

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Electrotechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

SUJET

Commande Automatique de la
Température et de l'Humidité d'une
Serre Agricole.

Proposé par :

M^r Z. BARSKI

Etudié par :

GHANEM Mohamed Cherif

et

SAHRAOUI Lazhar

Dirigé par :

M^r Z. BARSKI

PROMOTION : Juin 1986



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Electrotechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

SUJET

Commande Automatique de la
Température et de l'Humidité d'une
Serre Agricole.

Proposé par :

M^r Z. BARSKI

Etudié par :

GHANEM Mohamed Cherif

et

SAHRAOUI Lazhar

Dirigé par :

M^r Z. BARSKI

PROMOTION : Juin 1986

DEDICACES

à la mémoire de mon père

S. Zaghar

Je dédie ce mémoire

- à mon père
- à ma mère
- à mes frères et sœurs
- à tous mes amis

et tous ceux qui me sont chers

G. Mohamed Ghérif.

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Nous tenons à remercier notre promoteur Barski Docteur es sciences, de nous avoir dirigé et aidé pour l'élaboration de ce modeste travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

وزارة التعليم العالي

LE MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

LE NATIONAL POLYTECHNIQUE

Département: GENIE ELECTRIQUE

Professeur: PROFESSEUR Z. BARSKI

Ingénieur: GHANEM MOHAMED CHERIF

SAHRAOUI LAZHAR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

مطحة: الهندسة الكهربائية

موجه: ز. بارسكي

تلميذ مهندس: غانم محمد الشريف

صحراوي لزهري

الموضوع: التحكم الآلي لدرجة الحرارة والرطوبة لفئة زراعية
الملخص:

محتوى هذه الرسالة يتضمن إنجاز لمشروع التحكم الآلي لدرجة الحرارة والرطوبة لفئة زراعية.
بعد معرفة جميع الخواص الفيزيائية وذلك بناءً على التجارب تم اختيارنا
وتعييننا للعناصر المشكلة لحقبة التحكم الآلي.
اختيار هذه العناصر كان معتمداً أحياناً على التحليل والبحث و أحياناً يكون
معتمداً على الحساب.

Objet: commande automatique de la temperature et de l'humidité d'une serre agricole

résumé:

L'objet de ce memoire consiste en un etablisement d'un projet de commande
automatique de la temperature et de l'humidité d'une serre agricole.

Après avoir déterminé expérimentalement tous les paramètres décrivant le processus
on a procédé à la mise au point des éléments de la commande:

CAPTEURS, REGULATEURS et organes de réglage.

Le choix de ces éléments, basé sur l'analyse et justifié par le calcul

Subject: The Automatic Order Of The Agricultural Greenhouse Temperature And Humidity

Abstract:

The object of this letter consists the creature of the agricultural greenhouse
temperature and humidity on the automatic order project.

After defining all the characteristics of the greenhouse through the
experiments.

We have chosen and affected the order elements:

CAPTURES, REGULATORS and REGLAGE ORGANS.

The choice of these elements is based on the analysis and justified by calculation

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1. NOTIONS ET CONCEPTION DE SERRES.	
1. Définition d'une serre	2
2. Climat de serre	2
3. Conception et principe de fonctionnement de serre	2
3.1. serre du type à capteurs solaires	3
3.2. serre du type à système souterrain d'accumulation de chaleur	5
3.3. serre à double paroi	7
CHAPITRE 2. IDENTIFICATION DU PROCESSUS EN BOUCLE OUVERTE. <small>— thermistances</small>	
1. Présentation de la serre	10
2. Hypothèses	12
3. Méthode d'identification du processus en boucle ouverte	12
3.1 Identification par la méthode de STREJC améliorée	12
3.2 Identification par la méthode de Broïda	15
4. Résultats d'enregistrement des réponses indicielles	16
5. Présentation des résultats d'identification obtenus	20
CHAPITRE 3. ANALYSE ET CHOIX DES ELEMENTS DE LA COMMANDE.	
1. capteurs	21
1.1 capteur de température	21
1.1.1.1 Thermomètre à résistance	21
1.1.1.2 Thermistances	22
1.1.1.3 Thermocouples	22
1.1.2 Choix du capteur	23
1.1.3 Linéarisation du signal de mesure	23
1.2 Capteur d'humidité	24

1.2.1 Hygromètres	24
1.2.1.1 Hygrométrie à condensation	24
1.2.1.2 Hygrométrie à chlorure de Lithium.	24
1.2.1.3 Hygrométrie Electrolytique.. . . .	27
1.2.2. Psychromètres.	28
1.2.3. Choix du capteur	29
2. Régulateurs	29
2.1 Classification des régulateurs électroniques.	29
2.2 Calcul des actions du régulateur.	30
2.2.1 régulateur de température	31
2.2.2 régulateur d'humidité	32
3. Elements exécutifs de réglage.	35
3.1 Vannes	35
3.1.1 Définitions	35
3.1.1.1 Diamètre nominal de la vanne	35
3.1.1.2 Caractéristique de vanne en régulation continue	35
3.1.2 Différents types de vannes	36
3.1.2.1 . vannes à déplacement longitudinal	36
3.1.2.2 . vannes à déplacement circulaire	37
3.1.3. Choix de la vanne.	38
3.1.4. Calcul de la vanne.	38
3.2. Servomoteurs	41
CONCLUSION	42

INTRODUCTION

Compte tenu des besoins en matière de produits alimentaires notamment en légumes frais et pour l'indépendance de l'économie nationale, la culture sous serres est devenue une nécessité pour notre pays.

La culture maraîchère sous serres non équipées de dispositifs de régulation automatique pose actuellement des problèmes de rentabilité du fait que le contrôle de température et d'humidité qui sont deux facteurs primordiaux pour le développement des plantes, n'est pas bien maîtrisé. En outre les serres nécessitent une surveillance permanente de la part du personnel.

L'objectif de ce modeste travail que nous essayerons de présenter, consiste en une mise au point des éléments technologiques qui permettent de maintenir à l'intérieur de la serre un climat adapté à la nature et au stade de développement des plantes.

CHAPITRE : 1

2

NOTIONS ET CONCEPTION DE SÈRES

1. Définition d'une serre :

Une serre est une enceinte ou abri de culture de plantes qui permet de créer un climat artificiel adapté au développement de plantes en dépit du climat naturel extérieur.

2. Climat de serre :

À l'intérieur d'une serre, le climat n'est pas naturel et on peut dire qu'il s'écarte de celui existant à l'extérieur car l'enceinte perturbe les échanges d'énergie et de matière. Les facteurs de l'environnement sont : l'éclairement, la température, l'humidité, la teneur en gaz carbonique et la turbulence.

a. L'éclairement : Les effets de la lumière sur le comportement des cultures dépendent à la fois de sa composition spectrale, de son intensité et de sa durée. Sous serres les conditions d'éclairement sont donc sous l'étroite dépendance du climat lumineux naturel. La meilleure utilisation de ce climat naturel sera liée au choix des matériaux de couverture et aux conditions de leur mise en œuvre.

b. Température : La température de l'air communément prise comme caractéristique du climat de la serre, est la résultante du bilan d'énergie s'établissant sous l'abri.

c. Humidité : Le niveau auquel s'établit l'humidité relative de l'air de la serre dépend à la fois de son contenu en vapeur d'eau et de sa température. Il est donc difficile d'établir une règle générale de variation de l'humidité relative sous serre.

3. Conception et principe de fonctionnement de serres :

Bien que la conception et l'aspect soient très différents d'une serre à l'autre, les principes de base demeurent les mêmes : très bonne isolation thermique, inclinaison

et orientation privilégiant les apports solaires d'hiver et réalisation d'un stockage efficace. Plusieurs techniques de conception ont été mises au point en fonction du site et des besoins. Voici quelques types de serre qui illustrent certaines.

3.1 Serre du type à capteurs solaires

Ce type de serre, indiqué sur la figure I.1, comporte une couverture transparente sous laquelle sont disposés des panneaux solaires comportant deux plaques transparentes entre lesquelles circule un liquide caloporteur. Ces panneaux sont plaqués sous la charpente de sorte qu'ils laissent avec la couverture un espace intermédiaire. Le fluide caloporteur circule dans un circuit fermé composé d'une conduite de retour, un réservoir de sédimentation, des pompes de circulation et des conduites qui aboutissent de nouveau au panneau par l'intermédiaire d'un collecteur.

Le réservoir de sédimentation joue le rôle d'un échangeur thermique représenté schématiquement par un serpentin. Dans le circuit secondaire de cet échangeur, circule de l'eau qui sera stockée dans des réservoirs montés en cascade de manière qu'il se produit une stratification du liquide.

Le réservoir de sédimentation peut être un cylindre horizontal équipé de plusieurs sorties en forme de mamelles convergentes tout le long de sa génératrice inférieure.

Chaque sortie est connectée à une pompe de circulation par l'intermédiaire d'une vanne. Les pompes de circulation sont reliées aux conduites retour par des vannes également.

Le fluide caloporteur est une émulsion dans l'eau d'un produit plus

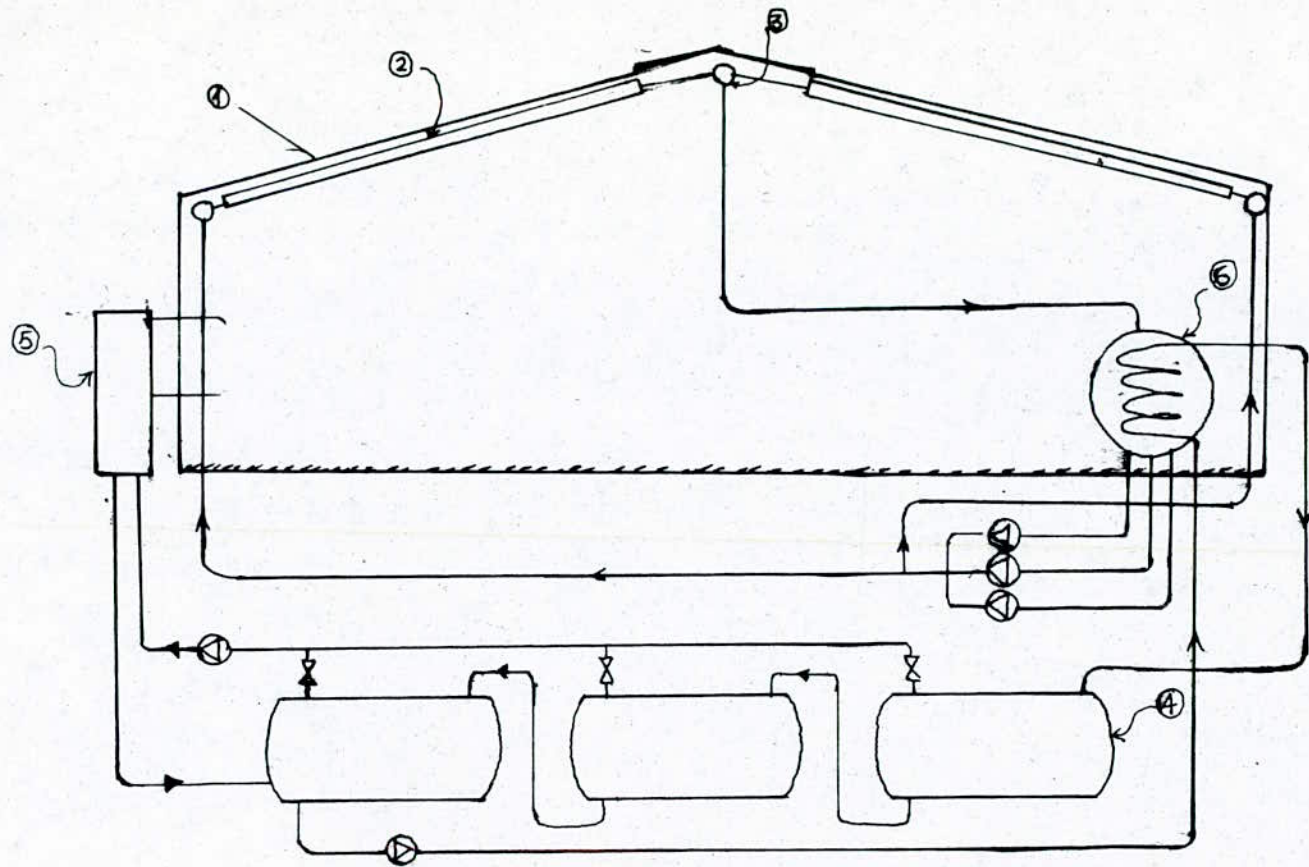


FIG I.1

1. Corps de la serre
2. Panneaux solaires
3. Collecteur

4. Réservoir de stockage de calories
5. Installation de chauffage.
6. Réservoir de sédimentation.

lourd que l'eau de sorte qu'il se produit une sédimentation dans le fond du réservoir où se dépose le produit.

Le produit doit avoir des propriétés d'absorption sélective de la lumière solaire. Il peut avoir également des propriétés réfléchissantes à certaines radiations lumineuses notamment sous des climats très ensoleillés. Il doit diffuser la lumière solaire, ce qui permet d'avoir en tout point à l'intérieur de la serre une lumière bien répartie.

Le coefficient d'absorption varie proportionnellement à la concentration du produit qui est commandée au moyen de vannes.

La serre comporte une installation de chauffage, à titre d'exemple, un appareil de production d'air chaud qui est soufflé dans la serre.

Le fonctionnement est le suivant: pendant les périodes d'ensoleillement, on fait circuler à faible vitesse le fluide caloporteur à partir du réservoir de sédimentation au moyen de pompes. Le fluide qui circule dans les panneaux forme un filtre sélectif qui absorbe les rayons infrarouges et qui laisse passer les rayons ultraviolets.

