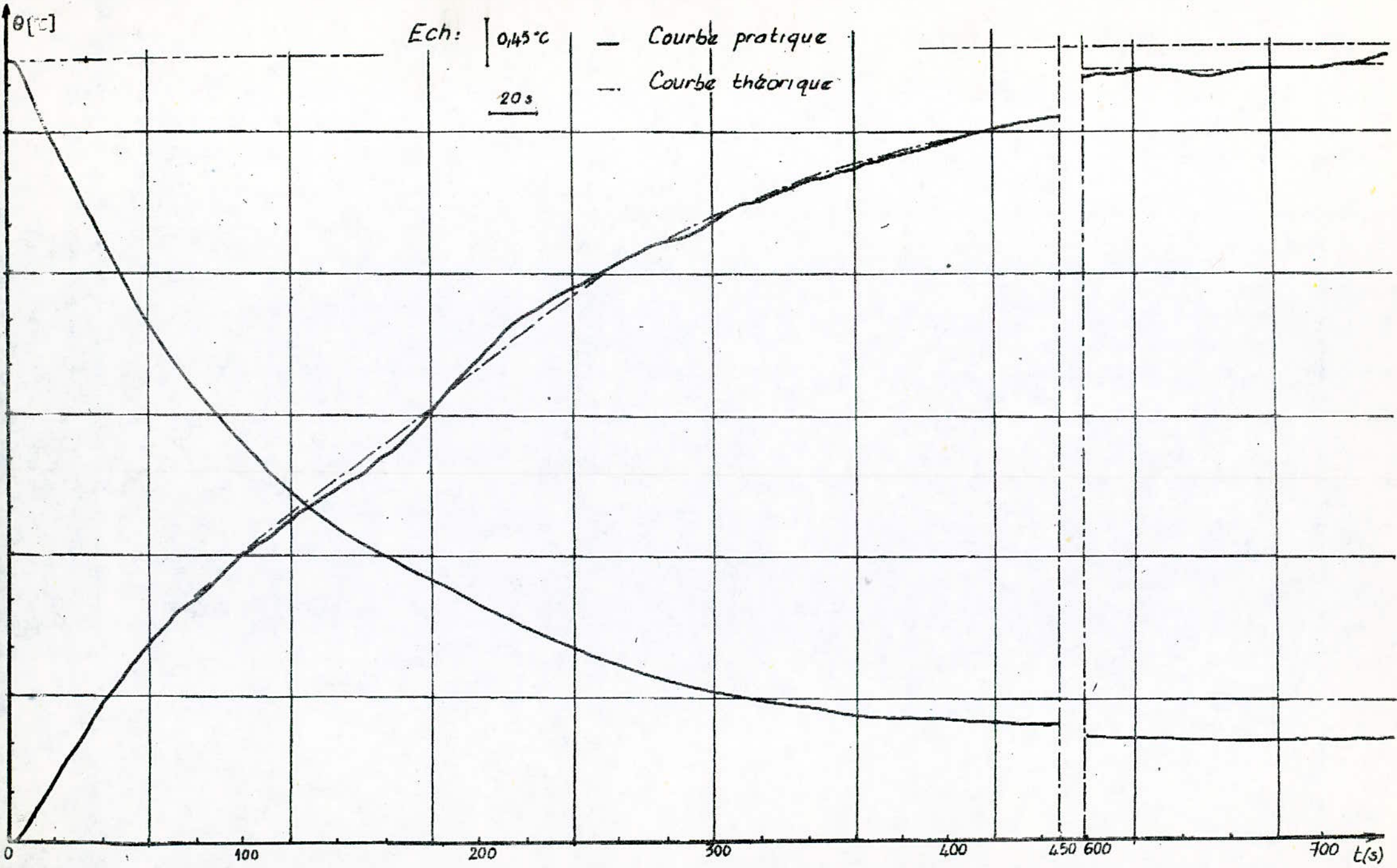
CARACTERISTIQUES II₁

Ech: $\left| \begin{array}{l} 0,45^{\circ}\text{C} \\ \text{--- Courbe pratique} \\ \text{--- Courbe théorique} \end{array} \right.$

20s



CARACTERISTIQUES II2



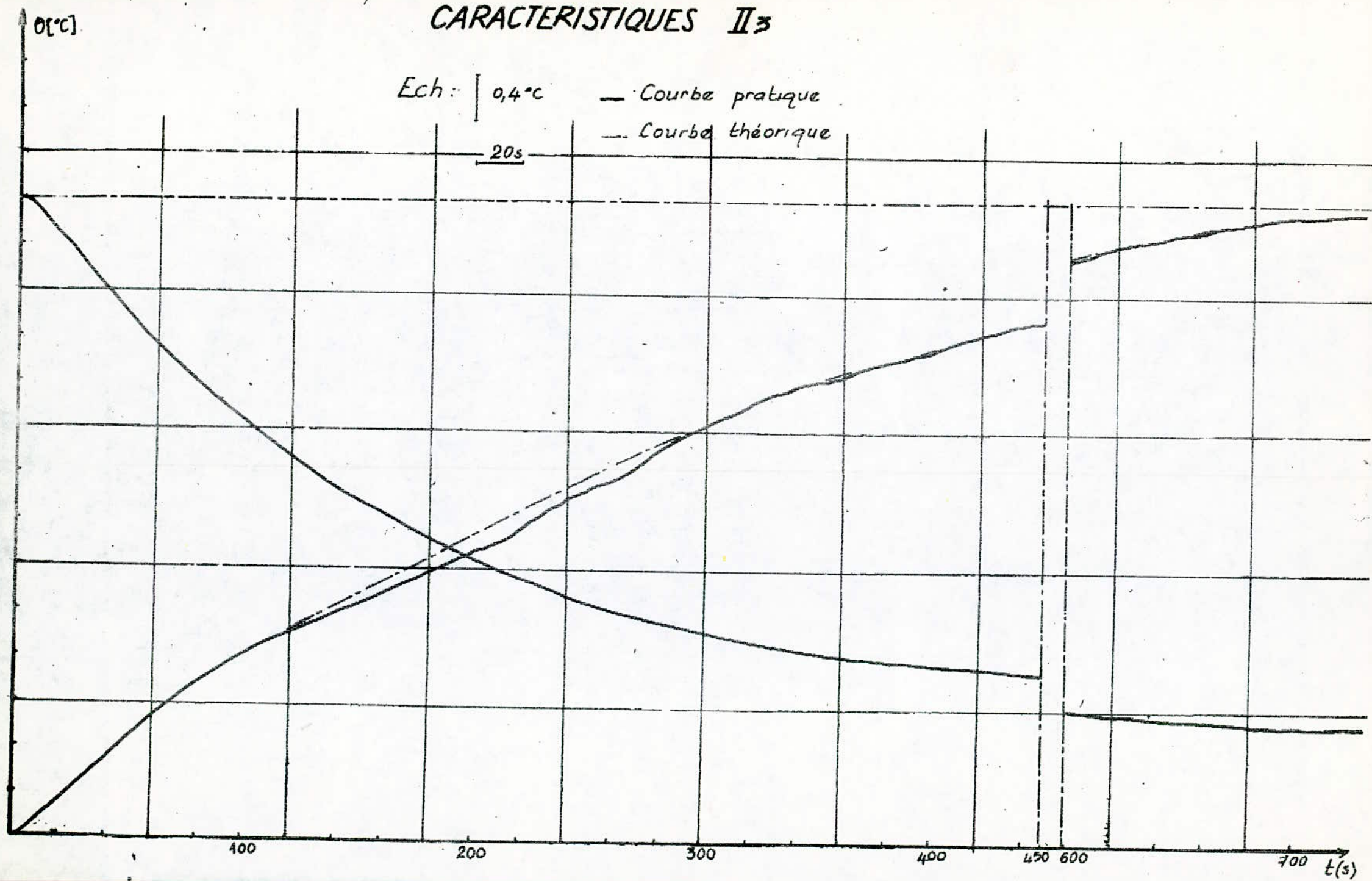
CARACTERISTIQUES II₃

Ech : | 0,4°C

— Courbe pratique

- - - Courbe théorique

20s



CARACTERISTIQUES II 4

$\theta [^{\circ}C]$

Ech | 0,5

— Courbe pratique

- - - Courbe théorique

20s

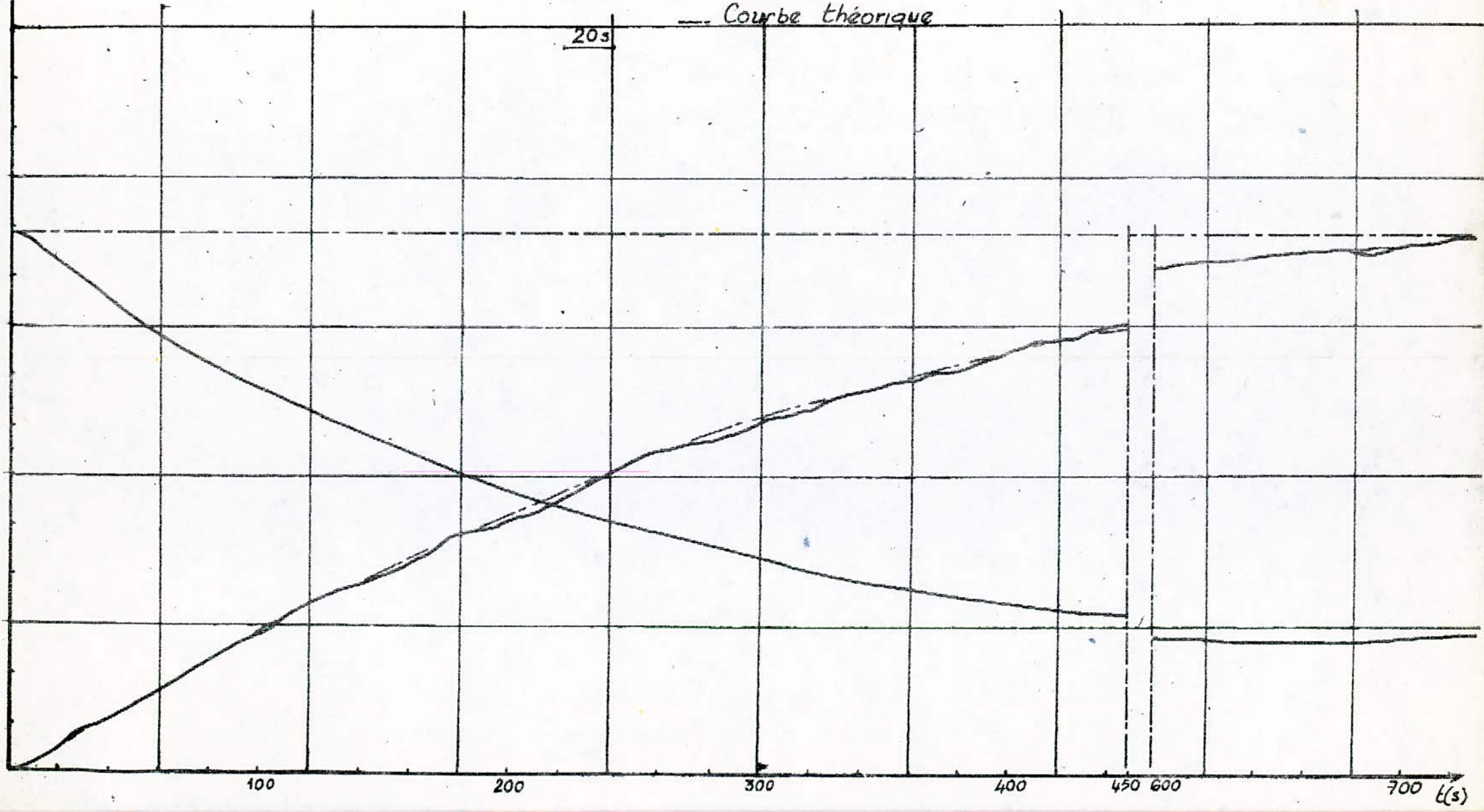


TABLEAU I

ESSAIS	K_{ob} [°/s]	T_0 [s]	T [s]	$F(P)$
I_1	0.021	10	210	$\frac{0.021e^{-10P}}{1+210P}$
I_2	0.013	12	256	$\frac{0.013e^{-12P}}{1+256P}$
I_3	0.015	12	254	$\frac{0.015e^{-12P}}{1+254P}$
I_4	0.015	14	224	$\frac{0.015e^{-14P}}{1+224P}$
II_1	0.030	8	166	$\frac{0.03e^{-8P}}{1+166P}$
II_2	0.033	4	190	$\frac{0.033e^{-4P}}{1+190P}$
II_3	0.035	8	286	$\frac{0.035e^{-8P}}{1+286P}$
II_4	0.030	4	368	$\frac{0.03e^{-4P}}{1+368P}$

TABLEAU II

ESSAIS	$K_{ob} [\epsilon/w]$	$Z (s)$	$T_u (s)$	$T_a (s)$	T_u/T_a	$T (s)$	$F(P)$
I_1	0.022	4	10	210	0.05	210	$\frac{0.022e^{-4P}}{1+210P}$
I_2	0.013	6	10	256	0.04	256	$\frac{0.013e^{-6P}}{1+256P}$
I_3	0.015	3	12	254	0.05	254	$\frac{0.015e^{-3P}}{1+254P}$
I_4	0.015	10	15	224	0.06	224	$\frac{0.015e^{-10P}}{1+224P}$
II_1	0.030	2	4	166	0.02	166	$\frac{0.03e^{-2P}}{1+166P}$
II_2	0.039	2	4	190	0.02	190	$\frac{0.039e^{-2P}}{1+190P}$
II_3	0.035	2	6	286	0.02	286	$\frac{0.035e^{-2P}}{1+286P}$
II_4	0.030	4	5	366	0.01	366	$\frac{0.03e^{-4P}}{1+366P}$

Remarque : Le tableau de STREJC classique donne dans la colonne " T_u/T_a " des valeurs toutes supérieures à celles de ce tableau II où l'on a $0 < \frac{T_u}{T_a} < 0,104$.
 On prendra alors $\frac{T_u}{T_a} = 0$ pour laquelle $n=1 \Rightarrow$
 $\frac{T_u}{T} = 2 \Rightarrow T = T_a$.

