

Association Confort Régulation

guide de la régulation

pour le chauffage et la climatisation

3^e édition

Association Confort Régulation

guide de la régulation

pour le chauffage et la climatisation

3^e édition

Préface

En 1973, l'Association «Confort-Régulation» éditait un **Guide de la Régulation** destiné aux ingénieurs, techniciens, professionnels ou exploitants en chauffage et ventilation désirant se familiariser avec les principes fondamentaux de la régulation.

M. Louis Mathieu, à cette époque Président de l'Association des ingénieurs de Chauffage et Ventilation de France, avait bien voulu préfacer ce guide et expliquer la façon dont il avait été réalisé :

«Un plan fut dressé avec les têtes de chapitre. Ce travail fut distribué suivant les affinités de chacun. Les chapitres furent ensuite repris par l'ensemble des ingénieurs du comité de rédaction. Cela a permis un examen rigoureux des textes et vous a conduit souvent à des modifications importantes pour que les mots et l'idée exprimés conviennent à chacune des formes de production...

«...Ce guide est vraiment un ouvrage tout à fait différent de ce qui a pu être réalisé par chaque constructeur. La clarté et la simplification de vos textes apportent la garantie certaine de l'accueil chaleureux que recevra votre guide dans le monde du chauffage».

L'accueil fut tel que rapidement la première édition fut épuisée. Nous avons prévu alors d'éditer un deuxième tome sur la régulation appliquée au conditionnement d'air. Les conditions actuelles du marché nous ont conduits à reporter l'édition du conditionnement d'air à plus tard et par contre à lancer une deuxième édition plus complète du guide de la régulation du chauffage.

Dans cette nouvelle édition, les neuf premiers chapitres n'ont pas été modifiés. Ces chapitres rédigés simplement, sans notion complexe et avec toujours des exemples concrets, expliquent les différents procédés de régulation, avec leur caractéristiques propres et leurs conditions particulières d'emploi.

Après un rappel des données de base nécessaires, il a paru important de souligner les notions d'inertie thermique génératrice de retards et d'exposer les phénomènes observés dans les boucles de régulation, en étudiant les différents organes participant à une action de régulation.

L'accent est mis aussi sur l'importance capitale du rôle de la vanne dans les régulations proportionnelles ou assimilées et sur l'importance qu'il y a à déterminer correctement le type et le diamètre de cet organe.

A ces neuf chapitres, sont venus s'en ajouter trois autres :

- Le principe de fonctionnement des robinets thermostatiques.
- L'optimisation.
- La législation actuelle sur la régulation des installations de chauffage.

Nous pensons ainsi avoir rassemblé en seul document tous les renseignements nécessaires à l'étude et à l'installation des différents systèmes de régulation.

Depuis la crise de l'énergie, le législateur a rendu obligatoire la pose du matériel de régulation sur toute installation de chauffage. Puisse cet ouvrage aider tous les professionnels à résoudre leurs problèmes et à démystifier la régulation présentée trop souvent comme une technique compliquée.

Association Confort Régulation.



Sommaire

PREFACE	5
---------------	---

CHAPITRE I RAPPELS DES NOTIONS DE BASE

1. Rappel des notions thermiques de base	11
2. Rappel des notions hydrauliques de base	13
3. Notions concernant retards – inertie – transferts	16

CHAPITRE II GENERALITES SUR LA REGULATION AUTOMATIQUE

1. Définition	19
2. Boucles de régulation	19
3. Organes de détection	27
– Pour régulations électromécaniques :	
1. Désignations diverses des thermostats	27
2. Définitions concernant les thermostats	29
3. Les différents types de thermostats	31
– Pour régulations électroniques :	
1. Les divers types de sondes	36
2. Eléments sensibles des sondes	37
3. Sondes spéciales	39
4. Organes régulateurs	41
5. Organes de réglage :	
1. Généralités	42
2. Les moteurs	42
3. Les vannes	44

CHAPITRE III REGULATIONS A ACTION DISCONTINUE

1. Régulation à deux positions «tout ou rien» avec variante «tout ou peu»	51
Principe	51
Analyse	52
Conditions d'utilisation	54
Applications	55
Exemples d'adaptations possibles	58
2. Régulation à trois positions ou «flottante»	58
Principe	58
Analyse	59