Les panneaux font fonction de capteurs solaires et l'énergie captée est transférée dans l'échangeur puis stockée dans des réservoirs de stockage de calories. L'eau stockée est utilisée pour alimenter l'installation de chauffage pendant la nuit ou les périodes froides et la circulation du fluide est interrompue.

Les panneaux servent d'écran thermique en association avec l'espace libre. Ils servent aussi pendant les heures d'ensoleillement d'ombrage à opacité modulable.

3.2 Serre du type à système souterrain d'accumulation de chaleur:

Cette serre du type à système souterrain d'accumulation de chaleur

dans laquelle l'énergie rayonnante du soleil est emmagasinée dans le sous sol en vue d'être utilisée pour chauffer l'intérieur de la serre, est capable de maintenir la température dans la serre à un niveau approprié pendant l'hiver. fig I. 2.1

La caractéristique essentielle de cette serre réside dans le fait que l'on emmagasine pendant une période de temps prolongée sous le sol sur lequel se trouve la serre; l'énergie rayonnante du soleil, de sorte que l'énergie thermique ainsi emmagasinée sous le sol peut commencer à se dégager spontanément dans la serre au moment où la saison froide s'établit, cela grâce au retard qui a lieu dans le transfert de chaleur à travers le sol et le dégagement de l'énergie thermique emmagasinée peut durer tout l'hiver.

Le corps principal d'une serre comporte un radiateur sous terrain qui est noyé dans le sol se trouvant en dessous de la serre constitue une section souterraine d'accumulation de chaleur.

Le radiateur souterrain est raccordé à un capteur de chaleur, par une machine de propulsion de fluide, ainsi qu'un réservoir récepteur de manière que l'eau chaude chauffée par l'énergie rayonnante du soleil soit amenée à circuler à travers le système.

Quand la différence de température de l'eau chaude entre l'entrée et la sortie du capteur est supérieure à une valeur prédéterminée et quand la température de sortie est supérieure à une plage prédéterminée, la vanne série s'ouvre et la vanne parallèle se ferme de manière à actionner la machine de propulsion de fluide pour que l'eau chaude circule à travers le système du radiateur souterrain.

Si la température de sortie est inférieure à la plage de valeurs prédéterminée, en dépit du fait qu'il existe une différence de température entre l'entrée et la sortie du capteur de chaleur, la vanne série se ferme et la vanne parallèle s'ouvre de sorte que l'eau chaude évite le radiateur. fig I 2.2.

Quand la différence entre les températures d'entrée et de sortie de l'eau chaude au capteur de chaleur tombe en dessous de la valeur prédéterminée par suite d'une diminution du rayonnement, le fonctionnement du système est arrêté.

De cette façon, l'énergie rayonnante du soleil s'accumule progressivement dans le sol en dessous du corps de la serre.

3.3. Serre à double paroi:

La serre, vue en coupe, comme le montre la figure I.3, est munie d'une double paroi en matière plastique délimitant un volume étanche à l'air et ne communiquant pas avec l'intérieur de l'enceinte. Cette double paroi dans ce cas est un double toit. La serre comporte également des parois verticales délimitant avec le toit un espace de culture.

Le principe de fonctionnement est le suivant:

On produit de l'air chaud et humide au moyen d'un échangeur thermique humide alimenté en eau chaude à bas niveau thermique; la température est comprise entre 20°C à 40°C.

Cet air est mis en circulation au moyen d'une soufflerie dans le volume délimité par la double paroi de la serre puis recycle dans l'échangeur.

L'air, en traversant l'échangeur, se charge d'humidité et se réchauffe au contact de l'eau chaude.

La vapeur contenue dans cet air, au contact des parois se condense. Il en résulte

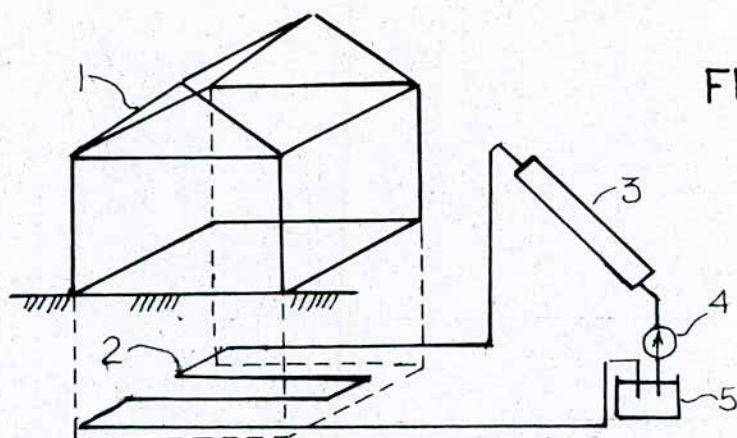


FIG I. 2.1

1. Corps de la serre. 2. radiateur 3. capteur d'énergie
4. machine de propulsion 5. réservoir 7. pompe parallèle.

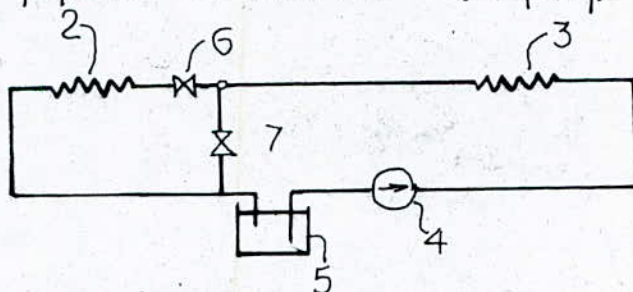


FIG I. 2.2

- 6 pompe série.

1. double paroi . 2 serre . 3. soufflerie 4. échangeur 5 alimentation en eau.

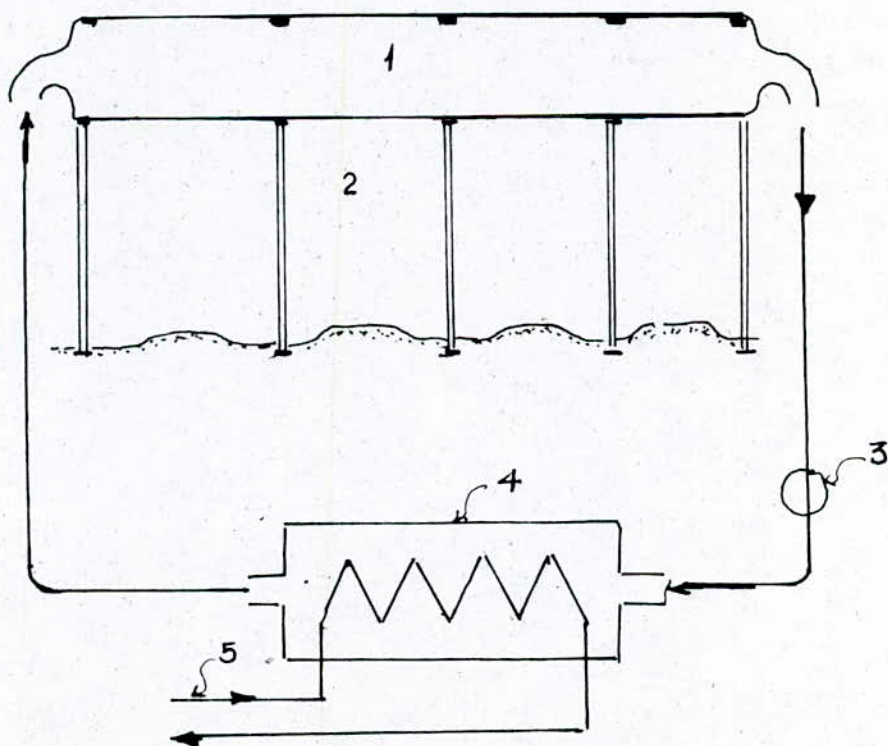


FIG I. 3

donc un dégagement de chaleur latente de condensation qui est absorbé et transmis, au moins partiellement, à l'air contenu dans l'enceinte. Celui-ci est par conséquent réchauffé.

On peut humidifier partiellement la serre en contrôlant le débit d'air humide désiré vers l'intérieur de celle-ci.

CHAPITRE : 2

10

IDENTIFICATION DU PROCESSUS EN BOUCLE OUVERTE

Toute synthèse d'une régulation automatique nécessite la connaissance parfaite des paramètres qui décrivent le comportement du système à commander aussi bien en régime dynamique qu'en régime statique. L'identification du système est l'objet de ce présent chapitre. Il s'agit de déterminer les transmittances de la température et de l'humidité en boucle ouverte d'une serre agricole décrite ci après.

1. Présentation de la serre :

La serre présentée sur la figure II.1 dont les dimensions sont données ci dessous, est une serre en verre à armatures métalliques en tubes galvanisés. Son verre est martelé de 4 à 6 mm d'épaisseur. L'étanchéité est assurée par un joint polyester. La serre est chauffée au moyen des tubes aériens alimentés en eau chaude. Le refroidissement est assuré par le système cooling; son principe repose sur le fait que l'évaporation produit du froid, ainsi la température de tout air sec diminue proportionnellement au poids d'eau absorbée par cet air. Des ventilateurs soufflent dans des caissons situés à l'extérieur de l'enceinte; l'air est obligé de passer à travers des panneaux humidificateurs. L'air traverse la serre avec une faible vitesse afin de ne pas provoquer une agitation importante des plantes, et sort ensuite par les ouvertures calibrées sur la face droite de la serre.

Les dimensions de cette serre sont :

longueur	: 21 m
largeur	: 9 m
hauteur des pieds	: 2,4 m
hauteur du sommet	: 4,5 m

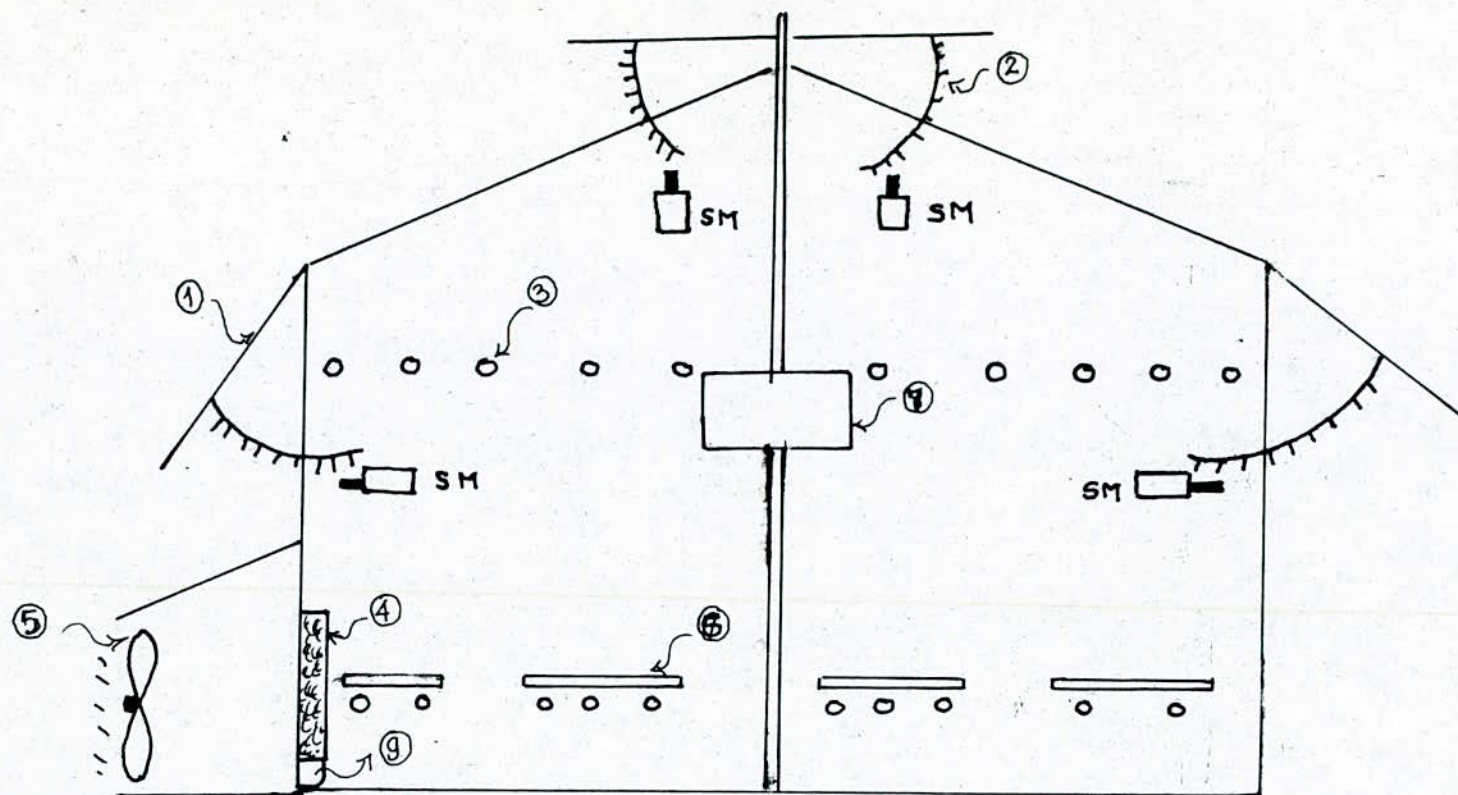


FIG I.1
SERRE D'ESSAIS N°3 DE L'IDCM

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Chassis | 5. Ventilateur |
| 2. Brémaillères | 6. Tablette |
| 3. Conduite d'eau pour l'humidification | 7. Tableau pour l'apteur |
| 4. panneau humidificateur | 8. bacs de décantation |

penée des versants	: 45°
Volume de la serre	: 660 m ³
surface cultivable	: 180 m ²
surface des parois	: 360 m ²

2. Hypothèses :

Dans cette synthèse de régulation nous admettons certaines hypothèses :

- 1- Comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, qu'il est difficile d'établir une règle générale de variation de l'humidité, on considère donc que la température et l'humidité sont deux variables indépendantes.
- 2- On ne tient pas compte des facteurs météorologiques.
- 3- Le contrôle de la température et de l'humidité est pris en compte qu'au milieu de la serre.