TABLEAU III

ESSAIS	$K_{ob}(\%)$	$Z(n)$	$T_0(z)$	$T_0(n)$	$T(z)$	$n \times \frac{z}{T}$	m'	$n = n' + n''$	$F(P)$
\bar{I}_1	0,024	4	5	200	105	0,038	1,39	1,43	$\frac{0,024}{(1+105P)^{1,43}}$
\bar{I}_2	0,043	6	3	258	185	0,082	1,12	1,15	$\frac{0,043}{(1+185P)^{1,15}}$
\bar{I}_3	0,045	4	12	242	118	0,033	1,49	1,52	$\frac{0,045}{(1+118P)^{1,52}}$
\bar{I}_4	0,045	10	7	206	105	0,095	1,42	1,51	$\frac{0,045}{(1+105P)^{1,51}}$
\bar{II}_1	0,03	3	1	166	130	0,023	1,06	1,082	$\frac{0,03}{(1+130P)^{1,08}}$
\bar{II}_2	0,04	2	1,5	212	165	0,042	1,07	1,082	$\frac{0,04}{(1+165P)^{1,08}}$
\bar{II}_3	0,035	3	2	292	230	0,043	1,07	1,083	$\frac{0,035}{(1+230P)^{1,08}}$
\bar{II}_4	0,03	4	2	364	175	0,022	1,5	1,52	$\frac{0,03}{(1+175P)^{1,52}}$

TABLEAU I'

ESSAIS	$K_{ob} [2\%w]$	$T_0 (s)$	$T (s)$	$F(p)$
I ₁	0.021	3	128	$\frac{0.021e^{-3p}}{1+128p}$
I ₂	0.013	6	246	$\frac{0.013e^{-6p}}{1+246p}$
I ₃	0.015	4	203	$\frac{0.015e^{-4p}}{1+203p}$
I ₄	0.015	4	188	$\frac{0.015e^{-4p}}{1+188p}$
II ₁	0.030	4	126	$\frac{0.03e^{-4p}}{1+126}$
II ₂	0.039	3	146	$\frac{0.039e^{-3p}}{1+146p}$
II ₃	0.035	3	204	$\frac{0.035e^{-3p}}{1+204p}$
II ₄	0.030	3	236	$\frac{0.03e^{-3p}}{1+236p}$

TABLEAU II'

ESSAIS	K_{04} [$^{\circ}\text{C}/\text{m}$]	Z (s)	T_{00} (s)	T_0 (s)	T_0/T_0	T (s)	$F(P)$
\bar{I}_1	0.021	2	3	128	0.023	128	$\frac{0.021e^{-2P}}{1+128P}$
\bar{I}_2	0.019	4	6	246	0.024	246	$\frac{0.019e^{-4P}}{1+246P}$
\bar{I}_3	0.015	3	4	203	0.019	203	$\frac{0.015e^{-3P}}{1+203P}$
\bar{I}_4	0.015	2	4	188	0.021	188	$\frac{0.015e^{-2P}}{1+188P}$
\bar{II}_1	0.030	2	4	126	0.031	126	$\frac{0.03e^{-2P}}{1+126P}$
\bar{II}_2	0.039	2	3	146	0.020	146	$\frac{0.039e^{-2P}}{1+146P}$
\bar{II}_3	0.035	2	3	204	0.014	204	$\frac{0.035e^{-2P}}{1+204P}$
\bar{II}_4	0.030	2	3	236	0.012	236	$\frac{0.03e^{-2P}}{1+236P}$

On garde la même remarque que celle faite pour le tableau II . c'est-à-dire $n=1$

TABLEAU III'

ESSAIS	K_{ob} [c/h]	T_u (s)	T_a (s)	T (s)	T_u/T_a	n	F(P)
\bar{I}_1	0,021	3	125	10	0,02	1,2	$\frac{0,021}{(1+80P)^{1,2}}$
\bar{I}_2	0,043	6	240	125	0,025	1,4	$\frac{0,043}{(1+125P)^{1,4}}$
\bar{I}_3	0,015	4	159	125	0,02	1,2	$\frac{0,015}{(1+125P)^{1,2}}$
\bar{I}_4	0,015	4	114	112	0,021	1,21	$\frac{0,015}{(1+112P)^{1,21}}$
\bar{II}_1	0,03	3	123	73	0,024	1,24	$\frac{0,03}{(1+73P)^{1,24}}$
\bar{II}_2	0,039	3	143	90	0,02	1,22	$\frac{0,039}{(1+90P)^{1,22}}$
\bar{II}_3	0,039	1	202	140	0,01	1,11	$\frac{0,039}{(1+140P)^{1,11}}$
\bar{II}_4	0,03	2	234	97	0,008	1,78	$\frac{0,03}{(1+97P)^{1,78}}$

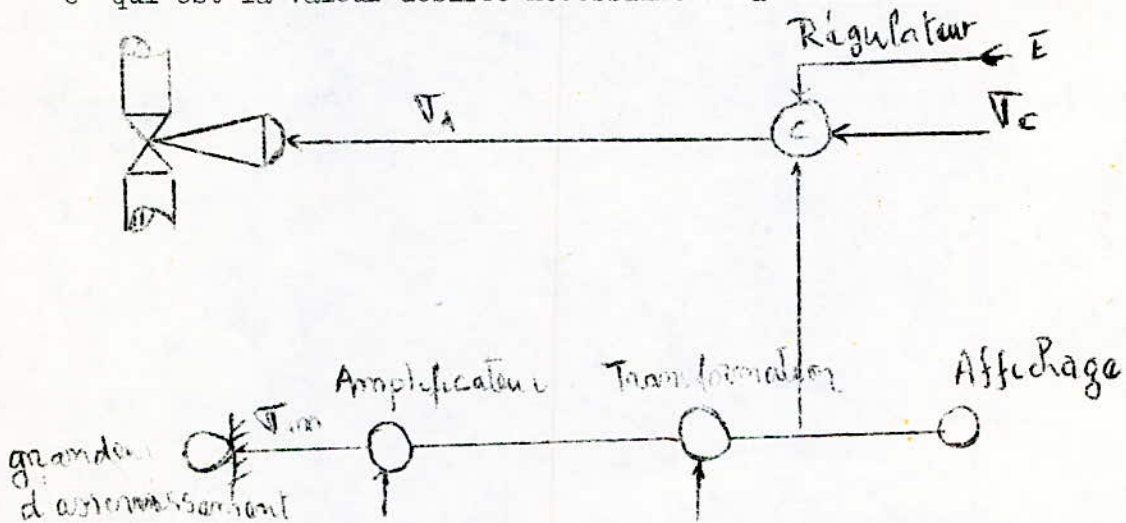
5-5) ANALYSE ET CHOIX DES REGULATEURS:

5-5-1) REGULATION AUTOMATIQUE:

La chaîne de régulation réalisée à partir de la chaîne de mesure est une boucle fermée permettant de réagir sur la source de toutes perturbations détectées par le ou les appareils de mesure.

La figure ci-dessous schématise le fonctionnement d'une telle chaîne.

La valeur de mesure est représentée par un signal D_m , image de la valeur prise à l'instant t_0 par la grandeur sur veillée. Cette valeur est introduite dans l'organe de contrôle, où elle est comparée à la valeur de consigne E qui est la valeur désirée nécessaire à la bonne marche de l'installation.



Chaîne de mesure

- C: appareil de contrôle (régulateur)
- D_m : signal de mesure
- E : signal de consigne
- E: Energie auxiliaire
- A: Action
- D_A : signal d'action

Le régulateur est un appareil qui, comparant les signaux de mesure et de consigne qui lui sont délivrés, est capable d'émettre en fonction de tout écart constaté entre ces signaux, une énergie qui sous forme d'un signal d'action, agira systématiquement sur les organes de réglage chargé de rétablir la stabilité et l'état initial du système.

5-5-2) CLASSIFICATION DES REGULATEURS:

Il existe deux type de régulateurs:

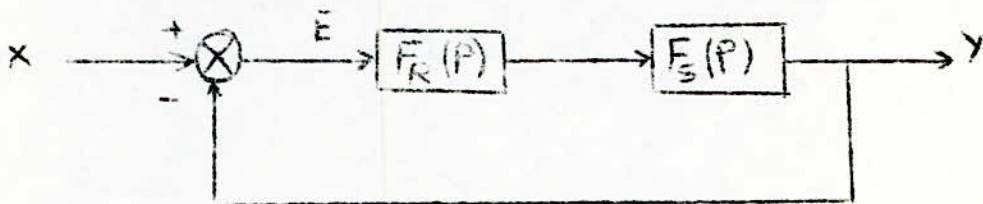
5-5-2-1) REGULATEUR CONTINU:

Un système de régulation est dit continu si le traitement des signaux s'effectuent continuellement dans le temps.

5-5-2-2) REGULATEUR DISCONTINU:

Un système de régulation est dit discontinue si la régulation se fait lorsque le grandeur considérée dépasse ondevient inférieur à un certain seuil limitant la consigne. Dans ce cas il y a une certaine plage de variation de la grandeur. Une fois cette plage est dépassée, le régulateur intervient pour ramener la grandeur à la valeur de consigne.

5-5-3) ANALYSE FONCTIONNELLE D'UN SYSTEME EN BOUCLE FERMEE:



- $F_R(p)$: Fonction de transfert du régulateur.
- $F_S(p)$: Fonction de transfert du système
- $F(p)$: Fonction de transfert globale.
- X : Grandeur d'entrée.
- Y : Grandeur de sortie.
- E : Ecart

En boucle fermée la transmittance est:
$$F(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{F_R(p) \cdot F_S(p)}{1 + F_R(p) \cdot F_S(p)}$$

L'erreur :
$$E(p) = X(p) - Y(p) = X(p) \overline{[1 - F(p)]}$$

5-5-3-1) CRITERE DE REGULATION:

Lors de l'étude d'une chaine de régulation on se retrouve toujours face à des conditions contradictoires, qu'il est difficile d'éviter simultanément l'idéal pour un régulateur serait d'assurer:

- Une bonne stabilité.
- Un bon amortissement
- Un temps de réponse le plus court possible.
- Une bonne précision.

.../...

5-5-4) DIFFERENTS TYPES DE REGULATEURS:

Il existe plusieurs types de régulateurs, nous en citerons ici les plus usuels qui sont: P, I, PI, PD et PID.

