

19/83

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

HOUARI BOUMEDIENE

Red

Ecole Nationale Polytechnique

Filière d'Ingénieur en Electrotechnique

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكنية

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET :

Commande Automatique du Systeme
de Climatisation dans les Salles de
la Therapie Intensive d'un Hopital

Proposé par Z. BARSKI
(Docteur Es-Sciences)

Réalisé par : K ZEHAR
Z. BOUDOUR

2

REMERCIEMENTS

NOUS REMERCIONS MONSIEUR Z. BARSKI
DOCTEUR - ES - SCIENCES DE NOUS AVOIR
GUIDES ET CONSEILLES TOUT AU LONG
DE NOTRE PROJET .

QUE TOUS LES PROFESSEURS AYANT
CONTRIBUE A NOTRE FORMATION TROUVENT
ICI L'EXPRESSION DE NOTRE
PROFONDE RECONNAISSANCE .

NOUS TENONS AUSSI A REMERCIER M^{elle} SAMIA
ET TOUS CEUX QUI NOUS ONT AIDES A REALISER
LE ~~travaux~~ TRAVAIL DE CE PROJET .



Z. BOUDOUR

K. ZEHAR

DEDICACE

A NOS PARENTS

A NOS FRÈRES

A NOS SŒURS

A NOS FAMILLES

A TOUS NOS AMIS

NOUS DEDIONS CE MEMOIRE

KHALED ET SAMIR

TABLE DES MATIERES

I.	Introduction	1
<u>II.</u>	Generalites	3
	21 Modes d'installations de climatisation	
	22 Modes de transfert de chaleur	
	23 Deperditions calorifiques du corps humain	
	24 Parametres caracteristiques de la climatisation	
<u>III.</u>	Description du systeme et les exigences qui lui sont posees	09
	31 Schema du dispositif de preparation d'air	
	32 Definition et role de chaque element de la centrale	
	33 Salles de therapie intensive	
	34 Conditions imposees a la commande	
	35 Canaux D'air	
	36 Exigences Concernant le Systeme de commande	
	37 Facteurs de maladie	
	38 Donnees Techniques de L'installation.....	
<u>IV.</u>	Analyse Theorique et Experimentale des proprietes Dynamiques et statiques du Systeme de Commande	21
	41 Analyse Theorique	
	42 Analyse Experimentale	
<u>V.</u>	Etablissement du Schema de Conception du Systeme de Commande	42
	51 Schema Bloc Sans Commande Automatique	
	52 Structure du Systeme de Commande	
	53 Schema Bloc du Systeme de mesure	
<u>VI.</u>	Analyse et Choix Des Elements de Commande et de mesure	47
	61 Analyse et Choix des Capteurs.....	
	62 Analyse et Choix des Regulateurs.....	
	63 Analyse et Choix des Servomoteurs	
	64 Analyse et Choix des Organes de Reglage	
<u>VII.</u>	Etablissement du projet	65
	71 Localisation des Elements de Commande et de Mesure	
	72 Specification des Elements de Commande et de Mesure	
	73 Tableau de Commande	
	74 Montage Electrique	
<u>VIII.</u>	Conclusion	68

I INTRODUCTION

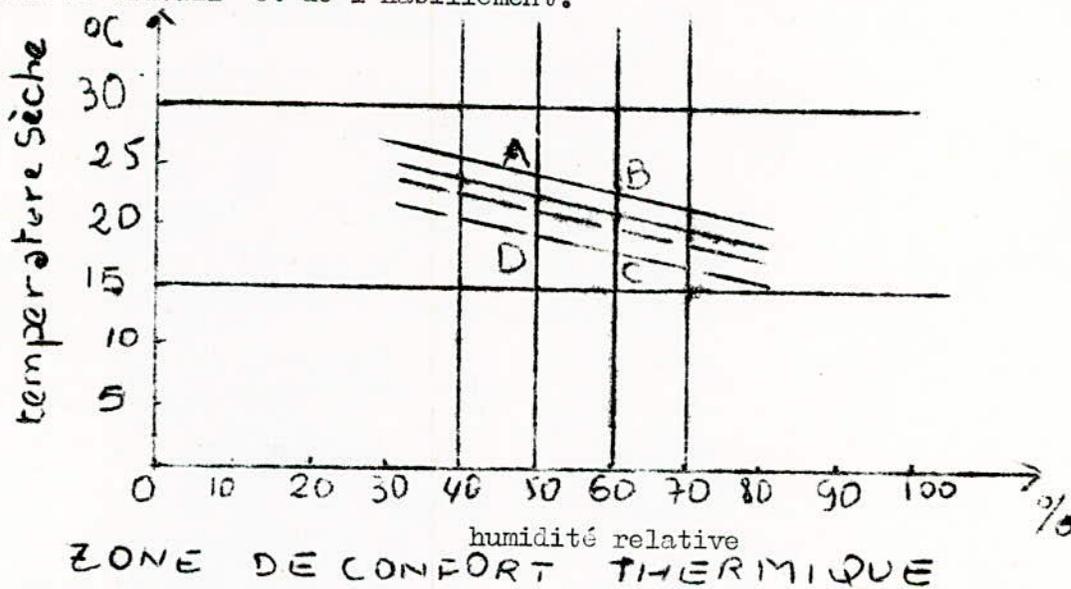
Une installation de climatisation a pour but d'assurer des conditions thermiques et hygrométriques déterminées. Elle utilise les propriétés physiques de l'air en le traitant d'une manière appropriée afin de lui permettre de maintenir dans les locaux les conditions souhaitées.

La climatisation est de nos jours très importante car on est de plus en plus exigeant en atmosphère contrôlée.

Les conditions imposées à la climatisation d'un HOPITAL sont différentes de celles imposées à d'autres locaux.

La commande automatique consiste à analyser un système pour prévoir son comportement de manière à minimiser le coût de production et maximiser le confort des personnes. En effet, elle permet de maintenir automatiquement une grandeur physique à une valeur souhaitée.

La notion de confort est l'existence d'un domaine dans lequel l'homme se sent vraiment plus à l'aise c'est à dire créer dans ce domaine une atmosphère confortable. La sensation de chaleur et de froid à l'intérieur d'un local, dépend essentiellement de la température de l'air et sa répartition dans le temps et l'espace dans le local, de l'humidité relative, de la vitesse de l'air, de la direction de l'air, de l'effort physique dépensé dans le travail et de l'habillement.



Notre tâche est de maintenir les paramètres de l'air d'apport (Température et humidité) dans la surface A.B.C.D afin de satisfaire les besoins en confort thermique.

II GENERALITES:

21-MODES D'INSTALLATIONS DE CLIMATISATION.

On distingue trois modes d'installation de climatisation:

211 Avec traitement de l'air extérieur:

Le fonctionnement en air extérieur est très hygiénique mais rarement utilisé car il exige une forte consommation d'énergie.

212 Avec traitement de l'air de mélange:

Le fonctionnement en air de mélange est très employé car il nécessite moins d'énergie que dans le premier cas. On utilise des filtres spéciaux sur le parcours de l'air recyclé afin de le purifier.

213 Avec traitement de l'air recyclé:

Le fonctionnement en air recycle est à éviter car il ne répond pas aux normes d'hygiène son seul avantage est la faible consommation d'énergie. Le mode d'installation avec traitement de l'air de mélange est celui qui convient le mieux dans notre cas car il est à la fois hygiénique et économique.

22 Modes de transfert de chaleur:

Lorsqu'un corps ou un système subit une modification thermique, la quantité de chaleur qu'il reçoit de l'extérieur ou lui cède est bien déterminée si les autres formes d'énergie (mécanique, électrique, ...) le sont. Les quantités de chaleur sont évaluées en joule ou en calories (1 calorie = 4,18 Joules).

Pour une même modification, Q est proportionnelle à la masse. On appelle "capacité calorifique" d'un corps la quantité de chaleur nécessaire pour l'échauffer de 1°C et "chaleur spécifique" sa capacité calorifique rapportée à l'unité de masse. On peut définir pour un corps que l'onque la chaleur spécifique moyenne entre deux températures indiquées θ_1 et θ_2 par la relation: $Q = M c (\theta_1 - \theta_2)$

Q en calories

M en grammes

C en Cal/g/°C

θ_1, θ_2 en ° C

Ces échanges de chaleur entre deux corps peuvent se faire à la fois par rayonnement, conduction et convection. Ces trois processus peuvent intervenir séparément ou simultanément..

221 Conduction:

C'est un transfert de proche en proche par contact des molécules entre elles. Il intervient seul dans un solide opaque. Les corps conduisent la chaleur d'une manière très inégale. la loi qui régit la conduction

est donnée par: $\frac{Q_k}{t} = \lambda \frac{S}{p} (\theta_1 - \theta_2)$ avec

$\frac{Q_k}{t}$ flux de chaleur qui traverse la section S d'une tige cylindrique homogène de longueur dont la surface latérale est calorifugée et dont les bases sont maintenues aux températures θ_1 et θ_2 .

λ Coefficient de conductivité

Q_k quantité de chaleur

t temps

222 Convection

C'est un transfert de chaleur d'une paroi à un autre corps dû au mouvement d'un liquide ou d'un gaz, autre que l'agitation thermique.

On distingue la convection naturelle et la convection forcée. La loi qui régit la convection est donnée par la formule de NEWTON: $\frac{Q_c}{t} = \alpha S (\theta_1 - \theta_2)$

α coefficient de convection $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 1 \div 200 \text{ pour les gaz} \\ \alpha = 100 \div 200 \text{ pour les liquides sans} \end{array} \right.$

changement d'état

S surface de contact

Q quantité de chaleur

223 Rayonnement:

C'est une transmission de chaleur à distance sans support intermédiaire tout corps porté à une température θ° K émet un rayonnement. Les corps chauds émettent ou perdent de l'énergie par radiation dans l'espace qui les entoure. Ces radiations se propagent dans le vide ou à travers les corps transparents;

elles peuvent être lumineuses ou obscures pour notre oeil ($0,02 \mu \div 300 \mu$). L'absorption par un corps (solide; liquide ou gazeux) de ces radiations s'accompagne d'un échauffement de celui-ci. La loi qui régit les échanges par rayonnement est donnée par: $Q_r = \sigma \epsilon A (\theta_1^4 - \theta_2^4)$

σ constante de STEFAN BOLZMANN

ϵ coefficient d'emissivité (compris entre 0 et 1)

A angle solide

Q_r quantité de chaleur

le coefficient dépend essentiellement de la nature et de l'état de la surface du corps.

23 DEPERDITIONS CALORIFIQUES DU CORPS HUMAIN

231 Modes et voies de transmission thermique

L'élimination de la chaleur du corps dans l'ambiance se produit par:

- Rayonnement de la surface de la peau et des vêtements vers des surfaces plus froides.
- Conduction et convection de la surface de la peau et des vêtements vers l'air du local et les surfaces de contact (sol, murs...).
- Dégagement de vapeur d'eau
- l'air expiré, chaud et pratiquement saturé d'humidité. La somme des pertes par rayonnement, conduction et convection est appelée chaleur sèche ou chaleur sensible Q_s , la somme des pertes par évaporation et respiration chaleur humide ou chaleur latente Q_r .

232 Importance des déperditions calorifiques

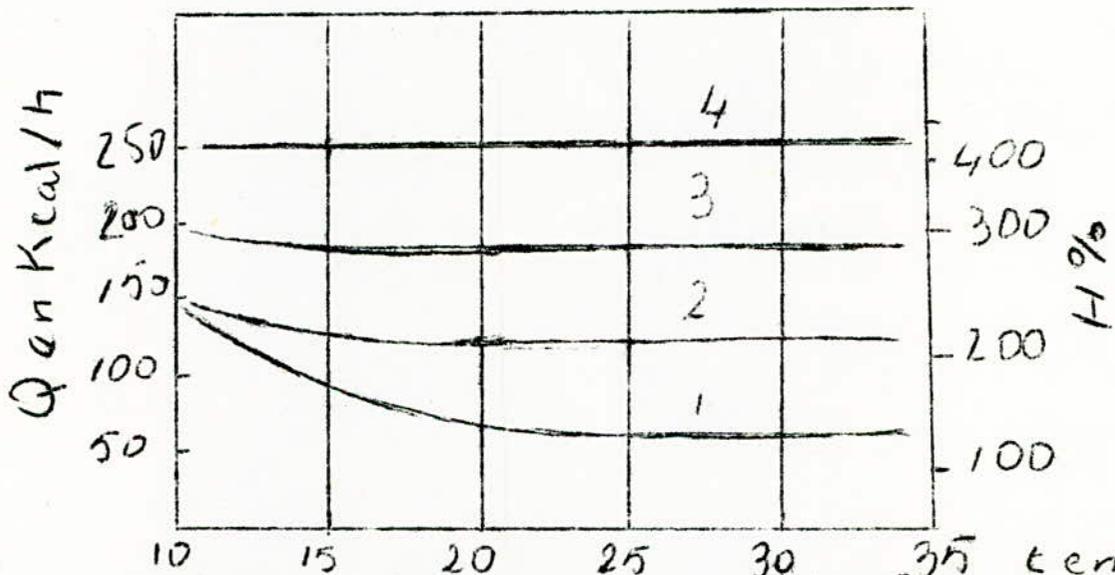
Elle dépend de l'effort physique dépensé dans le travail, de la vitesse et température de l'air, de l'âge et du sexé.

Température de l'air en °C°	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Dégagement de vapeur d'eau en g/h.	31	31	31	31	34	40	48	60	73	88	102

Dégagement de vapeur d'eau en fonction de la température de l'air

Température de l'air [°C]	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Q_s [Kcal/h]	117	108	99	91	84	79	73	66	59	50	40	28
Q_h [Kcal/h]	18	18	18	18	20	23	28	35	42	51	59	70
Q_{totale} [Kcal/h]	135	126	117	109	104	102	101	101	101	101	99	98

Dépendances calorifiques en fonction de la température de l'air



Dépendance de la quantité de chaleur et de l'humidité relative apportées par l'homme en fonction de la température ambiante et le genre de travail

1. Repos total 2. Travail intellectuel
3. Travail moyen 4. Travail dur

24 Paramètres caractéristiques de la climatisation

L'air qui nous entoure n'est pas sec, il contient une quantité plus ou moins grande de vapeur d'eau: on dit qu'il est humide.

À une température et à une pression données, l'air est capable d'absorber une certaine quantité de vapeur d'eau (sans que cela se voit).

Un air humide saturé est celui qui, dans ces conditions contient le maximum de vapeur d'eau. La pression partielle de la vapeur à ce moment là est la pression de saturation à cette température. Un air humide contenant une certaine quantité de vapeur d'eau nous paraîtra plus ou moins humide suivant que sa température sera plus ou moins élevée. On désigne la sensation d'humidité par la notion abstraite d'humidité relative.

241 Différentes caractéristiques permettant de définir un air humide

Humidité relative ou degré hygrométrique: s'exprime en % du rapport de la pression partielle de la vapeur que l'air contient à la pression maximale de vapeur qu'il contiendrait s'il était saturé.

Température en °C	-10	-5	0	2	4	6	8	10	12
Pression en mm Hg	2,1	3,1	4,6	5,3	6,1	7	8	9,2	10,5
t en °C	14	16	18	20	24	28	35	40	60
P en mmHg	11,9	13,6	15,4	17,4	22,2	28,1	41,8	54,9	148,8

Pressions maxima de vapeur d'eau en
fonction de la température

EXEMPLE D'UTILISATION:

Si à 20° c la pression de vapeur d'eau est de 6,9 mm, en consultant le tableau précédent, on trouve qu'à 20° c la pression maximale est de 17,4 mm, d'où le degré hygrométrique en % : $H\% = \frac{6,9}{17,4} \cdot 100 = 40\%$

17,4

Humidité absolue w : C'est la quantité de vapeur d'eau associée à 1 kg d'air sec (exprimée en kg/kg)

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 qui contient 1kg d'air sec), le mélange étant à la pression total P (souvent pression atmosphérique).

Température sèche : C'est celle du mélange air-vapeur.

Un thermomètre ordinaire plongé dans le mélange affichera ^{cette} température à condition qu'il soit protégé des rayonnements parasites;

-Température de rosée : C'est la température à laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser au contact d'une paroi froide, refroidie lentement.

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

-Enthalpie ou chaleur totale de l'air humide:

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

III DESCRIPTION DU SYSTEME DE CLIMATISATION ET LES EXIGENCES QUI
LUI SONT POSEES

31 Schéma du dispositif de préparation d'air

On distingue deux types de centrale de climatisation, l'une à une gaine et l'autre à deux gaines.

Pour la première, l'air combiné (chaud et froid) après la centrale est véhiculé dans la même canalisation. Pour la deuxième, à la sortie de la centrale, l'air chaud et l'air froid sont véhiculés séparément.

Notre installation est à une seule gaine car on a prévu des échangeurs à l'entrée des locaux. La centrale est constituée d'éléments nécessaires pour pulser, purifier, réchauffer, refroidir, humidifier et assécher l'air .

Ces éléments sont regroupés selon le schéma de la figure 31.

- 1 - chambre de mélange
- 2- filtre à poussières
- 3- préchauffeur
- 4- séparateur de gouttelettes
- 5- laveur ou humidificateur d'air
- 6- réchauffeur secondaire
- 7- refroidisseur
- 8- ventilateur

32 Rôle de chaque élément de la centrale

321 Chambre de mélange:

Elle réalise le mélange de deux airs dans les proportions désirées (air extérieur + air recyclé) et ceci grâce aux clapets qui commandent les entrées d'air extérieur et d'air recyclé.

322 Filtre à poussières

Derrière la chambre de mélange se trouve toujours un filtre à poussières pour épurer l'air extérieur et l'air recyclé.

323 Réchauffeur primaire:

Il est utilisé uniquement en hiver, il réchauffe l'air de mélange pour que lors de son humidification et son refroidissement il approche du point de rosée de l'air d'apport.

324 Séparateur de gouttelettes:

Il est utilisé pour éviter que les gouttes d'eau sortant de la chambre ne se mettent pas en contact avec l'air.

325 Humidificateur d'air:

Il est employé pour réaliser la réfrigération et la dessiccation de l'air en été ainsi que son épuration. Par économie, il travaille en général avec de l'eau recyclée reprise par une pompe dans une bache de collecte et réinjectée dans les buses de pulvérisation. Comme les chambres de pulvérisation nécessitent une eau très pure, éventuellement même traitée et ne permettent pas un réglage permanent de l'humidité relative, on réalise actuellement l'humidification de l'air avec de la vapeur.

326 Réchauffeur secondaire

Après l'humidificateur, la teneur de l'air en eau ne varie plus. Dans le réchauffeur secondaire, l'air est ramené à la température désirée avant l'entrée dans le local. Celle-ci est supérieure à la température du local quand l'installation de climatisation doit chauffer ce local, inférieure quand elle doit le refroidir.

327 Refroidisseur:

Il est utilisé pour refroidir l'air de mélange et éventuellement du fait de la condensation qui en résulte, l'assécher à un point tel que l'on atteigne le point de rosée de l'air d'apport.

328 Ventilateur:

Il est installé en fin de centrale de climatisation et sert à introduire l'air traité dans la centrale dans les locaux à climatiser.

Il est entraîné par un moteur électrique dont les bruits doivent être les moins bruyants possibles.

329 Humidificateur électrique.

Il est placé à la sortie de la centrale de climatisation il est muni d'un détecteur d'humidité, il est apté à maintenir un niveau d'humidité désiré dans l'endroit choisi. En effet, la résistance du détecteur d'humidité augmente s'il y'a diminution de l'humidité de l'air sortant de la centrale.

Remarque:

En hiver les échangeurs de chaleur peuvent geler, alors il faut les protéger par des dispositifs spéciaux qui dépendent du type de régulation et de l'énergie auxiliaire utilisée. Une sonde de sécurité placée après le réchauffeur primaire met ce dernier sous alimentation d'eau chaude.

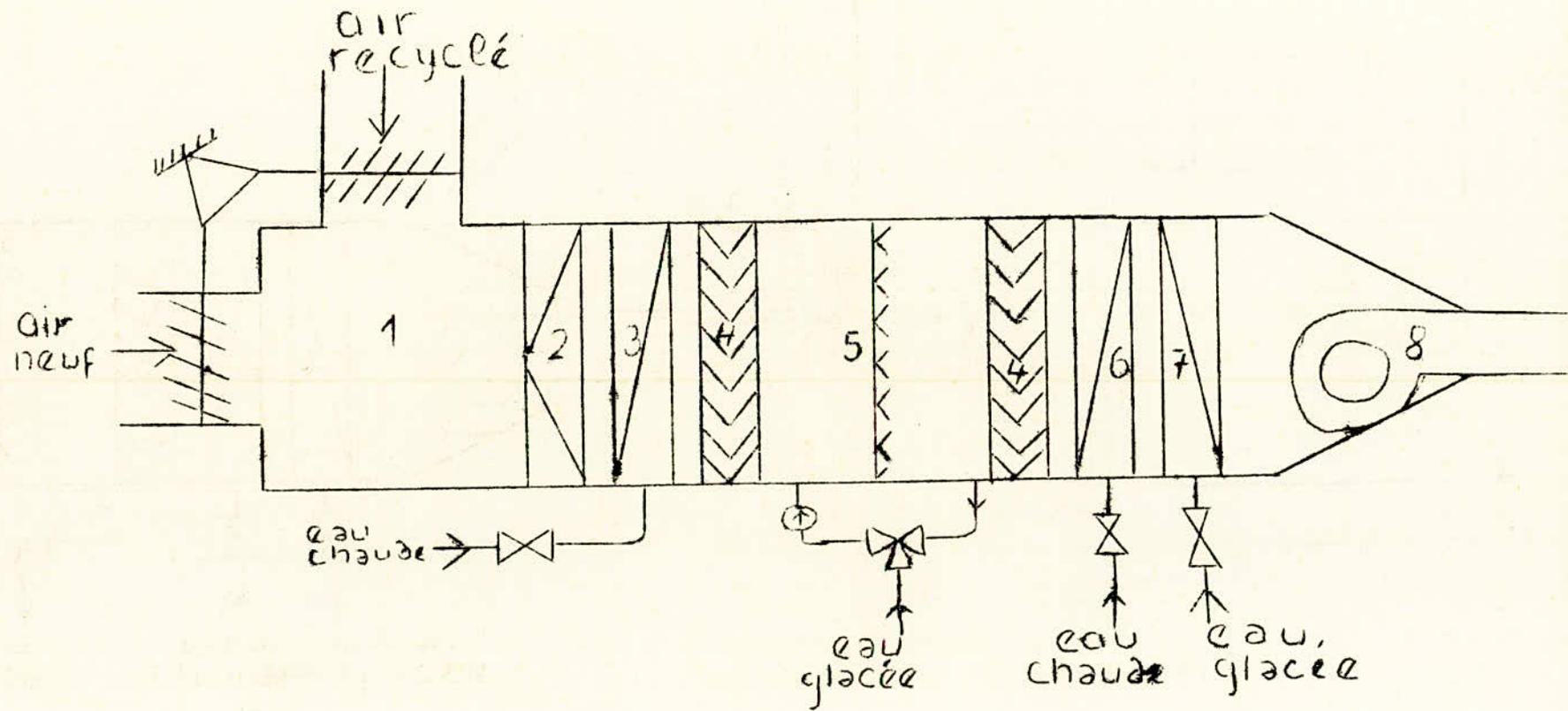


Fig 31 SCHEMA DE LA CENTRALE DE CLIMATISATION

Etude de la préparation de l'air sur le diagramme (H,X)

Dans la chambre de mélange, l'air extérieur est à l'état H est mélangé avec l'air recyclé à l'état B. Il en résulte un mélange d'air à l'état C. Le mélange d'air à l'état C traverse le préchauffeur ou il s'échauffe à teneur en eau constante (x_c) et atteint l'état K. L'air préchauffé à l'état K traverse la chambre de pulvérisation, la chaleur nécessaire à l'évaporation étant fournie par l'air. Le changement d'état de l'air s'y opère selon une parallèle aux droites H=constante; reliant le point K au point O ou l'air doit atteindre la teneur en eau X_0 de l'air d'apport. O n'est pas situé sur la courbe de saturation ($\varphi = 100\%$) Car en pratique on n'atteint pas la saturation complète de l'air. L'air refroidi et humidifié à l'état O traverse enfin le réchauffeur qui à teneur en eau constante le porte à l'état N imposé. On remarque que dans notre cas (fig 32) N se situe sur le diagramme en dessous et à gauche de B. Ce qui signifie que l'air d'apport doit éliminer du local de la chaleur et de l'humidité (EXEMPLE fonctionnement en été)

33 Salles de thérapie intensive

Le bloc dont on veut automatiser sa climatisation se compose de dix salles contenant chacune trois malades, d'une chambre pour infirmiers ainsi que des toilettes et des douches (fig 33) Chaque chambre est équipée d'un thermometre, d'un relais intermediaire qui peut commander les échangeurs de chaleur. Dans les trois premières salles, on dispose d'un réchauffeur électrique et d'un refroidisseur. En effet, ces trois salles étant réservées à des malades présentant des brûlures graves nécessitant des températures très basses.

Par contre les sept autres salles ne disposent que d'un réchauffeur électrique.