3. Méthodes d'identification du processus en boucle ouverte :

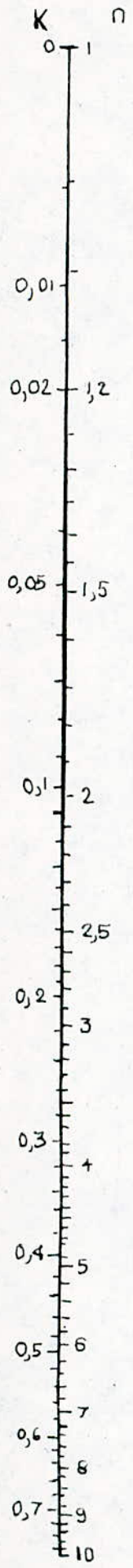
3.1. Méthode de STREJC améliorée :

Un inconvénient de la méthode classique de STREJC réside dans le fait que, lorsque le rapport des paramètres de la forme de la courbe ne correspond pas à une valeur entière de n , on prend la valeur immédiatement inférieure et on rend compte de la simplification en introduisant un temps mort fictif $\bar{\epsilon}'$. Il en résulte que, même si la courbe ne présente pas de temps mort réel, l'expression obtenue est presque toujours de la forme :

$$F(p) = \frac{G_s \bar{\epsilon}^{-\bar{\epsilon}' p}}{(1 + T_p)^n}$$

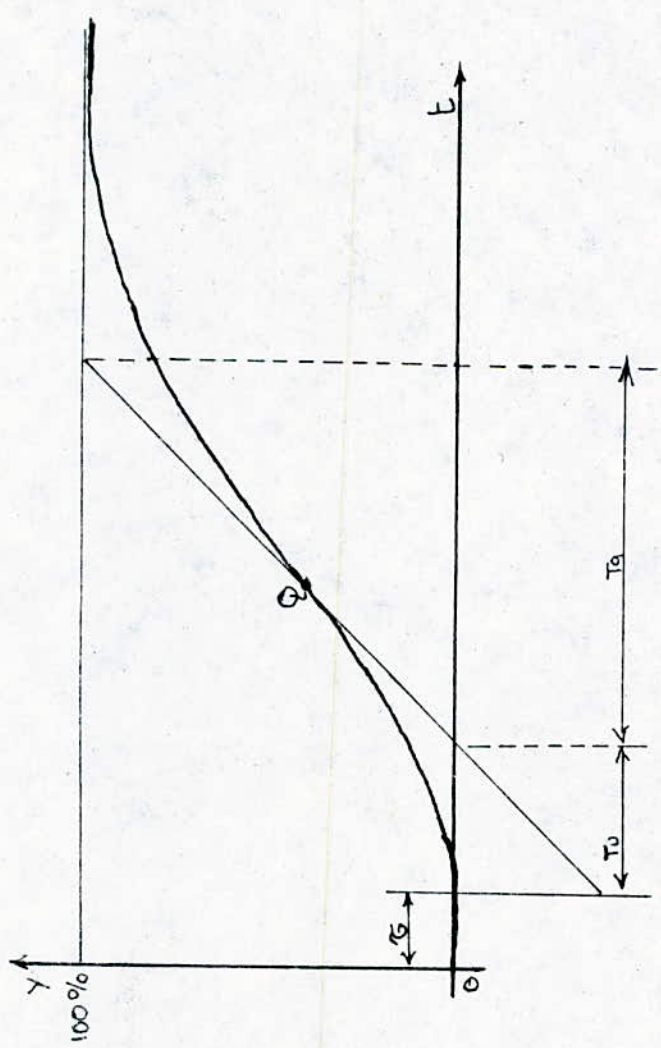
Cet inconvénient peut être évité en introduisant la notion de dérivée fractionnaire. En effet, le nomogramme permet de trouver une valeur fractionnaire de n . fig II. 2.

Mode d'emploi du nomogramme: L'enregistrement donnant la réponse du système



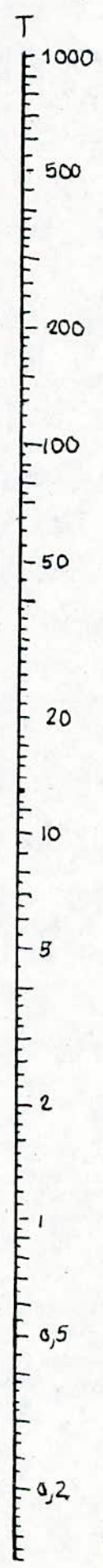
$K = T_u / T_a$

NOMOGRAMME TRANSMITTANCES



$$F(P) = \frac{G_s}{(1 + T_p)^n}$$

FIG II. 2



est gradué en prenant comme origine des temps le moment où l'échelon unité a été appliqué.

- on trace un trait vertical au moment correspondant au début d'évolution de la courbe. Entre l'origine des temps et ce trait vertical, on mesure le temps mort éventuel T_0 .

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

- on calcule le rapport T_u/T_a

- L'échelle située à gauche du nomogramme donne directement la valeur de n en face de celle du rapport T_u/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 T .

- L'expression de la partie dynamique de la transmittance est donc :

$$F(p) = 1 / (1 + Tp)^n$$

Détermination du gain statique :

L'amplitude finale de la variation est lue sur l'enregistrement ΔY .

on a noté par ailleurs l'amplitude de l'échelon unité qui a été appliqué au système ΔX .

Le gain statique G_s aura pour valeur : $G_s = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$

L'expression de la transmittance devient : $F(p) = G_s / (1 + Tp)^n$

Cas d'un temps mort naturel :

Lorsque le système étudié présente un temps mort réel T_0 , ce temps mort est introduit dans la transmittance en procédant à la transformation suivante :

$$e^{-T_0 p} = 1 / (1 + \frac{T}{n} p)^n$$

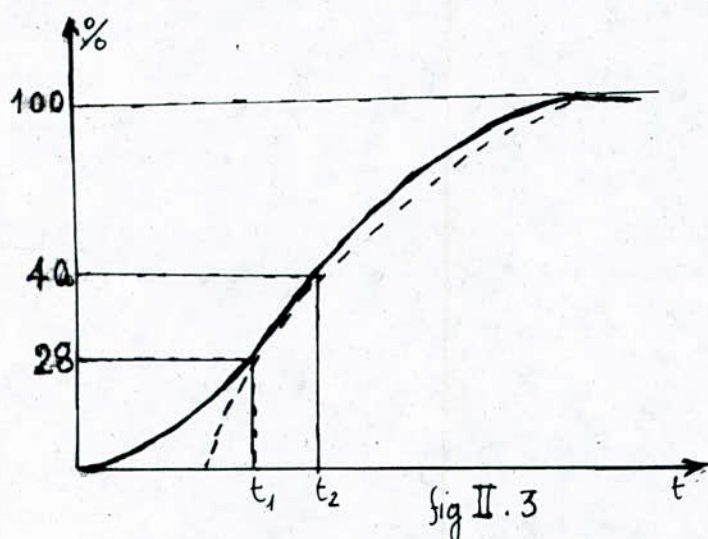
on calcule n' de telle sorte que le rapport τ/n' soit égale à la constante de temps obtenue T plus haut soit encore $n' = \tau/T$.

La transmittance se présente alors sous la forme d'un produit :

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

3.2. Méthode de Broïda :

La méthode de Broïda consiste à identifier une fonction du $n^{\text{ème}}$ ordre à une fonction du premier ordre affectée d'un retard pur. fig II.3



La courbe du premier ordre passe par deux points situés sur la courbe enregistrée ayant pour ordonnée 28% et 40% de la valeur finale de la réponse du système. Ces deux points déterminent deux temps t_1 et t_2 .

on calcule alors facilement la constante de temps et le retard pur par les formules suivantes :

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

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

Le gain statique est calculée par la même manière que précédemment. En général, le model de Broïda s'écrit sous la forme :

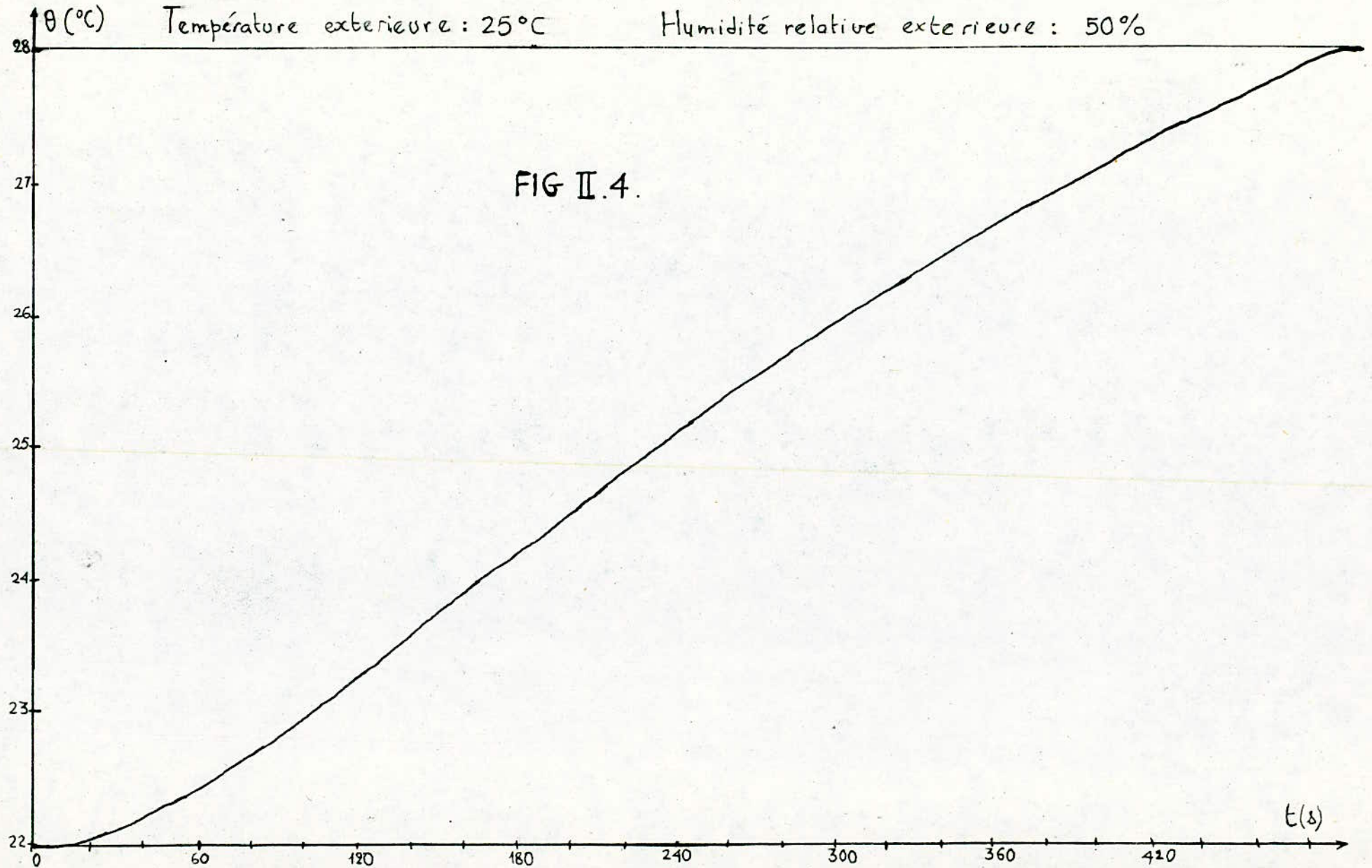
$$F(p) = \frac{G_s e^{-\tau p}}{1+Tp}$$

REPOSE INDICIELLE DU SYSTEME (température)