5-5-4-1) REGULATEUR P (ACTION PROPORTIONNELLE)

Il a pour fonction de transfert. $F_R(p) = K_p - D F(p) = \frac{K_p F_s(p)}{1 + K_p F_s(p)}$

$$\text{et } E(p) = \frac{1}{P} \frac{1}{1 + K_p F_s(p)}$$

L'écart permanent est l'erreur statique entre l'entrée et la sortie quand le régime définitif est atteint, c'est à dire quand $t \rightarrow \infty$.

$$E_0 = \lim_{p \rightarrow 0} P E(p) = \frac{1}{1 + K_p K_0} \quad \text{avec } K_0: \text{ gain statique de } F_s(p).$$

5-5-4-2) REGULATEUR I (ACTION INTEGRALE)

$$F_R(p) = \frac{K_I}{T_I P} \quad ; \quad F(p) = \frac{K_I F_s(p)}{T_I P + K_I F_s(p)}$$

$$E(p) = \frac{T_I}{T_I P + K_I F_s(p)}$$

$$E_0 = \lim_{P \rightarrow 0} P E(p) = 0$$

5-5-4-3) REGULATEUR PI (ACTION PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE)

$$F_R(p) = K_{pI} \left(1 + \frac{1}{T_I P} \right)$$

$$F(p) = \frac{K_{pI} (1 + T_I P) F_s(p)}{T_I P + K_{pI} F_s(p)}$$

$$E(p) = \frac{T_I P}{T_I P + K_{pI} (1 + T_I P) F_s(p)}$$

$$E_0 = \lim_{P \rightarrow 0} P E(p) = 0$$

5-5-4-4) REGULATEUR PD (ACTION PROPORTIONNELLE ET DERIVEE)

$$F_R(p) = K_{pD} (1 + T_D P) \quad \text{et } F(p) = \frac{K_{pD} (1 + T_D P) F_s(p)}{1 + K_{pD} (1 + T_D P) F_s(p)}$$

$$E_0 = \lim_{P \rightarrow 0} P E(p) = \frac{1}{1 + K_{pD} K_0} \dots/\dots$$

5-5-4-5) REGULATEUR PID (TRIPLE ACTION)

$$F_R (P) = K_{PID} \left(1 + \frac{1}{T_I P} + T_D P \right)$$

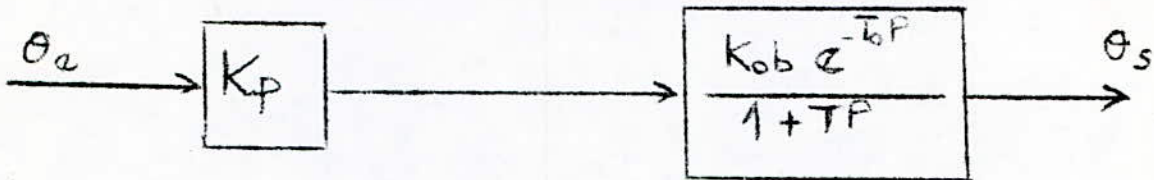
$$E(p) = \frac{1}{P} \frac{1}{1 + K_{PID} \left(1 + \frac{1}{T_I P} + T_D P \right) F_S(p)}$$

$$E_0 = \lim_{P \rightarrow 0} P E(P) = 0$$

5-5-5) CALCUL ET MISE AU POINT DES REGULATEURS

Le calcul de régulateur que nous allons faire se limitera aux régulateurs de températures étant donné que durant les essais expérimentaux que l'on a effectués, l'analyse concernant l'humidité n'a pas été faite (manque de moyens). De plus les données (T_0, T, K_0L) concernant la centrale de climatisation ont été prises de l'atlas des propriétés dynamiques (Professeur PROFOS). Quant aux données du local, on a choisi pour nos essais les données de sorte que le système soit considéré dans les conditions les plus défavorables ($\frac{T_0}{T}$ le plus petit possible dans les essais).

5-5-5-1) REGULATEUR PROPORTIONNEL DE TEMPERATURE



De cette manière on pourra calculer l'amplification critique de la boucle pour un régulateur P.

5-5-5-1-1) DANS LE LOCAL CLIMATISE.

$$T = 368 \text{ s} \quad T_0 = 4 \text{ s} \quad K_0 b = 0,03$$

$$\text{Donc } \frac{T_0}{T} = 0,011$$

En utilisant le graphe de la figure 14, nous obtenons la plage de stabilité suivante:

$$18 \leq K_0 \leq 70$$

$$\text{On a } K_0 = K_p K_{0b} \Rightarrow K_p = \frac{K_0}{K_{0b}}$$

D'où la bande proportionnelle du régulateur $650 \leq K_p \leq 2500$
 Le coefficient d'amplification du régulateur doit être compris entre 650 et 2500 pour que le système soit stable.

$$\text{On prendra } K_0^i = K_0 (1 - 10\%) = 70 (1 - 10\%) = 63$$

$$F_e (p) = \frac{63 e^{-4P}}{1 + 368 P}$$

.../...

$$E_o = \frac{1}{1 + K'o} = \frac{1}{1 + 63} = 0,015.$$

$$E_{adm} = \frac{10}{\theta_{max}} = \frac{2}{22} = 0,09.$$

$E_o < E_{adm} \Rightarrow D$ A priori le régulateur P peut être choisi

5-5-5-1-2) DANS LA CENTRALE:

$$T_o = 15 \text{ s} , \quad T = 90 \text{ s} , \quad K_{ob} = 0,3.$$

$$\frac{T_o}{T} = 0,16$$

On a donc $2 < K_o < 10$ et comme $K_p = \frac{K_o}{K_{ob}} \quad 7 \leq K_p \leq 33$

$$K'o = K_o (1 - 10\%) = 10 (1 - 10\%) = 9$$

$$E_o = \frac{1}{1 + K'o} = \frac{1}{10} = 0,1$$

$$E_{adm} = \frac{10}{\theta_{max}} = \frac{2}{30} = 0,06$$

$$E_o = 0,1 > E_{adm} = 0,06$$

Donc pour la centrale, le régulateur P est à rejeter.

5-5-5-2) REGULATEUR PI DE TEMPERATURE:

5-5-5-2-1) DANS LE LOCAL:

$$T = 368 \text{ s} , \quad T_o = 4 \text{ s} , \quad K_{ob} = 0,03$$

$$\frac{T_o}{T} = 0,01$$

D'après le graphe de stabilité (figure 15) du régulateur PI :

$$50 \leq K_{ob} \leq 100$$

Par extrapolation linéaire on tire $K_o = 70$

$$K, K_{ob} = K_o = D \quad K_r = \frac{K_o}{K_{ob}} = \frac{70}{0,03} = 2330$$

D'après le graphe de stabilité, il faut que $\frac{T_i}{T_o} \leq 4$

$$T_i \leq 4 T_o \Rightarrow \frac{T_i}{T} < \frac{4 \cdot 4}{368} = 0,04$$

5-5-5-2-2) DANS LA CENTRALE:

$$T_o = 15 \text{ s} , \quad T = 90 \text{ s} , \quad K_{ob} = 0,3$$

$$\frac{T_o}{T} = 0,16 \quad \text{par extrapolation linéaire} \quad 10 \leq K_o \leq 20$$

$$K_o = 11 \Rightarrow K'o = K_o (1 - 10\%) = 10.$$

Le système est stable pour $\frac{T_i}{T} \leq 5$

$$T_i \leq 5 T_o \quad T_i \leq 5 \cdot 15 = 45 \quad \frac{T_i}{T} \leq \frac{45}{90} = 0,5$$

FIG 14 $K_0 = f(T_0/T)$ REGULATEUR P

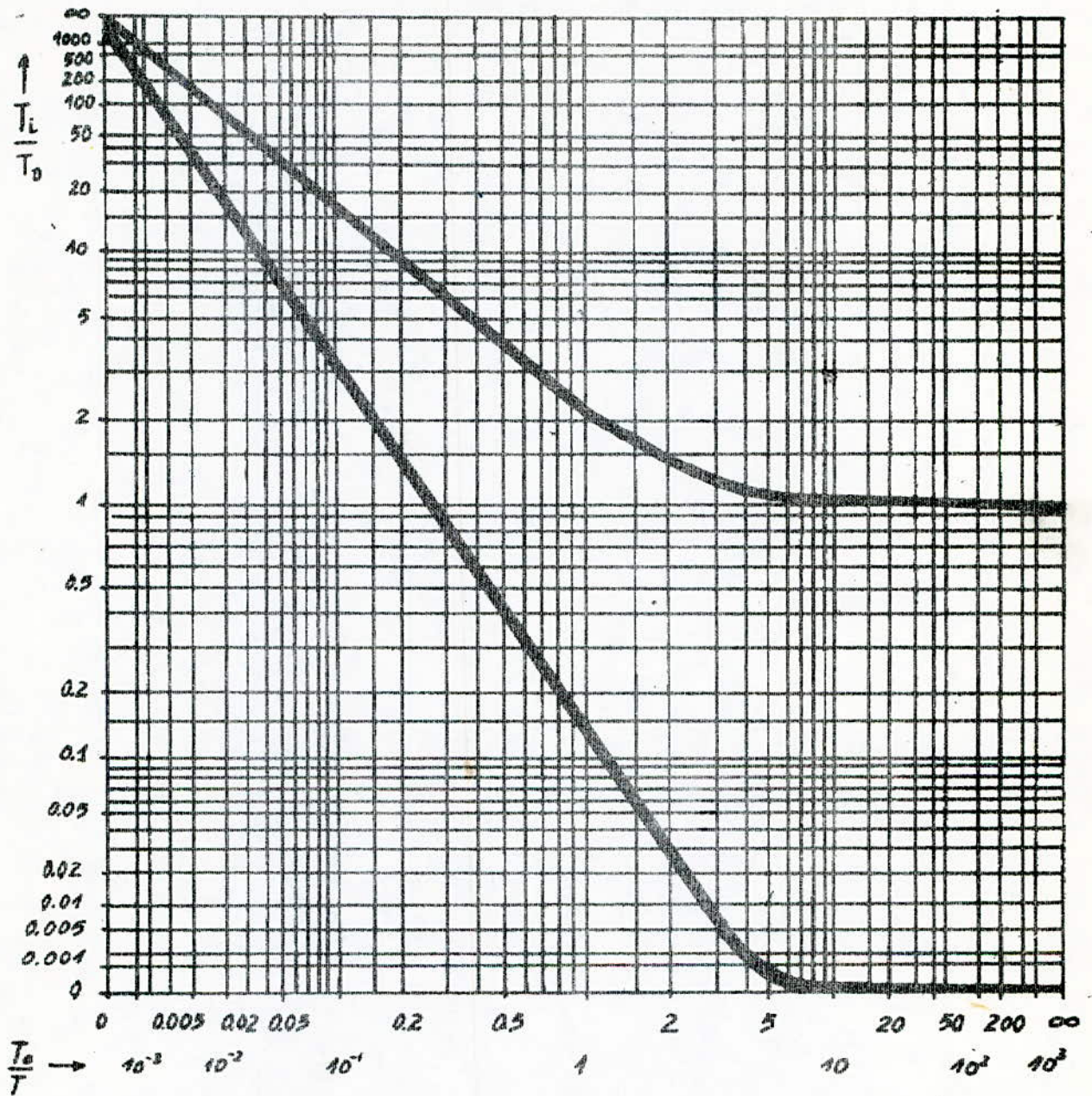
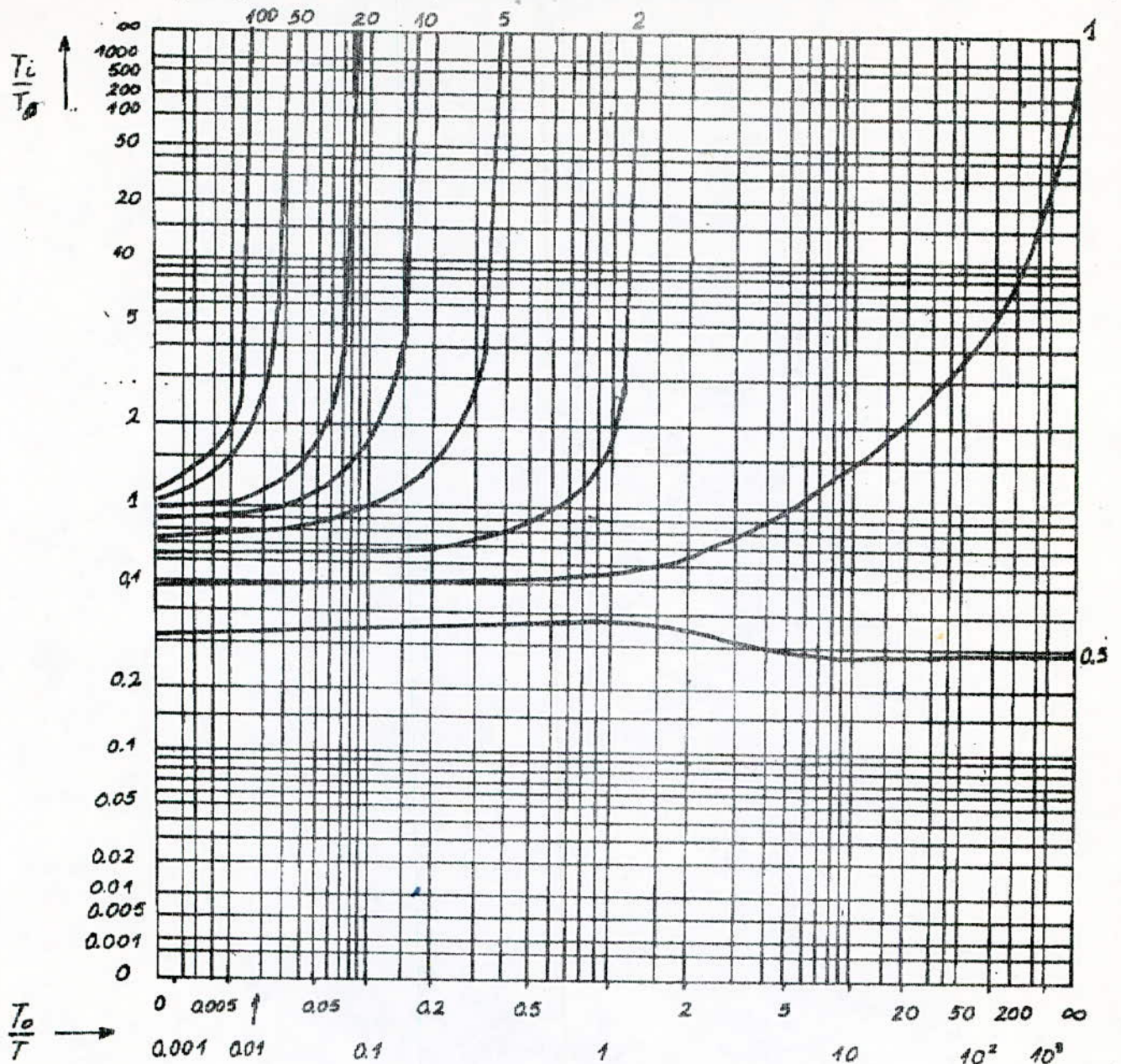
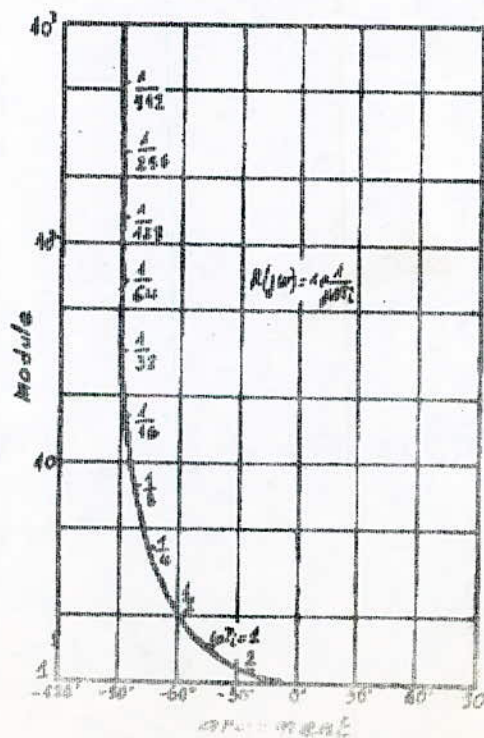