Conclusions	62
Emploi.....	64

CHAPITRE IV REGULATIONS A ACTION CONTINUE

1. Généralités – Système proportionnel	65
Définition	65
Application au chauffage	65
Examen du système	66
Conclusions	71
2. Application au système électromécanique	72
3. Application au système électronique	76
4. Application au système pneumatique	80
5. Actions complémentaires	82
Nécessités	82
Action intégrale	82
Action dérivée	83

CHAPITRE V CHOIX ET DETERMINATIONS DES VANNES

1. Données techniques	85
Perte de charge	85
Pression différentielle	85
Coefficient de vanne	86
Courbes caractéristiques de vannes	86
2. Etude de la vanne dans l'installation	88
Importance du gain constant	88
Conditions nécessaires au gain constant	89
Etude de la fonction $P = f. Q$	90
Etude de la fonction $P = f. I$	92
Etude hydraulique d'un circuit	92
Autorité de la vanne-définition	93
Détermination de l'autorité de vanne	94
3. Choix des vannes – Applications	97
Pour installations de chauffage par radiateurs	98
Pour installations avec batterie d'eau	98
Pour sous-stations	99

CHAPITRE VI SOUS-STATIONS

1. Définition	101
2. Sous-station à fluide primaire <i>vapeur</i>	101
Principe de la régulation	101



Cas de la vapeur haute pression	102
Cas de la vapeur basse pression	104
Sécurités	105
Fonctions annexes	105
Régulation secondaire	105
Calcul des vannes	106
3. Sous-station à fluide primaire <i>eau surpressée</i>	107
Régulation	107
Sécurité	109
Calcul des vannes	109
4. Sous-station à fluide primaire <i>eau chaude basse pression</i>	110
Régulation	110
Sécurité	113
Calcul des vannes	113
5. Sous-station <i>production d'eau chaude sanitaire</i>	113
6. Conclusion	114

CHAPITRE VII EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Généralités	115
2. Régulation sur le primaire, système à accumulation	118
3. Régulation sur le primaire, système instantané	120
4. La priorité sanitaire	121
5. Mitigeage	122
Choix du diamètre de vanne	122
Montage du détecteur	122
Disposition des bouclages	123
Cas particulier des douches	123
6. Sécurité	123

CHAPITRE VIII VENTILATION - AIR CHAUD - AEROTHERMES

1. Ventilation	125
But	125
Quelques chiffres	125
Constituants	125
Régulation	125
Sécurité antigel	126
2. Chauffage à air chaud	126
Description	126
Procédés de régulation	126
Sécurité antigel	128
Réglage de l'humidité relative	128
Chauffage par batteries électriques	128
3. Aérothermes	128
Description	128
Procédés de régulation	129



CHAPITRE IX CHAUFFAGE ELECTRIQUE

1. Production de chaleur	131
2. Moyens d'utilisation	131
3. Réglages	132
Tout ou rien	132
A puissance fractionnée	133
Progressif à thyristors	133
4. Cas particuliers	134
Appareils à fluide intermédiaire	134
Chauffage à accumulation	135
Réglage du système à accumulation	135
Chauffage mixte accumulation et direct	136

CHAPITRE X ROBINET THERMOSTATIQUE

1. Constitution du robinet thermostatique	137
Déecteur de mesure	137
Organe comparateur	140
Organe d'affichage	140
Organe de réglage	140
2. Nomenclature des différents modèles	140
«Tête» de robinet thermostatique	140
«Corps» du robinet thermostatique	140
3. Etude globale du robinet thermostatique	142
Remarque importante	142
Etude de la levée du clapet	145
Débit d'eau – Fonction de la levée du clapet	149
Puissance émise, fonction du débit	150
4. Applications	151
Choix du diamètre du robinet	151
Conditions nécessaires pour une bonne régulation	151
Précautions dans l'usage des robinets thermostatiques 2 voies	151

CHAPITRE XI PROGRAMMATION OPTIMISATION PRINCIPES

1. Régulation et programmation	153
2. Détermination du point de démarrage	154
3. Immeuble à occupation permanente	154
4. Immeuble à occupation intermittente	155
5. Facteurs d'économies obtenues par la programmation et l'optimisation	156



CHAPITRE XII
BIBLIOGRAPHIE RÉGLEMENTAIRE

1. Loi relative aux économies d'énergie	157
2. Logements neufs	157
3. Logements existants	158
4. Locaux à usage autre que d'habitation	159
5. Avantages fiscaux	159



CHAPITRE I

Rappel des notions de base

Sans entrer dans le détail du calcul et de la réalisation technologique des installations de chauffage central, il a paru utile aux auteurs de rappeler quelques notions de base, dont la terminologie sera utilisée au cours des chapitres traités ci-après, relatifs à la régulation automatique.