ECHELON UNITÉ D'EXCITATION : 50% du degré d'ouverture de la vanne de chauffage

Température extérieure : 25°C

Humidité relative extérieure : 50%

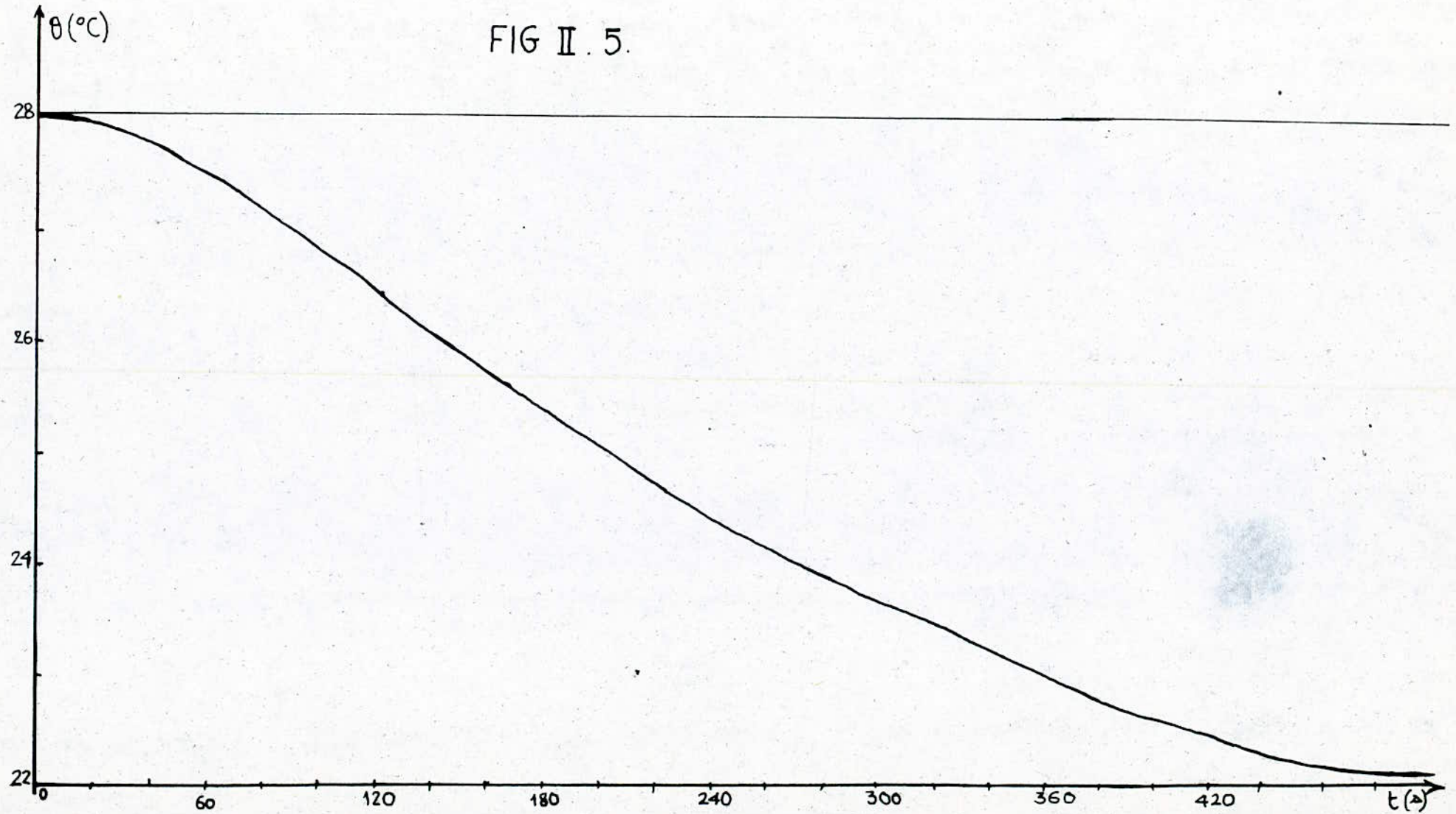


RÉPONSE INDICIELLE DU SYSTÈME (température)

ECHELON UNITÉ D'EXCITATION: 100% du degré d'ouverture lors du refroidissement

température extérieure: 25°C

Humidité relative extérieure: 50%

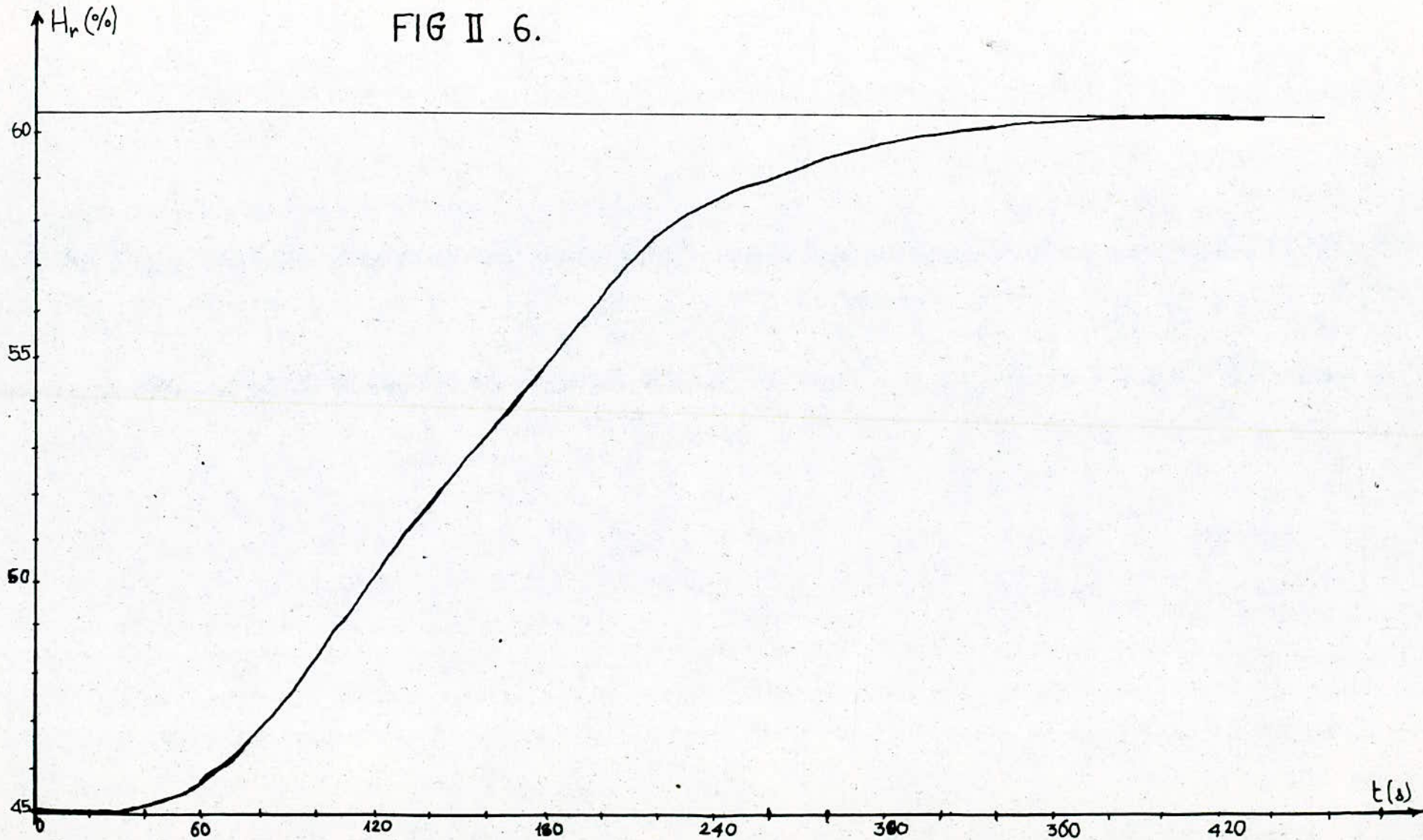


RÉPONSE INDICIELLE DU SYSTÈME (humidité relative)

ECHELON D'EXCITATION: 100% du degré d'ouverture de la vanne

température extérieure: 25°C

humidité relative extérieure: 50%



REPONSE INDICIELLE DU SYSTEME (Humidité relative)

ECHELON D'EXCITATION : 100% du degré d'ouverture de la vanne

température extérieure : 25°C

Humidité relative extérieure : 50%

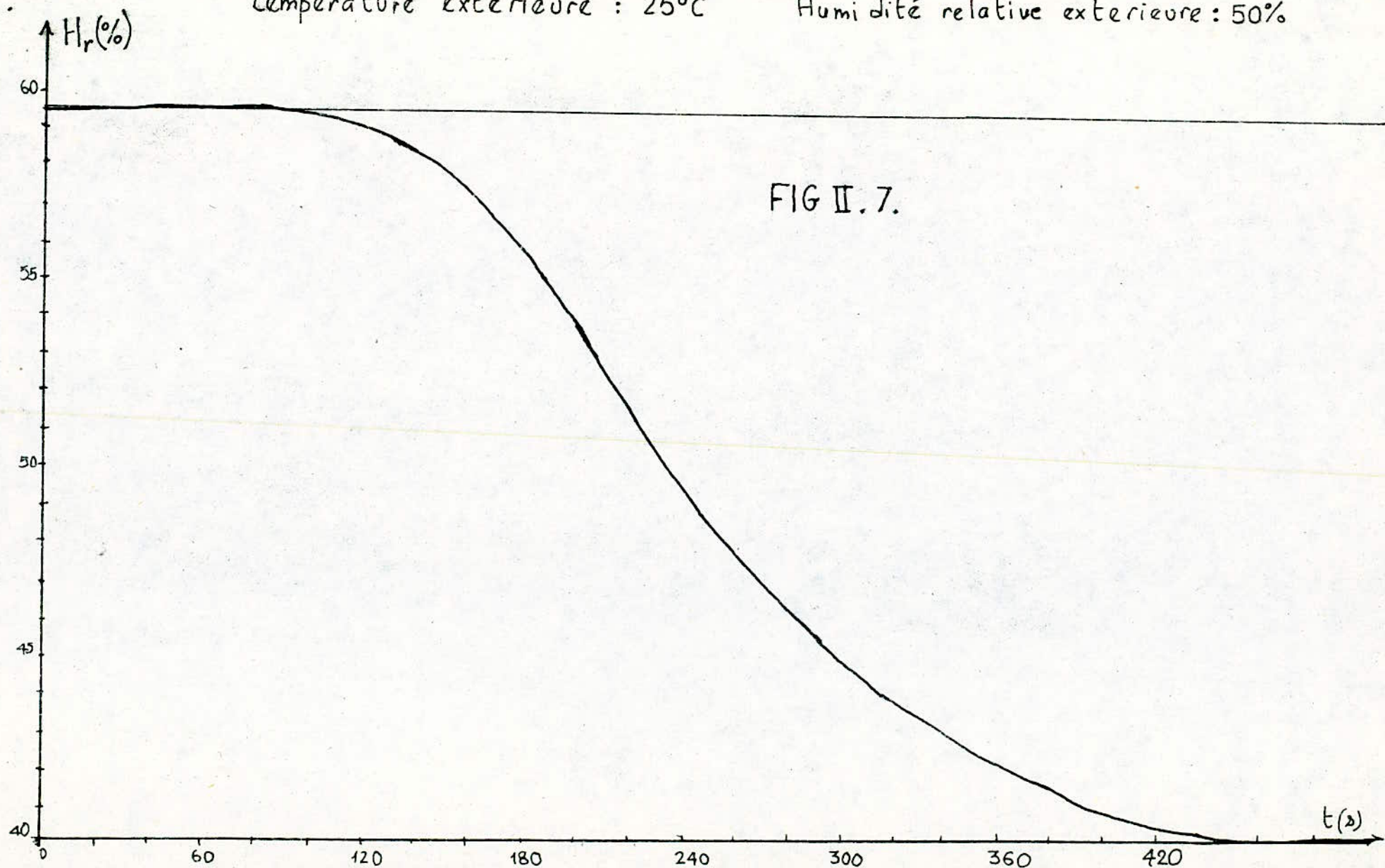


FIG II.7.

5. Présentation des résultats obtenus :

	température		humidité	
	chauffage	refroidissement	humidification	déshumidification
Echelon unité (%)	50	100	100	100
X initiale	22°C	28°C	45%	60%
X finale	28°C	22°C	60,5%	45%
Gain statique G_s	0,12°C/%	0,06°C/%	0,155	0,155

5.1 Résultats obtenus par la méthode de STREJC améliorée :

	température		humidité	
	chauffage	refroidissement	humidification	déshumidification
retard τ (s)	10	22	30	88
temps T_u (s)	30	18	12	76
temps T_a (s)	400	310	140	132
Le rapport T_u/T_a	0,075	0,058	0,300	0,570
n	1,73	1,57	3,80	7,00
Constante de temps: T (s)	165	140	32	20
n'	0,060	0,157	0,940	4,400
Fonction de transfert	$0,12/(1+165p)^{1,73}$	$0,06/(1+140p)^{1,57}$	$0,155/(1+32p)^{3,80}$	$0,155/(1+20p)^{7,00}$

5.2 Résultats obtenus par la méthode de Broïda :

	température		humidité	
	chauffage	refroidissement	humidification	déshumidification
temps t_1 (s)	146	127	110	194
temps t_2 (s)	196	168	130	218
retard τ (s)	56,0	53,2	74,0	150,8
Constante de temps T (s)	275	225,5	110	132
Fonction de transfert	$0,12 e^{-56p}/(1+275p)$	$0,06 e^{-53,2p}/(1+225,5p)$	$0,155 e^{-74p}/(1+110p)$	$0,155 e^{-150,8p}/(1+132p)$

ANALYSE ET CHOIX DES ELEMENTS DE LA COMMANDE

Du que le processus qu'on veut commander ne présente pas ni de dangers d'explosion ni beaucoup de risques mécaniques, on a décidé d'établir une chaîne de régulation purement électrique et du type continu.

Une boucle de commande est constituée essentiellement de :

1. Capteurs suivis de transmetteurs.
2. régulateurs.
3. Elements exécutifs de réglage.
 - Vannes de contrôle dans notre cas.
 - servomoteurs.

La boucle peut comporter éventuellement des éléments non indispensables à la régulation qui assurent des fonctions de surveillance et de sécurité.

1. CAPTEURS:

1.1. Capteurs de température :

Parmi les capteurs de température dont la mesure est traduite directement ou convertie en une tension électrique, on distingue :

1.1.1.1. Thermomètre à résistance :

Le principe de fonctionnement est basé sur la variation de résistance avec la température dans un conducteur métallique selon la relation :

$$R(\theta) = R_0 (1 + \alpha\theta + \beta\theta^2) \quad \text{avec } R_0 : \text{résistance de la sonde à } 0^\circ\text{C en } \Omega.$$

α, β sont des constantes, déterminées à partir de points de référence.

θ : étant la température en degré celsius.

Le type de détecteur de température présente certains avantages :

- Une large plage de température : $-220 \div 550^\circ\text{C}$
- Une très haute précision : $\pm 0,01 \div 0,5^\circ\text{C}$

- très stable.