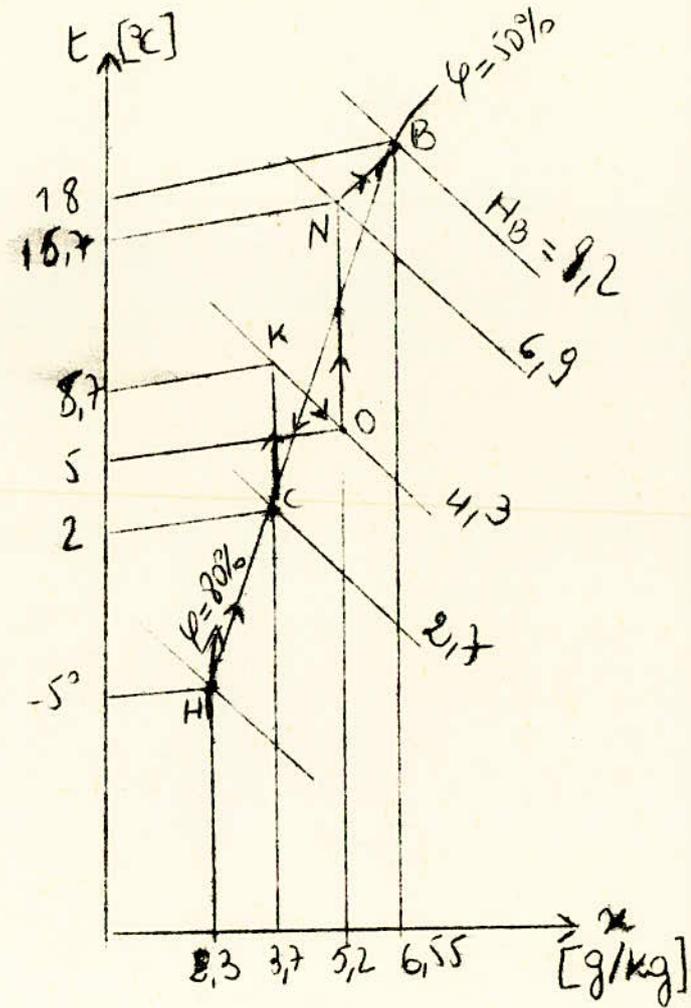
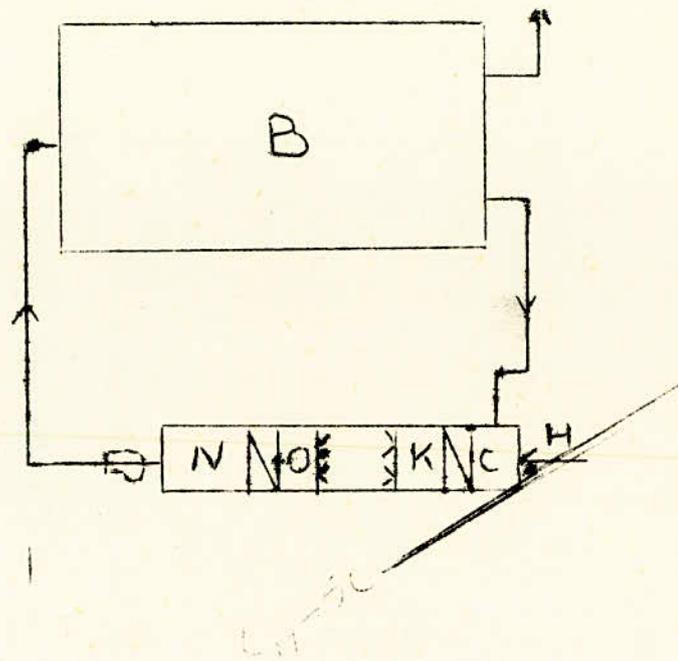
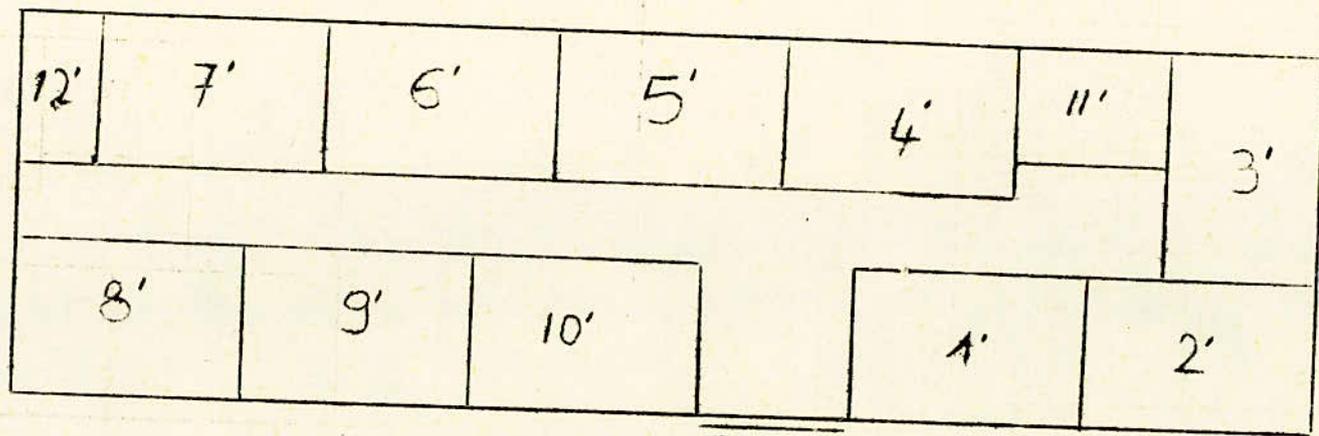


fig 32

ETUDE DE LA PREPARATION DE LAIR SUR DIAGRAMME (H, x)



1 à 10: Chambres des malades
 11: Chambre des infirmiers
 12: Toilettes et douches

fig 33 SCHEMA BLOC DU SERVICE

Remarque:

On peut remplacer dans les trois premières salles le refroidisseur et le réchauffeur électrique par un climatiseur individuel mais on doit faire très attention au problème d'étanchéité.

On place un ventilateur dans les toilettes et les douches qui ne seront pas climatisées dans le but d'extraire l'air vicié et l'empêcher de se diffuser dans les salles .

34 CONDITIONS IMPOSEES A la commande

341 PRECISION

Les variations de température et d'humidité relative doivent être contenues entre des limites telles que le bien être physiologique des malades soit assuré et ceci indépendamment des conditions atmosphériques extérieures. Les tolérances correspondantes sont pour la température $\pm 1^{\circ}\text{C}$ et pour l'humidité relative $\pm 5\%$

La concentration maximale du dioxyde de carbone est de 0,5 % c'est à dire 5000 cm³ de CO₂ dans 1m³ d'air .

342 Economie d'énergie:

C'est possible grâce à -Régime optimal de traitement d'air

-Utilisation d'air recyclé jusqu'à 80%

Pour ce dernier cas, on applique sur le passage d'air recyclé des filtres spéciaux capables d'éliminer les virus et les germes afin de rendre l'air plus hygienique et d'éviter la propagation de la poussière.

343 PERTURBATIONS:

a) Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire joue un rôle bien plus important en été qu'en hiver lorsqu'il s'agit de garder fraîche

une salle (Exemple une salle de brûlures graves).

Il s'étend sur une large bande de rayons énergétiques de différentes longueurs d'ondes et intensités. On peut distinguer

-des rayons actifs chimiquement et biologiquement qu'on appelle rayons ultraviolets: $\lambda < 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

-des rayons optiques ou lumineux sont perceptibles à l'oeil.

$0,4 \mu \leq \lambda \leq 0,75 \mu$ ils

-des rayons thermiques ou obscures qu'on appelle infrarouges $\lambda > 0,75 \mu$

l'énergie de tous les rayons est transformable en chaleur.

Lors de la traversée de l'atmosphère le rayonnement solaire est affaibli par:

-Réflexion diffusée sur les molécules gazeuses et les particules de brumes.

-Absorption des rayons d'une certaine longueur d'onde par les particules de poussières, les gaz diatomiques et les vapeurs.

La partie du rayonnement solaire qui arrive au sol dépend du trajet à parcourir par les rayons. Plus le soleil est bas et plus le parcours est long; donc l'intensité du rayonnement à la surface du sol change constamment avec la hauteur du soleil tant au cours de la journée qu'au cours de l'année. La quantité de chaleur absorbée par le mur soumis à l'insolation est définie par un coefficient d'absorption de sa surface

A. $A=0,9$ pour surface sombre; $0,7$ pour surface grise rouge et verte; $0,5$ pour surface claire.

La chaleur absorbée arrive à l'intérieur avec un retard et une intensité réduite.

Pour un mur de brique de 30 cm le retard atteint 10 heures et l'intensité est réduite de 30%.

En été, avec un fort rayonnement le mur absorbe une quantité de chaleur qu'il cède pendant la nuit où les températures sont relativement basses.

Le verre à vitres est très perméable aux rayons de faibles longueurs d'onde qui prédominent dans le spectre solaire et absorbe les rayons de grandes longueurs d'onde. Dans le domaine des λ particulièrement émergentiques, la perméabilité pour une épaisseur de verre de 3mm est comprise entre 80 et 90% .

Le rayonnement absorbé par le verre entraîne une élévation de sa température de sorte qu'une partie de la chaleur absorbée s'échappe vers l'extérieur et le reste parvient dans la pièce.

PROTECTION SOLAIRE

L'énergie solaire ayant traversé la surface vitrée (87% comme dans la figure 34 a) est réfléchi en partie par le rideau. 19% seulement vont directement dans la pièce, par suite de l'échauffement du rideau, 21% $(a_n + a_v)$ parviennent encore dans la pièce par rayonnement et convection. En tout l'énergie restant dans la pièce est donc limitée à 40% de l'énergie incidente. Il en résulte que de tels rideaux constituent une très bonne protection solaire. Des dispositifs plus efficaces sont les jalousies extérieures réglables. Dans l'exemple représenté sur figure 34 b, 14% seulement du rayonnement solaire parviennent dans la pièce, contre 50% pour la même construction, mais avec disposition de la jalousie à l'intérieur. Le plus important avec la disposition à l'extérieur n'est pas tellement la réflexion directe plus élevée sur la face supérieure de la jalousie, mais plutôt la dissipation presque totale dans l'air extérieur de la chaleur de la jalousie.

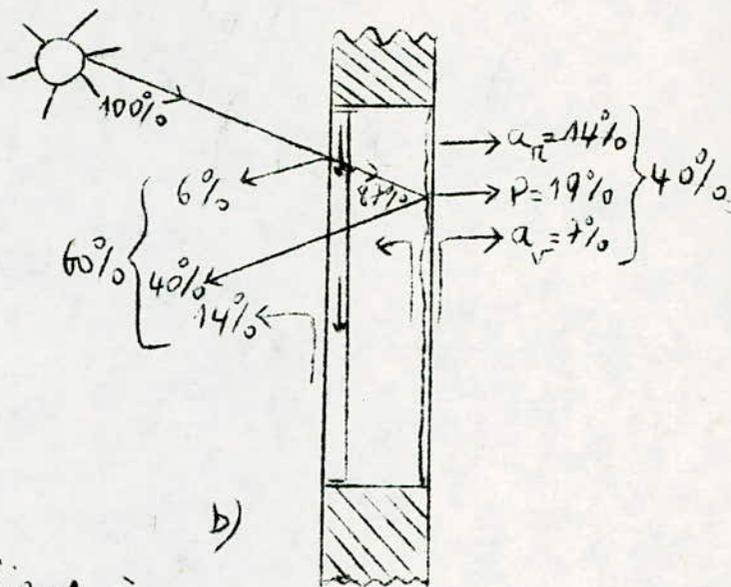
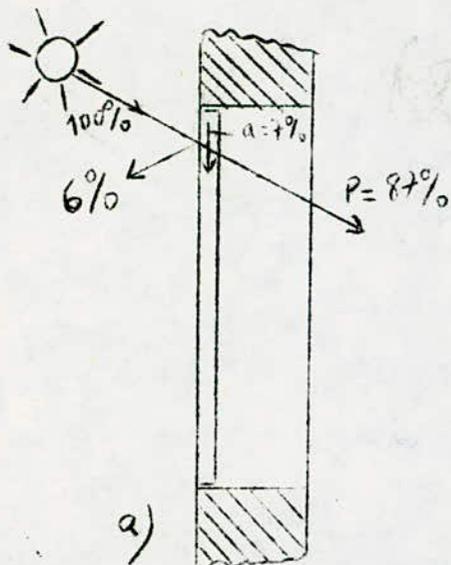


fig 34a

Rayonnement calorifique à travers une fenêtre à vitrage simple

a) non protégé

b) avec rideau en toile posé à l'intérieur.

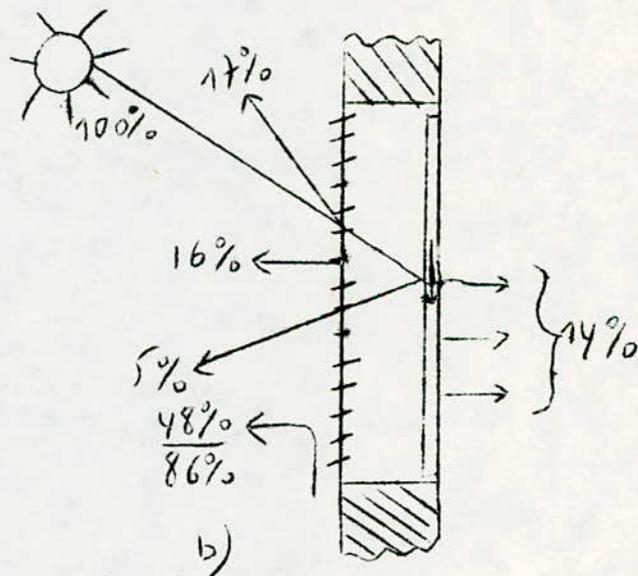
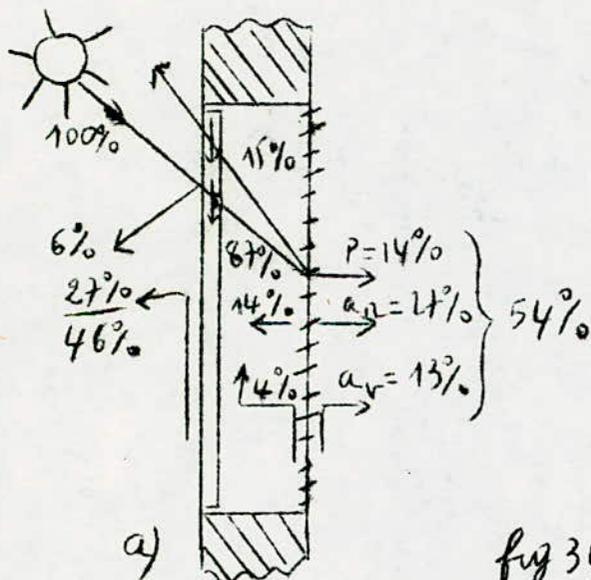


fig 34b

Bilan du rayonnement pour une fenêtre avec protection solaire par jalousie métallique mi-ouverte

a) jalousie intérieure

b) jalousie extérieure

b) VITESSE ET DIRECTION DU VENT

Le vent ou mouvement horizontal de l'air, dépend étroitement de la répartition de la pression atmosphérique dans les couches proches de la surface de la terre, l'air s'écoule des zones de haute pression vers les zones de basses pressions; La vitesse du vent dépend de l'ampleur de la différence de pression. L'air est dévié dans son mouvement par la rotation de la terre. La vitesse du vent est influencée par les mouvements d'air verticaux que provoque le rayonnement solaire. La vitesse du vent est plus élevée en hiver qu'en été. L'effet du vent élève de deux façons les besoins en chaleur des salles; Tout d'abord les pertes de chaleur des surfaces externes par convection augmentent avec la vitesse du vent. Mais la résistance thermique extérieure étant faible par rapport à la résistance totale, cet effet est à peine sensible sur l'exploitation courante de la climatisation sauf quand les surfaces vitrées sont importantes. La cause principale de l'augmentation des besoins de chaleur d'une salle exposée à l'action du vent est l'accroissement de l'autoventilation (renouvellement d'air qui se produit même lorsque les fenêtres et les portes sont fermées

PROTECTION: Pour des motifs d'hygiène et d'économie, il faut donc limiter le plus possible la perméabilité à l'air d'un local chauffé, c'est à dire que les murs, les fenêtres et les portes extérieures doivent être aussi étanches que possible. C'est pourquoi les salles climatisées doivent être munies le plus souvent des surfaces vitrées fixes ou du moins ayant l'étanchéité élevée correspondante..

c) Température extérieure:

La température de l'atmosphère extérieure est essentiellement une conséquence de l'échauffement de la surface terrestre par le rayonnement solaire, cet échauffement se transmettant aux couches d'air voisines par conduction et convection.

La montée de la température diurne est plus rapide et plus importante par temps clair et sec (absence de nébulosité et de vapeur d'eau) que par temps couvert.

L'altitude du lieu est un facteur important. En effet, le gradient de température avec l'altitude est d'environ 0,5 degrés tous les 100m. C'est pourquoi la température est plus faible en altitude qu'en plaines.

La consommation de chaleur dépend de la différence entre la température intérieure et la température extérieure ainsi que des nombre de jours de chauffe.

d) AIR POLLUE

La pureté de l'air respiré par les malades est d'une importance primordiale pour le processus de combustion à l'intérieur du corps. Un air de mauvaise qualité provoque une respiration peu active une insuffisance d'oxygène dans les poumons, des perturbations dans le processus de combustion, un manque d'appétit, une fatigue prématurée.

L'air d'une salle doit être absolument exempt d'impuretés car il n'y a aucune possibilité d'échapper à l'influence néfaste d'un air vicié.

La pureté de l'air est également nécessaire pour rendre la salle avenante et lui conserver son esthétique la sécheresse de l'air c'est à dire une humidité relative faible, accroît la mobilité et la facilité de mise en suspension des particules de poussière. Elles parviennent ainsi dans les organes respiratoires et provoquent une sensation de sécheresse et la toux. C'est pourquoi il est important de nettoyer soigneusement et régulièrement la salle, surtout les corps de chauffe, les grilles d'introduction d'air. L'air d'apport et l'air recyclé doivent être exempt le plus possible de poussières. Pour limiter la pollution de l'air de la salle les ouvertures d'introduction et d'extraction d'air ne doivent pas être situées sur des surfaces horizontales sur lesquelles on peut circuler ou déposer des objets, des vêtements par exemples.

Le transfert de l'air d'un point à un autre se fait par l'intermédiaire d'une gaine. Dans tous les cas, la gaine doit être homogène sur ses quatre faces.

-Système basse pression:

On utilise des canaux rectangulaires de $30 \times 40 \text{ cm}^2$ dans le cas où la distance entre la centrale de climatisation et les chambres est très petite. Dans ce cas la vitesse de l'air augmente jusqu'à $3 \div 5 \text{ m/s}$

-SYSTEME haute pression.

On utilisé des canaux circulaires, la vitesse de l'air est très grande et augmente jusqu'à $8 \div 12 \text{ m/s}$.

CHOIX:

Le système haute pression présente un inconvénient majeur qui est le bruit, donc notre choix portera sur le système basse pression.

36 EXIGENCES CONCERNANT LE SYSTEME DE COMMANDE

Il est souhaitable d'avoir un système de commande qui remplit les critères suivants:

- Stabilité
- Précision
- Rapidité
- Fiabilité
- Coût d'installation et d'entretien faible
- Interchangeabilité
- Sécurité

Dans un local climatisé à usage collectif (exemple, salle des malades) un grand nombre d'individus dont l'état de santé est inconnu y sont réunis. Le déplacement d'air dans le local favorise la dispersion éventuelle de facteurs de maladies. C'est pour cela qu'on doit épurer l'air du local des germes qu'il contient, ceci est possible par pulvérisation d'un désinfectant dans proportion d'air recycle. Car on admet que l'air extérieur est assez exempt de germes. . Cependant on ne peut pas pulvériser un permanence dans la centrale de climatisation ou dans les canalisations d'air d'apport les chimiques les produits actifs connus actuellement, Aerosept et triéthyléneglycol (T.E.G).

L'ozone est inadapté à la désinfection; les virus et bacteries provenant du nez, gorge et local sont enveloppés d'une pellicule organique protectrice et les autres germes, par un manteau de poussières dont la pénétration exigé des concentrations en ozone bien supérieures au MAC (Maximum allowable concentrations) qui est de $0,1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ d'air.

On peut aussi désinfecter l'air d'un local par irradiation des germes par les rayons ultraviolets de longueur d'onde comprise entre 250.10^{-9} et 270.10^{-9} m .

Un émetteur de rayons ultraviolets est installé directement dans le local mais le domaine d'emploi sous cette forme est étroitement limité (salles de vaccination, laboratoire pharmaceutique...). Par la protection indispensable des malades et par son prix .

Les filtres à air électronique qui fonctionnent avec des électrodes ionisées et ont une capacité de 500 à 200 000 m^3/h retiennent certaines particules jusqu'à $0,001 \mu\text{m}$ avec une efficacité de 90%.

On peut aussi éliminer les germes par séparation mécanique dans les filtres à poussières fines avec éléments filtrants un tissu. La méthode est plus efficace avec des filtres synthétiques plus fines, par effet électrostatique à un point où un seul germe sur 10 000 Passe. Ces filtres en tissu doivent être précédés d'un préfiltre qui les décharge.

38 Données techniques de l'installation

381 Centrale de climatisation

La quantité d'air qui passe dans la centrale est $20\ 000\text{m}^3/\text{h}$

-Réchauffeurs primaire et secondaire:

Puissance calorifique $50\ 000\ \text{K col/h}$

température eau { entrée 80°c
sortie $70^\circ\ \text{c}$

$$K_{ob\ moy} = 0,4 \frac{^\circ\text{C}}{\%}$$

-Laveur:

quantité maximal d'eau $5\ \text{m}^3/\text{h}$

$K_{ob\ moy} = 0,2 \frac{^\circ\text{C}}{\%}$ pour température

-Refroidisseur:

Puissance frigorifique $50\ 000\ \text{frigo-calories/h}$

eau froide { entrée $2-3^\circ\text{c}$
sortie $12^\circ\ \text{c}$

382 Locaux

-Dimensions des chambres:

$$S = 24\ \text{m}^2 = 6 \times 4$$

hauteur 3 m

épaisseur des murs extérieurs 30 cm

épaisseur des murs intérieurs 20 cm

-Trois premières chambres:

Température nominale $18^\circ\ \text{c}$

humidité 60 %

-Sept dernières chambres:

température nominale $24^\circ\ \text{c}$

humidité 60 %

-Puissance électrique nominale de chaque chambre: 1,5 KW

-Puissance frigorifique dans les trois premières chambres $3000\ \text{frigo-calories/h}$

$K_{ob\ moy} = 0,5 \frac{\%}{\%}$ pour humidité ; $K_{ob\ moy} = 0,2 \frac{^\circ\text{C}}{\%}$ pour température

-20-

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

Le fonctionnement d'une boucle de régulation ne doit pas être seulement considéré du point de vue statique (indépendamment du temps) mais on doit tenir compte des modifications des différentes grandeurs dans le temps c'est ce que l'on appelle le comportement dynamique du système. Le comportement statique est donné sous forme d'une courbe caractéristique représentant la relation entre la grandeur de sortie et la grandeur d'entrée.

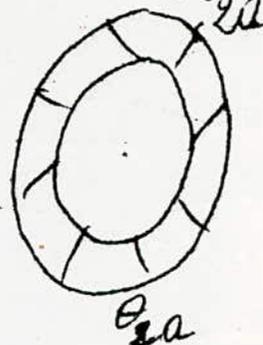
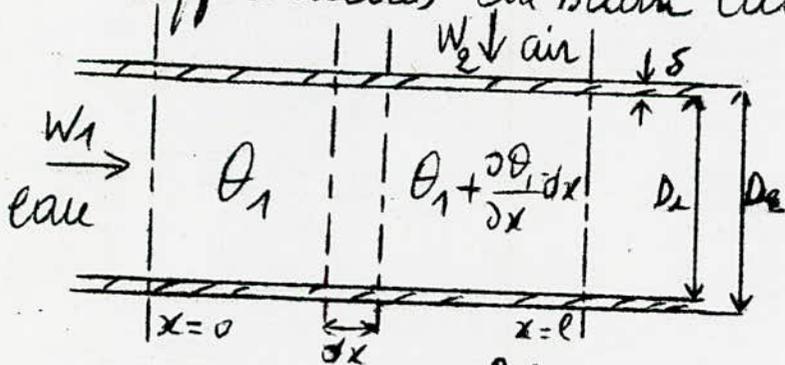
Le comportement dynamique consiste à déterminer la grandeur de sortie lorsque la grandeur d'entrée subit un saut brusque.