FIG 14

FIG 15 $K_0 = f(T_0/T)$ REGULATEUR PI



CARACTERISTIQUE MODULE-A-
REGULATEUR PI
FIG 16



- FIG: 15 -

W	WT ₁	WT ₂	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y	F ₂	F ₃	F ₁	WTC	φ _R	F _{in}	φ _t	H/ F _{in}
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	-90	∞	-90	∞
2.5 · 10 ⁻⁶	0.009	0.0022	0	-0.5	-0.12	-0.62	1	1	1	1/512	-90	1520	-90	1520
5 · 10 ⁻⁶	0.018	0.0043	0	-1	-0.25	-1.25	1	1	1	1/256	-90	1250	-90.6	1250
10 ⁻⁵	0.036	0.009	0	-2.1	-0.5	-2.6	1	1	1	1/128	-90	1150	-91.2	1150
2 · 10 ⁻⁵	0.072	0.018	0	-4.2	-1	-5.2	1	1	1	1/64	-90	480	-91.6	480
4 · 10 ⁻⁵	0.14	0.036	0	-8.4	-2	-10.4	0.99	1	0.99	1/32	-90	320	-92.2	320
8 · 10 ⁻⁵	0.29	0.072	0	-16.8	-4.1	-20.9	0.96	1	0.96	1/16	-88	180	-92.4	178
16 · 10 ⁻⁵	0.58	0.14	0	-34	-8.2	-39.2	0.96	0.95	0.95	1/8	-82	90	-93	77
3 · 10 ⁻³	1.17	0.29	-0.05	-50	-16	-66	0.65	0.96	0.62	1/4	-75	40	-114	34
6 · 10 ⁻³	2.35	0.57	-0.3	-67	-30	-97	0.59	0.96	0.33	1/2	-65	21	-131	13

Vu que l'erreur statique est nulle dans le cas d'un régulateur PI et que la stabilité est assurée dans les deux cas (local et centrale) on prendra un régulateur PI ayant un $K_0 = 10$ (déjà calculé) et la fonction de transfert totale (local + Centrale) sera

$$F(p) = \frac{10 e^{-j 19w}}{(1 + j 368 w) (1 + j 90 w)}$$

5-5-6) ETUDE DE LA STABILITE:

Un système linéaire est dit stable, si écarté de sa position initiale (équilibre), il tend à y revenir - Pour cela il faut et il suffit que tous les modes de ses régimes libres s'amortissent quand le temps augmente.

5-5-6-1) ETUDE PAR LA COURBE AMPLITUDE -PHASE:

On porte l'amplitude ordonnée et la phase en abscisse, si le retard de phase est inférieur à 180° à la fréquence la plus élevée pour laquelle l'amplitude est égale à 1, la boucle fermée est stable.

- Sans régulateur (voir figure 17)

On détermine d'abord l'amplitude et la phase de notre transmittance sans gain statique qui est de la forme.

$$F(p) = \frac{e^{-jwT_0}}{(1 + jwT_1) (1 + jwT_2)}$$

Avec $T_0 = 19$ s , $T_1 = 368$ s , $T_2 = 90$ s

on pose $F(p) = F_0(p) \cdot F_1(p) \cdot F_2(p)$. donc

$$F_0(p) = e^{-jwT_0} = \cos wT_0 - jwT_0 \implies |F_0(p)| = 1$$

$$\phi_0 = -wT_0$$

$$F_1(p) = \frac{1}{1 + jwT_1} \implies |F_1(p)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (wT_1)^2}}$$

$$\phi_1 = -\text{Arctg}wT_1$$

$$F_2(p) = \frac{1}{1 + jwT_2} \implies |F_2(p)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (wT_2)^2}}$$

$$\phi_2 = -\text{Arctg}wT_2$$

$$\text{Donc } |F(p)| = |F_0(p)| \cdot |F_1(p)| \cdot |F_2(p)| = \frac{1}{\sqrt{(1+(wT_1)^2)(1+(wT_2)^2)}}$$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = -wT_0 - \text{Arctg}wT_1 - \text{Arctg}wT_2.$$

$$F(p) = \frac{e^{-j 19 w}}{(1+368 jw)(1+90 jw)}$$

Les calculs sont donnés au tableau de la figure 15'

- Avec régulateur PI.

La transmittance d'un régulateur PI est de la forme:

$$F_R(p) = K_0 \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) \quad \text{ou} \quad F_R(j\omega) = K_0 \left(1 + \frac{1}{j\omega T_i} \right)$$

Avec $K_0 = 10$, $\frac{T_i}{T_d} = 4 \implies T_i = 4 T_d = 4 \cdot 19 = 76 \text{ s.}$

$$F_R(j\omega) = 10 \left(1 + \frac{1}{76 j\omega} \right)$$

Soient $|F_R(p)|$ et ϕ_R respectivement le module et l'argument de $F_R(p)$, Ces grandeurs sont tirées de l'abaque phase.

Amplitude du régulateur PI (voir abaque) et ceci pour les différents ω (voir tableau figure 15).

La courbe amplitude - phase avec le régulateur montre que notre système est stable - (voir figure 16).

FIG: 16

DIAGRAMME AMPLITUDE-PHASE
AVEC REGULATEUR PI

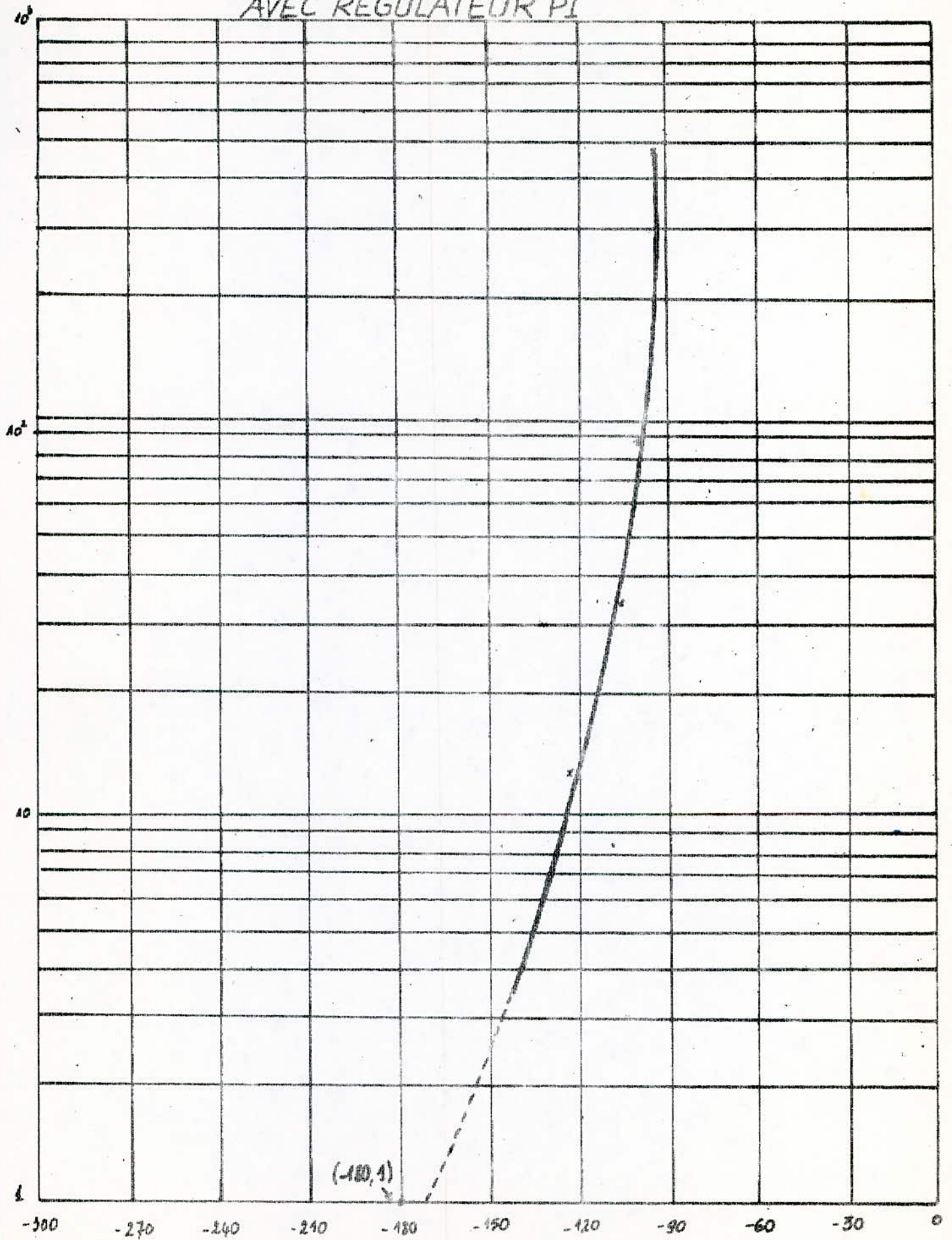
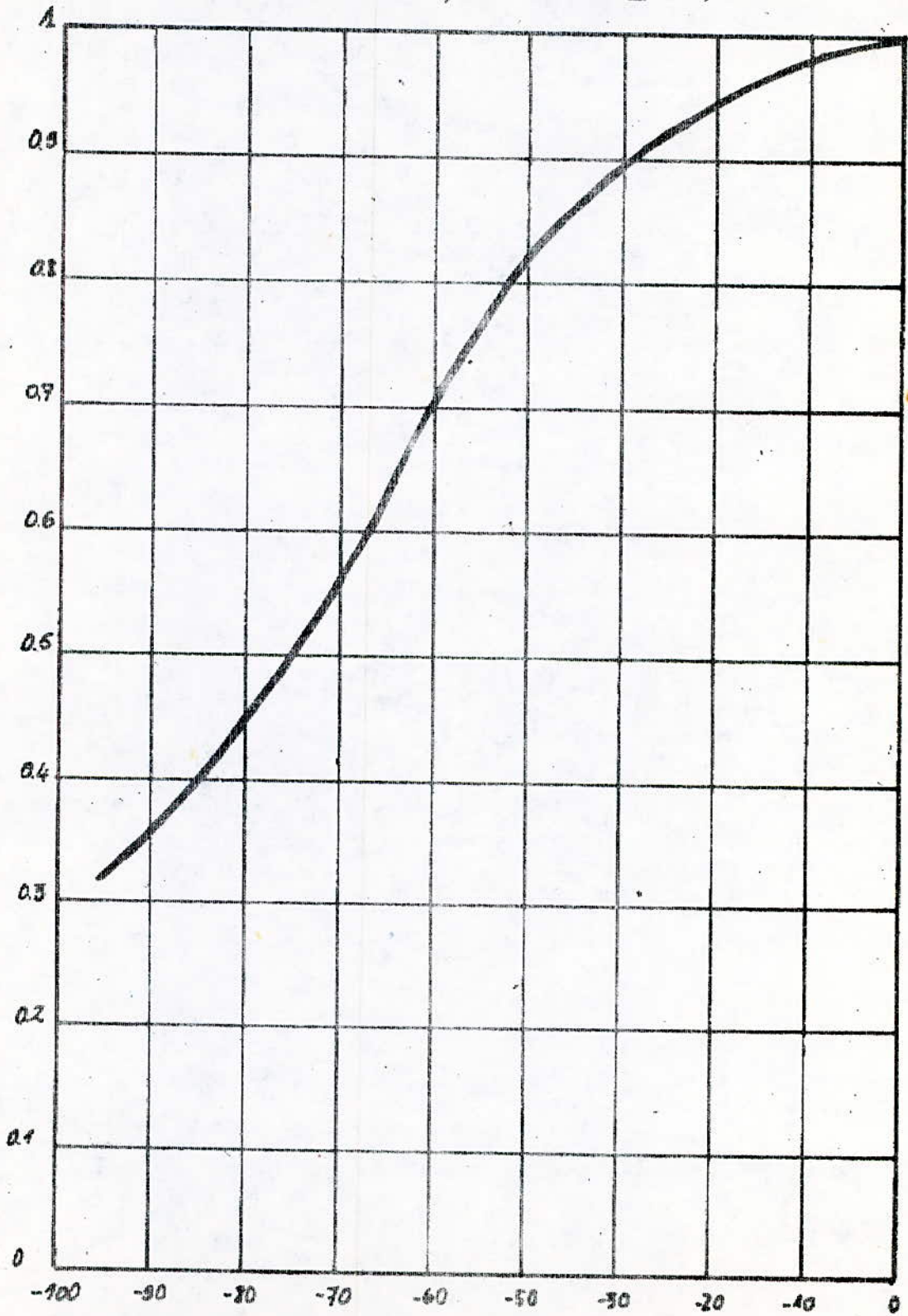


FIG. 17

DIAGRAMME AMPLITUDE - PHASE
SANS REGULATEUR PI



6. ETABLISSEMENT DU SCHEMA DE CONCEPTION DU SYSTEME
DE COMMANDE POUR LA SALLE DE CINEMA:

6.1 SYSTEME SANS COMMANDE AUTOMATIQUE:

Notre installation fonctionne avec l'air mixte (air recycle + air extérieur) dans la salle de spectacle. A sa sortie de la centrale de climatisation, l'air conditionné passe par la tuyauterie prévue sous la rampe des sièges. Cette tuyauterie est percée au niveau de chaque siège afin de laisser l'air préparé. Dans la salle de projection, cette tuyauterie est encastrée dans le mur. Dans les deux cas, l'évacuation s'effectue à l'aide de trous grillagés prévus au plafond. L'air passant par le plafond n'est pas entièrement évacué à l'extérieur, une partie est en effet recyclé dans la centrale (voir fig 18).