Les inconvénients résident dans :

- le faible signal
- le coût qui est très cher
- le temps de réponse est long : $2 \div 15$ mn

La mesure peut être effectuée à l'aide d'un pont de Wheatstone ou au moyen d'un montage potentiométrique.

1.1.1.2. Thermistances :

Le principe de fonctionnement est basé sur la variation de résistance dans de semi conducteurs en fonction de la température selon la relation :

$$R = R_0 \exp b \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) , \text{ avec } R_0 : \text{résistance en } ^\circ\text{K à } T_0$$

b : coefficient caractéristique du matériau.

Les avantages que présente ce type de détecteur sont :

- un bon signal
- une haute sensibilité
- bonne précision : $0,01 \div 0,1$ °C
- un coût bas.

Les inconvénients :

- signal non linéaire
- température limitée, la gamme d'utilisation s'étend de -70 à 500 °C.

1.1.1.3. Thermocouples :

Le principe de fonctionnement : deux conducteurs métalliques de nature différente reliés entre eux par chacune de leur extrémités respectives soient le siège d'une force électromotrice si les points de jonction sont portés à des températures différentes.

Ce type de sonde présente les avantages :

- Une vaste plage de température : $-270 \div 2700$ °C

- Un temps de réponse court :

Les inconvénients résident dans :

- le signal faible et non linéaire
- la sensibilité est réduite
- la basse précision
- Le capteur instable et coûte cher.

1.1.2. Choix du capteur :

Le choix du capteur repose sur le fait qu'il soit capable de répondre aux exigences du processus du point de vue précision, plage d'utilisation et temps de réponse. Ainsi qu'il soit très sensible et que le coût soit raisonnable.

On a opté un capteur thermométrique à résistance en Nickel quoiqu'il ne réagisse pas vite. Dans notre cas, il s'agit d'un processus où les variations de température sont lentes et cette inertie du capteur sera sans grande importance.

1.1.3 Linéarisation du signal de mesure.

Le signal délivré par le pont de mesure n'est pas parfaitement linéaire ; une méthode de linéarisation consiste à ajouter une résistance fixe R_e en parallèle au capteur de résistance $R_c(\theta)$.

Un dipôle de résistance $R(\theta)$ alimenté par une source de courant I , délivre à ses bornes une tension $V_m = R(\theta) \cdot I$. La linéarisation du signal V_m revient à linéariser $R(\theta)$ autour de $\theta = \theta_i$ d'où $d^2R(\theta)/d\theta^2 = 0$. En tenant compte de cette condition et avec $R(\theta) = R_e \cdot R_c(\theta) / (R_e + R_c(\theta))$ on tire : $R_e + R_c(\theta_i) \cdot [d^2R_c(\theta_i)/d\theta^2] - 2 dR_c(\theta_i)/d\theta = 0$ d'où on en déduit : $R_e = 2 (dR_c(\theta_i)/d\theta)^2 / (d^2R_c(\theta_i)/d\theta^2) - R_c(\theta_i)$.

Le capteur choisi étant un capteur à résistance en Nickel dont les coefficients

$$\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$$

$$\beta = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$$

$$R_0 = 100 \Omega$$

$$\text{d'où } R_e = 400 \Omega \quad \text{autour de } \theta_i = 25^\circ\text{C}$$

1.2. Capteurs d'humidité:

On peut distinguer deux familles de capteurs d'humidité:

- Ceux qui reposent sur un principe physique permettant de déterminer directement l'humidité, par exemple;

- l'hygromètre à condensation
- les psychromètres
- l'hygromètre électrolytique
- l'hygromètre à absorption

- Ceux dont le principe est basé sur la mesure d'une propriété d'un corps lié à l'humidité, par exemple, l'hygromètre à variation d'impédance.

1.2.1. Hygromètres:

1.2.1.1. Hygromètre à condensation:

Le fonctionnement de l'hygromètre est fondé sur un système optique à cellules photoélectriques permettant de mesurer la rosée formée sur une plaquette métallique polie refroidie au contact du gaz.

Ce sont les seuls hygromètres qui aient une grande étendue de mesure:
-70 ÷ 100°C du point de rosée.

Ces hygromètres ont le pouvoir de travailler en milieu corrosif.

La précision de la mesure du point de rosée dépend de la mesure de température; elle est généralement de $\pm 0,25 \div 1^\circ\text{C}$.

Le temps de réponse est généralement de l'ordre de 10 secondes à une minute à peine.

Ces hygromètres coûtent cher et nécessitent un réglage fréquent.

1.2.1.2. Hygromètres à Chlorure de Lithium:

La mesure des hygromètres à LiCl repose sur deux phénomènes:

- la tension de saturation au dessus de solutions salines hygroscopiques

Saturées, et notamment le Chlorure de Lithium, est inférieure à celle de l'eau.

- La conductibilité électrique d'une solution de Chlorure de Lithium est beaucoup plus élevée que celle du sel solide.

a. Les hygromètres à LiCl à variation de température

Description du détecteur hygrométrique à thermomètre à résistance:

La partie active se compose d'un mince tube de verre, recouvert de mousseline en laine de verre, imprégnée d'une solution de chlorure de Lithium. Deux électrodes en métal précieux, résistant à la corrosion sont disposées côte à côte en hélice sur le revêtement en mousseline et l'ensemble est protégé par une gaine métallique percée de trous. Les deux électrodes sont reliées à une source de tension, généralement de l'ordre de 24V. Le courant qui en résulte provoque un échauffement de solution de Chlorure de Lithium avec évaporation de l'eau préalablement absorbée.

Dès que l'eau s'est évaporée, la solution cristallise. La conductibilité électrique et par suite, l'intensité entre les deux électrodes diminuent fortement et la température baisse à nouveau. La solution de chlorure de Lithium peut absorber alors la vapeur d'eau contenue dans l'air, ce qui a pour effet d'augmenter sa conductibilité électrique, le courant augmente et provoque de nouveau l'évaporation de l'eau. Il s'établit rapidement un équilibre entre la teneur en vapeur d'eau de l'air et la puissance de chauffage et par conséquent la température du détecteur. Cette température mesurée par un thermomètre à résistance, ne dépend que de la tension de vapeur. Elle donne directement une mesure du point de rosée ou l'humidité absolue.

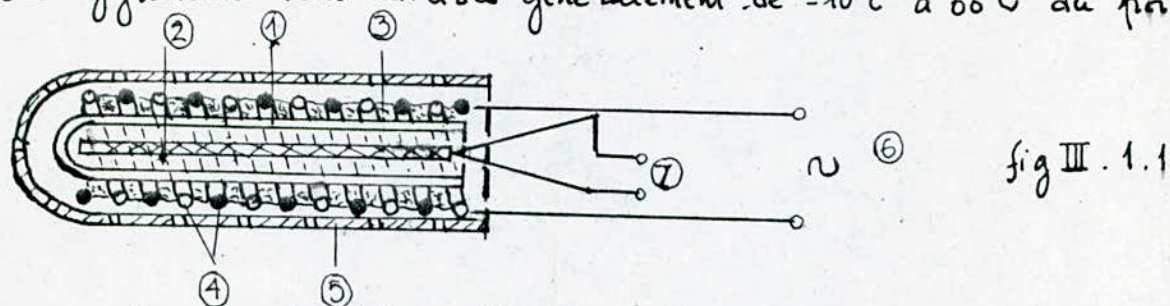
Le temps de réponse, est généralement de l'ordre de 5 à 15 minutes.

La précision est de $\pm 0,5$ à 10°C ou $\pm 1 \div 1,5\%$

il est simple et fiable et bon marché.

La fidélité d'une telle sonde peut être meilleure que $\pm 0,2^\circ\text{C}$ lorsque elle est utilisée dans de bonnes conditions.

Les hygromètres sont utilisés généralement de -10°C à 60°C du point de rosée.



Coupe schématique d'un détecteur d'humidité à chlorure de lithium.

1. tube de verre
2. thermomètre à résistance
3. laine de verre imprégnée de chlorure de lithium
4. Electrodes.
5. gaine de protection percée de trous
6. Alimentation alternative.
7. vers le pont de mesure de température.

b. Hygromètre à chlorure de lithium à variation de résistance :

Les détecteurs sont constitués d'une tablette en peropex sur laquelle deux séries de lamelles parallèles en or, sont disposées en quinconce et raccordées chacune à une douille de raccordement. La tablette est recouverte d'une couche transparente de chlorure de lithium. Les détecteurs voient leur résistance électrique varier considérablement, avec le degré hygrométrique du fluide gazeux qui les environne.

Le temps de réponse de ces détecteurs est de l'ordre de $1 \div 30$ secondes.

L'étendue de l'échelle est de 5 à 100%

Les limites de températures entre 5 à 60°C

La précision est généralement de $\pm 0,1$ à $1,5\%$ et la fidélité est de $\pm 0,5\%$ d'humidité relative.

Parmi les avantages que présentent les détecteurs nous citons :

- Les hygromètres ne nécessitent aucune ventilation

- Ils permettent de donner une lecture directe du pourcentage d'humidité

relative.

- Ils ne produisent aucune perturbation de l'atmosphère dans laquelle ils sont placés.

- Ils sont précis, sensibles et très faible inertie

- Ils se prêtent à l'enregistrement à distance.

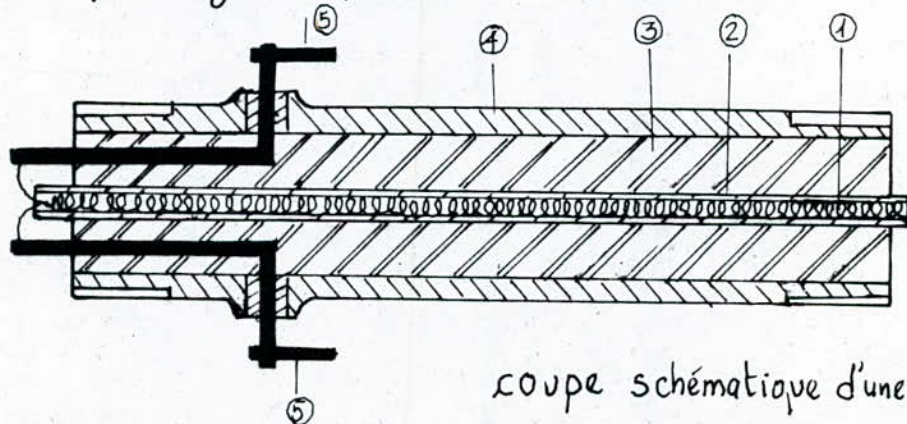
1.2.1.3. Hygrométrie Electrolytique :

Le fonctionnement de l'hygromètre est fondé sur le principe de Faraday qui précise que pour un électrolyte déterminé, la quantité dissociée ne dépend que de la quantité d'électricité qui a traversé l'électrolyte et lui est proportionnelle. L'air traverse continuellement la cellule contenant les électrodes, lesquelles sont recouvertes d'une substance qui tient la vapeur d'eau.

Une tension continue est appliquée entre les électrodes, l'eau retenue est électrolysée et dissociée en gaz d'hydrogène et d'oxygène, au sein de la substance qui conserve ainsi ses propriétés hygroscopiques.

Le phénomène de dissociation produit un courant directement proportionnel à la concentration en eau dans le gaz pulsé.

La substance absorbante, dont les électrodes sont recouvertes, est un film partiellement hydraté de pentaoxyde de phosphore.



← fig III.1.2

coupe schématique d'une cellule électrolytique

1. Electrodes

2. tube capillaire

3. gaine de Teflon

4. gaine d'acier inoxydable

5. bornes de raccordement.

Le temps de réponse est de l'ordre de 10 à 30 minutes

L'étendue de l'échelle est de 0 ÷ 1000 ppm

Les limites de températures de -80 ÷ 80°C

La précision est de ± 5%

1.2.2. Des psychromètres:

Le psychromètre se compose de deux thermomètres semblables. Un thermomètre est entouré d'un manchon humide. L'eau sur le manchon entourant le thermomètre, s'évapore plus ou moins vite suivant la température et l'état hygrométrique de l'air. Il en résulte un refroidissement du thermomètre d'autant plus important que l'évaporation est plus rapide et l'air plus sec.

Le thermomètre humide indiquera moins que le thermomètre sec, et cela dans une proportion déterminée par rapport à la tension de vapeur existante et indiquée par rapport à l'humidité relative de l'air.

La tension de vapeur est telle que : $e = e_h - A(\theta_s - \theta_h) P_b / 460$

e_h : tension de saturation correspondant à la température de thermomètre humide.

θ_s , θ_h sont respectivement les températures mesurées par le thermomètre sec et humide.

P_b : pression barométrique en mm de Hg.

A : Coefficient psychrométrique qui dépend de la vitesse de l'air pulsé et le matériau constituant le manchon d'humidification.

Le détecteur est fidèle à condition de respecter certaines précautions. Sa précision est de l'ordre de 0,5 à 2% si le thermomètre était du type à résistance; elle dépend de la qualité du montage psychrométrique.

La sensibilité ne dépend que de la sensibilité des sondes de température. Il est simple et le coût est bas.

1.2.3. Choix du capteur :

Le choix du capteur d'humidité repose sur les mêmes critères que ceux d'un capteur thermométrique. Vu les avantages qu'il présente par rapport aux autres détecteurs, on a opté un hygromètre à chlorure de lithium à thermomètre à résistance.

2. REGULATEURS :

Après une perturbation, la grandeur réglée varie ainsi que l'information qui la représente. Si la valeur de mesure s'écarte de la valeur de consigne, le régulateur modifie, suivant une fonction mathématique le signal de réglage qui positionne la vanne dans le but de limiter et même d'annuler l'écart entre la mesure et la consigne.

Pour une raison de leur souplesse et leur poids réduit, on a choisi d'utiliser dans le projet de régulation des régulateurs électroniques.