41 ANALYSE THEORIQUE

411 Dynamique de la température

a) Echangeur de chaleur

On représente l'échangeur de chaleur par un tube cylindrique à deux dimensions et on établit les équations différentielles du bilan calorifique



On note :

W_1 : vitesse de l'écoulement de la chaleur amenée par l'eau dans le cylindre. (m^3/h)

W_2 : vitesse de l'air (m^3/h)

D_i : diamètre intérieur du cylindre

D_e : diamètre extérieur du cylindre

θ_1 : température d'entrée de l'eau ($^{\circ}C$)

θ_2 : température de l'air ($^{\circ}C$)

α : coefficient d'échange thermique ($\frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C}$)

θ_{i2} : température à l'intérieur de la paroi ($^{\circ}C$)

Au cours du passage de l'eau dans le tube, une partie de la chaleur est cédée à l'air à travers les parois.

La chaleur d'entrée est $Q_1 = d_e \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot \theta_1 dt$ [$\frac{Kcal}{h}$]

d_e : débit d'eau (m^3/h)

c_1 : capacité calorifique de l'eau [$c_1 = \frac{1 Kcal}{kg \cdot ^{\circ}C}$]

ρ_1 : masse volumique de l'eau [$\rho_1 = 1000 kg/m^3$]

θ_1 : température de l'eau au point situé à une distance x [$^{\circ}C$]

avec $d_e = S \cdot W_1 = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot W_1$ d'où

$$Q_1 = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot c_1 \cdot W_1 \cdot \rho_1 \cdot \theta_1 \cdot dt$$

Alors le bilan thermique du débit primaire (eau) sera

$$\begin{aligned} \frac{\pi D_1^2}{4} c_1 w_1 \rho_1 \theta_1 dt &= \frac{\pi D_1^2}{4} c_1 w_1 \rho_1 \left(\theta_1 + \frac{\partial \theta_1}{\partial x} dx \right) dt + \\ &\quad \pi D_1 \alpha_1 (\theta_1 - \theta_n) dx dt + \frac{\pi D_1^2}{4} \rho_1 c_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial t} dx dt \\ &= \frac{\pi D_1^2}{4} c_1 w_1 \rho_1 \theta_1 dt + \frac{\pi D_1^2}{4} c_1 w_1 \rho_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} dx dt + \\ &\quad \pi D_1 \alpha_1 \theta_1 dx dt - \pi D_1 \alpha_1 \theta_n dx dt + \frac{\pi D_1^2}{4} \rho_1 c_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial t} dx dt \\ 0 &= \frac{\pi D_1^2}{4} c_1 w_1 \rho_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} dx dt + \pi D_1 \alpha_1 \theta_1 dx dt - \pi D_1 \alpha_1 \theta_n dx dt \\ &\quad + \frac{\pi D_1^2}{4} \rho_1 c_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial t} dx dt \end{aligned}$$

$$0 = \rho_1 c_1 \pi \frac{D_1^2}{4} \left[w_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} dx dt + 4 \alpha_1 \theta_1 \frac{dx dt}{D_1 \rho_1 c_1} - 4 \alpha_1 \theta_n \frac{dx dt}{D_1 \rho_1 c_1} + \frac{\partial \theta_1}{\partial t} dx dt \right]$$

$$0 = w_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + 4 \frac{\alpha_1}{D_1 \rho_1 c_1} (\theta_1 - \theta_n) + \frac{\partial \theta_1}{\partial t}$$

$$0 = \frac{\partial \theta_1}{\partial t} + w_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \frac{4 \alpha_1}{D_1 \rho_1 c_1} (\theta_1 - \theta_n)$$

Le bilan thermique du tube est donné par :

$$\pi D_1 \alpha_1 (\theta_1 - \theta_n) dx dt = \pi D_e \alpha_e (\theta_n - \theta_{em}) dx dt + \pi D_m \rho_n c_n \delta \frac{\partial \theta_n}{\partial t} dx dt$$

avec

$\pi D_1 \alpha_1 (\theta_1 - \theta_n) dx dt$: chaleur reçue par la paroi lors du passage de l'eau

$\pi D_e \alpha_e (\theta_n - \theta_{em}) dx dt$: chaleur cédée par la paroi à l'air

$$\pi D_m \rho_n c_n \delta \frac{\partial \theta_n}{\partial t} dx dt = (\pi D_m \delta dx \rho_n) c_n \frac{\partial \theta_n}{\partial t} dt$$

(chaleur absorbée par la masse des parois) = $m_n c_n \frac{\partial \theta_n}{\partial t} dt$

$$D_m = \frac{D_i + D_e}{2} \quad \text{Diamètre moyen du tube}$$

$$\theta_{em} = \frac{\theta_{2en} + \theta_{2e}}{2} \quad \text{température moyenne de l'air}$$

$$s : \text{épaisseur du tube} \quad s = \frac{D_e - D_i}{2}$$

$$c_n : \text{capacité calorifique des parois} \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

$$\rho_n : \text{masse volumique des parois} \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

On simplifie, on obtient :

$$\frac{\partial \theta_n}{\partial t} + \frac{\alpha_e D_e}{\rho_n c_n D_m s} (\theta_n - \theta_{2m}) - \frac{\alpha_i D_i}{\rho_n c_n D_m s} (\theta_1 - \theta_n) = 0$$

Du côté secondaire (air) le bilan thermique est

$$\theta_{2e} = \theta_{2en} + \frac{\pi D_e \alpha_e}{\rho_2 w_2 c_{p2} R_a} (\theta_n - \theta_{2m})$$

R_a : écartement des tubes du réchauffeur

Selon GARTNER et HARRISON on obtient les équations :

$$\Delta \theta_1' + \frac{\partial \Delta \theta_1}{\partial \xi} + \beta_1 (\Delta \theta_1 - \Delta \theta_n) = 0$$

$$\Delta \theta_n' + \beta_2 (\Delta \theta_n - \Delta \theta_{2m}) - \beta_3 (\Delta \theta_1 - \Delta \theta_n) = 0$$

$$(\Delta \theta_{2e} - \Delta \theta_{2en}) - \beta_4 (\Delta \theta_n - \Delta \theta_{2m}) = 0$$

En posant $\Delta \theta_1' = \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau}$, $\tau = \frac{w_1 t}{l}$, $\xi = \frac{x}{l}$,

$$\beta_1 = \frac{4 l \alpha_i}{\rho_n c_n D_i w_1}, \quad \beta_2 = \frac{D_e l \alpha_e}{\rho_n c_n D_m s w_1}, \quad \beta_3 = \frac{D_i l \alpha_i}{\rho_n c_n D_m s w_1}$$

$$\beta_4 = \frac{\pi D_e \alpha_e}{\rho_2 c_{p2} R_a w_2}$$

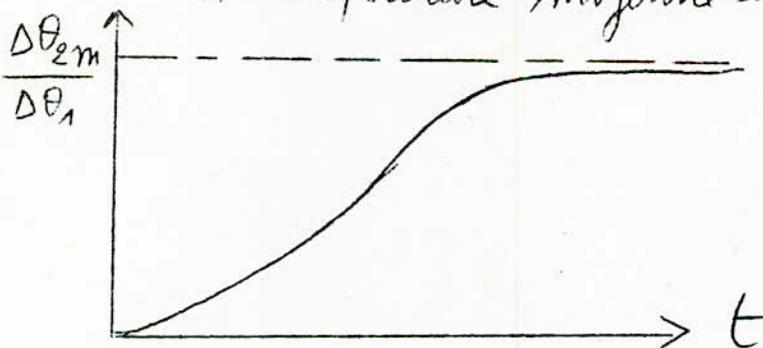
En utilisant la transformée de Laplace, remplace $\frac{\partial}{\partial t}$ par P , on obtient :

$$\begin{aligned} & [(P + \beta_2 + \beta_3)(\beta_4 + 2) - \beta_2\beta_4] \Delta\theta_{2em}(P, \xi) + \\ & [(P + \beta_2 + \beta_3)(\beta_4 - 2) - \beta_2\beta_4] \Delta\theta_{2em}(P, \xi) - 2\beta_3\beta_4 \Delta\theta_1(P, \xi) \\ & \frac{\partial \Delta\theta_1(P, \xi)}{\partial \xi} + (P + \beta_1) \Delta\theta_1(P, \xi) - \frac{\beta_1}{2\beta_4} \left[(\beta_4 + 2) \Delta\theta_{2e}(P, \xi) + \right. \\ & \left. (\beta_4 - 2) \Delta\theta_{2em}(P, \xi) \right] = 0 \end{aligned}$$

On pose $a = \beta_3 + 2\beta_2/(2 + \beta_4)$
la fonction de transfert de l'échangeur sera

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

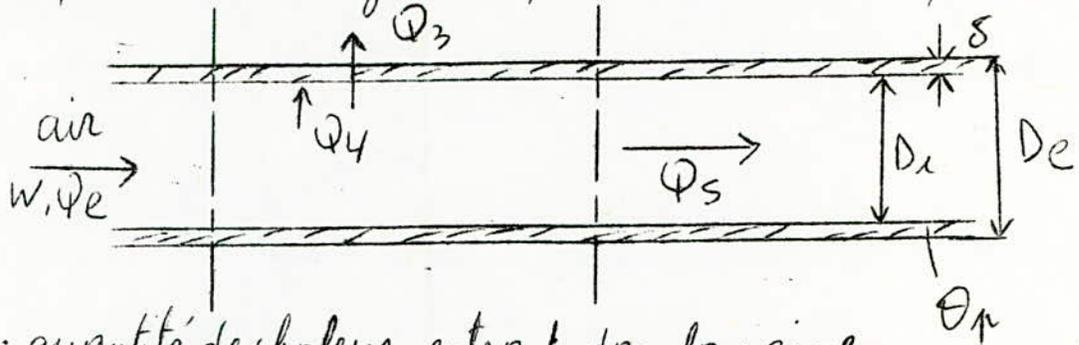
avec θ_{2em} température moyenne de sortie d'air
 θ_1 température moyenne d'entrée d'eau



Remarque : Cette caractéristique est obtenue en supposant les conditions suivantes : matière homogène, coefficient de transmission de chaleur constant suivant l'axe, aucun mélange axial et l'écoulement sans frottement

b) Gaine :

On représente la gaine par le schéma suivant



Φ_e : quantité de chaleur entrant dans la gaine

Φ_s : quantité de chaleur sortant de la gaine

Φ_3 : quantité de chaleur cédée à la paroi

Φ_4 : quantité de chaleur emmagasinée par la paroi

c_p : chaleur spécifique de l'air à pression constante

ρ : masse volumique de l'air

S : surface interne de la gaine

θ_p : température interne de la paroi

α_i : coefficient d'échange thermique

w : vitesse d'écoulement de l'air

δ : épaisseur de la paroi

L'équilibre thermique est réalisé par :

$$\Phi_e = \Phi_s + \Phi_3 + \Phi_4$$

$$\rho w c_p S \theta dt = \rho c_p w S \left(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx \right) dt + \alpha_i (\theta - \theta_p) \pi D_i dx dt$$

$$+ \rho S c_p \frac{\partial \theta}{\partial t} dx dt$$

$$= \rho c_p w S \theta dt + \rho c_p w S \frac{\partial \theta}{\partial x} dx dt +$$

$$\alpha_i (\theta - \theta_p) \pi D_i dx dt + \rho S c_p \frac{\partial \theta}{\partial t} dx dt$$

$$0 = \rho C_p W S \frac{\partial \theta}{\partial x} dx dt + \alpha_L (\theta - \theta_n) \pi D_L dx dt + \rho C_p S \frac{\partial \theta}{\partial t} dx dt$$

On simplifie par $\rho C_p S dx dt$, on trouve

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + W \frac{\partial \theta}{\partial x} + \alpha_L \pi D_L \frac{\theta - \theta_n}{\rho C_p S} = 0 \quad (1)$$

θ_n est une fonction du temps, $\frac{\Delta \theta_n}{\Delta \theta} = \frac{K_P}{1+PT} = F(P)$
avec K_P et T fonctions de S, L, C_p .

$$\text{On a } \theta - \theta_n = \theta (1 - F(P))$$

l'équation (1) devient en utilisant la transformée de Laplace

$$P \theta(P) + W \frac{\partial \theta(P, x)}{\partial x} + \frac{\alpha_L \pi D_L}{\rho C_p S} \theta (1 - F(P)) = 0$$

$$\theta(P) \left[P + \frac{\alpha_L \pi D_L}{\rho C_p S} (1 - F(P)) \right] \frac{1}{W} + \frac{\partial \theta(P, x)}{\partial x} = 0$$

Soit L la longueur de la gaine :

$$\text{Pour } x=0 \quad \theta = \theta_0$$

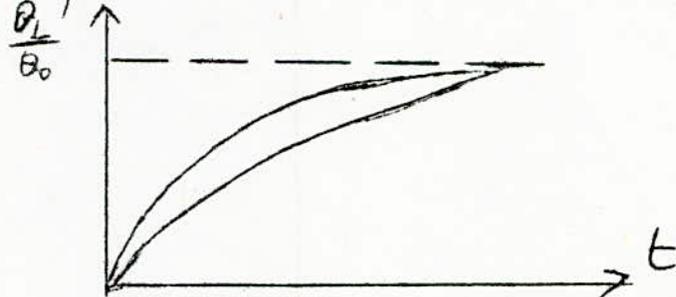
$$x=L \quad \theta = \theta_L$$

D'où $\theta = \theta_0 e^{-Kx}$, pour $x=L$, $\theta_L = \theta_0 e^{-KL}$

La fonction de transfert de la gaine sera

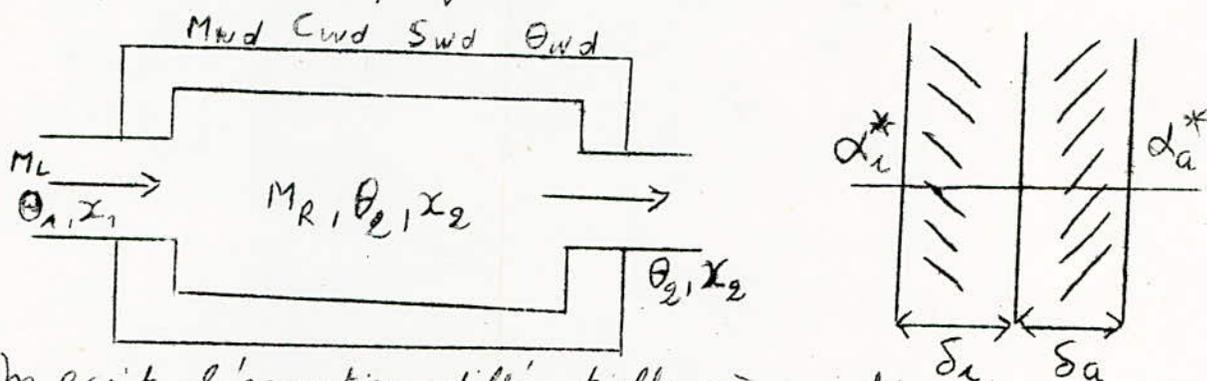
$$G(P) = \frac{\theta_L}{\theta_0} = e^{-KL} = e^{-\frac{LP}{W}} \cdot e^{-\frac{\alpha_L \pi D_L L (1 - F(P))}{\rho C_p S}}$$

D'où le graphe



c) Local:

Pour étudier la dynamique du local, on adopte la simplification de Lenz:



On écrit l'équation différentielle à partir du

bilan $M_R C_{PL} \Delta \theta_2' = M_L C_{PL} (\Delta \theta_1 - \Delta \theta_2) - \sum (\alpha_i^* S_{wd}) (\Delta \theta_2 - \Delta \theta_{wd})$

$$M_{wd} C_{wd} \Delta \theta_{wd}' = \sum (\alpha_i^* S_{wd}) (\Delta \theta_2 - \Delta \theta_{wd}) - \sum (\alpha_a^* S_{wd}) \Delta \theta_{wd}$$

En utilisant la transformée de Laplace pour les deux équations et en posant:

$$T_1 = M_{wd} C_{wd} \left[\sum (S_{wd}) (\alpha_i^* + \alpha_a^*) \right] \quad , \quad T_2 = \frac{M_R C_{PL}}{b}$$

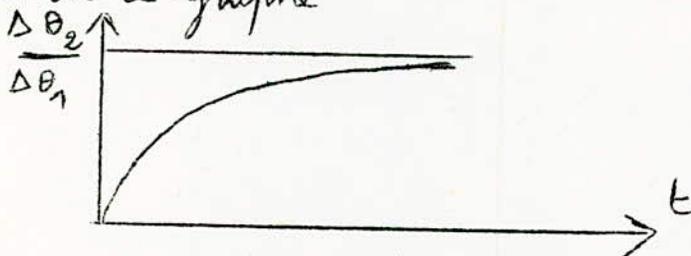
$$K_P = \frac{a M_R C_{PL}}{b} \quad \text{avec } a = \frac{M_L}{M_R} \text{ et}$$

$$b = a M_R C_{PL} + \frac{\sum (\alpha_i^* S_{wd}) \sum (\alpha_a^* M_R S_{wd})}{\sum [(\alpha_i^* + \alpha_a^*) S_{wd}]}$$

On obtient

$$\frac{\Delta \theta_2}{\Delta \theta_1} = \frac{1 + T_1 P}{1 + T_1 T_2 P^2 + (T_2 + a T_1 T_2 + \sum \frac{\alpha_i^* F_{wd} T_1}{b}) P + 1}$$

d'où le graphe



d) Capteurs:

Le temps de réponse d'un capteur de température dépend de nombreux paramètres. Certains sont fonctions du capteur lui-même (nature, dimensions, épaisseur de la gaine de protection ...), d'autres du milieu dans lequel ils sont immergés (capacité du milieu à échanger ses calories avec le capteur). Ainsi pour un capteur donné, l'énoncé du temps de réponse devra préciser pour quel milieu et selon quel mode opératoire il a été établi.

Le temps au bout duquel un capteur atteint le voisinage de sa valeur d'équilibre quand la température mesurée varie d'une quantité fixe ou échelon peut être exprimé par le temps de réponse ou la constante de temps.

La loi d'échauffement d'un capteur dont la température θ varie avec le temps au cours de la mise en équilibre thermique avec un milieu à la température θ' , s'écrit à l'aide d'une loi de Newton simplifiée:

$$\Phi = kS (\theta' - \theta)$$

S surface du capteur

ϕ = flux de chaleur se propageant du milieu vers le capteur

k coefficient de convection du transfert de chaleur.

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

$$\theta' - \theta = \frac{\phi}{KS} = \frac{mc d\theta}{dt} \cdot \frac{1}{KS}$$

$$\theta' - \theta = \frac{mc}{KS} \frac{d\theta}{dt}$$

avec m masse du capteur

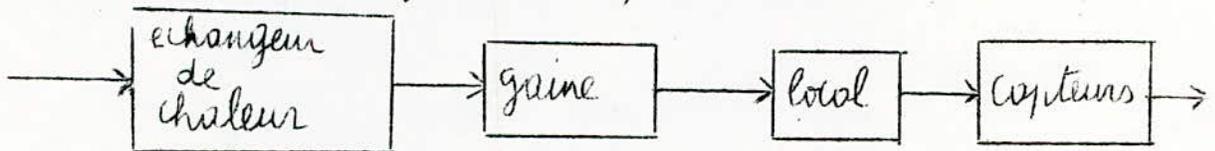
c chaleur massique du capteur

En passant à la transformation de Laplace, on a

$$\theta'(P) - \theta(P) = \tau P \theta(P) \Rightarrow \frac{\theta(P)}{\theta'(P)} = \frac{1}{1 + \tau P}$$

avec $\tau = \frac{mc}{KS}$

Fonction de transfert du processus :



$$F_e(P) = \frac{\Delta\theta_2 e m(P)}{\Delta\theta_1(P)} \times \frac{\theta_L}{\theta_0} \times \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1} \times \frac{\theta(P)}{\theta'(P)}$$

soit

$$F_e(P) = \frac{K_0 e^{-T_0 P}}{(1 + TP)^n}$$

d'où le graphe



4.1.2 Dynamique de l'humidité :

a) Gaine :

La gaine en tant qu'élément de transfert pour l'humidification se comporte comme un temps mort. Elle n'emmagasine pas l'humidité de sorte qu'en raison de la vitesse limitée de l'air, il se produit un temps mort qui peut être calculé par $t_m = \frac{L}{w}$.

La fonction de transfert sera

$$G(P) = \frac{\Delta H_L}{\Delta H} = K_p e^{-\frac{L}{w}P} \text{ avec}$$

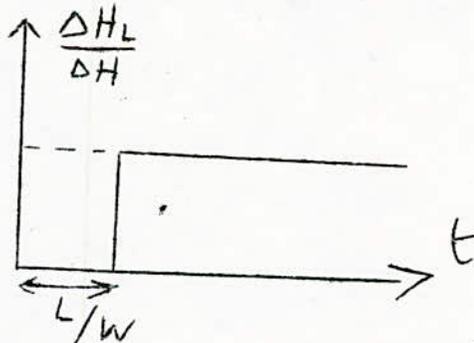
ΔH_L [%] humidité relative à l'extrémité de la gaine.

ΔH [%] humidité relative à l'entrée de la gaine.

Par l'absence de condensation sur les parois,

$$K_p = 1 \text{ d'm}$$

$$\frac{\Delta H_L}{\Delta H} = e^{-\frac{L}{w}P}$$



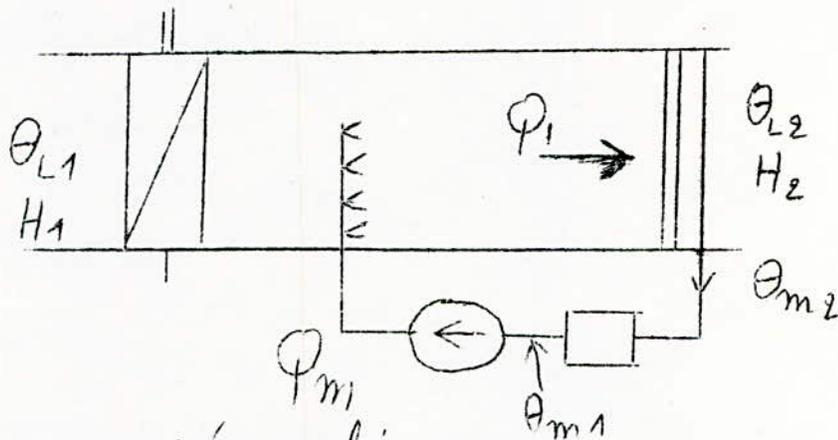
b) Humidificateur :

La variation d'humidité par apport de vapeur

et par pulvérisation d'eau se produit sans retard. La variation d'humidité est fonction de la variation de la température. La relation entre $\Delta\theta$ du courant d'air et la puissance calorifique transportée est donnée par :

$$\alpha S (\Delta\theta_{Lm} + \Delta\theta_{mm}) = \dot{Q}_1 C_{PL} (\Delta\theta_{L1} - \Delta\theta_{L2})$$

$$\Delta\theta_{Lm} = \frac{\Delta\theta_{L1} + \Delta\theta_{L2}}{2}, \quad \Delta\theta_{mm} = \frac{\Delta\theta_{m1} + \Delta\theta_{m2}}{2}$$



De plus on a l'équation :

$$\dot{Q}_m C_m (\Delta\theta_{m1} - \Delta\theta_{m2}) + \pi \Gamma S \left(\Delta H_{2m} - \frac{\Delta H_v}{2} \right) = \alpha S (\Delta\theta_{Lm} - \Delta\theta_{mm})$$

avec Γ coefficient de transfert de matière

S surface extérieure

$\pi \Gamma$ chaleur de vaporisation de l'eau

qui exprime que la chaleur apportée par le courant d'air \dot{Q}_1 doit couvrir la chaleur nécessaire pour la variation de la

température et pour la vaporisation de l'eau.

$$\Delta H_{2m} = (\Delta H_{L1} + \Delta H_v) / 2$$

La relation entre la matière transférée et l'humidité de l'air est donnée par:

$$\nabla S (\Delta H_{2m} - \frac{\Delta H_v}{2}) = \Phi_1 \Delta H_v$$

La dernière équation du bilan décrit le processus d'emménagement dans le récipient collectant l'eau.

$$\Phi_m C_m (\Delta \theta_{m1} - \Delta \theta_{m1}) = \Phi_1 C_m \frac{\Delta \theta_{m1}}{dt}$$

En utilisant la transformée de Laplace, la fonction de transfert devient:

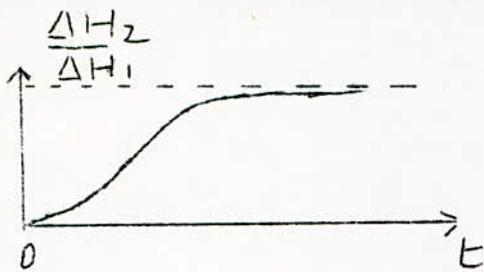
$$\frac{\Delta H_2}{\Delta \theta_{L1}} = K \frac{1 + T_1 P}{1 + T_2 P}$$

c) Local

Négligeant la capacité d'emménagement des parois et la condensation, et tenant compte des petites variations et se basant sur un mélange d'air idéal, on obtient: $\Phi_2 \Delta H_2 + \Phi_1 \Delta H_2 = \Phi_1 \Delta H_1$ (1)

La fonction de transfert est:

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \frac{K P}{1 + T P}$$



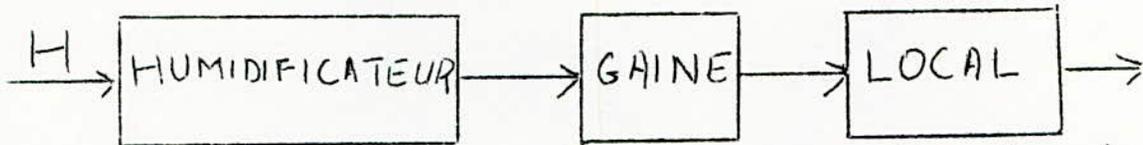
Dans le cas idéal $K_p = 1$ d'où

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \frac{1}{1 + T_p}$$

A partir de (1) on obtient $\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 + \varphi_2} = \frac{1}{1 + \frac{\varphi_2}{\varphi_1}}$

donc la constante de temps $T = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$

Fonction de transfert du processus φ_1



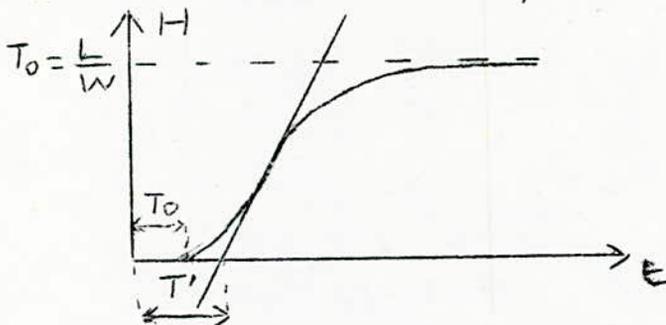
La fonction de transfert de l'humidité en boucle ouverte est le produit des trois fonctions de transfert sus-citées c'est à dire

$$H(P) = \frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} \cdot \frac{\Delta H_2}{\Delta \theta_{L1}} \cdot \frac{\Delta H_2}{\Delta H_1}$$

$$H(P) = e^{-\frac{L}{W}P} \cdot \frac{K(1 + T_1 P)}{(1 + T_2 P)} \cdot \frac{1}{1 + T_p} = e^{-\frac{L}{W}P} K' \frac{1}{1 + T'P}$$

$\frac{L}{W} = T_m = \text{temps mort}$

$T' = \text{constante de temps moyenne}$



42) Analyse expérimentale des propriétés dynamiques et statiques du processus.