1. RAPPEL DES NOTIONS THERMIQUES DE BASE

1.1. Besoins calorifiques

Les besoins calorifiques d'un local à chauffer ne sont pas tributaires du système de chauffage à installer, mais fonction de la construction (dimensions, nature des parois du local, étanchéité), du climat extérieur et de l'exposition, des conditions de température désirées dans le local, des apports internes (occupations, éclairage, machines), et du programme de chauffe (intermittences).

Le bilan des besoins calorifiques permet de calculer les surfaces de chauffe à installer dont la somme représente la puissance à mettre en œuvre par la chaudière.

Les déperditions se décomposent en :

— **déperditions à travers les parois** données par la formule :

$$P = K \cdot S (t_i - t_e) \quad (1)$$

ou :

P = est exprimé en kcal/h.

K = coefficient de transmission thermique exprimé en kcal/m²/h/°C.

S = surface de la paroi en m².

t_i = température intérieure en °C (degré Celsius).

t_e = température extérieure en °C (degré Celsius) (s'il s'agit d'un mur extérieur), ou ambiance de la pièce adjacente.

On se reportera utilement au DTU (document technique unifié) (*) pour les valeurs de K et les corrections d'exposition à y apporter. Le DTU fixe également les températures extérieures de base « t_e » régionales, par lecture d'une carte climatogramme avec les corrections pour altitudes.

— **déperditions par infiltrations et ventilation**

Fonction du volume à chauffer, du débit éventuel de ventilation imposé,

(*) DTU, chapitre I : « Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction et des déperditions de base des bâtiments. »



ces facteurs sont liés également à l'écart de température entre les parois (extérieur et ambiance).

$$P = c \cdot v (t_i - t_e) \quad (2)$$

ou :

P est exprimé en kcal/h.

c = chaleur volumique de l'air en kcal/m³/°C (en général prise à 0,3).

v = volume de l'air de renouvellement en m³/h.

t_i et t_e : voir plus haut.

1.2. Corps de chauffe statiques (chauffage à eau chaude)

Nous rappelons pour mémoire les corps de chauffe statiques les plus usuels :

- radiateurs (fonte, acier, aluminium) ;
- convecteurs ;
- plinthes chauffantes ;
- panneaux rayonnants ;
- grilles enrobées dans la construction.

L'émission calorifique d'un corps de chauffe correspond à la quantité de chaleur émise dans l'unité de temps et s'exprime en kcal/h. Elle est réglée par la formule :

$$P = K \cdot S (t_m - t_i) \quad (3)$$

dans laquelle :

P = émission calorifique en kcal/h.

K = coefficient d'émission du corps de chauffe en kcal/h/°C/m².

S = surface du corps de chauffe en m².

t_i = température de l'ambiance intérieure.

t_m = température moyenne arithmétique du fluide (*), ou :

$$\frac{\text{temp. entrée} + \text{temp. sortie}}{2} \quad (\text{en } ^\circ\text{C}).$$

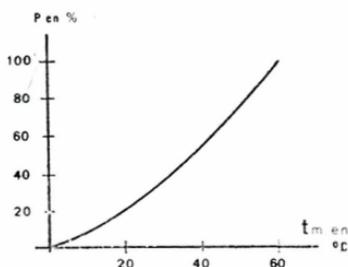


Fig. 1. Variation de P en fonction de t_m. On peut considérer cette fonction comme pratiquement linéaire dans sa zone utile.

(*) En toute rigueur, t_m devrait être prise en moyenne logarithmique.

Les tables des constructeurs donnent directement le type de corps de chauffe à partir de P, t_i et t_m. De ces trois facteurs, on peut immédiatement en déduire le débit nécessaire sachant que :

$$P = Q \times \Delta t \quad (4)$$

dans laquelle :

P = émission calorifique en kcal/h à pleine charge.