2.1 Classification des régulateurs électroniques :

La structure des fonctions de transfert de ces régulateurs servira de critère à leur classification. Cette classification est entièrement indépendante de la technologie employée. Nous trouvons ainsi des régulateurs de fonctions de transfert différentes :

- régulateur série : $G(p) = G_R \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) (1 + T_D p)$

- régulateur parallèle : $G(p) = G_R + \frac{1}{T_i p} + T_D p$

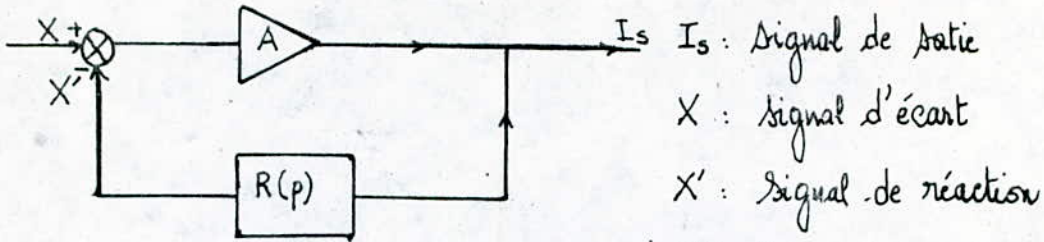
- régulateur mixte : $G(p) = G_R \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_D p\right)$

Selon la technologie utilisée dans la conception des régulateurs, on distingue :

-2.1.1. régulateur à réaction :

Le schéma fonctionnel d'asservissement est celui qui implique la règle d'intégration. Si l'amplification est suffisamment élevée, on peut écrire que :

$$I_S(p) = 1/R(p) \cdot X(p)$$



I_s : Signal de sortie

X : signal d'écart

X' : signal de réaction

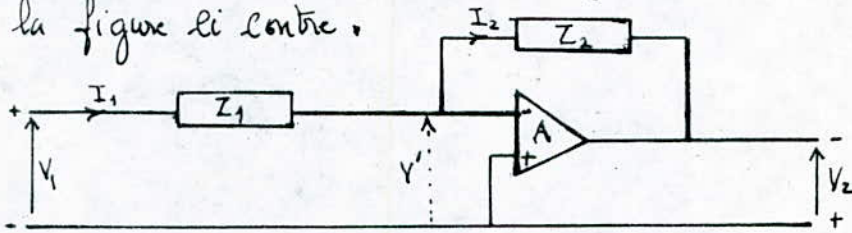
$R(p)$: fonction de transfert du circuit de réaction.

A titre d'exemple, si $R(p) = 1/(T_i p / T_i p + 1) \cdot G_R$ qui est une fonction réalisable à l'aide d'un quadripôle passif, le régulateur sera un régulateur PI avec G_R : coefficient d'amplification et T_i : constante d'intégration et la fonction de transfert de ce régulateur est donc : $F(p) = G_R \cdot (T_i p + 1 / T_i p)$.

2.2-2. régulateurs à base d'amplificateurs opérationnels :

Les amplificateurs opérationnels sont d'emploi plus souple pour la réalisation des fonctions de transfert actives que la méthode dite d'inversion utilisée plus haut.

- Equation générale : le schéma de montage d'un amplificateur opérationnel est donné par la figure ci contre.



L'écriture des équations aux mailles donne :

$$\begin{cases} V_1 = Z_1 I_1 + V' \\ -V_2 = Z_2 I_2 + V' \end{cases}$$

si l'amplification est suffisamment élevée, on aura $I_1 = I_2 = I$ et $V' \approx 0$, le système d'équations précédent devient :

$$\begin{cases} V_1 = Z_1 I \\ -V_2 = Z_2 I \end{cases} \quad \text{d'où : } V_2 = -V_1 \cdot Z_2 / Z_1$$

Si on désire réaliser un régulateur PI on prend $Z_1 = R_1$ et $Z_2 = R_2 + \frac{1}{Cp}$.

La fonction de transfert du régulateur $F(p) = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2 C p} \right)$ et plus généralement

$$F(p) = G_R \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) \quad \text{avec } G_R = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{et } T_i = R_2 C.$$

2.2 calcul des actions du régulateur

Pour le calcul des actions du régulateur, nous adoptons le modèle de BROÏDA, ainsi nous utilisons les caractéristiques des figures III.2.4 et III.2.9.

2.2.1 régulateur de température:

$$\text{données: } \bar{T}_{moy} = 54,6 \Delta \quad T_{moy} = 250,25 \Delta \quad G_S = 0,12^\circ\text{C} / \%$$

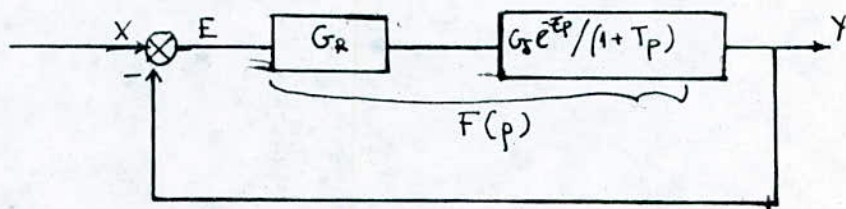
$$\text{précision demandée: } \Delta\theta = \pm 2^\circ\text{C} \quad \text{marge de stabilité } \Delta G_B = 10\% \quad \Delta G_n = 10\%$$

régulateur P

$$\xi/\tau = 0,2 \text{ on détermine donc } 1,5 \leq G_B \leq 8$$

$$\Delta G_B = 10\% \quad \text{d'où } 1,6 \leq G_B \leq 7,2$$

calcul de l'erreur statique:



$$E(p) = X(p) \cdot 1 / (1 + F(p))$$

$$E_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p F(p) = \frac{1}{1 + G_B} \quad G_B = G_R \cdot G_S$$

$$0,11 \leq E_0 \leq 0,38$$

$$\text{l'erreur admissible } E_{ad} = \frac{\Delta\theta}{\theta_{moy}} = 0,08$$

$E_0 > E_{ad}$: le régulateur P ne convient pas.

régulateur PI:

$$\xi/\tau = 0,2 \text{ on détermine donc } 5 \leq G_B \leq 10 \text{ pour } T_i = 3\tau$$

d'où on tire par extrapolation linéaire $G_B = 8,5$.

calcul de l'erreur statique:

$$E_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p E(p) = \lim_{p \rightarrow 0} G_R \cdot G_S \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) e^{-T_d p} / (1 + T_p) = 0$$

Donc on choisit pour la régulation de température, un régulateur PI dont:

le coefficient d'amplification $G_R = 70,8 \text{ \% / } ^\circ\text{C}$.

la constante d'intégration $T_i = 163,8 \text{ s}$.

2.2.2 Régulateur d'humidité :

données :

$$E_{\text{moy}} = 112,4 \text{ s}$$

$$T_{\text{moy}} = 121 \text{ s}$$

$$G_s = 0,155.$$

précision demandée :

$$\Delta \theta = \pm 2 \%$$

$$\text{marge de stabilité } \Delta G_B = 10\% \quad \Delta G_m = 10\%$$

- Régulateur P :

$E/T = 0,9$ on détermine donc $0,15 \ll G_B \ll 2,5$.

$$\Delta G_B = 10\% \quad \text{d'où } 0,165 \ll G_B \ll 2,25$$

calcul de l'erreur statique :

$$0,3 \ll E_0 \ll 0,85$$

$$\text{l'erreur admissible } E_{ad} = \frac{\Delta h_r}{h_{r_{\text{max}}}} = 0,04$$

$E_0 > E_{ad}$: le régulateur P ne convient pas.

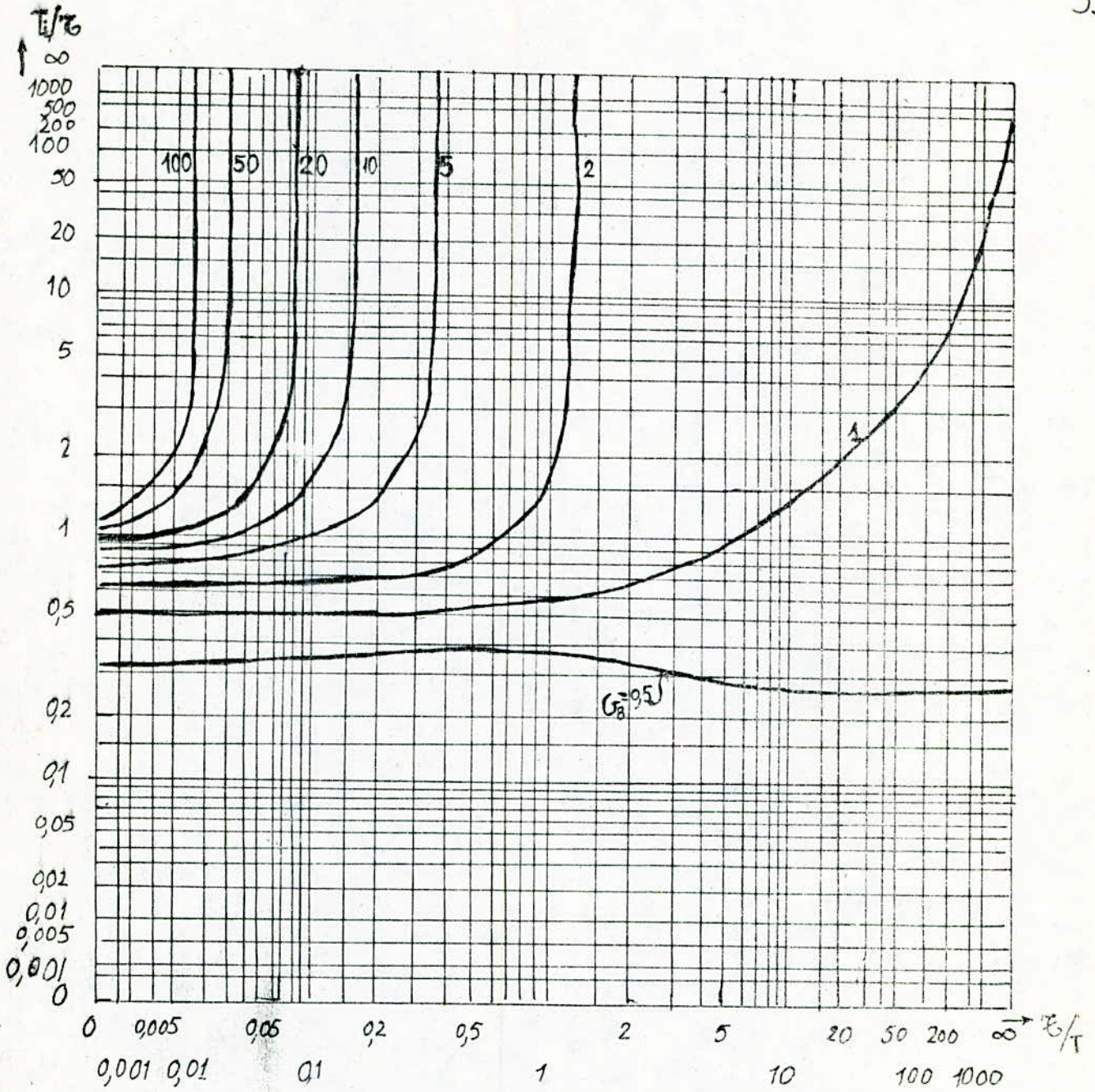
- Régulateur PI :

$E/T = 0,9$ on détermine : $2 \ll G_B \ll 5$ pour $T_i = 3E$

on tire par extrapolation linéaire $G_B = 4$

l'erreur statique étant nulle. donc on choisit pour la régulation de l'humidité, un régulateur PI dont :

- le coefficient d'amplification $G_R = 25,8$
- la constante d'intégration $T_i = 337,2 \text{ s}$.