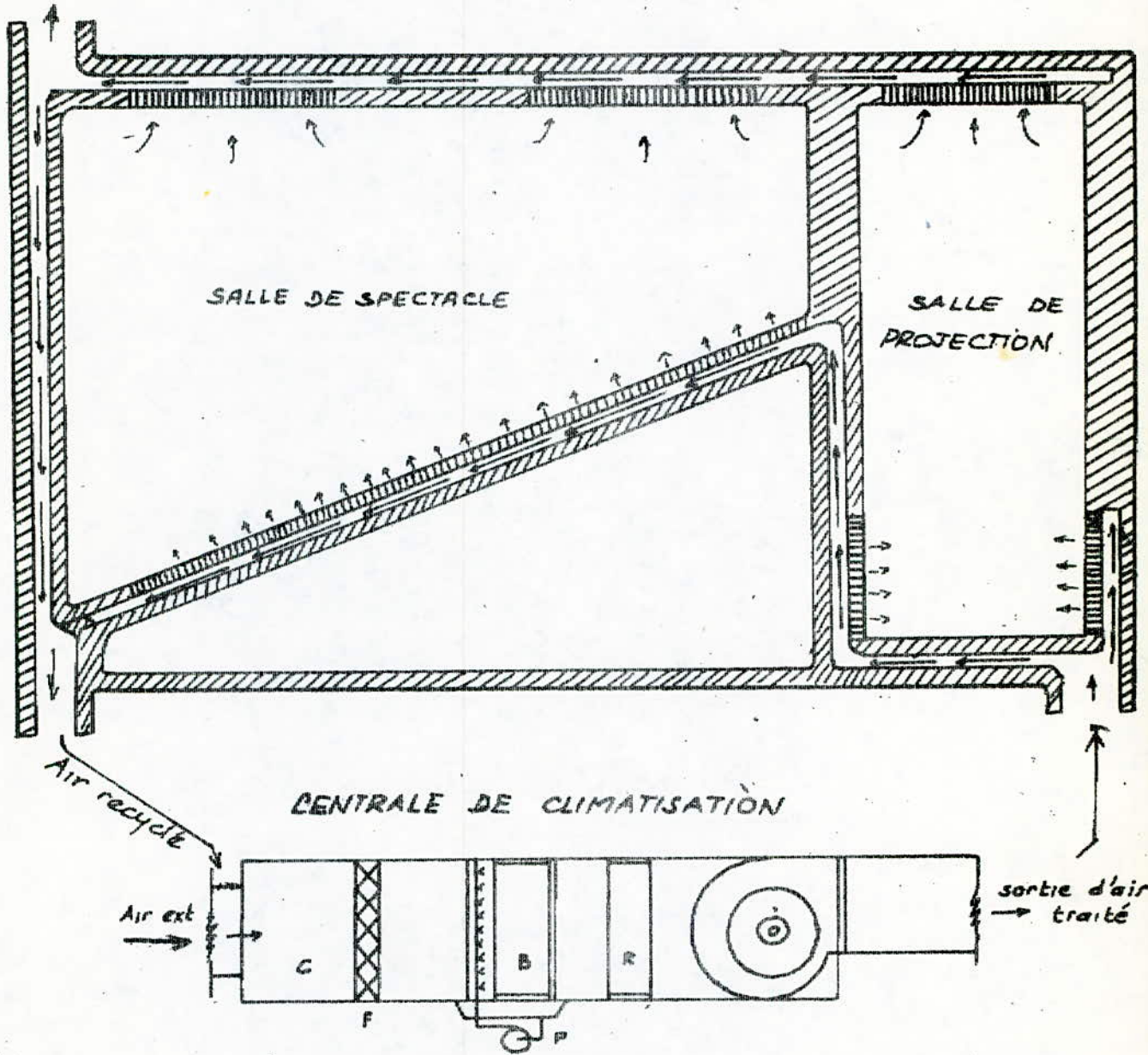
6.2 SY STEME DE COMMANDE AUTOMATIQUE (FIG 19)

Le schéma automatique d'une installation de climatisation comprend généralement quatre boucles de réglage:

- Régulation de la température après le préchauffeur
- // // // // // L'humidificateur
- // // // // Dans les locaux avec sommation des impulsions
- Régulation de l'humidité dans les locaux avec sommation des impulsions.

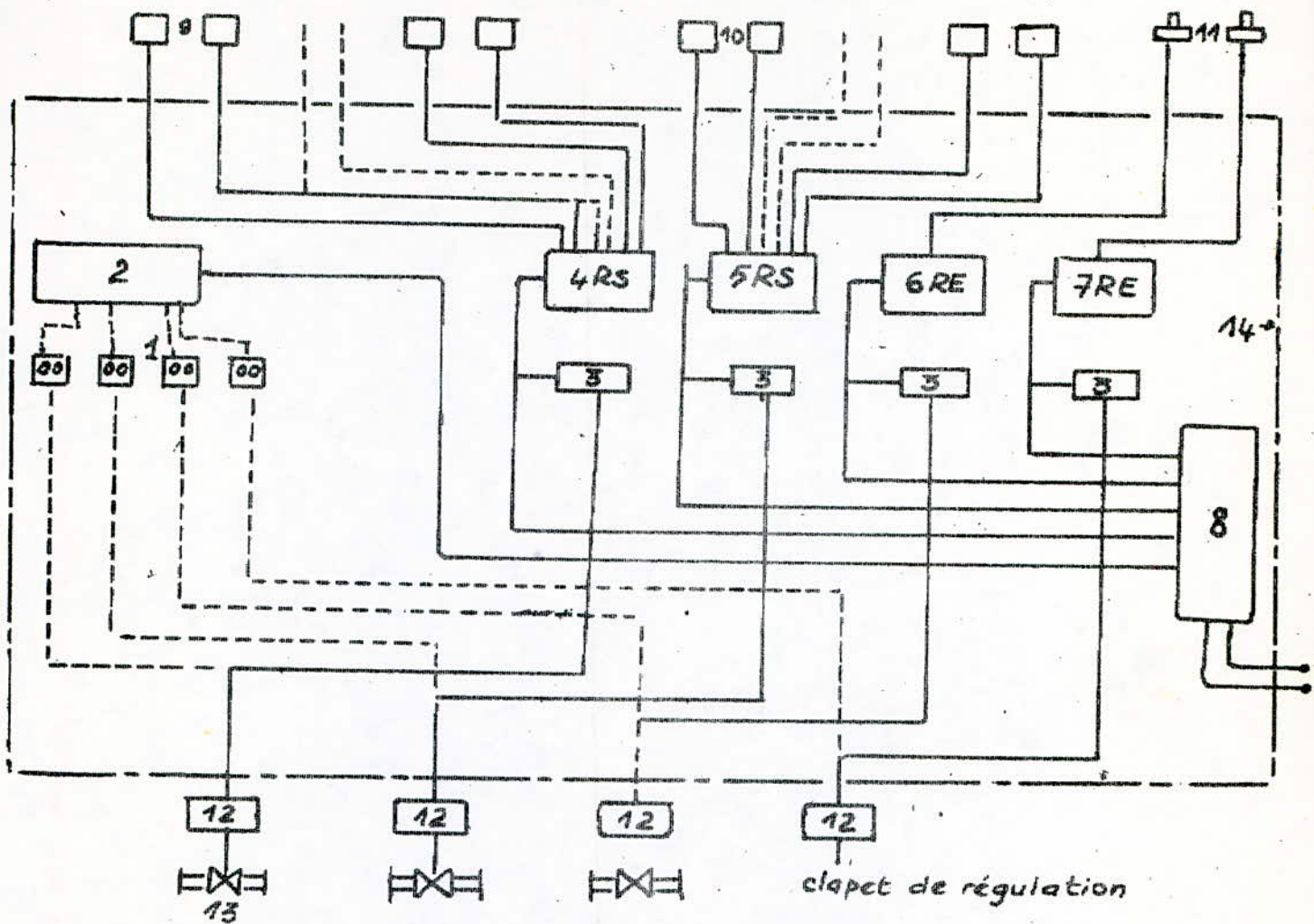
Notre système sera équipé en plus d'un circuit de commande manuelle à distance à l'aide de boutons poussoirs qui actionneront les moteurs, les thermomètres à résistance (11) sont reliés au régulateur électronique de température (RE) qui à l'aide d'amplificateur commande l'impulsateur de régulation (3) qui actionne à son tour le servomoteur (12) les thermostats à deux positions (9) et les hygrostats à deux positions(10) sont reliés respectivement aux régulateurs sommateurs des impulsions (RS) qui agissent sur les impulsateurs de régulation (3) qui à leur tour,

SCHEMA BLOC DU SYSTEME DE CLIMATISATION
SANS COMMANDE AUTOMATIQUE
- FIG 18 -



- C : chambre de mélange
- F : Filtre
- P : Pompe
- B : Batterie froide
- R : Rechauffeur

SCHEMA BLOC DU SYSTEME DE COMMANDE FIG:19



NOMENCLATURE

1. Boutons poussoirs de la commande à distance du servo-moteur
2. Impulsion de la commande à distance.
3. Impulsion du circuit de régulation
- 4.5 Régulateurs de la température d'humidité avec la sommation des impulsions
- 6.7 Régulateur de la température électronique avec pont de mesure sur le thermomètre à résistance sans la sommation d'impulsion
- 8 Alimentation générale des régulateurs et des pulsateurs
- 9 Capteur de la température à deux positions
- 10 Capteur de l'humidité à deux positions
- 11 Thermomètre à résistance
- 12 Servo-moteur électropneumatique.
- 13 Organes de réglage (Vannes, clapets)
- 14 Tableau de commande

actionne le servomoteur (129). Le système de commande est équipé d'une alimentation générale (8) et d'un impulsateur de commande à distance (2).

3 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME PROPOSE (FIG 20)

Le réglage de la température dans la chambre de mélange se fait par l'ouverture ou la fermeture des clapets qui sont commandés par le - servomoteur S1 à l'aide des impulsions reçues par le régulateur électronique 6RE du capteur de température 11.