421 Introduction

Chaque système est décrit par une fonction mathématique qu'on appelle transmittance. Cette transmittance est le rapport entre les transformées de Laplace des grandeurs de sortie et d'entrée du système: $F(p) = \frac{S(p)}{E(p)}$

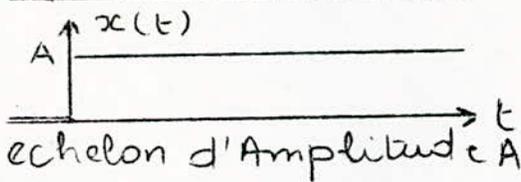
La transmittance de n'importe quel système peut se mettre sous la forme $F(p) = \frac{K}{(1 + Tp)^n}$ ou la forme

$F'(p) = F(p) \cdot e^{-\tau p}$ en cas où le système présente un temps mort τ .

Les paramètres K , τ , T et n sont propres à chaque système. Pour les déterminer, on doit connaître la variation de la grandeur de sortie en fonction du temps sous l'effet d'un signal appliqué à son entrée.

Les signaux les plus utilisés sont:

- Fonction échelon

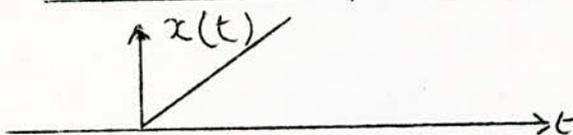


$$x(t) = A \cdot u(t)$$

$u(t)$ = échelon unitaire

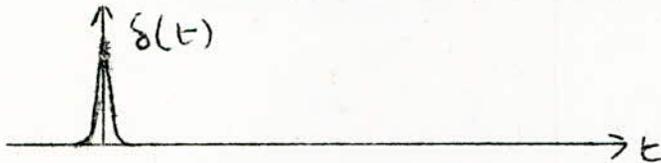
$$u(t) = \begin{cases} 1 & \text{pour } t \geq 0 \\ 0 & \text{" } t < 0 \end{cases}$$

- Fonction rampe unité



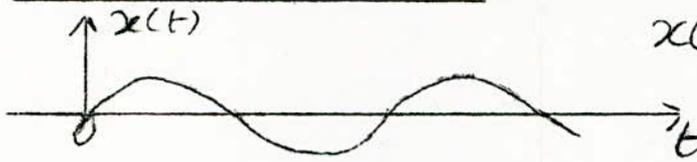
$$x(t) = \begin{cases} t & \text{pour } t \geq 0 \\ 0 & \text{" } t < 0 \end{cases}$$

Fonction impulsion de DIRAC



$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{pour } t = 0 \\ 0 & \text{pour } t \neq 0 \end{cases}$$

Fonction sinusoïdale



$$x(t) = u(t) \sin \omega t$$

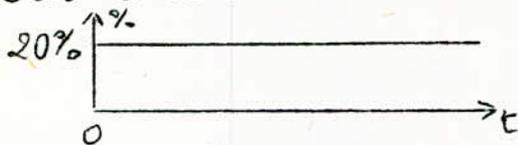
$$u(t) = \begin{cases} \sin \omega t & \text{pour } t \geq 0 \\ 0 & \text{pour } t < 0 \end{cases}$$

4.2.2 Détermination des propriétés dynamiques et statistiques du processus

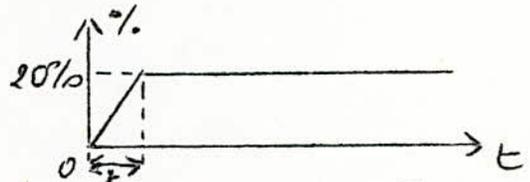
Les propriétés dynamiques et statistiques d'un système peuvent être déterminées avec la méthode des réponses temporelles qui sont la réponse indicielle (réponse d'un système excité par un signal échelon) et la réponse impulsionnelle (réponse d'un système excité par une impulsion de Dirac) ou avec la méthode des réponses en fréquence dans laquelle les signaux d'entrée sont oscillatoires, l'entrée varie périodiquement en fonction du temps. Nous avons opté pour la réponse indicielle, le signal échelon a été obtenu en changeant brusquement le degré d'ouverture de la vanne de 0% à 20%.

Remarque

On a supposé que le degré d'ouverture passe de 0% à 20% instantanément.



CAS IDEAL



CAS REEL

t_1 dépend de la vitesse de manipulation de la vanne
 Les mesures faites ont donné les résultats suivants

1) Dans les salles

$\theta [^{\circ}\text{C}]$	20,0	20,7	21,9	23,0	24,0	24,8	25,5	26,1
$t [\text{s}]$	0	100	200	300	400	500	600	700
$\theta [^{\circ}\text{C}]$	26,7	27,0	27,3	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8
$t [\text{s}]$	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500

2) Après le lavage

$\theta [^{\circ}\text{C}]$	18,0	18,0	18,0	17,2	16,7	16,1	15,6	15,1
$t [\text{s}]$	0	10	20	30	40	50	60	70
$\theta [^{\circ}\text{C}]$	14,7	14,4	14,1	13,8	13,6	13,5	13,4	13,4
$t [\text{s}]$	80	90	100	110	120	130	140	150

3) Après le préchauffeur

$\theta [^{\circ}\text{C}]$	20,0	20,0	21,0	22,0	23,5	25,0	26,0	26,5
$t [\text{s}]$	0	10	20	30	40	50	60	70
$\theta [^{\circ}\text{C}]$	27,0	27,5	28,0	28,4	28,8	29,2	29,3	29,3
$t [\text{s}]$	80	90	100	110	120	130	140	150

423 Détermination des paramètres par l'analyse indiciale

a) Méthode de STREJC classique

Elle nous permet de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel dans le cas d'un objet excité.

par un échelon. L'objet peut présenter un retard pur T_0 et dont la transmittance donnée en fonction de la variable P comporte une constante au numérateur et un polynôme d'ordre n à racines réelles négatives au dénominateur.

Le polynôme d'ordre n : $(1+T_1P)(1+T_2P)\dots(1+T_nP)$, Strejc le remplace par $(1+TP)^n$ et la transmittance de l'objet devient $F(P) = \frac{K_{ob} e^{-PT_0}}{(1+TP)^n}$

Les quatre paramètres à déterminer sont K_{ob} , T_0 , n et T .

b) Méthode de STREJC améliorée

Un inconvénient de la méthode classique de Strejc réside dans le fait que lorsque le rapport des paramètres de forme de la courbe ne correspond pas à une valeur entière de n (c'est le cas général), on prend la valeur immédiatement inférieure et on rend compte de la simplification en introduisant un temps mort fictif e' . Il en résulte, que même si la courbe ne présente pas de temps mort réel, l'expression obtenue est presque toujours de la forme.

$$F(P) = \frac{S e^{-e'P}}{(1+TP)^n}$$

Le calcul de la structure du régulateur est celui de ses réglages peuvent être affectés par cette approximation, le temps mort étant toujours un élément nuisible dans une boucle de régulation. Cet inconvénient peut être évité en introduisant

la notion de dérivée fractionnaire. En effet, le nomogramme permet de trouver une valeur fractionnaire de n et cette valeur peut être reportée dans d'autres nomogrammes pour obtenir les coefficients de réglage du régulateur.

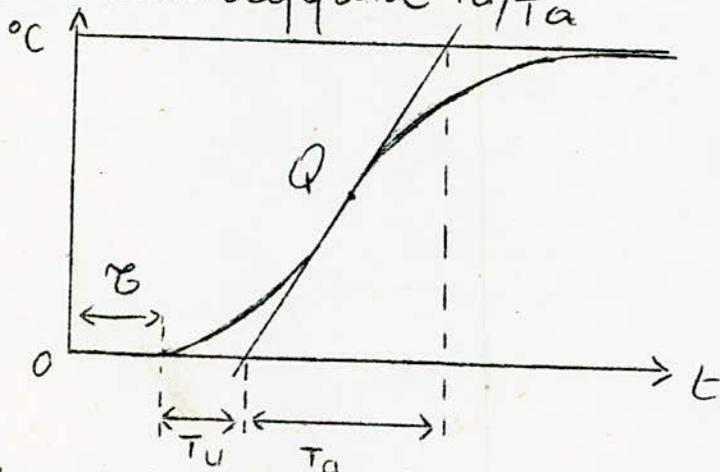
c) Mode d'emploi du nomogramme

- L'enregistrement donnant la réponse du 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 ce 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 de 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 le rapport T_u/T_a



- L'échelle située à gauche du nomogramme donne

directement la valeur de n , en face celle du rapport T_0/T_a

- En traçant une droite reliant les points n de l'échelle de gauche et T_a de l'échelle de droite, on lit la valeur de la constante de temps sur l'échelle médiane

- L'expression de la partie dynamique de la transmittance est $F(p) = \frac{1}{(1+TP)^n}$

d) Détermination du gain statique

L'amplitude finale de la variation de la température est lue sur la réponse indicielle.

L'amplitude de l'échelon appliqué au système est de 20% (degré d'ouverture de la vanne)

- LOCALUX (voir réponse indicielle)

$$S_1 = \frac{\Delta \theta}{\Delta U} = \frac{27,8 - 20}{20} = 0,39^\circ\text{C}/\%$$

- LAVEUR (voir réponse indicielle)

$$S_2 = \frac{\Delta \theta}{\Delta U} = \frac{18 - 13,4}{20} = 0,23^\circ\text{C}/\%$$

- RECHAUFFEUR (voir réponse indicielle)

$$S_3 = \frac{\Delta \theta}{\Delta U} = \frac{29,3 - 20}{20} = 0,465^\circ\text{C}/\%$$

e) Transmittance dans le cas de temps mort naturel

Le temps mort est introduit dans la transmittance en procédant à la transformation suivante

$$e^{-\tau p} = \frac{1}{(1 + \frac{\tau}{n'} p)^{n'}} \quad \text{avec } n' = \frac{\tau}{T}$$

a transmittance se présente alors sous forme d'un produit

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

- LOCALUX (VOIR NOMOGRAMME)

$$T_1 = 0 \Delta, T_U = 50 \Delta, T_a = 650 \Delta$$

$$\frac{T_U}{T_a} = 0,077 \text{ d'où on tire } n_1 = 1,74 \text{ et } T_1 = 270 \Delta$$

$$n'_1 = 0 \text{ car } \tau_1 = 0$$

$$F_1(P) = \frac{S_1}{(1+T_1 P)^{n_1+n'_1}} = \frac{0,39}{(1+270P)^{1,74}}$$

- LAVEUR (VOIR NOMOGRAMME)

$$T_2 = 10 \Delta, T_U = 12 \Delta, T_a = 79 \Delta$$

$$\frac{T_U}{T_a} = 0,151 \text{ d'où on tire } n_2 = 2,42 \text{ et } T_2 = 25 \Delta$$

$$n'_2 = \frac{\tau_2}{T_2} = \frac{10}{25} = 0,4$$

$$F_2(P) = \frac{S_2}{(1+T_2 P)^{n_2+n'_2}} = \frac{0,23}{(1+25P)^{2,42+0,4}} = \frac{0,23}{(1+25P)^{2,82}}$$

- RECHAUFFEUR (VOIR NOMOGRAMME)

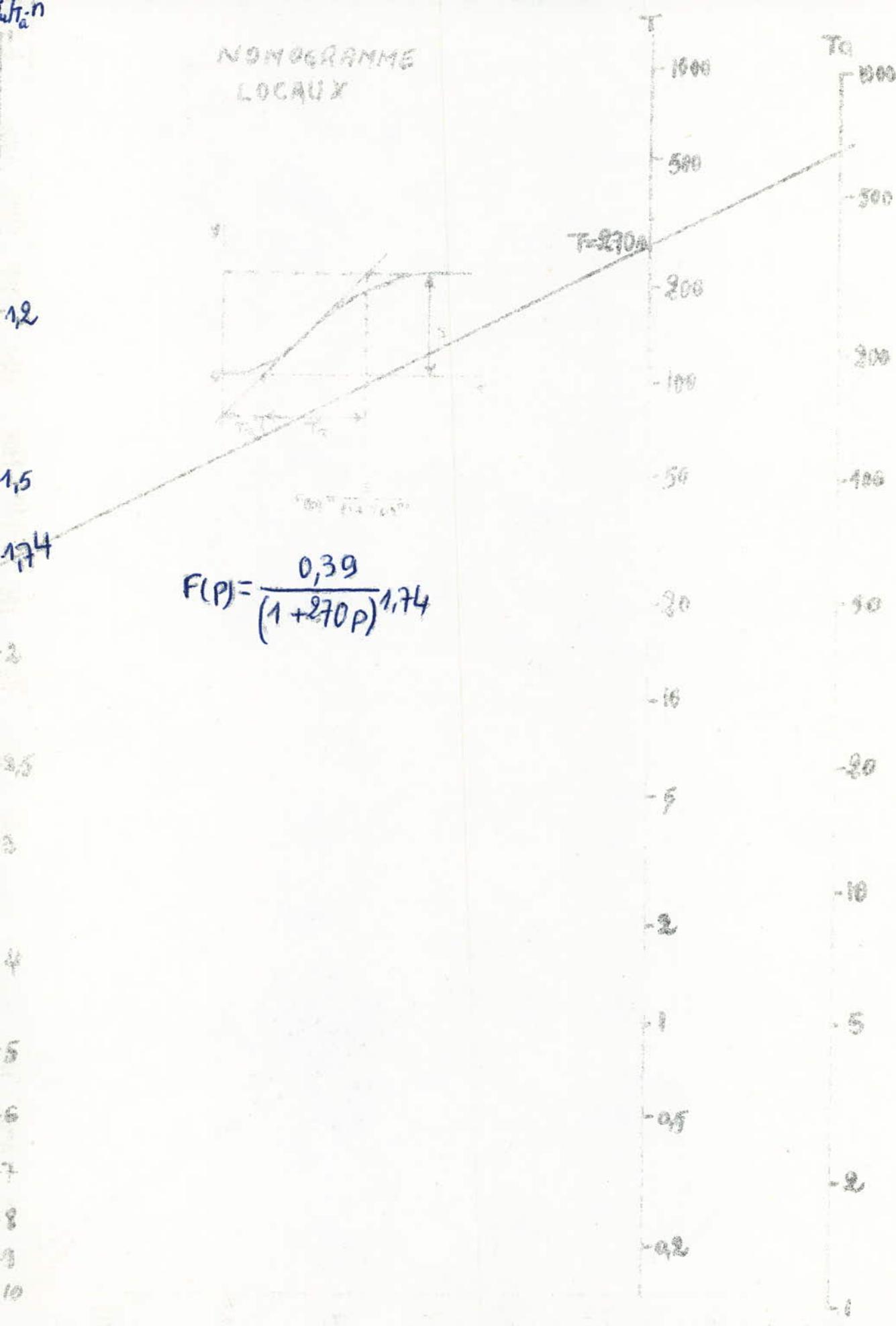
$$T_3 = 6 \Delta, T_U = 12 \Delta, T_a = 60 \Delta$$

$$\frac{T_U}{T_a} = 0,2 \text{ d'où on tire } n_3 = 2,84 \text{ et } T_3 = 17 \Delta$$

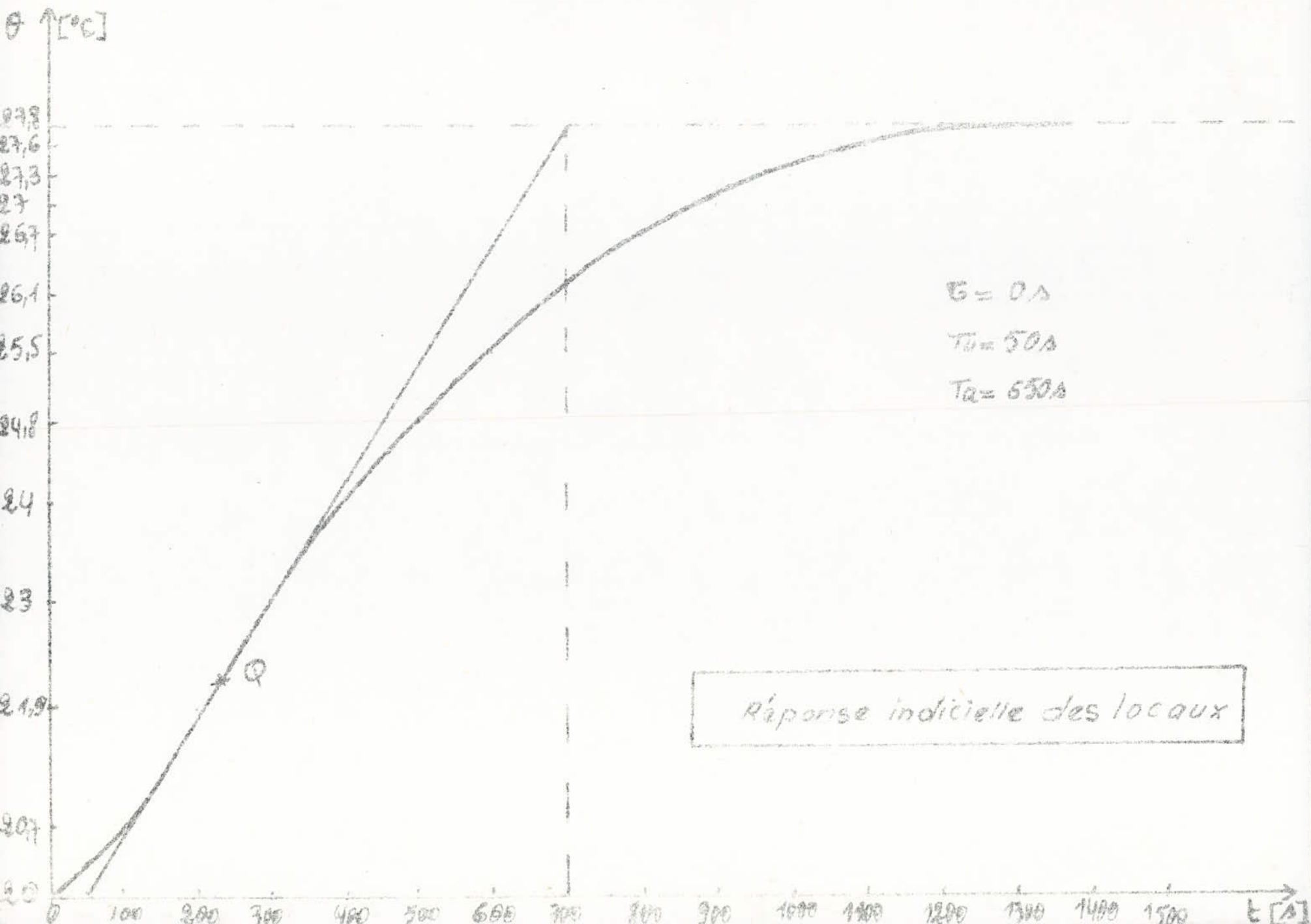
$$n'_3 = \frac{\tau_3}{T_3} = \frac{6}{17} = 0,35$$

$$F_3(P) = \frac{S_3}{(1+T_3 P)^{n_3+n'_3}} = \frac{0,465}{(1+17P)^{2,84+0,35}} = \frac{0,465}{(1+17P)^{3,19}}$$

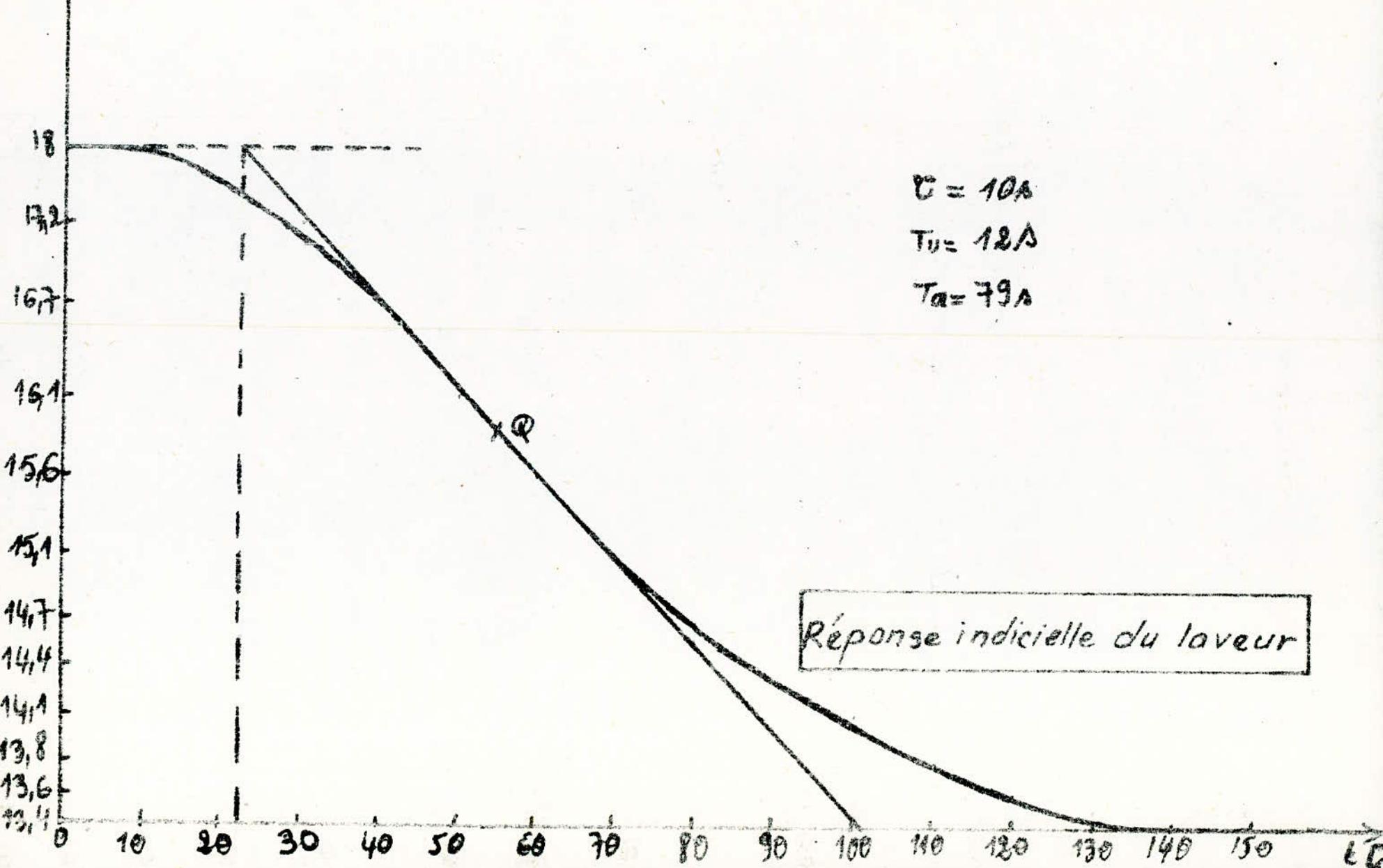
NOUVEAU
LOCAL



$$F(P) = \frac{0,39}{(1 + 270P)^{1,74}}$$



θ [°C]