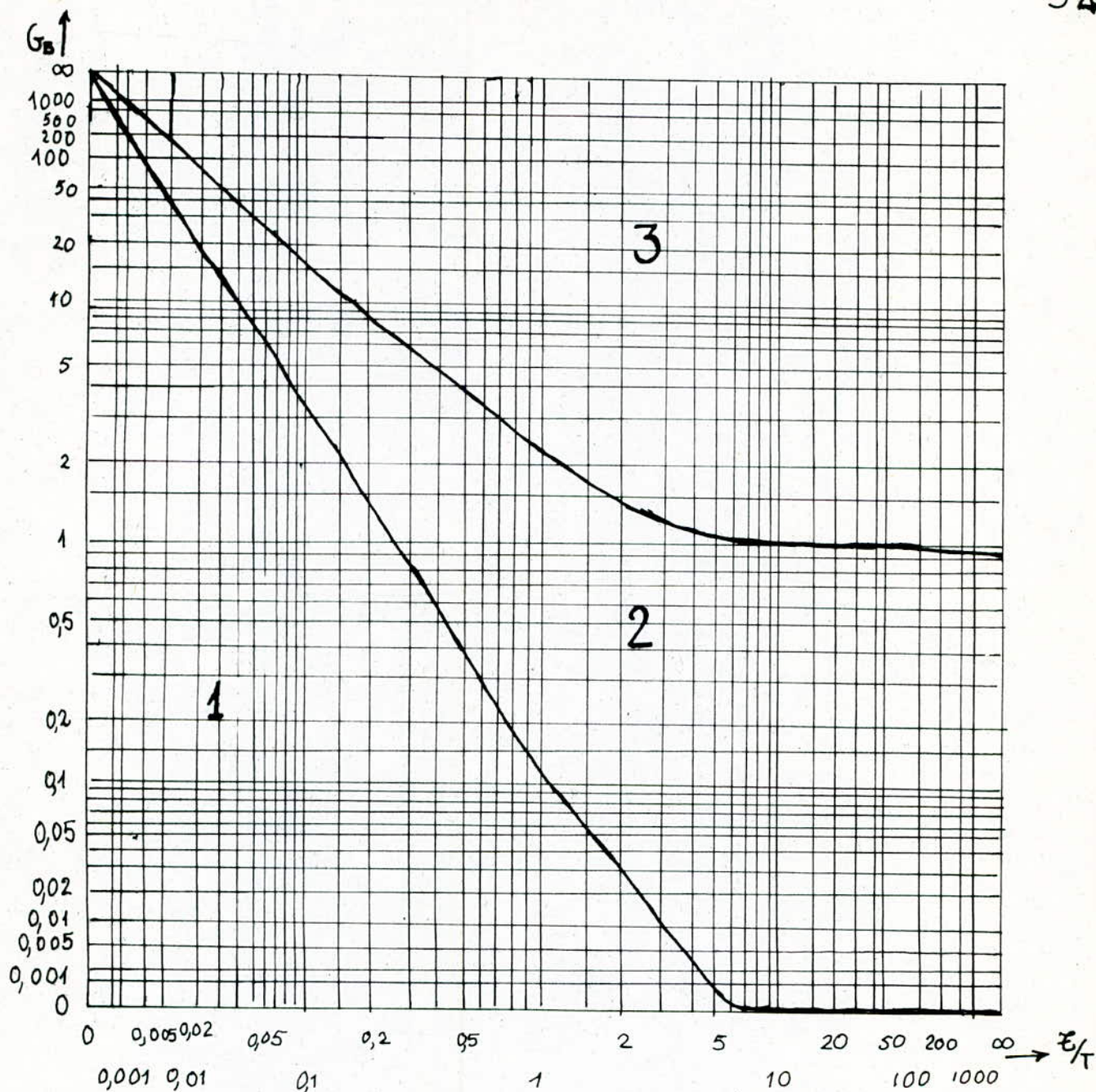


$T_i \geq T$: le régime transitoire est aperiodique.

$T_i \approx 3T$: le régime transitoire est oscillatoire.

CARACTERISTIQUE DU REGULATEUR PI

FIG III. 2.1



zone 1: zone de régime transitoire a périodique appliquée rarement.

zone 2: c'est la zone la plus appliquée; elle correspond au fonctionnement stable.

zone 3: C'est la zone correspondant au fonctionnement instable.

CARACTERISTIQUE DU REGULATEUR P

FIG III. 2. 2

3. ELEMENTS EXECUTIFS DE REGLAGE :

3.1. Vannes:

3.1.1. Définitions:

3.1.1.1. Diamètre nominal de la vanne:

Le diamètre nominal de la vanne est défini par le diamètre nominal des orifices d'entrée et de sortie.

3.1.1.2. Capacité de la vanne K_v :

La capacité de la vanne est définie par le volume d'eau exprimé en m^3/h qui traverse la vanne si la chute de pression sur celle-ci était de 1 kg/cm^2 et la densité de l'eau était de 1000 kg/m^3 .

3.1.1.3. Caractéristique de vannes en régulation continue:

On appelle caractéristique de vanne la loi d'ouverture entre la capacité de la vanne K_v et la course du servomoteur.

Si on note, K_{v_s} l'ensemble étant le coefficient du débit correspondant à l'ouverture complète de la vanne.

K_{v_0} : étant le coefficient du débit correspondant à 0% du degré d'ouverture de la vanne.

K_{v_r} : étant le coefficient du débit correspondant à la zone à partir de laquelle les caractéristiques de la vanne correspondent aux caractéristiques idéales.

H : étant le degré d'ouverture de la vanne exprimé en mm.

H_{100} : étant le degré d'ouverture exprimé en mm correspondant à l'ouverture complète de la vanne, on distingue deux types de vannes:

a. Vannes linéaires: la loi régissant la variation du débit en fonction de l'ouverture de la vanne est:
$$K_v/K_{v_s} = K_{v_0}/K_{v_s} + \eta_{\text{lin}} \frac{H}{H_{100}}$$
 fig III.3.1.1

b. Vannes logarithmiques: la loi régissant la variation du débit en fonction du degré d'ouverture de ce type de vanne est:
$$K_v/K_{v_s} = K_{v_0}/K_{v_s} \exp\left(\eta_{\text{log}} \frac{H}{H_{100}}\right)$$

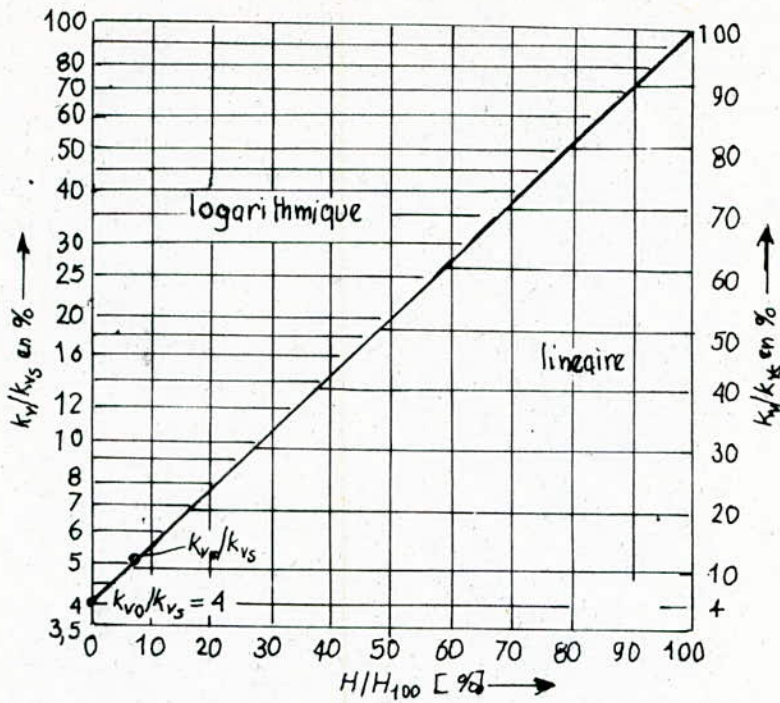


fig III. 3.1.1.

Caractéristique de vanne de réglage

3.1.2. Différents types de vanne de réglage:

En mode de régulation continue, les vanne de contrôle peuvent se décomposer en deux grandes catégories, suivant le type de déplacement utilisé. On distingue donc des vannes:

- à déplacement longitudinal.
- à déplacement circulaire.

3.1.2.1. Vannes à déplacement longitudinal:

a. Vanne à simple siège: le déplacement "x" vers le bas de la tige du clapet tend à obturer le passage du fluide. fig III. 3.2a. L'effet est contraire sur la figure. III. 3.2.

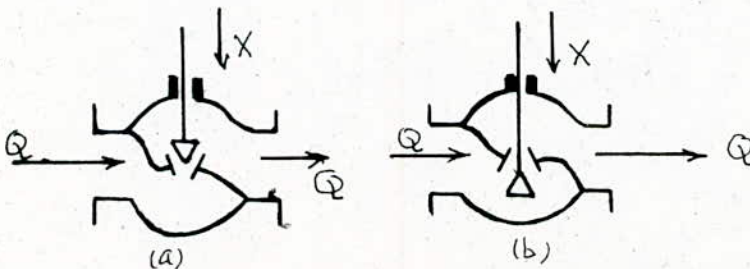


fig III 3.2.

Ce type de vanne présente l'avantage de construction relativement facile, est d'être pratiquement étanche à la fermeture.

L'inconvénient qui en découle est d'être soumis à une pression sur le clapet, ce qui crée une force antagoniste à la poussée du servomoteur.

b. Vanne double siège :

Le fonctionnement est identique à celui d'une vanne à simple siège. Le déplacement "X" vers le bas tend à obturer le passage du fluide fig III.3.3.a, l'effet contraire est présenté sur la fig III.3.3.b.

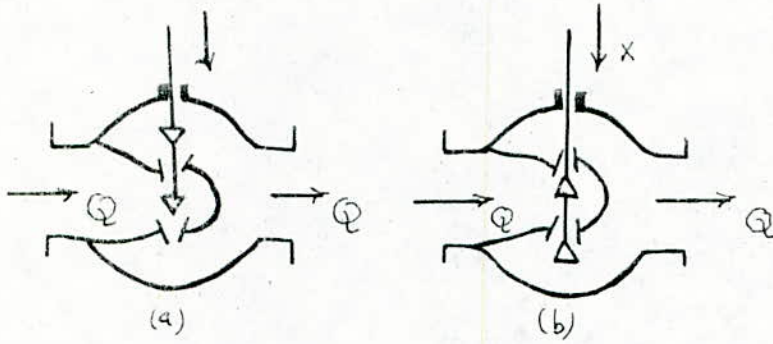


fig III.3.3

L'avantage de ce type de vanne est que les pressions existantes sur les clapets exercent des forces opposées qui tendent à s'annuler. Le servomoteur de commande de la tige des clapets est moins puissant que celui d'une vanne simple siège. A servomoteur identique, la vanne double siège peut admettre une différence de pression Δp plus importante que la vanne simple siège.

L'inconvénient de cette vanne est d'être moins étanche à la fermeture que la vanne simple siège.

3.1.2.2. Vannes à déplacement circulaire :

Le fonctionnement de ce type de vanne est relativement simple. fig III.3.4. Le clapet C relié à un axe de rotation OO' , obture plus ou moins la section de passage du fluide. L'axe de rotation OO' est soumis à un couple fourni par le servomoteur. Ce type de vanne présente quelques avantages sur celles à déplacement longitudinal :

- Encombrement et poids réduits : à capacité K_v égale, quatre positions du servoteur sont prévues, ce qui permet un montage plus aisé en installation.
- Caractéristique pratiquement linéaire : dans certains cas cet avantage est appréciable.
- Relation entre K_v et Δp : à pression différentielle (Δp) et diamètre égaux, la capacité K_v de ce type de vanne est plus important que celui du type à déplacement longitudinal.

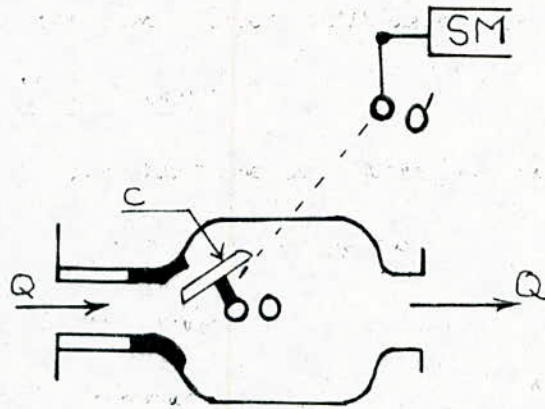


fig III.3.4

3.1.3. Choix de la vanne:

Le choix de la vanne de contrôle est important dans une régulation car la stabilité et la qualité des résultats dépendent de ce choix.

Dans notre cas, vu les avantages qu'elle présente par rapport à celles du type à déplacement longitudinal, on a opté une vanne à déplacement circulaire.

Ce genre de vanne possède une caractéristique linéaire.

3.1.4. Calcul de la vanne:

Pour une mise au point adéquate de la vanne de contrôle, les calculs doivent être effectués dans l'ordre indiqué ci-dessous.

Soient Q_{max} : débit maximum

Q_{min} : débit minimum

Δp_{max} : pression différentielle maximale.

Δp_{min} : pression différentielle minimale.

Q_{max} , Q_{min} étant connus, on se donne des valeurs pour ΔP_{min} et ΔP_{max} .

1. On commence par déterminer les coefficients K_{vmin} et K_{vmax} à partir du diagramme de la fig III 3.5. ou à l'aide de la formule suivante:

$$K_v = Q \cdot \sqrt{\rho / 1000 \cdot \Delta P} \quad \text{avec:}$$

Q : étant le débit en m^3/h

ρ : densité volumique de l'eau en kg/m^3

ΔP : différence de pression en kg/cm^2

2. On détermine le coefficient K_{vs} à l'aide des formules suivantes:

$$K_{vmax} / K_{vs} \approx 0,7 \quad \text{et} \quad K_{vmin} / K_{vs} \geq 1,1 K_{vr} / K_{vs}$$

3. on détermine H_{min}/H_{100} et H_{max}/H_{100} à l'aide du diagramme de la figure. III 3.1.1.

4. On calcule la différence de pression $P = P_1 - P_2$ à partir de cette formule:

$$P = \Delta P_{max} + (\Delta P_{min} - \Delta P_{max}) / (Q_{max}^2 - Q_{min}^2)$$

$$5. \text{ on calcule: } Q_{max}/Q_{100} = \sqrt{1 + \Delta P_{max}/p [(K_{vmax}/K_{vs})^2 - 1]}$$

6. on calcule après l'autorité de la vanne:

$$\Delta P_{100}/p = \Delta P_{max}/p \cdot (K_{vmax}/K_{vs})^2 \cdot \frac{1}{(Q_{max}/Q_{100})^2}$$

Dans notre cas on peut supposer que la caractéristique statique de l'objet est pratiquement linéaire. La vanne qu'on a choisi a pour caractéristique linéaire.