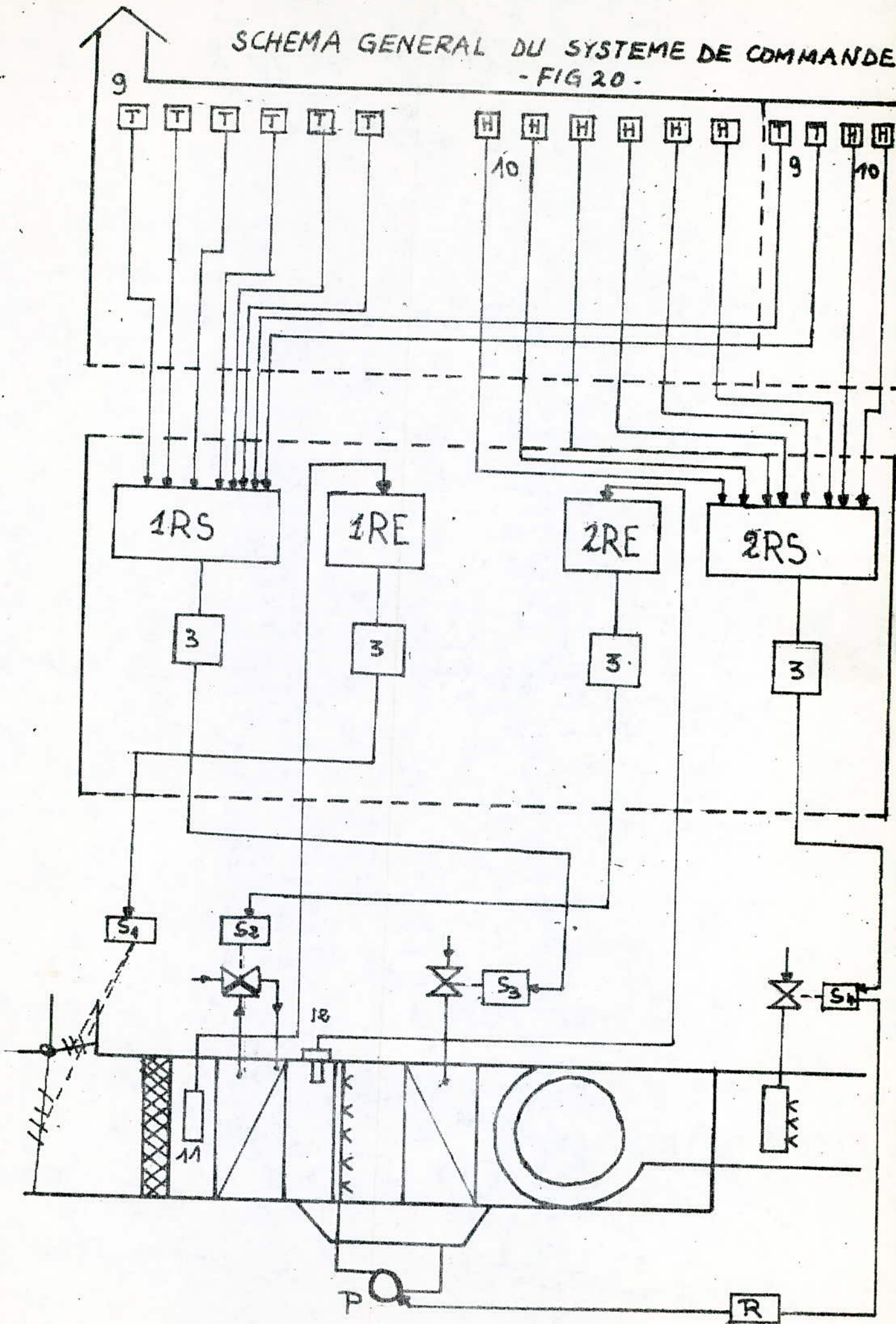
Un capteur de température 12 permet le réglage par point de rosée de la température après le laveur. Ce capteur envoie ses signaux au régulateur électronique 7 RE qui les transmet au servomoteur S2 par l'intermédiaire de l'impulsateur 3 et selon les impulsions reçues le servomoteur S2 ouvre ou ferme l'arrivée d'eau froide de la vanne V2.

Le régulateur de température avec la sommation des impulsions 4RS reçoit des signaux des capteurs de température 9, ces impulsions sont transmises par l'intermédiaire de l'impulsateur 3 au servomoteur S3 commandant ainsi la fermeture ou l'ouverture de l'arrivée d'eau chaude de la vanne V3.

Le contrôle de l'humidité dans les locaux est réalisé à l'aide des capteurs d'humidité 10 qui envoient des signaux au régulateur sommateur des impulsions 5RS qui transmet des impulsions au servomoteur S4 qui commande la vanne V4 servant à la réhumidification de l'air traité. La pompe P qui sert à refouler l'eau qui coule dans le bac de l'humidificateur fonctionne en " tout ou rien ", elle est actionnée par un contact de fin de course du servomoteur S4 par l'intermédiaire d'un relais R.

...../.....

SCHEMA GENERAL DU SYSTEME DE COMMANDE
- FIG 20 -



6.4 SYSTEME DE MESURE : (FIG 21)

Pour avoir un système automatique fonctionnant d'une manière efficace, il est nécessaire de pouvoir contrôler et d'une manière régulière le comportement des propriétés physiques de l'air qui sont la température et l'humidité en différents points de l'installation. Ce contrôle se fait à l'aide de mesures effectuées par les différents capteurs de température et d'humidité. Ces capteurs doivent être placés d'une manière judicieuse de sorte qu'ils soient protégés contre le rayonnement solaire (loin d'une fenêtre) pas trop près de lampes à incandescence qui dégagent une chaleur assez importante, suspendus assez haut pour éviter l'influence de la chaleur de l'air expiré.

Le système de mesure doit être linéaire, fidèle, sensible, interchangeable et doit avoir un temps de réponse très court et un prix assez modéré.

6.4.1 MESURE LOCALES.

Dans les différents compartiments de la centrale, on mesure la température à l'aide de thermomètres à mercure.

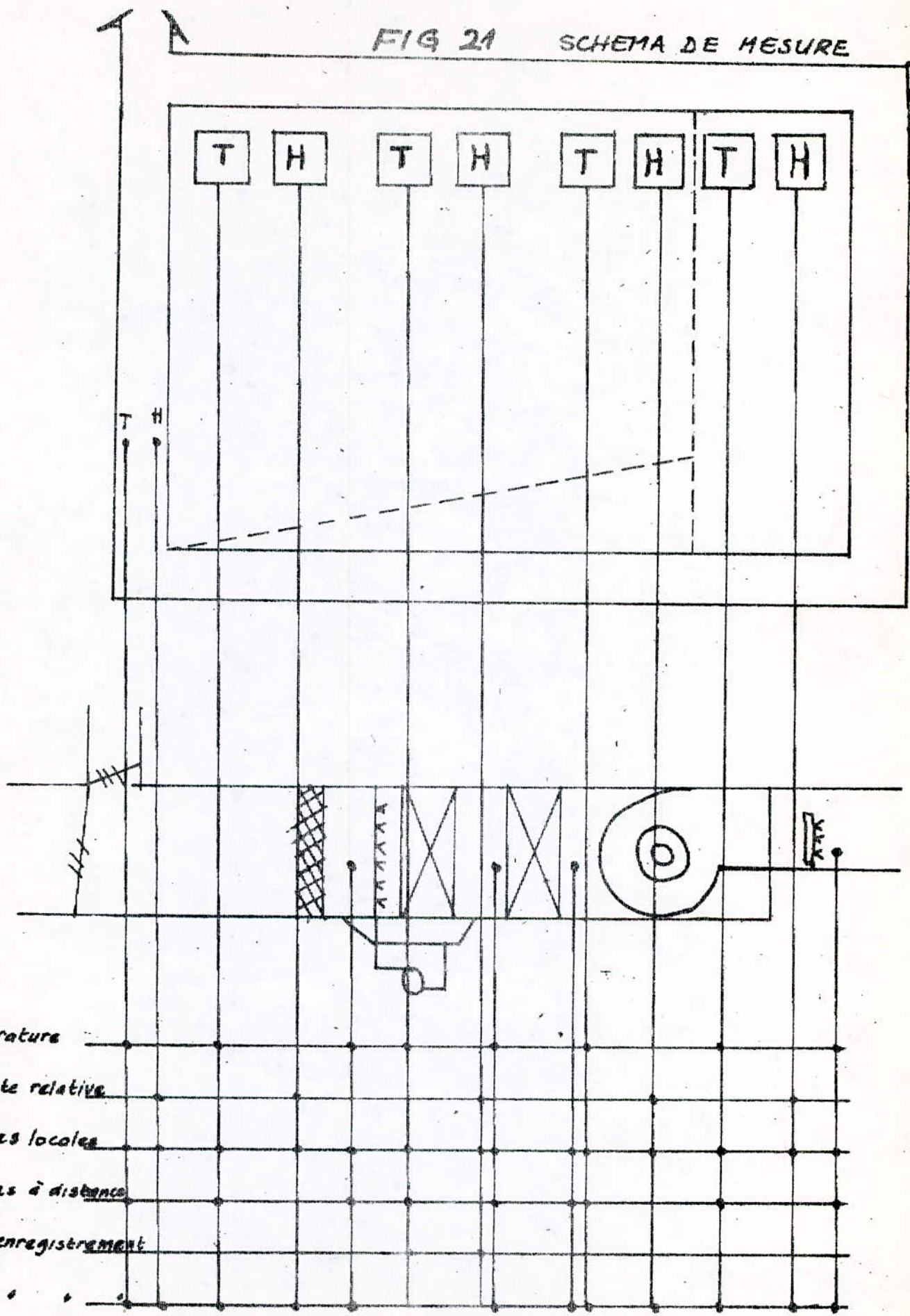
En différents points des locaux on mesure la température sur place.

6.4.2 MESURE A DISTANCE.

Dans les deux locaux on fait des mesures à distance de température ainsi que pour l'air recyclé, on mesure la température à distance après chaque élément de la centrale et celle de l'air extérieur. On fait une mesure avec enregistrement de la température et de l'humidité de la salle de spectacle.

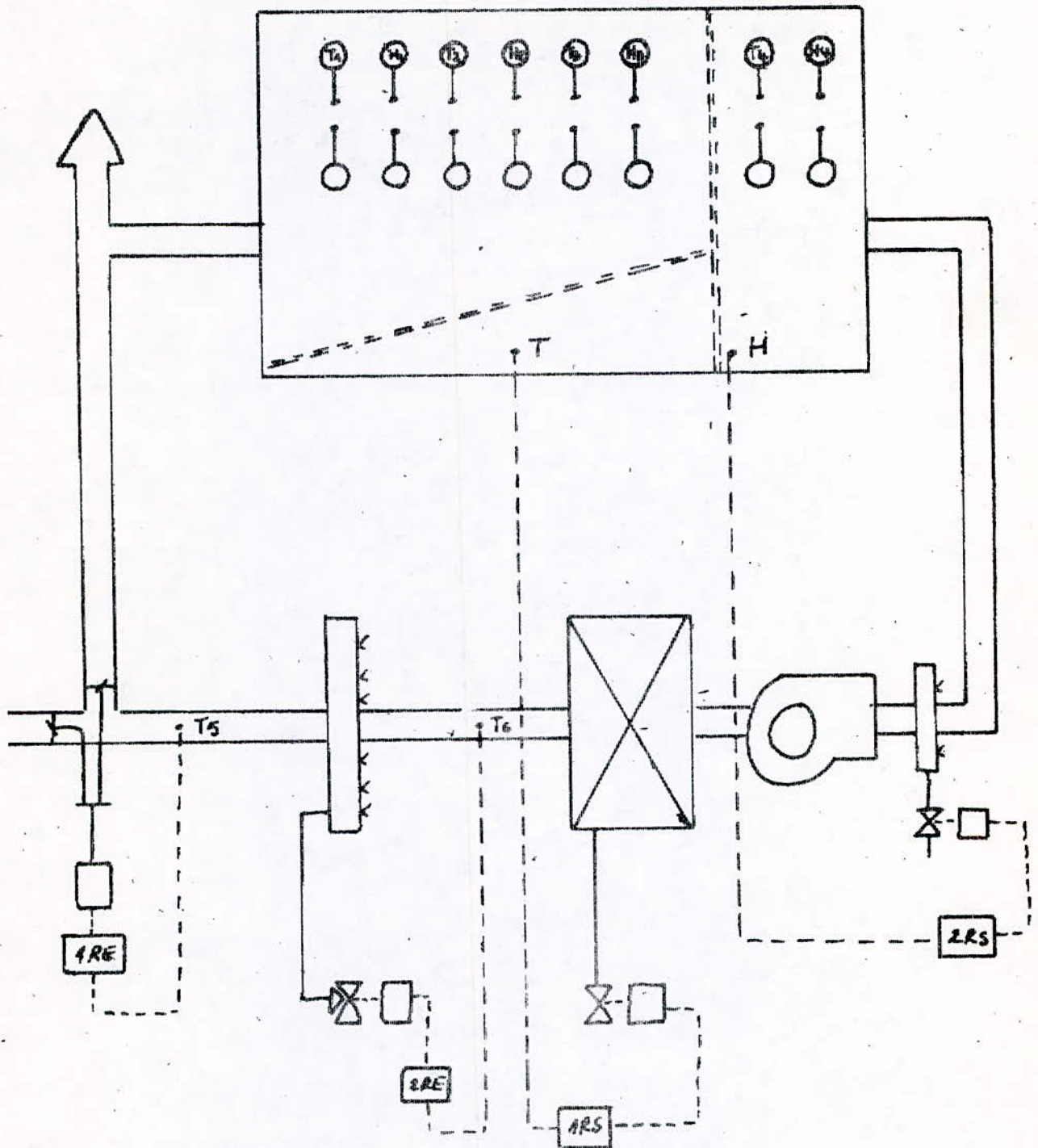
...../.....