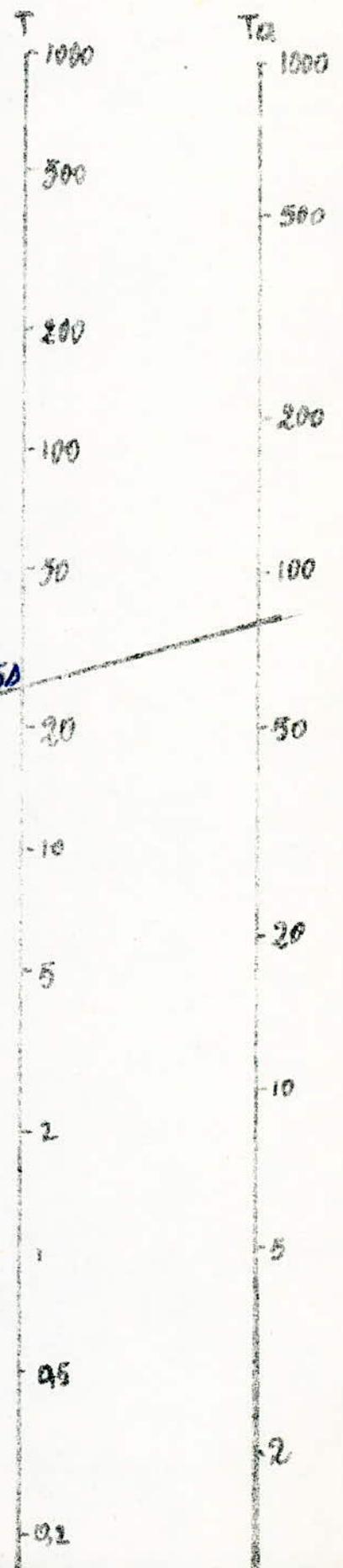


$C = 10A$
 $T_U = 12A$
 $T_a = 79A$

Réponse indicielle du laveur

μ/Ta n

NOYOGRAMME LAVEUR



$T=250$

$$F(p) = \frac{0,23}{(1+25p)^{2,82}}$$

2,12

2,5

3

4

5

6

7

8

9

h/Ta n

NOMOGRAMME
RECHAUFFEUR

0,01
0,02
0,05
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,8
1,0

T
1000
500
200
100
50
30
10
5
2
1
0,5
0,2

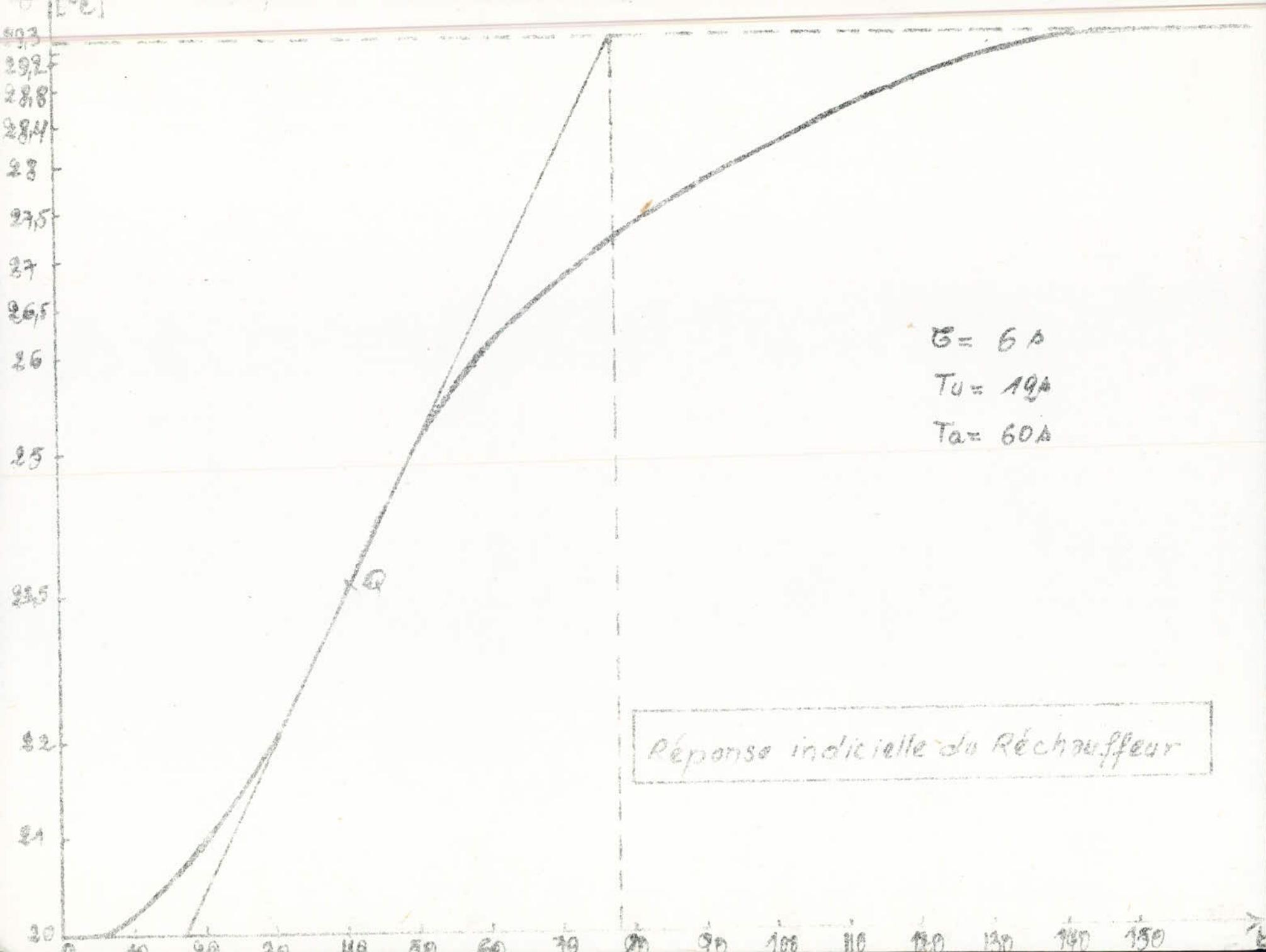
Ta
1000
500
200
100
50
30
10
5
2
1



$T=17\Delta$

$$F(p) = \frac{0,465}{(1 + 17p)^{3,19}}$$

2,84



ETABLISSEMENT DU SCHEMA DE CONCEPTION DU SYSTEME DE COMMANDE

Il existe deux possibilités pour la commande de la centrale de climatisation:

a) Dans le premier système de commande, il y'a la sommation des impulsions provenant directement des salles climatisées.

Dans ce cas, chaque relais commandé par le thermometre doit être connecté avec systeme central de la commande pour commander les chambres de climatisation en fonction des signaux provenant des autres locaux .

Tous les thermomètres dans les locaux jouent un double rôle:

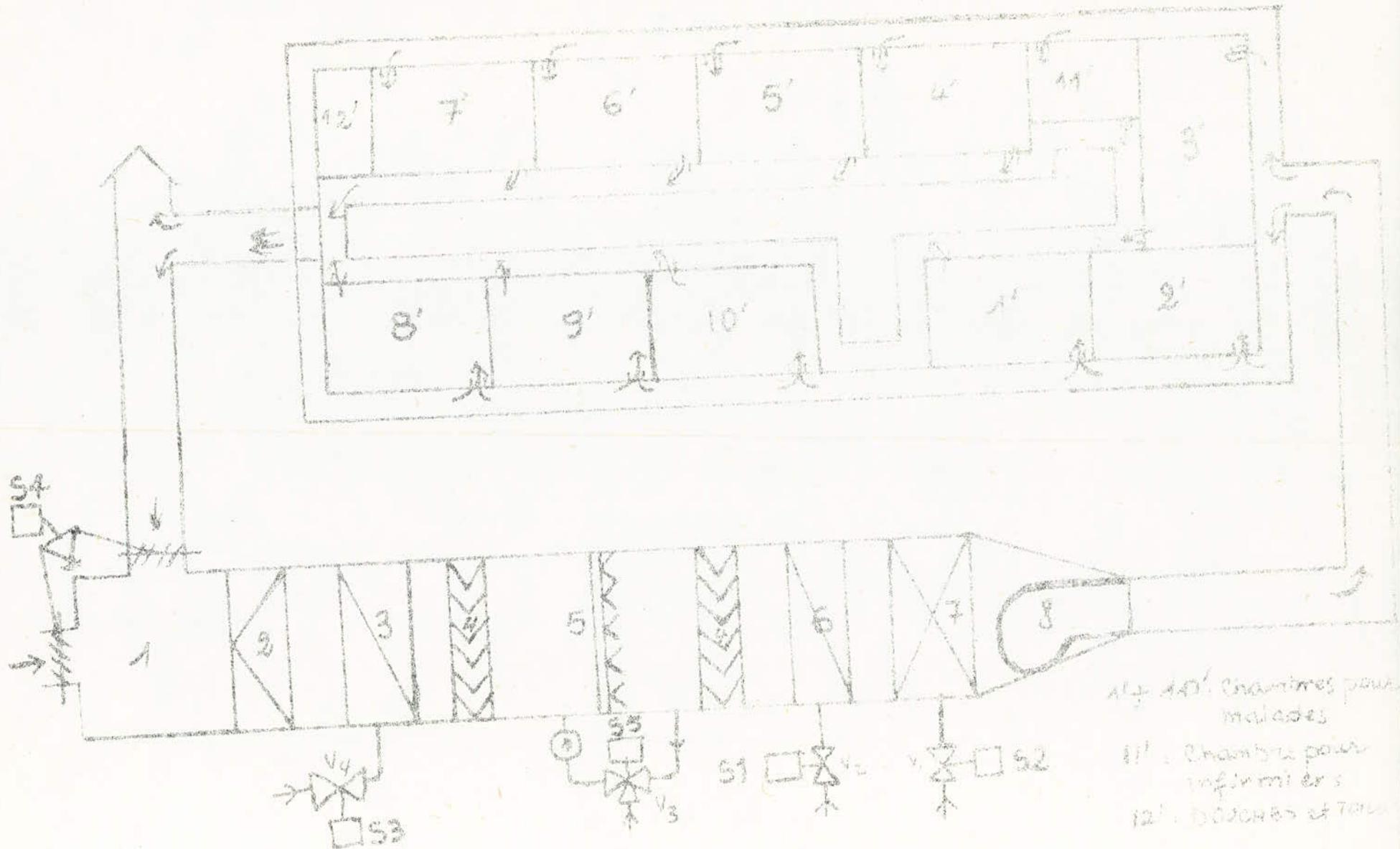
- Commander le réchauffeur électrique et le refroidisseur
- Donner. Les signaux pour la commande centrale .

b- Tous les thermomètres des locaux commandent uniquement les réchauffeurs et les refroidisseurs dans les locaux et, ne donnent pas de signaux pour la centrale de commande. Dans ce cas la centrale de climatisation doit être commandée par des systèmes séparés de la commande qui doivent tenir compte des paramètres d'air extérieur et d'air recyclé.

On a choisi la première possibilité car la deuxième, possibilité consomme beaucoup d'énergie et la régulation de l'air d'apport ne tient pas compte des conditions des salles de malades.

51 SCHEMA BLOC SANS COMMANDE AUTOMATIQUE;

Notre installation travaille avec l'air mixte. L'air frais et l'air recyclé rentrent dans la chambre de mélange selon les proportions désirées. L'air de mélange est traité dans la centrale de climatisation puis ventilé dans les salles. Une partie de l'air vicié est recyclée,, l'autre partie est évacuée à l'extérieur. L'air extérieur (frais) est prélevé par une ouverture d'entrée verticale et non horizontale dans un endroit protégé du vent, du rayonnement solaire, de la poussière et des ~~surres~~ l'air traité est appelé air d'apport, par contre dans l'air vicié il y'a l'air recyclé et l'air purgé.



- 11' + 12' : Chambres pour malades
- 11' : Chambre pour infirmiers
- 12' : DOUCHES et TOILETTE

SCHEMA BLOC SANS REGULATION

521 Boucle de commande de la température des salles

Dans les trois salles nécessitant une basse température, se trouvent un réchauffeur électrique et un refroidisseur qu'on ne peut utiliser simultanément par économie d'énergie. L'un ou l'autre est relié au thermomètre à contact en fonction de la température extérieures (en été le refroidisseur est très utilisé).

Dans les salles, le thermomètre à contact donne des signaux simultanément à un régulateur de température avec sommation des impulsions et au réchauffeur(refroidisseur ou réchauffeur pour les trois premières salles) par l'intermédiaire d'un contacteur (vanne électromagnétique pour le refroidisseur). Le régulateur envoie des impulsions au servomoteur qui actionne un organe de réglage.

522 Boucle de commande de l'humidité.

Un hygromètre est placé dans la gaine de sortie d'air des salles et nous donne l'humidité relative moyenne. Cet hygromètre envoie des impulsions au régulateur électronique d'humidité en cas d'écart entre la valeur mesurée et la valeur de consigne. Le régulateur actionne l'humidificateur électrique placé à la sortie de la centrale de climatisation pour compenser l'écart.

523 Boucle de commande de la température à la sortie du préchauffeur

Un capteur de température est placé à la sortie du réchauffeur primaire. En cas d'écart de température, il envoie des impulsions au régulateur électronique de température qui actionne les servomoteurs commandant les clapets et les vannes de contrôle du préchauffeur. Comme il faut commencer par changer la position des clapets d'air recyclé et d'air frais avant d'ouvrir les vannes de contrôle du préchauffeur, on relie en série deux servomoteurs S_1 et S_2 de telle sorte que les impulsions de commande passent par les commutateurs de fin de course du servomoteur S_1 commandant les clapets avant d'arriver au servomoteur S_2 commandant les vannes de contrôle.

5.24: Boucle de commande de la temperature apres le laveur (reglage par point de rosée)

Un thermometre à resistance est placé apres le laveur afin d'y maintenir constante la temperature. Cette temperature correspond à la temperature de point de rosée de l'air d'apport car dans ces conditions l'humidite de l'air est definie par sa temperature d'apres le diagramme (H,x).

Temperature de l'air (°C)	HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR (%)				
	50	60	70	80	90
16	5,5	8	10,5	13	14,5
18	7,5	10	12,5	14,5	16,5
20	9,5	12	14,5	17	18,5
22	11	13,5	16,5	18,5	20
24	13	15,5	18,5	20,5	22,5
26	15	17,5	20	22,5	24

TEMPERATURE DU POINT DE ROSEE A DIFFERENTES TEMPERATURES ET HUMIDITES RELATIVES DE L'AIR

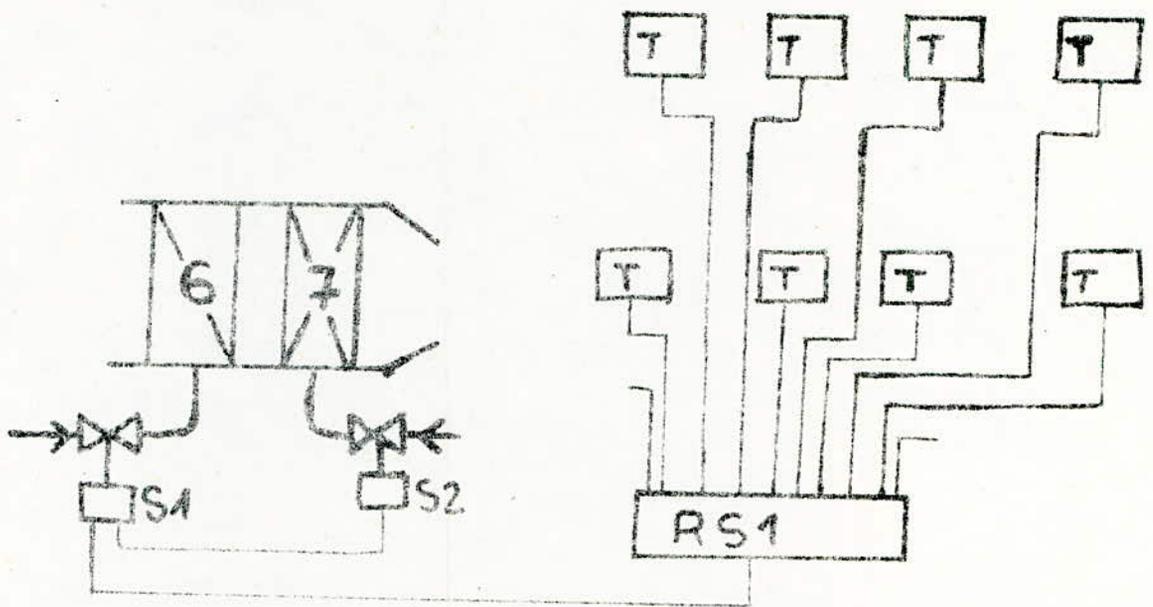


Fig 521 Régulation de la température des salles

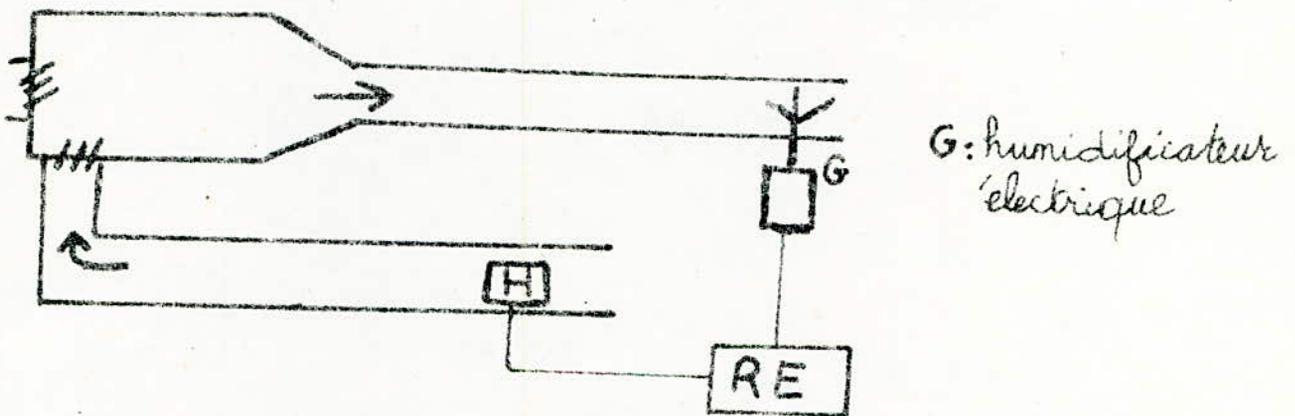


Fig 522 Régulation de l'humidité des salles

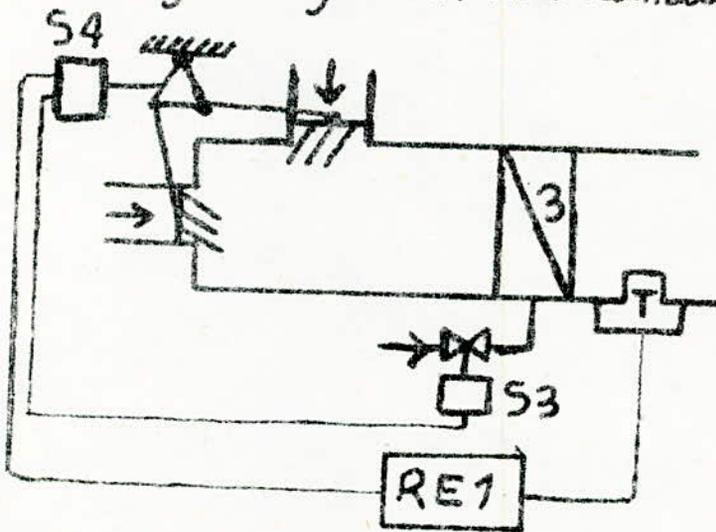


Fig 523 Régulation de la température après le préchauffeur

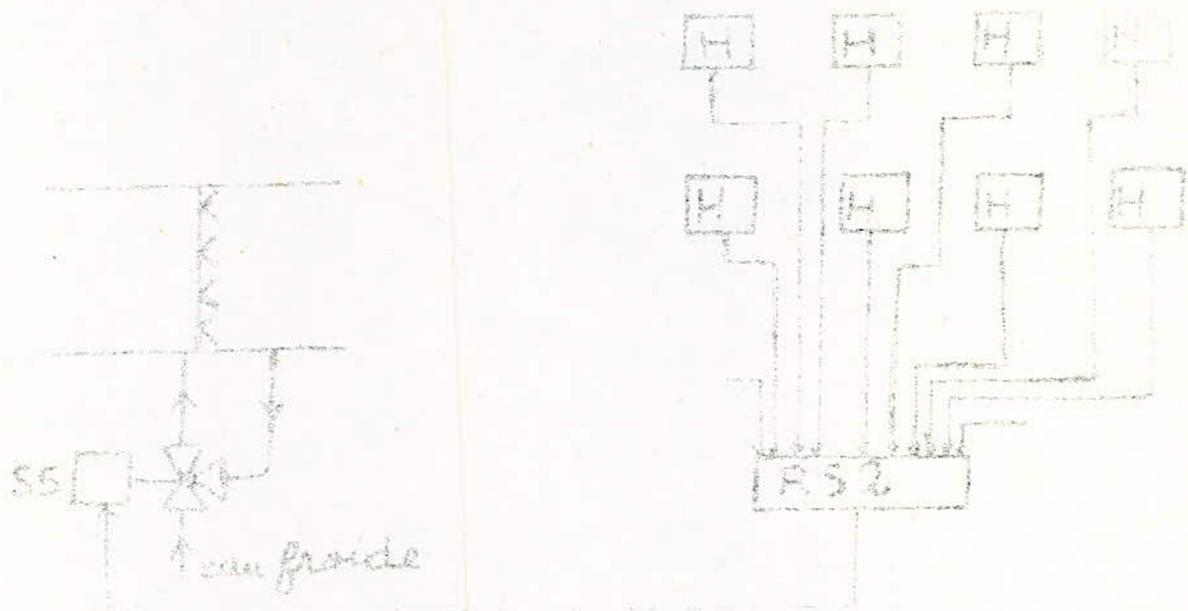


Fig 522a Régulation de l'humidité dans les salles

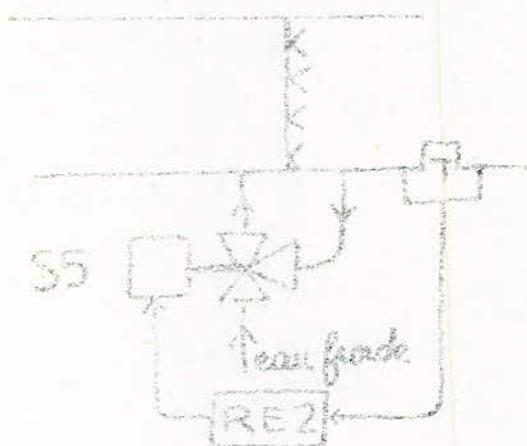


Fig 524 Régulation de la température après le laveur

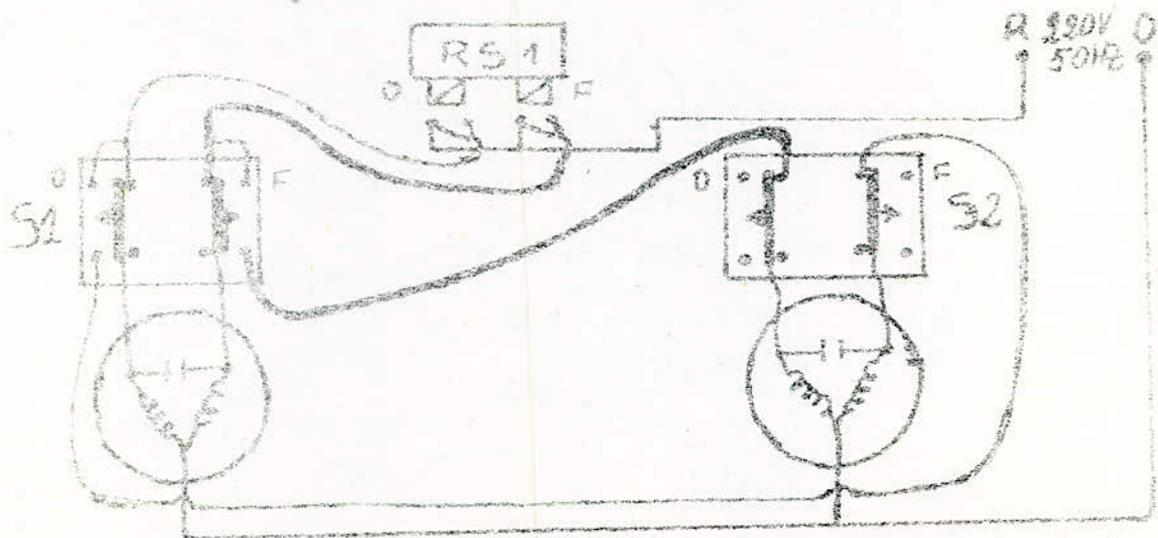


Fig ACTION SIMULTANEE DE DEUX SERVOMOTEURS

Si par exemple pour une température d'air d'apport fixée à 22°C l'humidité relative doit atteindre 50%, la température du point de rosée est de 11°C d'après le tableau précédant. On règle la température du point de rosée à 11°C. En cas de variation de la température de point de rosée (Température très basse en hiver et très chaude en été) le thermomètre envoie un signal au régulateur électronique de température qui actionne un servomoteur commandant une vanne à trois voies pour changer l'alimentation en eau froide ou chaude du laveur .
D'où maintien de la température de point de rosée constante.