Pour un coefficient d'autorité calculé, on détermine $(dQ/Q_{100})/(dH/H_{100})_{max}$ et $(dQ/Q_{100})/(dH/H_{100})_{min}$ à l'aide du diagramme de la courbe présentée sur la fig III 3.6

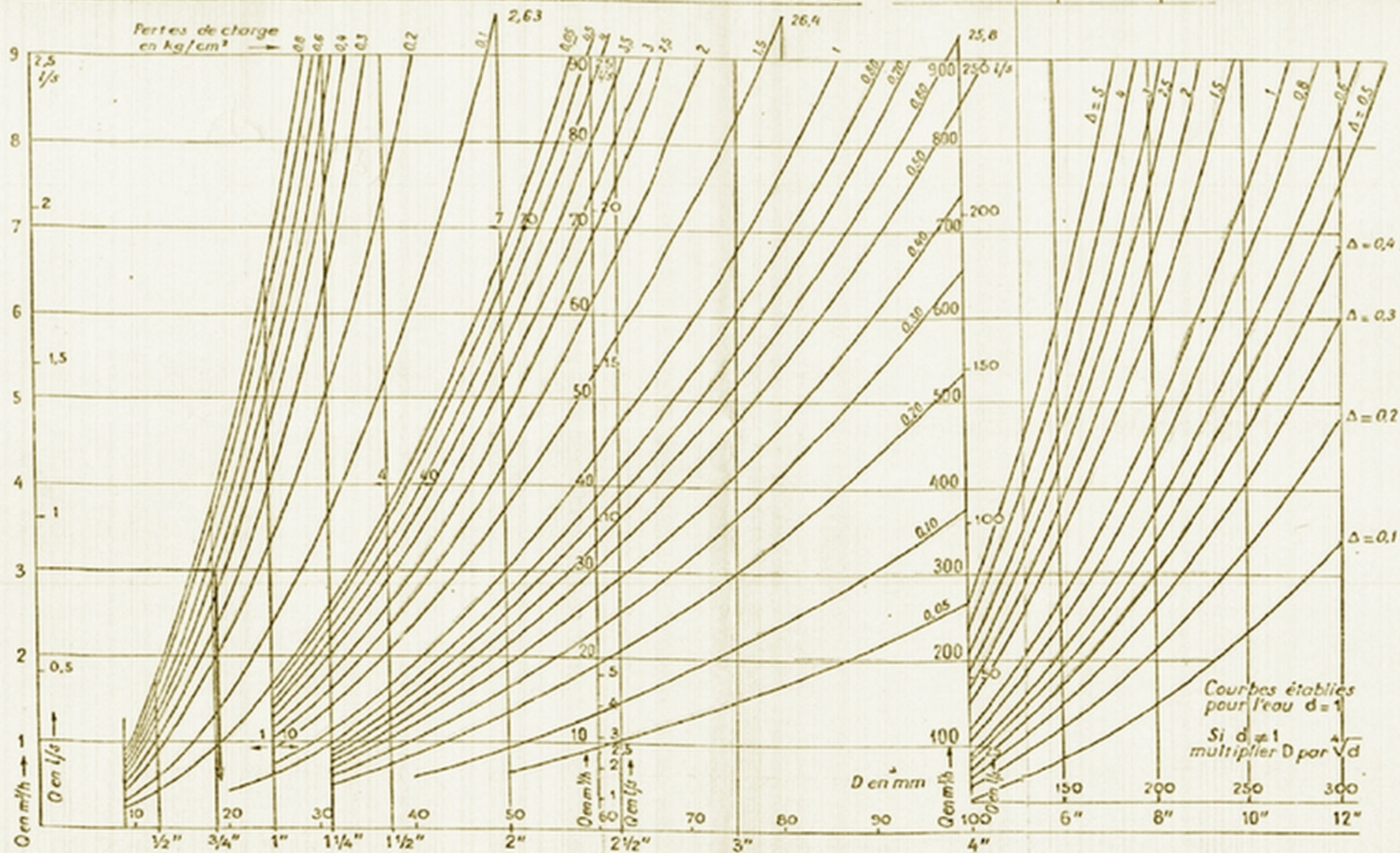
7. En première approximation, on admet que:

$$\left(\frac{dQ}{Q_{100}} / \frac{dH}{H_{100}} \right)_{max} / \left(\frac{dQ}{Q_{100}} / \frac{dH}{H_{100}} \right)_{min} \approx \left(\frac{Q}{Q_{100}} / \frac{H}{H_{100}} \right)_{max} / \left(\frac{Q}{Q_{100}} / \frac{H}{H_{100}} \right)_{min} \quad \text{on a donc}$$

$$\left(\frac{dQ}{Q_{100}} / \frac{dH}{H_{100}} \right)_{max} / \left(\frac{dQ}{Q_{100}} / \frac{dH}{H_{100}} \right) \leq 3 \quad \text{critère de stabilité qu'il faut satisfaire.}$$

DÉTERMINATION DU DIAMÈTRE DES VANNES A CLAPET

Courbes établies pour les liquides

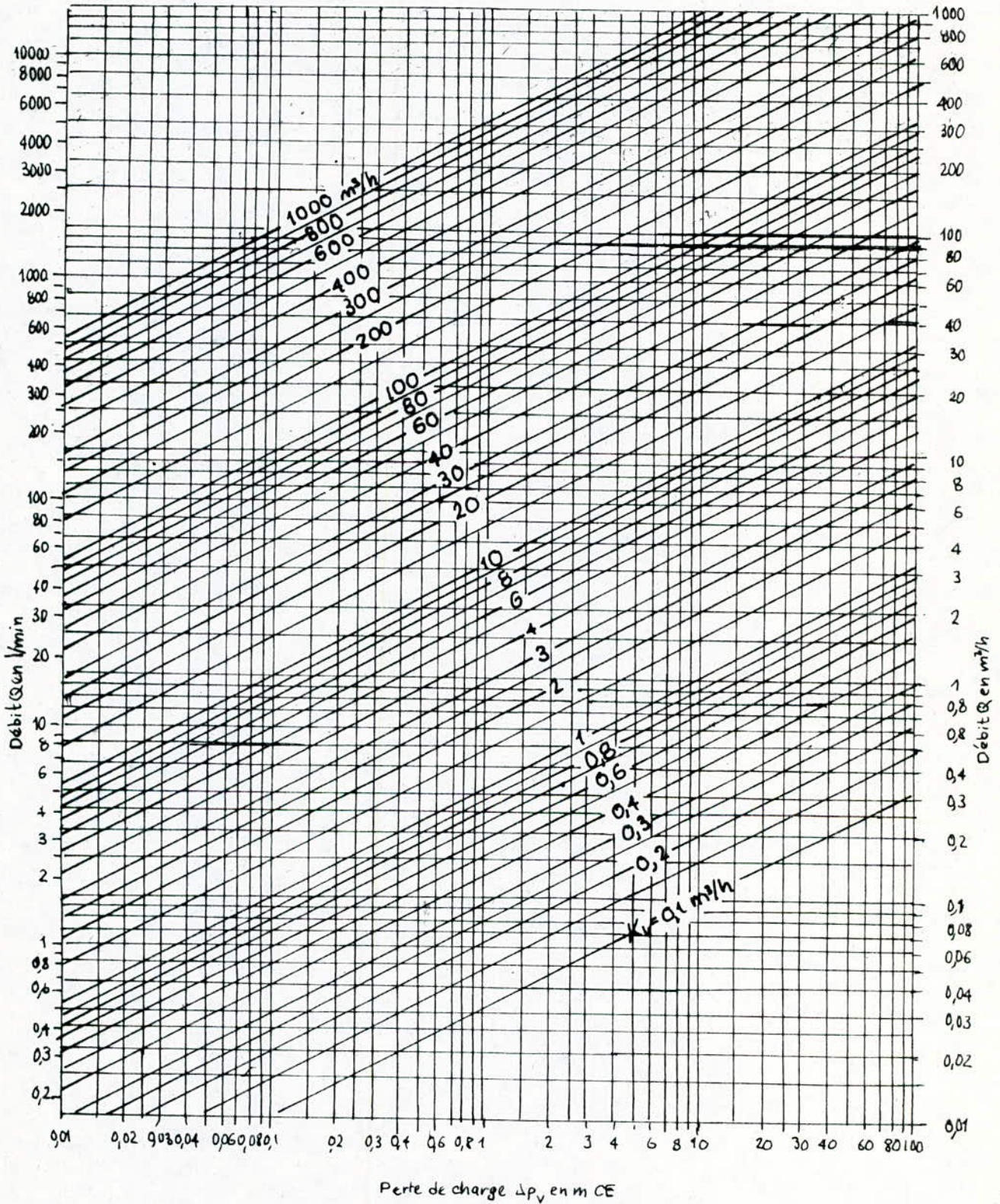


Ex: $Q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta p = 0.5 \text{ kg/cm}^2$, ϕ vanne: $3/4''$
 $Q = 30 \text{ l/s}$, $\Delta p = 0.1 \text{ kg/cm}^2$, ϕ vanne: $2 1/2''$ par excès
 $Q = 300 \text{ l/s}$, $\Delta p = 2.63 \text{ kg/cm}^2$, ϕ vanne: $8''$ par excès

FIG. 1-197. — VANNES LIQUIDES

On porte sur l'une des échelles A, B ou C, le débit du liquide en m³/h aux conditions de circulation. On choisit ensuite la perte de charge exprimée en kg/cm² sur l'une des courbes paraboliques situées à droite de l'échelle des débits et, à l'intersection de la ligne des débits et de la courbe choisie, on trace la verticale qui indique le diamètre de la vanne. On choisit, bien entendu, la série normale la plus proche, plutôt en excès qu'en défaut.

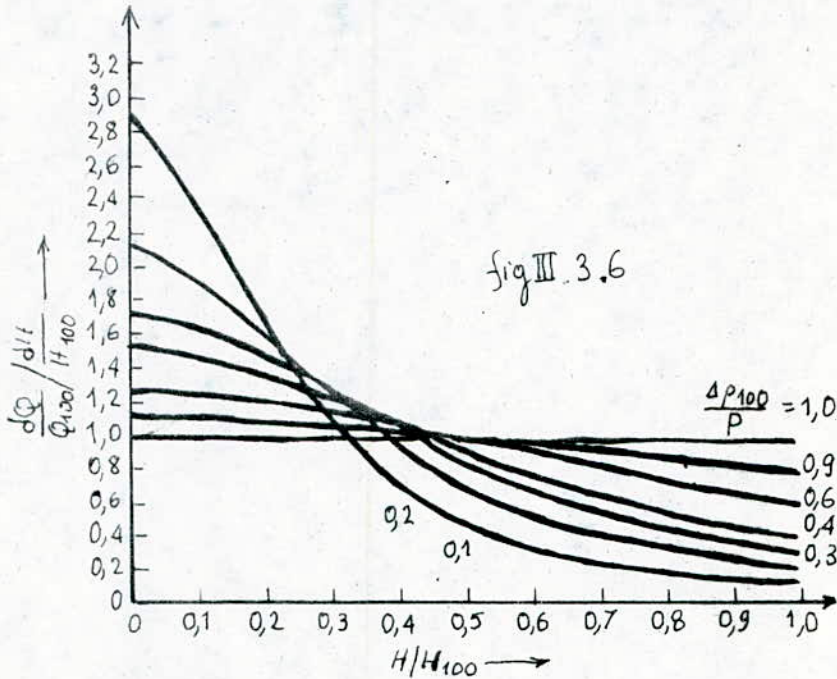
Diagramme pour la détermination du coefficient de vanne k_v (m^3/h) pour l'eau



$10 \text{ m CE} = 1 \text{ kgf./cm}^2$

fig III. 3.5

Si cette dernière condition est satisfaite, on détermine le diamètre de la vanne à l'aide d'abaques.



3.2. Servomoteurs:

Le signal délivré par le régulateur a pour but d'actionner un servomoteur, qui par suite modifie le degré d'ouverture de la vanne.

Dans notre cas, vu la régulation désirée, le servomoteur est du type électrique continu.

Le type de servomoteur comprend un moteur électrique à deux sens de marche, agissant sur l'organe de réglage par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenage ou à vis sans fin et roue tangente. Un relais d'asservissement permet de positionner le moteur avec précision. Des contacts sans fin de course protègent le servomoteur et l'organe de réglage.

Après avoir calculé la vanne, on procède au calcul du servomoteur à l'aide d'abaques. Le servomoteur est souvent adjoint avec la vanne.

CONCLUSION

42

Cette régulation classique présente bien des insuffisances, en particulier :

- La température et l'humidité sont considérées indépendantes, les facteurs météorologiques ne sont pas pris en compte. Une gestion correcte de l'énergie ne peut donc être faite.

- Les valeurs fixes de consigne ne permettent pas de tenir compte des besoins variables de la culture ainsi que son stade de développement.

Pour remédier à ces insuffisances déjà citées, on propose d'introduire une régulation par micro-processeur. Un système à micro processeur permet non seulement de pallier ces problèmes mais aussi de pouvoir contrôler certaines variables indispensables au développement des plantes telle que la teneur en gaz carbonique.

BIBLIOGRAPHIE

— OUVRAGES :

1. Daniel Dindeleu : Technique de la régulation industrielle. Eyrolles . 1981
2. J. Burton : Pratique de la mesure et du contrôle dans l'industrie . Dunod 1966
3. Georges Ash : Les capteurs en instrumentation industrielle . Dunod
4. Broïda : Automatismes . régulation automatique . servomécanisme . Dunod
5. R. Fardin : Mesure et régulation en automatique industrielle . Dunod

— DEMANDES DE BREVET D'INVENTION

1. N° 810 7081 : Serre du type à système souterrain d'accumulation de chaleur .
n° de publication : 2 480 413
2. N° 780 4999 : Procédés et dispositifs pour climatiser des serres . publiée sous le n° 247553
3. N° 80 03372 : Procédé et dispositifs de chauffage d'une serre munie d'une double paroi . N° de publication : 2475850 .

— AUTRES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. E.D.F. Document provisoire n° 2 . Détermination des transmissions par analyse individuelle . méthode de V. STREJC améliorée
 2. Projet de fin d'études : Analyse théorique et expérimentale des propriétés dynamiques d'une serre .
 3. Cours de FEN 225 .
-