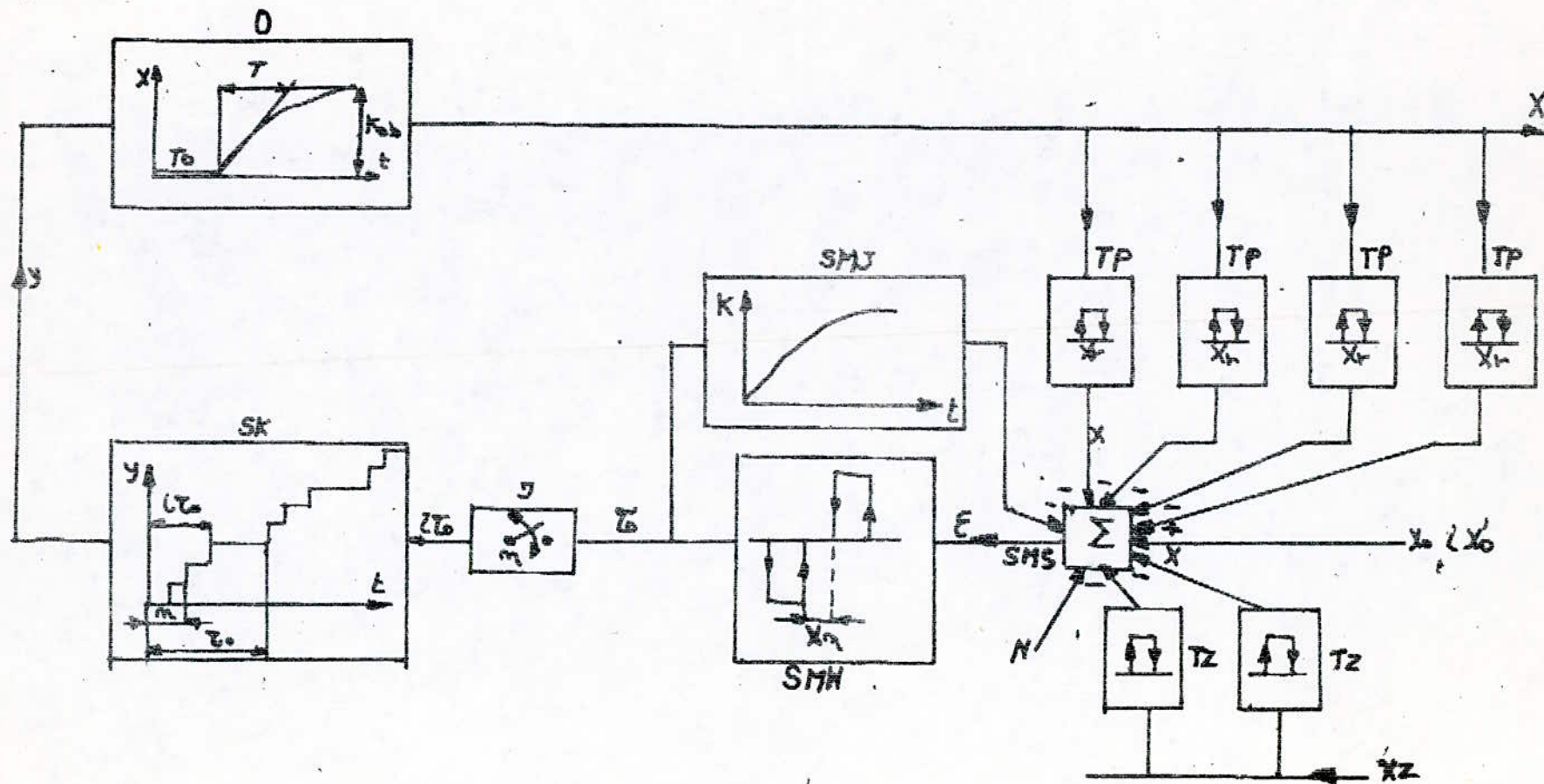
FIG 21 SCHEMA DE MESURE



SCHEMA SYNOPTIQUE DU
SYSTEME DE REGULATION.

FIG : 22





SCHEMA BLOC D'UN REGULATEUR AUTO-ADAPTIF
A TROIS POSITIONS

REGULATEUR AUTO-ADAPTIF A TROIS POSITIONS

- O: Objet de commande
- X: Valeur à régler
- T: Temps.
- T_o: Temps mort naturel
- T: Constante de temps
- Kob: Coefficient d'amplification d'objet.
- Tp: Capteur à deux positions.
- Xr: Zone d'hystéris.
- SMS: Noeuds de sommation (des courants)
- Xo: Valeur commandée vers l'ouverture
- X'o: Valeur commandée vers fermeture.
- Tz: Capteur à deux positions de la température extérieure.
- N: consigne mécanique.
- E: Ecart.
- SMW: Ensemble de relais de sortie à trois positions.
- SMJ: Element de contre réaction.
- Xm: Zone de non sensibilité.
- To: Période d'impulsion du régulateur.
- I: Impulsateur des servomoteurs.
- SK: Servomoteur pas à pas.
- n: Période d'impulsat~~ion~~. de l'impulsateur.
- I: Signal de commande (au niveau des clapets et des vannes de controle).

7- ANALYSE ET CHOIX DES ELEMENTS DE COMMANDE ET DE MESURE:

Les principaux éléments d'un système automatique sont:

- Régulateurs
- Capteurs.
- Servomoteurs.
- Organes de réglage (vannes et clapets)

7-1) CAPTEURS:

Ces éléments permettent de déterminer les paramètres de l'air en des endroits bien choisis de notre centrale. On distingue ^{plusieurs} sortes de capteurs, mais dans notre cas on s'intéresse, aux capteurs de température et l'humidité.

7-1-1) CAPTEURS DE TEMPERATURE:

7-1-1-1) Thermomètre à dilatation de liquide:

Celui à mercure est le plus souvent utilisé. Cet appareil est constitué d'une ampoule en verre surmontée d'un tube de faible diamètre dans lequel se dilate le liquide. Les autres liquides qui peuvent être employés sont l'alcool, toluène, pentance, alliage de gallium.

7-1-1-2) THERMISTANCES:

Ceux sont des corps semi-conducteurs, constituées par des oxydes métalliques, dont le résistance électrique d'écroit lorsque la température-croit et ceci-contrairement aux métaux.

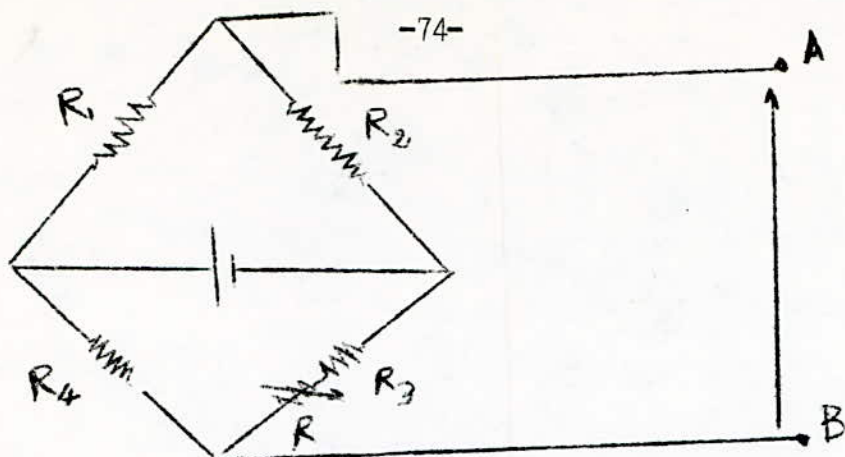
7-1-1-3) THERMOMETRE A RESISTANCE:

Il se compose d'une résistance de mesure qui varie avec la température suivant une loi connue et reproductible. On constitue pour cela des sondes appelées thermo-sondes à résistances dont l'éléments sensible est un conducteur métallique enroulé par un noyau en céramique ou en pyrex. Elles sont introduites dans un pont de mercure ou de régulation. Les principaux métaux utilisés sont le cuivre, nickel et platine.

- Principe de mesure des thermomètre à résistance.

Ce principe utilise le pont de WEATSTON constituée de trois résistances R_1, R_2, R_3 , connues, d'un potentiomètre qui affichera la consigne et d'une sonde à résistance R , qui varie avec la température.

.../...



A l'équilibre $V=0$, mais si le pont est déséquilibré, il apparaît une tension V entre les points A et B et ceci est dû à une variation de température au niveau de la sonde R_4 . Pour rééquilibrer le pont on agira sur la résistance qui fera varier R_4 .

7-1-2) CAPTEURS D'HUMIDITE:

D'un capteur d'humidité prévu pour une utilisation industrielle, on attend non seulement une haute précision de mesure et un temps de réponse très court, domaine de mesure étendu.

7-1-2-1) PSYCHROMETRES.

Il sont constitués par deux thermomètres sensibles, l'un exposé en atmosphère sèche, l'autre ayant un réservoir constamment humidifié à l'aide d'un tissu imbibé d'eau sous l'effet de l'évaporation, la température indiquée par le deuxième est inférieure à celle indiquée par le thermomètre sec. Cette différence permet de connaître le point de rosée et le degré hygrométrique.

7-1-2-2) HYGROMETRE A CHLORURE DE LITHIUM:

Avec ce capteur il est possible d'effectuer de manière simple des mesures précises dans les conditions de travail difficiles.

7-2) REGULATEURS:

Il existe plusieurs types de régulateurs, les principaux sont les régulateurs. Pneumatiques, hydrauliques, électriques ou électroniques. Tous ces régulateurs varient selon leurs applications et selon leurs mode d'action: action proportionnelle, intégrale, dérivée, etc...

7-2-1) REGULATEURS PNEUMATIQUES:

Ils se classent en trois grandes parties:

- Les appareils à déplacement.
- Les appareils à balancement de force.
- Les appareils à membrane.

Ces régulateurs présentent beaucoup d'avantages et sont beaucoup utilisés. Ils sont peu sensibles aux variations extérieures de température, ils sont très simples à réaliser et peu coûteux.

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

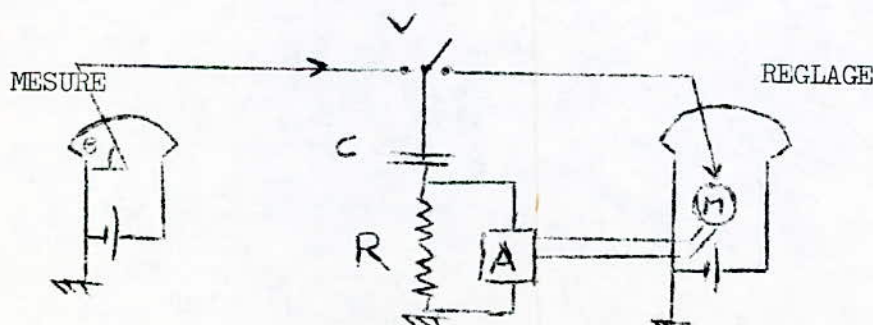
7-2-2) REGULATEURS HYDRAULIQUES.

Ils utilisent soit la variation de débit provoqué par Δt , soit la variation de débit obtenue en étranglant plus ou moins la conduite. le plus grand avantage est de développer un très grand couple.

7-2-3) REGULATEURS ELECTRIQUES:

Les avantages de la régulation électrique par rapport à la régulation pneumatique et hydraulique se situent d'abord sur le plan de la mesure. Des procédés de fabrication compliqués exigent des mesures nombreuses et des circuits de calculs complexes. l'électricité permet d'établir de façon simple et élégante de tels circuits, et un faisceau de fils électriques est moins encombrant, moins cher aussi à installer qu'un réseau équivalent de tubes de cuivre ou d'acier.

La figure ci-dessous montre un dispositif de régulateur électrique continu.



Deux tensions électriques variables sont appliquées alternativement, grâce à un vibreur synchrone, à un circuit résistance- capacité. leurs valeurs sont proportionnelles à la position respective de deux curseurs qui se déplacent chacun sur un potentiomètre circulaire.

Si les tensions dans chacun des potentiomètres sont égales, les inversions créées par le vibreur n'apportent aucune variation de la charge du condensateur C, dont aucun ne passe dans le moteur M. Si la mesure varie, la tension dans le potentiomètre correspondant va provoquer par rapport à la tension existant dans le circuit de réglage, une charge ou une décharge du condensateur C à chaque inversion du vibreur. Une tension alternative prend ainsi naissance, proportionnellement à l'écart entre les deux tensions, le moteur M tourne, entraînant le curseur du potentiomètre de l'annulation du déséquilibre.

7-3) SERVOMOTEURS:

Les servomoteurs reçoivent les impulsions émises par le régulateur sous différentes formes. Ils agissent sur les organes de réglage qui sont les vannes, les clapets et les registres. Ils existent des servomoteurs hydrauliques, pneumatiques, électropneumatiques et électriques. Ils peuvent avoir des actions continues ou discontinues. (pas à pas).

On donnera ici le principe du servomoteur électrique qui est très utilisé. Ce type de servomoteur comprend un moteur électrique à deux sens de rotation, agissant par l'organe de réglage par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenage ou à roue tangente.

Un relais d'asservissement permet de positionner le moteur avec précision.

Les moteurs de servomoteurs peuvent être:

- Monophasés à spires de déphasage ou monophasés avec capacité permanente sur une phase auxiliaire, Ces deux moteurs ne tournent que dans un sens, ils conviennent aux vannes rotatives pouvant pivoter à 360°.

--Monophasé à capacité permanente avec un stator à deux enroulements, bobinés en sens inverse l'un de l'autre. Ce qui permet deux sens de rotation suivant la mise sous tension directe ou inverse.