Remarque:

Cette dernière boucle de commande peut être remplacée par une autre boucle en éliminant l'humidificateur électrique. On place un hygromètre à contact dans chacune des six salles qu'on choisit. Ces six hygromètres sont reliés à un régulateur d'humidité avec sommation des impulsions qui agit sur un servomoteur commandant une vanne à trois voies alimentant le laveur. En cas d'écart entre la valeur moyenne de l'humidité relative dans les salles et la valeur demandée, le régulateur agit sur le servomoteur commandant les vannes pour compenser cet écart. Voir figure 522a

Avantages de cette dernière boucle:

On commande le laveur en fonction de l'humidité relative dans les salles on obtient une baisse de consommation d'énergie car on travaille avec la température de rosée variable de l'air dans le cas où cette procédure n'est pas nécessaire pour obtenir les paramètres demandés. Donc on travaille avec la température de rosée changeable pour économiser l'énergie.

53 Schéma bloc du système de mesure

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

Une mesure irréprochable de la température de l'air à l'aide d'un thermomètre placé dans la salle suppose que son réservoir soit protégé contre le rayonnement par argenture, qu'il soit pendu librement et qu'il soit protégé pendant la lecture contre l'influence de la chaleur de l'air expiré. Le système de mesure choisi doit être linéaire, fidèle, robuste, interchangeable, sensible et avoir une grande étendue de mesure, un temps de réponse court et un coût. ~~moins~~ élevé. On fait deux types de mesures:

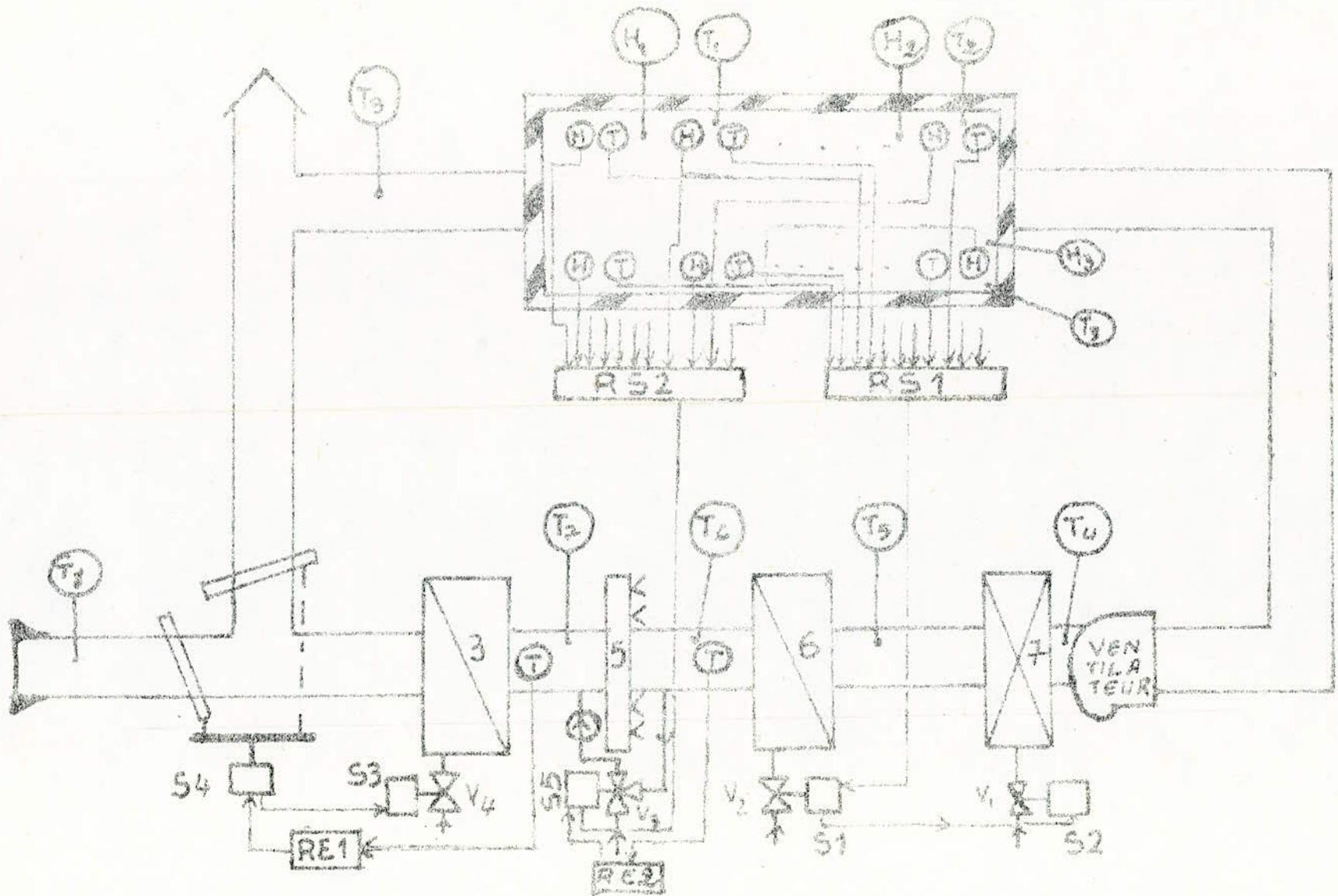
locales et à distance (Voir fig 53).

531 Mesures locales:

Pour chaque local on mesure de la température et de l'humidité sur place. Dans la centrale de climatisation, on mesure la température après chaque échangeur par un thermomètre à mercure

532 Mesures à distance:

Dans trois salles choisies on fait des mesures à distance de température et d'humidité relative. De même pour l'air recyclé. De plus on mesure à distance la température de l'air extérieur et après chaque élément de la centrale de climatisation. *De plus on enregistre la température et l'humidité d'une des trois salles pour brûlures graves.*



fu

SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME

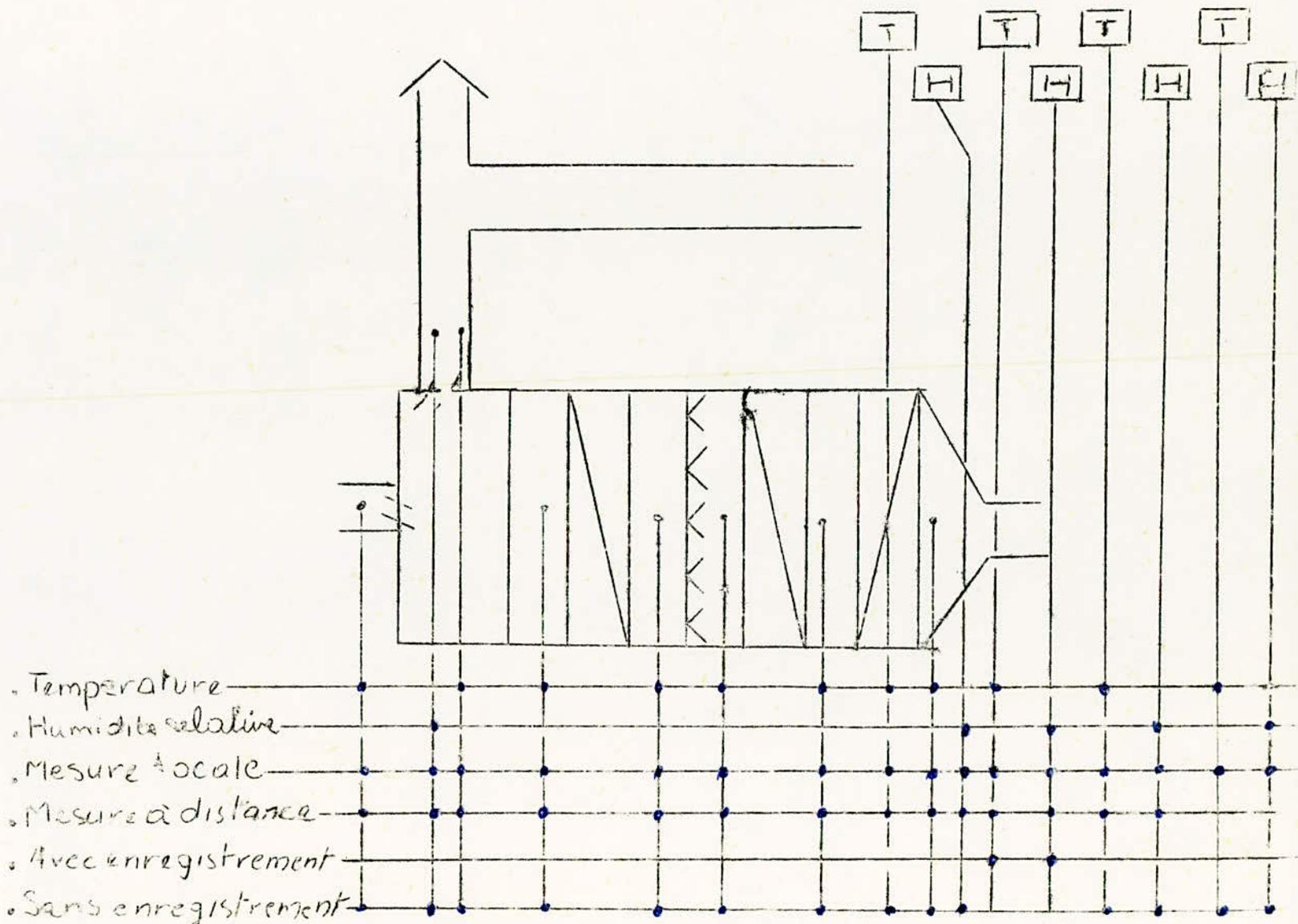


FIG 53

SCHEMA DE MESURE

VI ANALYSE ET CHOIX DES ELEMENTS DE COMMANDE ET DE MESURE

Les éléments de base d'un système de commande automatique sont:

- Capteurs
- Régulateurs
- Servomoteurs
- Vannes de contrôle et clapets

61 ANALYSE ET CHOIX DES CAPTEURS

Pour arriver à commander le système de climatisation, on est obligé de connaître les paramètres de l'air en chaque point de notre *système*. Ceci est réalisable grâce à un capteur. Les capteurs se distinguent pas les grandeurs à mesurer (Température, humidité.....).

611 Capteurs de température

On distingue quatre principaux types.

- Thermomètre à résistance pour température allant de -50°C à 570°C .
- Thermocouples pour température allant de -100 à 1600°C
- Pyromètres à radiation pour température allant de -40 à 3100°C .
- Thermistances (qui sont des corps semi-conducteurs, constitués par des oxydes métalliques dont la résistance électrique décroît lorsque la température *croît*) pour température allant de 0 à 30°C .

THERMOMETRE A RESISTANCE

Un thermomètre à résistance se compose d'une résistance de mesure qui varie avec la température suivant une loi connue et reproductible.

Les variations de résistance sont transmises sous la forme de variation de tension par des lignes en cuivre vers un indicateur ou régulateur soit directement soit par l'intermédiaire d'un transmetteur de mesure;

Les résistances de platine sont employées pour des températures de 220 à 850°C , celles de *nichel* pour des températures de -60 à 150°C .

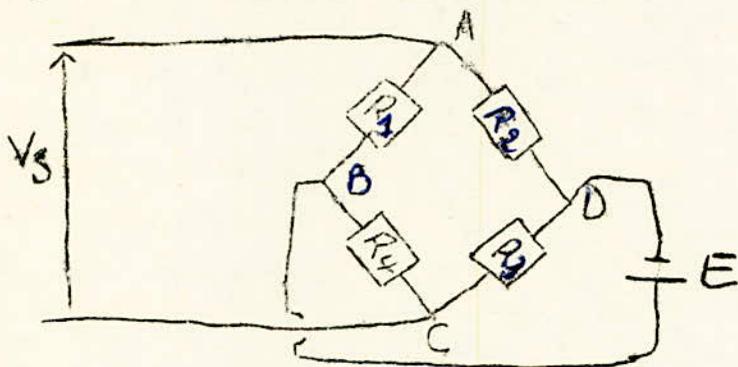
Les résistances de mesure sont étalonnées à $100\Omega \pm 0,1\Omega$ pour $^{\circ}\text{C}$

CHOIX DU CAPTEUR DE TEMPERATURE

On choisit pour notre installation les thermomètres à résistance. En effet, leur avantage est de pouvoir mesurer des températures basses et surtout d'obtenir des mesures sur des échelles réduites. De plus, le thermomètre à résistance est très sensible et affiche facilement la consigne grâce à la résistance (On a la possibilité de faire varier cette consigne).

PRINCIPE DE MESURE DES THERMOMETRES A RESISTANCE

Pour cela on utilise le pont de WHEATSTONE. On dispose de quatre résistances R_1, R_2, R_3, R_4 . R_1 et R_2 sont constantes et indépendantes de la température. R_3 est une résistance variable et servira à afficher la consigne. R_4 est une résistance en platine variable avec la température. Le pont est alimenté en tension constante.



R_3 est affichée en fonction de la consigne voulue. Si la température varie, R_4 va changer et la tension V_s sera différente de zéro, d'où on va augmenter ou diminuer la température pour pouvoir annuler V_s . Si la température ne varie pas, $V_s = 0$ d'où pas de régulation.

612 Capteurs d'humidité

Les principaux capteurs d'humidité sont.

-PSYCHROMETRES

-Hygromètres à chlorure de lithium

-Hygromètres à cheveux

-Hygromètre électronique.

-Capteurs électrolytiques.

HYGROMETRE A CHLORURE DE LITHIUM

La résistance utilisée pour la mesure est située dans une fine cartouche métallique entourée d'un isolant. Par dessus est tirée une gaine de verre tissé trempée dans une solution de chlorure de lithium.

Par dessus sont installées deux électrodes en métal anticorrosion.

Un tube de protection avec un tamis éloigne de la sonde les courants d'air perturbateurs. Aux électrodes est appliquée une tension alter-

native qui génère un courant à travers la solution de chlorure de lithium et la réchauffe. Ainsi de l'eau est évaporée de la solution.

Des que tout l'eau est vaporisée, la conductivité entre les électrodes décroît fortement ainsi que le courant. La température baisse. Le ch-

lorure de lithium hygroscopique peut reprendre de l'eau dans l'air, donc la conductivité recroît ainsi que le courant entre les électrodes.

De cette manière, la température se règle pour atteindre un équilibre qui correspond à l'équilibre entre l'énergie électrique dépensée et la quantité de chaleur utilisée pour la vaporisation de l'eau

(température de changement d'état du système). Cet état d'équilibre ne

depend que de la tension de vapeur de l'air environnant et est donc

une mesure de l'humidité absolue. La température de changement d'état

du système est captée par la résistance de mesure et transmise en

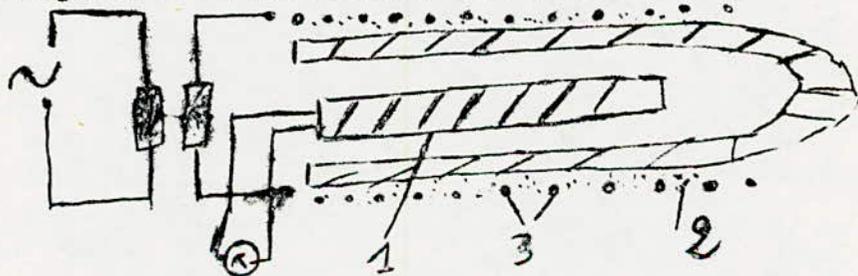
tant que grandeur électrique à un indicateur, enregistreur ou régulateur

L'élément de mesure peut être régénéré (nettoyage et nouveau bain de

chlorure de lithium). Les intervalles de temps entre ces régénérations

dependent principalement de la température du point de rosée ainsi que

de l'atmosphère et de la précision de mesure désirée.



- 1-Résistance de mesure en platine
- 2-Tissu de verre avec chlorure de lithium
- 3-Enroulements des électrodes

Schéma constitutif du capteur d'humidité au chlorure de lithium

CHOIX DU CAPTEUR D'HUMIDITE

On choisit pour notre installation les hygromètres à chlorure de lithium aussi bien pour la commande que pour la mesure. En effet, ils sont de construction simple et robuste ne nécessitant qu'un minimum d'entretien. De plus ils sont également utilisables dans des environnements poussiéreux, insensibles aux influences perturbatrices et sont très précis.

PRINCIPE DE MESURE DES HYGROMETRES A CHLORURE DE LITHIUM

Le principe de mesure de ces hygromètres utilise le procédé du point de rosée avec la correspondance univoque entre teneur en vapeur d'eau et point de rosée. Au lieu d'obtenir le point de rosée en refroidissant l'air à une température pour laquelle apparaît une condensation dans le capteur, on augmente la température d'un produit hygroscopique jusqu'à ce que l'eau absorbée soit vaporisée. Avec ce capteur au chlorure de lithium, il est possible d'effectuer de manière simple des mesures précises dans les conditions de travail difficiles. Avec une grande étendue de mesure de l'humidité dans un grand domaine de température, il est aussi bien possible de mesurer l'humidité absolue que l'humidité relative de l'air

62 ANALYSE ET CHOIX DES REGULATEURS

Un régulateur est un appareil qui permet de régler et contrôler le fonctionnement d'un autre appareil ou groupement d'appareils.

La régulation appliquée à la climatisation a pour but de remplir l'une ou plusieurs des conditions suivantes:

- Assurer une certaine condition de température et d'humidité
- Contrôler le fonctionnement d'une installation et en assurer la sécurité.
- Assurer une marche de l'installation suivant un programme établi à l'avance.

La régulation a pour principale conséquence de jouer un rôle économique en diminuant les interventions manuelles et en permettant une marche adaptée à tout instant aux conditions à remplir. Un régulateur comprend un détecteur de la grandeur à mesurer, un dispositif d'affichage d'une grandeur de consigne et des moyens pour détecter un sens d'un écart entre ces deux grandeurs. Ce détecteur d'écart actionne des moyens de commande d'un organe de réglage.

621 Différents types de régulateurs

- Régulateur pneumatique
- Régulateur électromécanique
- Régulateur électronique
- Régulateur hydraulique.

622 Différents types d'action

Les quelques régulateurs que nous avons cités (et se ne sont pas les seuls qui existent) diffèrent par leur mode d'action:

- Action proportionnelle
- Action intégrale
- Action dérivée
- Action combinée (mixte)

623 Régulateur électronique de température PI) 1) Description

Le régulateur est alimenté par une source de tension continue.

Ce régulateur est relié à des étages de commande (4 et 5) d'un organe de réglage qui peut comporter deux ou trois voies de passage et doit pouvoir se fermer, s'ouvrir ou rester dans sa position précédente selon l'ordre qu'il reçoit. Ces étages de commande (4 et 5) comprennent chacun une bobine d'induction (6 et 7) munie en parallèle d'une diode de décharge (8 et 9), et telles que l'excitation de la bobine 6 provoque la fermeture de l'organe de réglage et que l'excitation de la bobine 7 provoque son ouverture. Les étages (4 et 5) sont reliés d'une part au pôle positif de la source par une borne commune 11 et d'autre part, au pôle négatif par des bornes respectifs (12 et 13) par l'intermédiaire d'étages d'amplification (41 et 42).

Ce régulateur comprend un pont de wheatstone 14 alimenté par la source de tension continue. Les deux branches de ce pont adjacentes au pôle positif comprennent respectivement l'une une résistance fixe 15 et une thermistance de mesure 16 disposée en un endroit convenable de la salle à contrôler, et l'autre une résistance 17 et une résistance réglable 18 servant à afficher la température de consigne. Les deux autres branches du pont sont constituées respectivement de résistances fixes (19 et 21). Sur la ligne d'alimentation reliant le pont 14 au pôle négatif est intercalé le circuit collecteur-émetteur d'un transistor NPN (22), dont la base est reliée à un générateur d'impulsions 23, de sorte que le pont 14 n'est alimenté que pendant ces impulsions qui font conduire le transistor 22. En dehors de ces impulsions, l'ensemble des éléments du pont 14 est au potentiel du pôle positif.

Le générateur d'impulsions 23 comprend un transistor unijonction 24 dont l'entrée au point commun à une résistance 25 et à un condensateur 26 montés en série entre les pôles positif et négatif et dont l'entrée de commande est reliée au point commun à deux résistances (27 et 28) montées en diviseur de tension. La sortie du transistor 24 est reliée au pôle négatif par une résistance 29 et à la base du transistor 22 par une diode 31 et une résistance 32.

Dans la diagonale AB du pont sont montés des moyens de detection et d'amplification bi-directionnels comprenant deux transistors (33 et 34) de type NPN, dont les bases sont reliées respectivement aux extrémités A et B. Leurs émetteurs sont reliés en commun au pôle négatif par l'intermédiaire du circuit collecteur, émetteur d'un transistor 35 de type NPN, dont la base est reliée à la sortie du générateur d'impulsions 23 en aval de la diode 31 par une résistance 36, un condensateur 37 étant monté en dérivation entre la base et le collecteur du transistor 35. Les collecteurs des transistors (33 et 34) sont reliés respectivement à deux lignes de commande (38 et 39) partant du point commun à la résistance fixe 17 et à la résistance réglable 18 et du point commun à la résistance fixe 15 et à la thermistance 16, pour aboutir à des étages d'amplification respectifs (41 et 42) reliés en sortie aux bornes (12 et 13) des étages de commande (4 et 5).

Les étages d'amplification (41 et 42) comprennent chacun un transistor 43 (resp 44) de type PNP attaqué sur sa base par la ligne de commande 38 (resp 39), dont l'émetteur est relié au pôle positif et dont le collecteur attaque la base d'un transistor 45 (resp 46) dont le circuit collecteur-émetteur est intercalé entre le pôle négatif et la borne 12 (resp 13) de l'étage de commande 4 (resp 5).

Le collecteur du transistor 43 (resp 44) est également relié à un premier circuit d'un étage de temporisation 47 (resp 48) ce circuit comprend en parallèle vers le pôle négatif un condensateur 48 et (resp 52) deux résistances (49 et 51) (resp 53 et 54).

La sortie commune des condensateurs (48 et 52) est reliée par une diode 55, à la sortie de la diode 31 du générateur d'impulsion 23.

Ce régulateur comprend un étage d'action proportionnelle et intégrale 56 qui comprend deux résistances (57 et 58) en série montées en dérivation sur la résistance 21. La résistance 57 est reliée d'une part au point B et d'autre part, par son autre extrémité, à la ligne de commande 39 par un étage d'amplification 59 et un étage de filtre bi-directionnel 61.

L'étage d'amplification 59 comprend deux transistors (62 et 63) de type NPN connectés suivant le montage dit "Darlington" l'émetteur du transistor 62 attaque le base du transistor 63 dont l'émetteur est relié au point C. ^{leurs} Collecteurs sont reliés au pôle positif. Un condensateur 64 est monté en ^{entre} dérivation entre le pôle positif et un point D de la liaison ^{entre} l'étage 59 et l'étage 61. Cette liaison attaque la base du transistor 62 par l'intermédiaire d'une diode 65.

L'étage de fuite bi-directionnel 61 comprend un transistor NPN (66) et un transistor PNP (67) dont les circuits collecteur émetteur relient en parallèle le point D à la ligne de commande 39. En série avec ces deux circuits des transistors, sont montées respectivement deux résistances (68 et 69), et deux diodes (71 et 72) disposées pour laisser passer le courant dans le sens défini respectivement par la polarité des transistors (66 et 67) les bases de ces deux transistors sont reliées en commun à la ligne de commande 38 par une résistance 73.

Le régulateur comprend encore une résistance ~~ce~~ réglable 74, reliant par une résistance fixe 75, le point A adjacent à la thermistance 16 à un commutateur 76 ~~à~~ trois positions. Ces trois positions comprennent un plot isolé J, un plot NL relié au pôle positif et un plot NC relié à une source de tension positive 77 de valeur prédéterminée.

2) FONCTIONNEMENT

Nous supposons que la température mesurée par la thermistance est inférieure à la température de consigne (donc le potentiel en B est supérieur au potentiel en A), ce qui conduit à une commande d'ouverture de la vanne d'eau chaude. Nous supposons aussi que le condensateur 64 de l'étage 59 est déchargé c'est à dire que le potentiel en D est sensiblement égal au potentiel du pôle positif.

En l'absence d'impulsions, les transistors (22 et 35) sont bloqués et les éléments du pont ainsi que les émetteurs des transistors (33 et 34) sont au potentiel du pôle positif. De condensateur 37 et chargé, la base du ~~transistor~~ transistor 35 était mise au potentiel du pôle négatif lors de l'impulsion précédente. Le condensateur 64 reste déchargé car le transistor 66 ne conduit pas en raison de son potentiel d'émetteur.

Quand une impulsion engendrée par le générateur 23 apparaît sur la diode 31, le transistor 22 se met à conduire pour alimenter normalement le pont. Le transistor 35 se débloque avec un retard qui correspond au temps de décharge du condensateur 37 et les potentiels en A et B ont le temps de se stabiliser malgré l'effet de capacités parasites éventuelles. Le potentiel d'émetteur des transistors (33 et 34) décroît progressivement pendant que le condensateur 37 se charge car sa borne adjacente au collecteur du transistor 35 est reliée au pôle négatif.

Le transistor 34 se met à conduire (car le potentiel en B est supérieur au potentiel en A), dès que la tension base-émetteur devient suffisante ainsi la ligne de commande 39 est au potentiel négatif ce qui fait conduire le transistor 44 et par la suite le transistor 46 est ainsi la borne 13 est au potentiel du pôle négatif. La bobine 7 est alors alimentée et la vanne d'eau chaude s'ouvre. Le potentiel en D et C est positif alors la résistance 15 peut être considérée en parallèle avec la résistance réglable 18, ce qui équivaut à fausser la température de consigne dans le sens d'une augmentation de sa valeur, tendant à ouvrir la vanne.

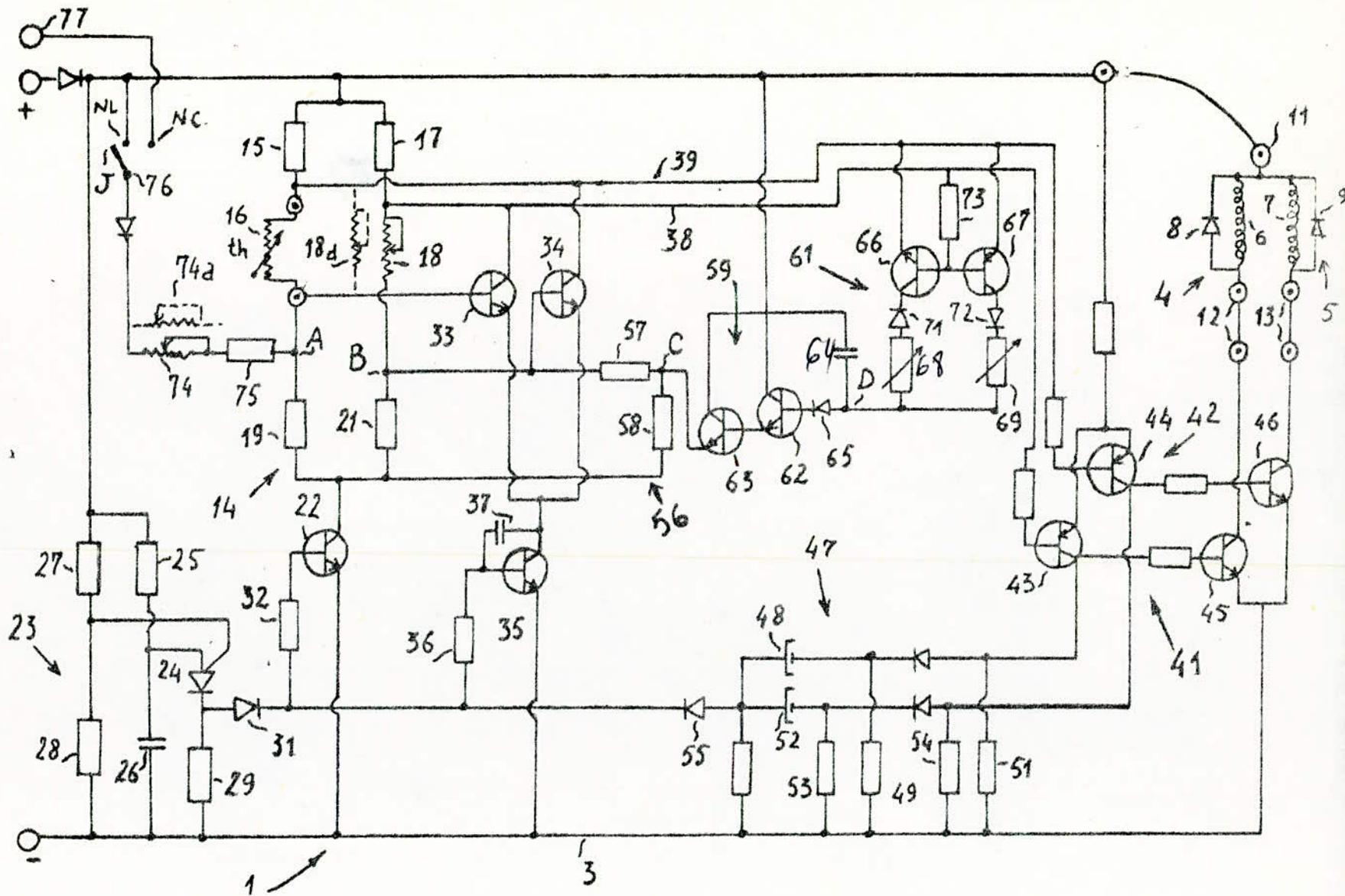
Pendant la durée de l'impulsion, le transistor 66 conduit et laisse passer par la résistance 68 et la diode 71 un courant de fuite qui charge le condensateur 64 par abaissement du potentiel en D et C.

Quand l'impulsion émise par le générateur 23 se termine, l'état du circuit revient à ce qu'il était avant l'impulsion, mais la vanne reste dans l'état où l'impulsion l'a mise. Étant donné la brièveté des impulsions qui pourraient ne pas laisser le temps à la vanne d'effectuer sa course complète, l'étage de temporisation 47 prolonge cette impulsion qui est alors émise par la diode 55. Lors de l'impulsion suivante, le condensateur 64 est un peu plus chargé et les potentiels en D et C sont un peu plus bas, de sorte que la température de consigne est moins faussée en hausse, ce qui atténue la tendance à commander l'ouverture de la vanne. Il y'a donc là un effet d'anticipation de l'effet de chauffage produit à partir de l'impulsion précédente. À chaque impulsion le condensateur 64 continue à se charger, le potentiel en D et C diminue davantage, ce qui continue d'atténuer le décalage en hausse de la température de consigne, et finit même par provoquer un décalage en baisse.

Ce décalage en baisse est maximal quand le condensateur 64 est complètement chargé, le potentiel en C et D étant celui du pôle négatif l'écart entre les valeurs maximales du décalage, en hausse et en baisse est de 2°C et correspond aux états respectivement déchargé et chargé du condensateur 64. Cet écart constitue la bande d'action proportionnelle du régulateur. Les résistances (68 et 69) en série respectivement avec les transistors (66 et 67) étant réglables, on dispose ainsi d'une action intégrale de constante de temps indépendamment au chauffage et au refroidissement. En période de nuit, on peut, sans retoucher la résistance réglable 18, abaisser la température de consigne à une valeur prédéterminée par déplacement du commutateur 76 sur le plot NL, ce qui vient fausser le pont dans des conditions prédéterminées, fonction du réglage préalable de la résistance 74.

3) AVANTAGES

Le régulateur que nous avons décrit présente de nombreux avantages. Le fait que la mesure s'effectue par un pont de Wheatstone élimine l'influence des variations de tension du réseau, sans qu'il soit nécessaire de prévoir une alimentation stabilisée. D'autre part, l'échauffement de la thermistance par effet joule est négligeable car les impulsions sont de courte durée, ainsi elle peut être de petites dimensions ce qui réduit son inertie thermique et rend la mesure plus rapide et plus précise. En dehors des impulsions la thermistance se met exactement à la température du local car aucune courante ne la traverse. Nous avons parlé de l'inertie thermique car elle est très importante et dans le cas où l'inertie du régulateur n'est pas négligeable devant celle du corps de chauffe, la boucle de régulateur est le siège d'oscillations spontanées connues sous le nom de "POM PAGE" l'émission calorifique que s'effectue alors par trains de chaleur préjudiciables au confort et à l'économie d'énergie.



Régulateur Electronique de Température

624 Choix des régulateurs:

a) Régulateur proportionnel de la température

-Dans les salles:

$$T = 270 \text{ h}$$

$$T_o = 50 \text{ h}$$

$$\text{donc } \frac{T_o}{T} = 0,18 \text{ h}$$

$$K_{ob} \text{ moy} = 0,2^\circ\text{C}/\%$$

On tire de la caractéristique $(\frac{T_o}{T}, K_o)$,

$$1,7 \leq K_o \leq 8,1 \text{ (marge de sécurité prise en considération)}$$

D'où on tire le coefficient d'amplification $K_r = \frac{K_o}{K_{ob}}$

Pour que notre système soit stable il faut que: $8,5 \leq K_r \leq 40,5$ avec une erreur

statique E_o définie par $\frac{1}{1+8,1} \leq E_o \leq \frac{1}{1+1,7}$ c'est à dire

$$10,8\% \leq E_o \leq 37\%$$

-Réchauffeurs:

$$T_o = 18\text{s}$$

$$K_{ob} \text{ moy} = 0,4^\circ\text{C}/\%, \quad \frac{T_o}{T} = 1,05$$

$$T = 17\text{s}$$

T

On tire de la caractéristique $(\frac{T_o}{T}, K_o)$, $0,15 \leq K_o \leq 2,16$

(marge de sécurité prise en considération). D'où le coefficient d'amplification

$$K_r = \frac{K_o}{K_{ob}}$$

Kob

Pour que le système soit stable il faut que $0,37 \leq K_r \leq 5,04$ avec une erreur statique E_o comprise entre 31 % et 87 %.

-Laveur

$$T_o = 22\text{s}$$

$$T = 25\text{s}$$

$$K_{ob} \text{ moy} = 0,2^\circ\text{C}/\% \Rightarrow \frac{T_o}{T} = 0,88$$

On tire de la caractéristique $(\frac{T_o}{T}, K_o)$ $0,75 \leq K_o \leq 2,25$
(marge de sécurité prise en considération)

Pour que notre système soit stable il faut que:

$3,75 \leq K_r \leq 11,25$ avec une erreur statique comprise entre 30% et 57%

Régulateur PI de température:

-Dans les salles:

$$\frac{T_0}{T} = 0,18 \text{ on tire } 5 \leq K_0 \leq 10.$$

Poin que le système soit stable il faut que $\frac{T_i}{T_0} \leq 3$

c'est à dire $T_i \leq 3 \times 0,18 = 0,54$ Doit $\frac{T_a}{T} \leq 0,54$

-Réchauffeurs:

$$\frac{T_0}{T} = 1,05 \Rightarrow 1 \leq K_0 \leq 2 \text{ critère de stabilité } \Rightarrow \frac{T_a}{T} \leq 3,15$$

-Laveur

$$\frac{T_0}{T} = 0,88 \Rightarrow 2 \leq K_0 \leq 5$$

critère de stabilité $\Rightarrow \frac{T_a}{T} \leq 2,64$

Etude de la stabilité

On dit qu'un système linéaire est stable lorsque, écarté de sa position d'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 croit.

Etude par la courbe amplitude phase:

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

L'amplitude et la phase de l'objet sans gain statique sont :

$$H(P) = H_1(P) \cdot H_2(P) = \frac{e^{-T_0 P}}{1 + T_1 P} \text{ avec } H_1(P) = e^{-T_0 P}$$

$$\text{et } H_2(P) = \frac{1}{1 + T_2 P} \quad P = j\omega$$

$$|H_1(j\omega)| = 1 \quad \varphi_1 = -\omega T_0 \quad (rd)$$

$$|H_2(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T_2)^2}}, \quad \varphi_2 = -\arctg \omega T_2$$

$$\text{d'où } \left\{ \begin{aligned} |H| &= |H_1| \cdot |H_2| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T_2)^2}} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi &= \varphi_1 + \varphi_2 = -\omega T_0 - \arctg \omega T_2 \end{aligned} \right.$$

$$\omega T_0 = \omega T_2 \cdot \frac{T_0}{T_2} \text{ d'où le tableau 6241}$$

WT	$ H_1(j\omega) $	$ H_2(j\omega) $	$ H(j\omega) $	φ_2	SALES		LAVEUR		RECHAUFFEURS	
					φ_1	φ	φ_1	φ	φ_1	φ
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0,5	1	0,89	0,89	-26,5	-0,09	-26,59	-0,44	-26,94	-0,525	-27,02
1	1	0,70	0,70	-45	-0,18	-45,18	-0,88	-45,88	-1,05	-46,05
2	1	0,44	0,44	-63,4	-0,36	-63,76	-1,76	-65,16	-2,1	-65,5
4	1	0,24	0,24	-75,9	-0,72	-76,62	-3,52	-79,42	-4,2	-80,1
8	1	0,12	0,12	-82,8	-1,44	-84,24	-7,04	-89,84	-8,4	-91,2
16	1	0,06	0,06	-86,4	-2,88	-89,28	-14,08	-100,48	-16,8	-103,2
32	1	0,03	0,03	-87,13	-5,76	-92,89	-28,16	-105,29	-33,6	-120,73
64	1	0,015	0,015	-89,1	-11,52	-100,62	-56,32	-145,42	-67,2	-156,3
128	1	0,0075	0,0075	-89,55	-23,04	-112,59	-112,64	-202,19	-134,4	-223,95

TABLEAU 624.1

Pour le régulateur P, on aura le même tableau seulement le module sera

$$K_0 |H|. \quad \text{Pour le régulateur PI: on aura } G(p) = K_0 \frac{e^{-T_0 p}}{1 + T_I p} \left(1 + \frac{1}{T_I p}\right)$$

$$= K_0 H_1(p) \cdot H_2(p) \cdot H_3(p) \quad \text{avec } H_3 = \left(1 + \frac{1}{T_I p}\right)$$

$$\varphi_3 = -\arctan \frac{1}{\omega T_I}$$

$$\omega T_I = \omega T \frac{T_I}{T} = \omega T \cdot 3 \cdot \frac{T_0}{T} = 3 \omega T \cdot \frac{T_0}{T}$$

$$|G(p)| = K_0 |H_1(p)| \cdot |H_2(p)| \cdot |H_3(p)| = K_0 |H(p)| \cdot |H_3(p)|$$

$$\psi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 \quad \text{or } \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi \Rightarrow$$

$$\psi = \varphi + \varphi_3$$

d'où le tableau 624.

Conclusions:

Lors du passage de la courbe par la droite $\psi = -180^\circ$, l'amplitude est tellement petite que même si on la multiplie par K_0 max elle n'atteindra pas 1 (ceci est valable pour les 3 cas).

Donc on a stabilité dans les salles, laveur et rechauffeur aussi bien pour régulateur P que PI donc notre choix va se porter sur le régulateur P car il est plus simple et moins coûteux.

WT	(H ₂ O)	SALLES					LAVEUR					RECHAUFFEUR								
		H ₂ O	150/Kg	Y ₃	Y	Y	WT	(H ₂ O)	150/Kg	Y ₃	Y	Y	WT	H ₂ O	150/Kg	Y ₃	Y	Y	WT	
0	1	∞	∞	∞	0	∞	0	∞	∞	∞	0	∞	0	∞	∞	∞	0	∞	∞	0
0,5	0,19	3,83	3,40	-74,89	-26,59	-101,5	0,27	1,25	1,11	-37,1	-26,9	-64,04	1,32	1,18	1,05	-32,4	-27,0	-59,4	1,57	
1	0,7	2,1	1,47	-69,63	-45,18	-106,8	0,54	1,07	0,75	-20,7	-45,9	-66,6	2,64	1,05	0,73	-17,6	-46,1	-63,6	3,15	
2	0,44	1,36	0,26	-42,79	-63,76	-106,5	1,08	1,01	0,44	-10,7	-65,2	-75,9	5,28	1,01	0,44	-9,01	-65,5	-74,5	6,3	
4	0,24	1,1	0,264	-24,84	-76,62	-101,4	2,16	1	0,24	-5,4	-79,5	-84,8	10,56	1	0,24	4,53	-80,1	-84,6	12,6	
8	0,12	1,02	0,12	-13,03	-84,24	-97,2	4,32	1	0,12	-2,7	-89,8	-92,5	21,12	1	0,12	-2,27	-91,2	-93,5	25,2	
16	0,06	1	0,06	-6,6	-89,3	-95,8	8,64	1	0,06	-1,37	-100,5	-101,8	42,24	1	0,06	-1,13	-103,2	-104,3	50,4	
32	0,03	1	0,03	-3,31	-92,89	-96,2	17,28	1	0,03	-0,67	-115,3	-115,1	84,48	1	0,03	-0,57	-120,7	-121,3	100,8	
64	0,015	1	0,015	-1,65	-100,62	-102,3	34,56	1	0,015	-0,34	-145,4	-145,7	168,96	1	0,015	-0,28	-156,3	-156,6	201,6	
128	0,0075	1	0,0075	-0,83	-112,8	-113,4	69,12	1	0,0075	-0,17	-202,2	-202,4	337,92	1	0,0075	-0,14	-223,9	-224,1	403,2	

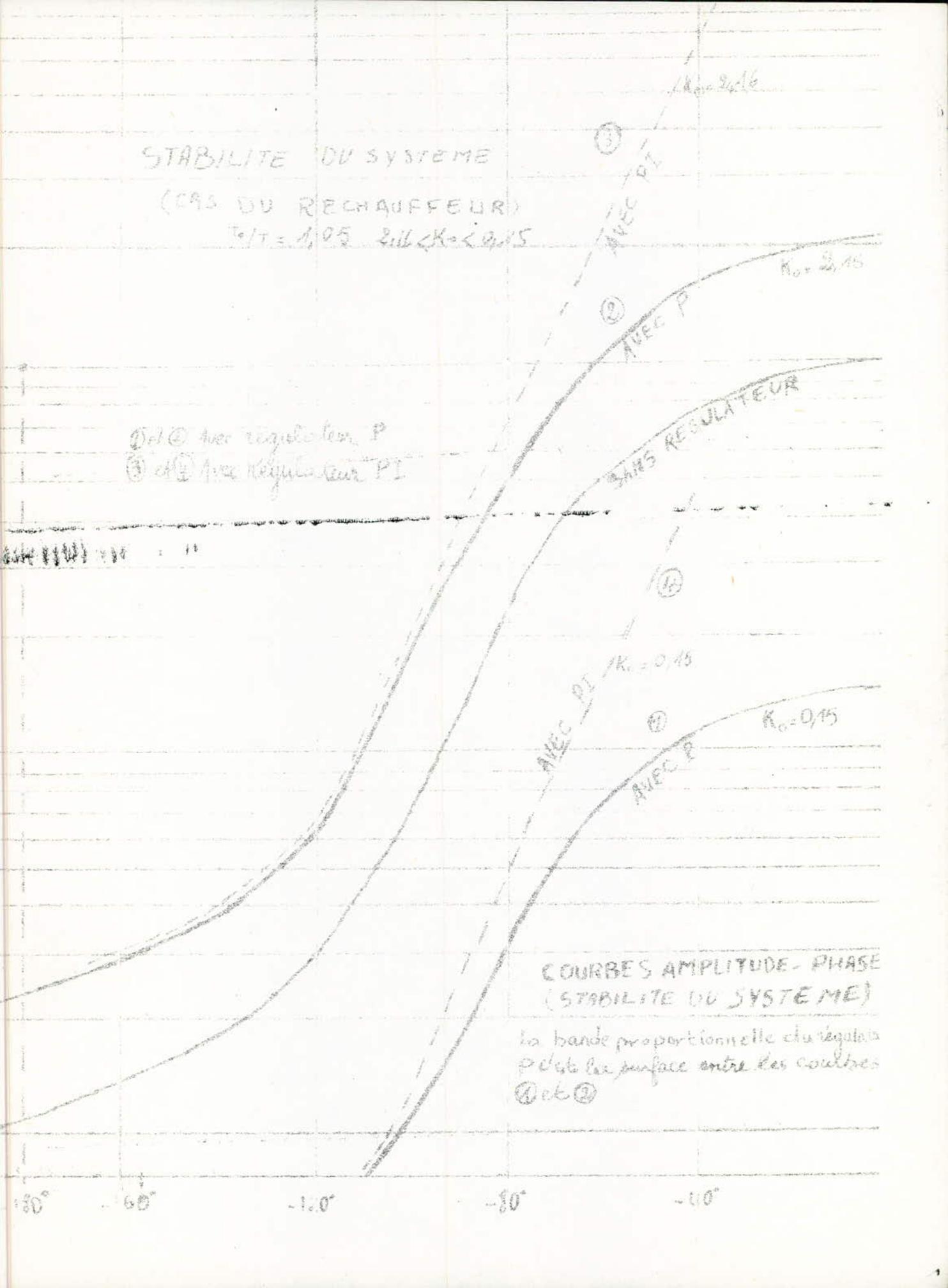
TABLEAU 6.2.4.2

STABILITE DU SYSTEME

(CAS DU RECHAUFFEUR)

$T_e/T = 1,05$ $2,16 < K_0 < 2,45$

Del ① avec régulateur P
 ② et ③ avec régulateur PI



COURBES AMPLITUDE - PHASE
 (STABILITE DU SYSTEME)

La bande proportionnelle du régulateur P est la surface entre les courbes ① et ②

625 OPTIMISATION

Le but de tout système de régulation d'un processus est d'obtenir pour le système réglé le meilleur produit en quantité maximale et au prix le plus bas. Pour cela et grâce à un calculateur on utilise la régulation optimisante qui consiste à remplir trois critères.

a) Minimisation du temps de réponse t_p

À partir des caractéristiques (6251) et (6252) on tire K_0 correspondant à $T_0 = 0,18$ (exemple choisi: Les Salles) on trouve

$K_0 = 1,5$ pour régulateur P et $K_0 = 3$ pour régulateur PI avec $\frac{T_c}{T_0} = 4$

b) Minimisation du coefficient d'amortissement

Un régime transitoire doit être assez rapide et bien amorti.

Pour cela on doit déterminer un temps t_p minimum en tolérant 20% des suroscillations. En utilisant les caractéristiques (6251) et (6253) on trouve K_0 correspondant à $T_0 = 0,18$ (Les Salles).

$K_0 = 3,5$ pour régulateur P et $K_0 = 3$ pour régulateur PI ; $\frac{T_c}{T_0} = 2,4$

c) Critère de l'intégral du carré de l'écart.

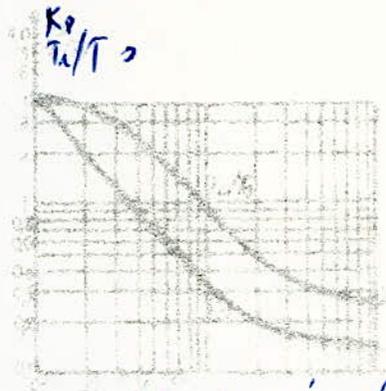
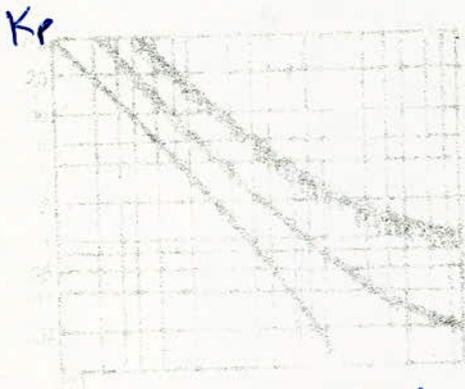
La performance d'un système est d'autant meilleure que la qualité de l'intégral $I = \int_0^{\infty} E^2(t) dt$ est plus faible, E : écart.

À partir de la caractéristique (6254) et pour $T_0 = 0,18$ (Salles) on tire

$K_0 = 6$ et $\frac{T_c}{T_0} = 3,5$ pour régulateur PI

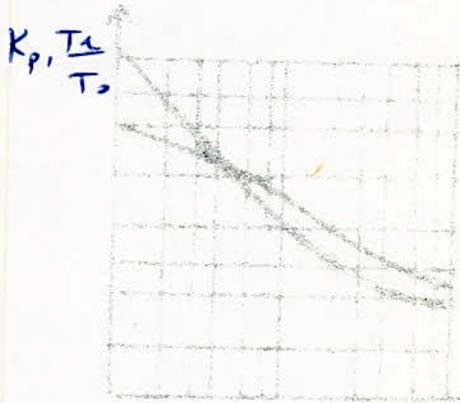
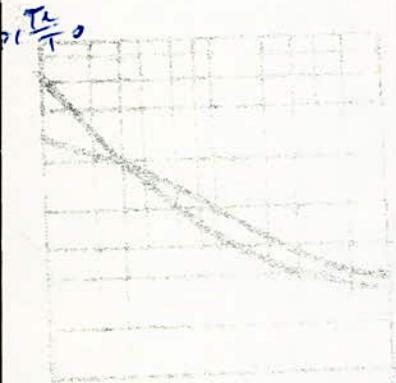
TABLEAU RECAPITULATIF DE LA RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE

	TYPE	K_0	T_0/T	T_c/T_0
t_p minimum	P	1,5	0,18	-
	PI	3	0,18	4
20% des suroscillations	P	3,5	0,18	-
	PI	3	0,18	2,4
$I = \int_0^{\infty} E^2(t) dt$	P	-	-	-
	PI	6	0,18	3,5



6252 mise au point optimal du régulateur P
 1- parcours aperiodique avec minimum t_p
 2- parcours avec 20% d'amplitude maximale

fig 6253 mise au point du régulateur PI (optimal) pour le parcours aperiodique
 t_p : minimum



6253 mise au point du régulateur PI pour 20% d'amplitude maximale et t_r min

6254 mise au point optimale du régulateur PI selon le critère de l'intégral du carré de l'écart (minimisation)

63 Analyse et choix des Servomoteurs.

Les servomoteurs reçoivent les signaux émis par le régulateur sous différentes formes suivant le type de régulation, (hydraulique, pneumatique, électrique...), Ils agissent sur les éléments de réglage (vannes, clapets) pour contrôler le débit.