7-4) VANNES:

On utilise dans les systèmes de climatisation généralement des servovannes (servomoteurs + vannes) pour le réglage du débit du fluide caloporteur elles doivent changer la puissance calorifique d'une façon proportionnelle à la course. Les vannes se classent selon le nombre de voies qu'elles comportent, une, deux, trois ou quatre voies.

7-4-11) GRANDEURS PERMETTANT LE CALCUL DE VANNES.

- La perte de charge ΔP_v désigne la perte de pression qui se produit dans la vanne motorisée pour un débit maximum.

- Le débit d'eau K_v en m^3/h provoque dans la vanne un DP de 1 Kg/cm^2 , c'est un débit rapporté à des conditions unitaires.

La valeur K_{vs} est la caractéristique que possède une vanne ouverte d'un type et d'un diamètre connu

$$\text{On a: } K_v = \frac{Q_v}{1000 \Delta t} \sqrt{\frac{1}{\Delta P_v}}$$

Avec Q : puissance calorifique en $K \text{ cal/h}$.

ΔP_v : chute de pression

Δt : différence de température aller/retour °C

7-4-2) DETERMINATION DES DIAMETRES DES VANNES.

On prend ΔP_v convenable au circuit hydraulique, et, connaissant de plus le débit G en m^3/h on tire la valeur K_v en se servant du diagramme. Pour les vannes à deux voies, on a $K_{vs} = 0,5 K_v$ pour les autres $K_{vs} = K_v$. A l'aide de K_{vs} on tire le diamètre nominal de la vanne en mm.

8- ETABLISSEMENT DU PROJET:

8-1) SPECIFICATION DES ELEMENTS DE COMMANDE ET DE MESURE:

8-1-1) REGULATEUR:

On choisira pour notre installation un régulateur de type M 7314 (SIEMENS) qui a un comportement absolument PI et peut donc être facilement adapté aux boucles de régulation.

Caractéristiques des régulateurs M 74314.

- Alimentation: 220 V, 50 Hz, 4 VA.
- Zone de proportionnalité 5 à 100 %.
- Sensibilité de réponse 0,5 %.
- Deux plages de température - 20 à 50°C et + 20 à 110°C.
- Sortie organe de réglage: contacts hors tension max 220V N, 3A
- Température ambiante admissible: 0 à 50 °C.

8-1-2) THERMOSTAT D'AMBEANCE:

pour la régulation de la température des locaux, on prendra des thermostats du type 2 NR 9001 (SIEMENS). Ces genres de thermostats fonctionnent en régulation proportionnelle-intégrales et sont anti-parasites.

Caractéristiques Techniques:

- Pouvoir de coupure.
- Thermost et contact 10 A - 220 V. 50 Hz. charge ohmique 4 A. 220 V. 50HZ $\cos \phi = 0,6$.
- Genre de contact du thermostat: inverseur, simple ou serie.
- Tolérance de fonctionnement $\pm 0,5$ °C.
- Plage de fonctionnement: 0 à 30°C

8-1-3) SERVOMOTEUR ELECTRIQUE:

Du type M 76344. A 102 SIEMENS. Pour entrainement de clapet avec mouvement notatif.

Caractéristiques:

- Alimentation: 220 V (± 10 %) 50 Hz (+ 5%)
- Consommation: 16 VA.
- Couple maximal: 15 Nm = 1,5 Kgf.
- Angle de réglage: 120°
- Temps de réglage: 5 mm pour angle de réglage de 90°
- Température ambiante admissible 0 à 50°C.

.../...

8.1.4) CAPTEUR D'HUMIDITE DU LOCAL:

Du type M 74314. AUO SIEMENS/

Caractéristiques Techniques:

- Plage de mesure 30 à 90% humidité réelle.
- Plage de signal 0 à 1000 ?
- Plage de température 10 à 50 °c
- Tolérance: \pm 5%
- Vitesse admissible de l'air 3 m/s

8-1-5) ELECTROVANNE:

A 2 voies commandée par régulateur électrique.

Référence M 2 V 156 SCS

Caractéristiques techniques:

- Diamètre nominal 15 mm.
- Température du fluide 2 à 110 °c
- Température ambiante 2 à 50 °c
- Pression maximale 16 Kg/cm².
- Corps de vanne: bronze.
- Durée de course 1s.
- Kvs = 3m³/h.
- Caractère linéaire.

8-1-6) ENREGISTREUR:

Type Téléperm/Télépneu 300:

Pour l'enregistrement de trois grandeurs au maximum .

Exécution avec les dimensions frontales: 72 144 mm² et 144.144 mm².

Déroulement horizontal du papier d'enregistrement.

Enregistrement continu 16 m et diagramme journalier.

Grande longueur de diagramme visible.

8-2) EMLACEMENT DES ELEMENTS DE MESURE ET DE COMMANDE:

8-2-1) ELEMENTS DE MESURE:

8-2-1-1) Thermostat d'ambiance:

Il est monté en saillis, en utilisant une plaquette adaptée sur un boîtier encastré. Autant que possible, il doit être monté sur un mur extérieur libre en face du point de pénétration de l'air traité (distance minimale 1,5m) à une hauteur de 1,2 à 1,5 m environ au dessus du plancher. Il doit être placé dans l'endroit où la température est la plus représentative possible.

.../...

8-2-1-2) CAPTEUR D'HUMIDITE DU LOCAL:

Il doit être placé dans un endroit où la température est quasi constante afin d'éviter une condensation sur les éléments sensibles de l'appareil, doit-être placé assez haut pour éviter les perturbations dues à l'air expiré des personnes occupant le local, doit être installé dans une ambiance suffisamment propre.

8-2-2) ELEMENTS DE COMMANDE:

8-2-2-1) SERVOMOTEURS:

Ils doivent être placés dans un endroit où les vents extérieurs ont le moins d'accès possible afin d'éviter l'ensablement des éléments tournants, car le sable est le plus grand ennemi à combattre pour assurer un bon fonctionnement des machines. Leurs positions doivent être de sorte que l'axe de commande soit parallèle au sol pour assurer une bonne embrifcation des pignons.

- TABLEAU DE COMMANDE -

Le tableau de commande que l'on choisit est de dimension 1 m.1m et ceci en fonction des dimensions des différents éléments qui le constituent. Ce tableau nous permet de commander à distance notre centrale et nous permet de faire des mesures à distance sans avoir à se déplacer, afin de connaître les propriétés de l'air traité (température, humidité) des compartiments désirés.

Ce tableau se compose d'une première rangée où sont placés les quatre régulateurs (1Rs, 1Re, 2Rs, 2RE) désignés par 1,2,3,4, une deuxième rangée pour les impulsateurs du circuit de commande.

Les lampes de signalisation 6 indiquent le fonctionnement des impulsateurs 5 et la commande des servomoteurs dans le sens ouverture ou fermeture.

Les lampes de signalisation 7 (vertes) et 8 (rouges) indiquent les positions limites des servomoteurs: (7) fermeture à 100%, (8) ouverture à 0%.

Les commutateurs 9 permettent d'assurer l'ouverture ou la fermeture des organes de réglage de façon manuelle (commande à distance).

L'enregistreur 10 permet de relever sur papier l'évolution des deux grandeurs (T2, H2) en un point de la salle.

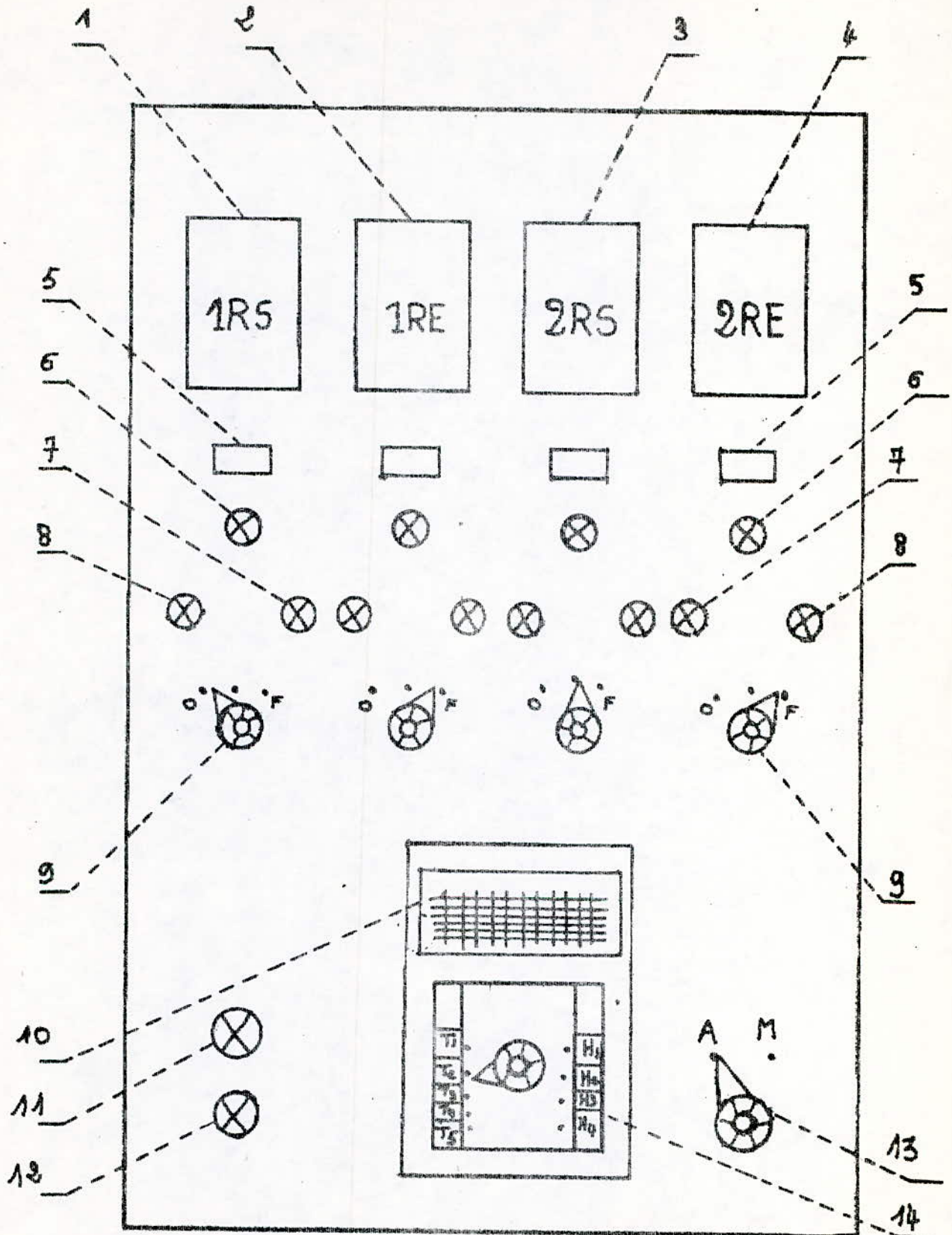
Les lampes 11 (vertes) et 12 (rouges) assurent respectivement la marche ou l'arrêt de la pompe P.

Le commutateur 13 à deux positions (A.M.) permet de sélectionner le fonctionnement, A: automatique, M: manuelle.

Enfin, la station de mesure 14, sert à lire les différents paramètres en différents lieux de la centrale.

=====oooOooo=====

TABLEAU DE COMMANDE



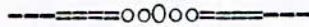
-- CONCLUSION --
-o-o-o-o-o-o-o-o-

Notre étude devait être faite dans une région du Sud pour répondre aux conditions désertiques. Ceci n'a pas été fait par manque de moyens, néanmoins, on a essayé d'approcher ces conditions à l'aide d'essais réalisés sur un modèle physique conçu à l'ENPA. Cependant ces essais ont été faits uniquement pour la température. L'Etude aurait été plus complète avec ceux concernant l'humidité.

Par contre on a abordé de façon complète les propriétés statiques et dynamiques et la stabilité du système a été assurée par le choix judicieux du régulateur approprié.

Le Sud, jouant un rôle très important dans l'économie du pays, nous espérons qu'à l'avenir, les recherches dans le domaine de climatisation et autres seront plus approfondies.

Pour ce modeste travail, on tient à remarquer les difficultés rencontrées à trouver la documentation nécessaire.



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

- 1 - Guide de la mesure et de la régulation industrielle
ROBERT FARDIN (EYROLLES, PARIS 1969)
- 2- Chauffage et climatisation
S. BELAKHOWSKY (PARIS 1969, 1974)
- 3- Traité de chauffage et de climatisation tome I et II
H. RIETCHELL. W. RAISS (DUNOD, NEWYORK 1968)
- 4- Les techniques du froid dans les pays chauds en développement.
- 5- Le conditionnement de l'air.
A. JUDET de la COMBE. (J.B. BAILLIERE, PARIS 1974)
- 6- Installations frigorifiques.
PJ RAPIN Tome II (PYC. EDITION, PARIS 1973)
- 7- Technique de l'ingénieur, contrôle et mesure Tome III.
- 8- CATALOGUES SIEMENS
 - Système TELEPERM. TELEPNEU 300.
 - Appareils d'analyse industrielle et appareils de mesure de température (catalogue MP 11, 1978)
 - Catalogue Général volume 3 (1973).

-----oooOooo-----