631 DIFFERENTS TYPES DE SERVOMOTEURS

On peut rencontrer des servomoteurs hydrauliques, électriques pneumatiques et électropneumatiques. Leur action peut être continue ou discontinue (pas à pas).

Servomoteur continu électrique (Moteurs Modutrol)

Les moteurs modutrol sont destinés à la commande des registres d'air ou de vannes de régulations de tous les systèmes de chauffage, de réfrigération ou d'air conditionné. Ils sont commandés directement par toutes les variétés de régulateur électronique ou indirectement soit en tout ou rien soit par l'intermédiaire de dispositifs appropriés. Il existe un modèle avec ressort de rappel permettant un retour mécanique du moteur à une position définie à l'avance par manque de tension.

Les moteurs modutrol de la série M 944 B-J sont prévus pour être commandés par des régulateurs extérieurs électroniques ou non.

Lorsque le moteur est utilisé avec un régulateur électronique une variation de température détectée aux bornes de la sonde déséquilibre le pont de mesure permettant ainsi au relais commandé par l'amplificateur de mettre l'enroulement approprié du moteur sous tension de manière à le faire tourner dans le sens de la correction. Dans le même temps le curseur du potentiomètre se trouve entraîné par la rotation du moteur permettant rééquilibrer le circuit et de stopper le moteur à une position définie.

632 Choix des servomoteurs

On a choisi les moteurs ^{MODUTROLS} car ils peuvent être commandés directement par toutes les variétés de régulateurs électroniques ou indirectement soit en tout ou rien soit par l'intermédiaire de dispositifs appropriés.

De plus, ils sont peu encombrants et peuvent être utilisés avec un générateurs d'impulsions comme servomoteurs pas à pas.

64 ANALYSE ET CHOIX DES VANNES:

Dans les installations de climatisation les vannes motorisées sont utilisées principalement pour le réglage continu de l'émission calorifique d'échangeurs de chaleur. En liaison avec un régulateur, la vanne motorisée doit modifier la puissance calorifique aussi proportionnellement que possible par rapport à la course de la vanne. Ce ci suppose un certain comportement de la vanne dans l'installation hydraulique, comportement qui est une majeure partie déterminé par les conditions de pression existantes.

641 DIFFERENTS TYPES DE VANNES:

On peut classer les vannes à partir du nombre de voies:

a) VANNES à deux voies:

Les couramment employées sont:

-Vannes papillon:

Elle conviennent partout où il n'est pas nécessaire d'obturer hermétiquement et permettent une manœuvre rapide. Elle s'emploient surtout en tout ou rien.

-Robinets à soupapes:

Ce sont des organes de réglage du débit du fluide. Les pertes de charge y sont plus importants que dans les vannes à papillon.

-Robinets à pointeau:

Ce sont des robinets à soupapes où le disque d'obturation est remplacé par un pointeau. Ils permettent d'obtenir une très grande précision dans le réglage du débit.

b) VANNES à trois voies:

Elles permettent soit le mélange soit la répartition. Elles sont très employées en régulation par exemple pour mélanger des eaux de départ et de retour. Elles comportent un corps avec trois orifices et un clapet intérieur modifie l'ouverture de chacun des orifices.

On les emploie aussi pour l'isolement des chaudières eau chaude. Dans ce cas, la vanne est montée sur le départ et la troisième voie sert à mettre l'intérieur de la chaudière en communication avec l'atmosphère en cas d'isolement. C'est alors une vanne de sécurité.

c) VANNES à quatre voies:

Elles sont utilisées pour répartir ou mélanger.

642 GRANDEURS caractéristiques pour le calcul des vannes

-La perte de charge ΔP_V désigne la perte de pression en m CE (ou kg/cm^2) qui se produit dans la vanne motorisée pour un débit maximum (ouverture totale). -Le débit d'eau K_V en m^3/h provoque dans la vanne un ΔP de 1kg/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 nominal particuliers. C'est une grandeur spécifique de la vanne.

Remarque:

On détermine K_V soit graphiquement soit par le calcul d'après la relation:

$$K_V = \frac{Q}{1000 \Delta t} \sqrt{\frac{1}{\Delta P_V}} \quad \text{avec}$$

Q puissance calorifique en K cal/h

ΔP_V chute de pression dans l'organe de réglage en kg/cm^2 (perte de charge).

Δt différence de température départ/retour en °C.

643 Détermination du diamètre nominal de la vanne.

Tout d'abord, on choisit la perte de charge ΔP_V nécessaire, pour le circuit hydraulique. Connaissant le débit G en m^3/h et la perte de charge ΔP_V en m CE, on trouve la valeur K_V en se servant du diagramme I ;

$$G = \frac{Q}{c \Delta t} \left[\frac{10^3 \text{kg}}{\text{h}} = \text{m}^3/\text{h} \right]. \text{ Pour les vannes à deux voies } K_{VS} = 0,5 K_V$$

Pour les autres vannes $K_{VS} = K_V$. Connaissant K_{VS} , on trouve pour le type prévu de vanne motorisée le diamètre nominal en mm.

a) Réchauffeur primaire:

Puissance calorifique 50 000 K cal/h

$$\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$$

Pression nominale de la pompe 3,5 kg/cm²

$$\Delta P_v = 20 \% \cdot 3,5 = 0,7 \text{ kg/cm}^2 = 7 \text{ m C E}$$

D'après le diagramme I, on tire $K_v = 6 \text{ m}^3/\text{h}$

$$K_{vS} = 0,5 K_v = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Vanne à deux voies)}$$

D'où le diamètre $d = 15 \text{ mm}$

b) Réchauffeur secondaire:

même valeurs que le réchauffeur primaire.

c) Refroidisseur:

Puissance frigorifique 50 000 FRIGO-CALORIES/h

$$\Delta t = 09^{\circ}\text{C}$$

$\Delta P_v = 0,5 \text{ kg/cm}^2 = 5 \text{ m C E}$. D'après le diagramme , on tire $K_v = 8 \text{ m}^3/\text{h}$

$$K_{vS} = 0,5 K_v = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Vanne à deux voies)}$$

d'où le diamètre $d = 20 \text{ mm}$.

644 Choix des vannes

On choisit pour les circuits d'eau des électro-vannes modulantes S C S car elles présentent une grande stabilité due à l'effet d'hysteresis de la commande magnétique modulante, et le déplacement de leur soupape peut s'effectuer par $\frac{1}{100}$ mm, ce qui permet de moduler de très faibles débits.

645 REGISTRES

Ce sont des appareils constitués par un ou plusieurs volets destinés à régler un débit d'air. On distingue deux types:

-Type papillon

Composé d'une seule lame pivotant sur son centre

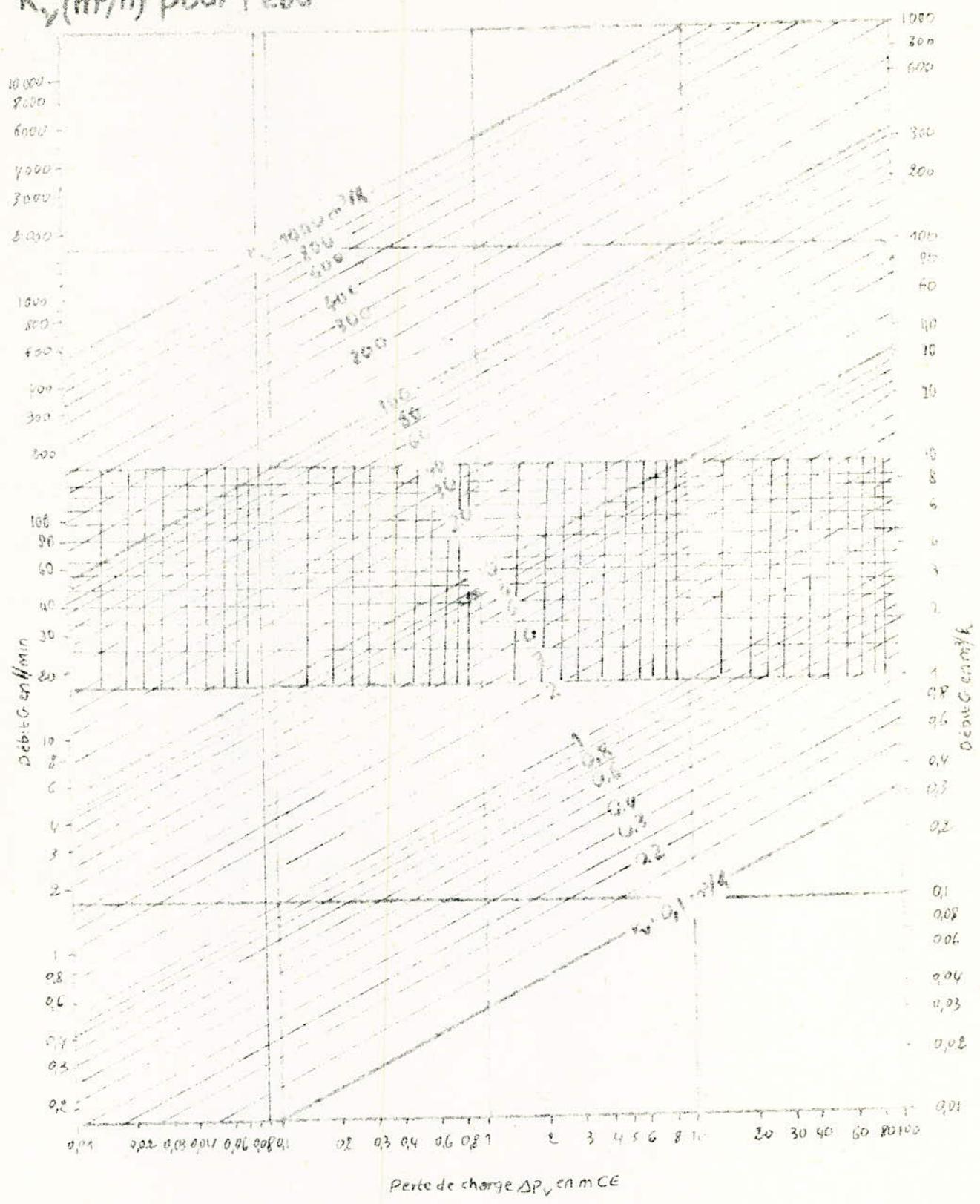
-Type à jalousies

Composé d'une série de lames pivotant sur leurs centres.

REMARQUE

Les clapets forment une partie intégrale de la centrale de climatisation. Leur choix revient aux technologues.

Diagramme 1 pour la détermination du coefficient de vanne K_v (m^3/h) pour l'eau



VII ETABLISSEMENT DU PROJET

71 Localisation des éléments de commande et de mesure

711 Capteurs

La sonde extérieure sera installée dans un endroit non ensoleillé. Les installations n'ayant qu'une seule régulation auront la sonde extérieure placée sur un mur face au nord de préférence. Le meilleur résultat sera obtenu si la sonde est montée dans un endroit facilement accessible et où une température moyenne pourra être détectée. Le thermostat d'ambiance sera placé à un endroit où la température est la plus représentative. Il sera situé à 1m 60 de haut et ne sera pas fixé sur un mur directement influencé par la température extérieure. En outre éviter la proximité de sources de chaleur (radiateurs, lampes à incandescence...). L'hygrostat d'ambiance sera installé dans tout endroit où l'humidité de l'air à réguler sera le plus conforme à la réalité. Cet endroit ne devra pas subir de brusques variations de température qui pourraient donner lieu à une condensation sur les éléments sensibles et qu'il faut éviter. L'hygrostat sera placé à environ 1m 60 du sol où il existera une circulation d'air. L'hygrostat sera installé dans une ambiance propre. Ces éléments ne doivent pas être utilisés dans les atmosphères suivantes:

- Vapeur
- Vapeur acide
- Ammoniac
- Vapeur alcaline
- Atmosphères salines
- Acide sulfurique
- Acétylène
- Chlore.

712 SERVOMOTEURS:

Ils seront placés de telle façon que l'axe de commande devra toujours être parallèle au sol. Cette condition est destinée à assurer le barbotage des pignons dans le bain d'huile. Il faut éviter de placer les moteurs au dessus des vannes de régulation lorsque celles-ci contrôlent une température d'un fluide d'une température supérieure à 120°C . Deux ouvertures préembouties sont prévues de chaque côté du moteur pour permettre l'accès au bormier de raccordement. Si les moteurs sont soumis aux intempéries, prévoir le nécessaire d'étanchéité.

Ne pas utiliser les moteurs dans des atmosphères explosives, vapeur et acides.

713 Vannes de réglage:

Elles seront placées sur les circuits d'alimentation en eau chaude et froide à l'entrée des échangeurs. Elles sont liées mécaniquement aux servomoteurs.

714 Régulateurs:

Ils sont placés dans le tableau de commande. Ce dernier doit être situé à côté de la centrale de climatisation ou dans une chambre pour les mesures centralisées et la commande.

22 Spécification des éléments de commande et de mesure

1 N°	2 NATURE	3 INDICE	4 DONNÉES TECHNIQUES	5 N° de ref.	6 N° de référence	7 Fournisseur	8 REMARQUES
1	THERMOMETRE D'AMBIANCE	$T_A \pm T_m$	<ul style="list-style-type: none"> - Etendue de mesure $-20^\circ\text{C} \div 50^\circ\text{C}$ - Résistance de mesure platinée 100Ω - Boîtier matière plastique compatible - Mode de montage: mural - Pose de lignes: encastré 	11	M74314-B33	SIEMENS MP11 1978 (RFA)	Peut être remplacé par Ton Ref: 48000400000 MICROMIK 75 HONEY-WELL
2	HYGROMETRE D'AMBIANCE	$H_A \pm H_m$	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance de mesure 100Ω à 5°C - Température admissible $-40^\circ \div 70^\circ\text{C}$ - Etendue de mesure $10\% \div 100\%$ - Vitesse d'air admissible $\leq 3\text{ m/s}$ - Temps de réponse à $50\% \approx 75\text{s}$ 	11	M55402	SIEMENS MP11 1978 (RFA)	Peut être remplacé par Hor Ref 40001409601 Echelle de réglage $15\% \div 95\%$ MICROMIK 75 HONEY-WELL
3	THERMOMETRE BASSE PRESSION (POUR GAINÉ)	T_{12}	<ul style="list-style-type: none"> - Etendue de mesure jusqu'à 150°C - Sans cap - Longueur d'immersion: 23 cm - Résistance de mesure Pt. noyée dans le verre (antivibration) - Poids 0,8 Kg 	1	7MC10063AC1	SIEMENS MP11 1978 (RFA)	Peut être remplacé par Ton Ref 40001400000 MICROMIK 75 HONEY WELL
4	THERMOMETRE A BRIDE (POUR TUYAUTERIE)	T_{13}	<ul style="list-style-type: none"> - Etendue de mesure jusqu'à 400°C - Résistance de mesure Pt. noyée dans le céramique - Longueur d'immersion: 16 cm - Solet de raccordement avec renfort de pression - Poids approximatif: 0,1 Kg 	1	7MC10171BA1	SIEMENS MP11 1978 (RFA)	

2	3	4	5	6	7	8
REGULATEUR ELECTRONIQUE DE TEMPERATURE	RE1, RE2	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation 220V-50Hz - Plage de mesure $0 \div 30^{\circ}\text{C}$ - Bande de proportionnalité $0,5 \div 9^{\circ}\text{C}$ - Température ambiante $0 \div 50^{\circ}\text{C}$ - $T_i = 0 \div 350\text{s}$ 	2	SCS_KLIMO HyperDK...G	Steifa Control System (SUISSE)	HONEY-WELL
REGULATEUR AVEC SOMMATION DES IMPULSIONS (TEMPERATURE)	RS1	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation 24V-50Hz - Nombre d'entrées $2 \div 6$ (chaque entrée reliée à deux capteurs) - T_i réglable de 500 à 1000s - Zone d'insensibilité $0,5^{\circ}\text{C}$ pour les thermomètres à contact - Relais de sortie 220V-10A - $B_p = 0,5 \div 10^{\circ}\text{C}$ 	1	SWW 0917-23	BEL OS POLOGNE	SIEMENS ou 123
REGULATEUR AVEC SOMMATION DES IMPULSIONS (HUMIDITE)	RS2	MEME CHOSE QUE 6 mais $B_p = 1\% \div 20\%$	2	SWW.0917-23	BEL OS POLOGNE	
RELAIS		<ul style="list-style-type: none"> - Tension d'alimentation 220V-50Hz - Nombre de paires de contact 3 - S'ouvrent et se ferment en même temps - $I_n = 10\text{A}$, 220V 	4	X15	RE FA POLOGNE	SIEMENS ou AEG
SERVOMOTEUR MODUTROL	S1-S5	<ul style="list-style-type: none"> - Tension d'alimentation 24V, 50/60Hz - consommation 15W - couple 16,7 N.m - force maximale sur l'arbre <ul style="list-style-type: none"> - 90kgf côté travail - 45kgf côté opposé - température ambiante $-10^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$ 	5	M944BJ	HONEYWELL	

2	3	4	5	6	7	8
SONDE DE TEMPERATURE EXTERIEURE (10)	T_{10}	<ul style="list-style-type: none"> Element a resistance type BALCO Resistance nominale a 23°C 500 Ω Sensibilité $22 \Omega / ^{\circ}\text{C}$ Fonction: polystyrène a haute resistance Montage mural en surface 	1	T7036A	HONEYWELL	
ELECTROVA- NNE FILE- TEE (A 2 VOIES) (11)	V_1, V_2, V_3	<ul style="list-style-type: none"> Diametre nominal 15 mm Puissance absorbée 16 W Temperature de fluide $2^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ Temperature ambiante $2^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ Pression maximale d'utilisation 16 Kg/cm^2 Coups de manne bronze Caractéristique de débit linéaire Durée de course 1 A $KV_5 = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ 	2	M2V 15G	SCS	
ELECTROVA- NNE FILE- TEE A 3 VOIES (12)	V_3	<p>MEME CHOSE QUE 11 mais - Diametre nominal 25 mm $KV_5 = 8 \text{ m}^3/\text{h}$</p>	1	M3V85G	SCS	

73 TABLEAU DE COMMANDE

Le tableau de commande nous permet de s'assurer du bon fonctionnement de notre système et faire des mesures à distance au lieu de se déplacer d'une salle à une autre pour relever les valeurs de la température et d'humidité relative. On distingue deux parties dans le tableau de commande -La partie supérieure est formée de quatre colonnes représentant chacune une boucle de régulation (RS1, RS2, RE1, RE2). Dans chaque colonne on trouve une case sur laquelle on peut lire l'une des quatre indications RS1, RS2, RE1, ou RE2. Un impulsateur (5) avec une lampe blanche (6) signalant son fonctionnement, des indications permettent de savoir si l'organe de réglage est entrain de se fermer (7) respectivement (s'ouvrir 8) grâce au clignotement d'une lampe verte (9) respectivement (rouge 10). L'organe de réglage est complètement ferme (11) respectivement (complètement ouvert 12) si la lampe rouge 10 est allumée. On peut aussi à distance (13) ou fermer (14) l'organe grâce à deux boutons poussoirs (15). -La partie inférieure de gauche est réservée au contrôle de l'alimentation électrique (18) à l'aide de la lampe témoin (10) et ceci en actionnant un bouton poussoir (15). Dans la partie inférieure de droite on a un impulsateur (16) pour la commande à distance avec une lampe témoin (6); une commande manuelle et automatique (17). Par action du commutateur de position (19) et un appareil de mesure à distance (20) avec un commutateur de position qui nous permet de déterminer la valeur de la grandeur à mesurer dans le lieu choisi.

74 MONTAGE ELECTRIQUE

Le système de montage doit être élaboré avant la réalisation du projet Il se compose à partir des schémas des éléments de la commande fournis par le constructeur. Il contient le schéma de montage du tableau de commande et les schémas des éléments extérieurs et intérieurs ainsi que les connexions entre ces éléments au niveau du tableau de commande.

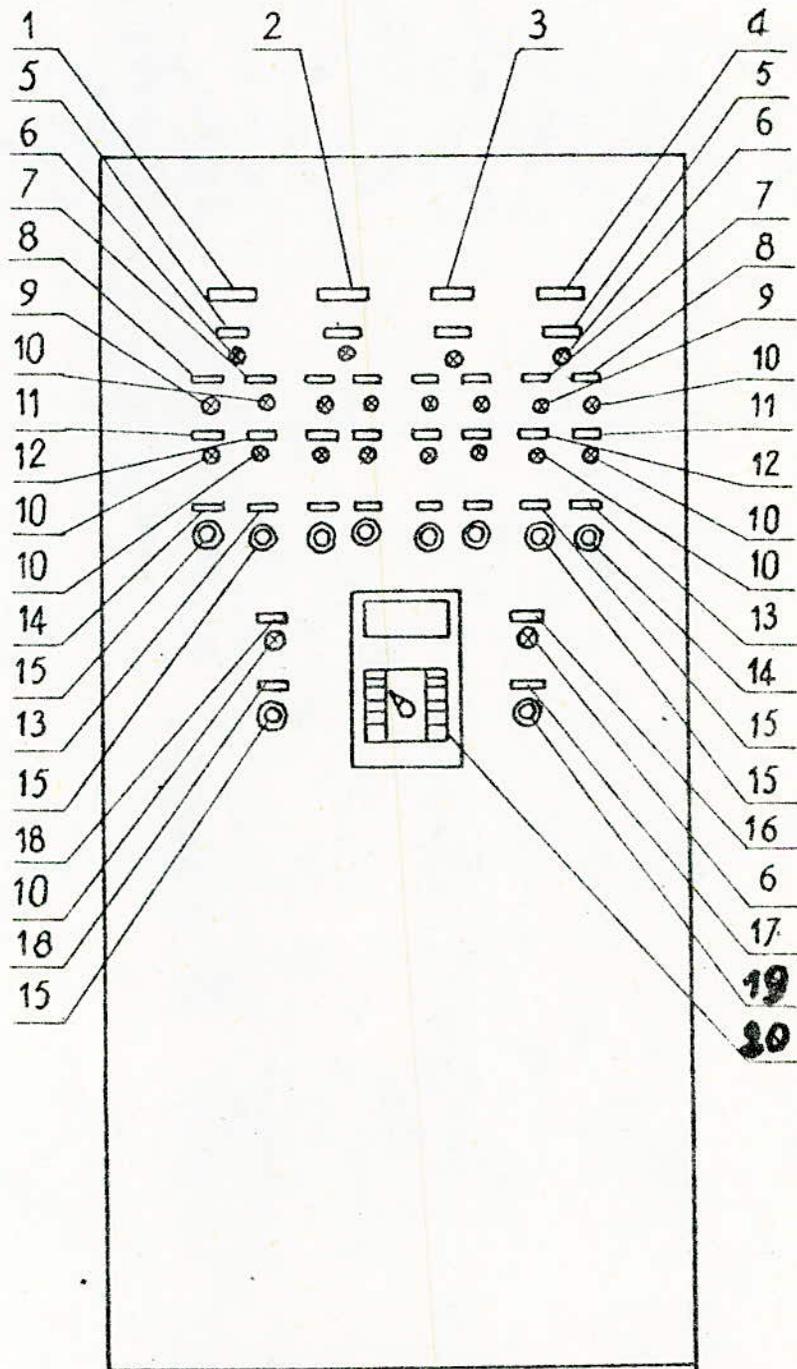


TABLEAU DE COMMANDE

*
*
*
*
*
*
*
*

C O N C L U S I O N

Nous avons eu l'intention de faire l'etude de la regulation du systeme de climatisation des salles du C.H.U Mustapha, mais comme cette installation n'etait pas encore prete, ce qui nous a empeche de faire des mesures sur place, nous avons pris des valeurs, provenant de l'atlas des caracteristiques dynamiques et statiques pour des conditions semblables à celles rencontrees au C.H.U.

Dans notre etude , certains points ^{ont} ete brievement traites car ils figurent ~~dé~~ja dans d'autres projets, afin d'axer notre travail sur des choses nouvelles

Nous ne terminerons pas, sans signaler toutes les difficultes et problemes que nous avons rencontres pour terminer ce travail et ceci, malgre l'aide de notre departement.

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

- Traite de chauffage et de climatisation T (H. RIETSCHEL W. RAISS)
- Calcul des vannes motorisees (LANDIS AND GYR).
- Regulateur electronique de temperature et ses applications (BREVET N° 7618103)
- Humidificateur a resistance electrique (BREVET N° 7727357).
- Determination des transmittances par l'analyse indicielle (E DF LABO DES ESSAIS)
- Appareils d'analyse industriels et appareils de mesure de temperature (CATALOGUE MP 11 SIEMENS).
- Regulation electronique (HONEYWELL).
- Determination des coefficients de reglage (E DF LABO DES ESSAIS)
- Electrovanne modulante (S C S).