Q = débit en litres/h à pleine charge (*).

Δt = écart entre entrée et sortie.

* En toute rigueur, Q devrait être exprimé en Kg/h. En prenant le poids spécifique = 1, nous avons utilisé la formule pratique usuelle.



On remarquera que la quantité de chaleur cédée en fonction du débit n'est pas linéaire (car Δt n'est pas constant) mais exponentielle.

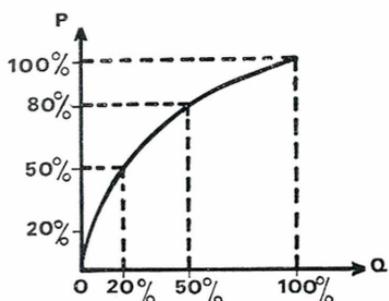


Fig. 2.

Variations de P en fonction de Q (pour une température usuelle de 90/70 °C).

Sur la courbe ci-contre, à 50 % de débit correspond approximativement 80 % d'émission calorifique. Le fait de réduire le débit de moitié n'amène donc pas une réduction d'émission de 50 %. L'étude plus approfondie de ce phénomène est développée au chapitre V, Vannes, paragraphe 23

2. RAPPEL DES NOTIONS HYDRAULIQUES

Dans les installations de chauffage central, la charge motrice nécessaire au transport de la chaleur peut être assurée par thermosiphon ou circulation forcée.

2.1. Thermosiphon

L'eau circule par gravité, c'est-à-dire par différence de densité entre une colonne de départ et une colonne de retour à température inférieure. La force motrice dépend donc de la différence de densité (donc de température) et de la hauteur de la colonne considérée. Des tables donnent avec précision la charge par mètre pour les températures considérées. En pratique, on adopte généralement une pression motrice moyenne de 0,6 mm CE/m/°C (la distance à considérer est celle séparant les plans d'eau moyens du corps de chauffe et du générateur).

La distribution peut être assurée de haut en bas, dite en « parapluie », et de bas en haut dite en « chandelle ».

Dans une installation thermosiphon, l'air contenu circulant toujours de bas en haut pourra être naturellement évacué par le vase d'expansion dans le mode de distribution « en parapluie », alors que des dispositifs de purge seront nécessaires dans la distribution « en chandelle ».

Le système thermosiphon présentera des difficultés pour assurer une régulation correcte, compte tenu du peu de charge motrice qu'il dispense, surtout à faibles charges où justement la régulation prend une importance économique et de confort très importante.

2.2. Circulation forcée

La force motrice nécessaire est engendrée par un accélérateur ou une pompe qui définit le sens de circulation du fluide et son débit. Outre la réduction des sections de tuyauteries, ce mode de circulation permet de placer des corps de chauffe à un niveau inférieur à celui du générateur, d'obtenir des mises en régimes plus rapides et surtout d'assurer une régulation correcte à faible charge.



2.2.1 Caractéristique de pompe

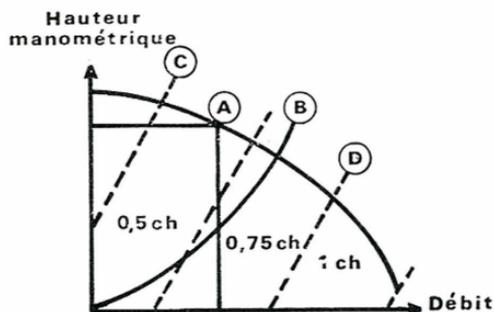


Fig. 3.

Paramètres caractéristiques d'une pompe :
 A : point de fonctionnement sur la courbe ;
 B : exemple de caractéristique de tuyauterie ; fonction $y = ax^2$;
 C : délimitations des puissances électriques absorbées $C < D$.

Elle est définie par une courbe caractéristique représentant la relation entre la hauteur manométrique (en ordonnées) et le débit (en abscisses). L'allure de la courbe caractéristique est différente suivant le mode de construction (diamètre de turbine, angle des aubes, etc.) et la vitesse de rotation. Les courbes caractéristiques sont données par le constructeur.

2.2.2. Caractéristique du réseau - Point de fonctionnement

Pour définir la relation qui lie la pompe à une installation qu'elle dessert, il est nécessaire de connaître la courbe caractéristique de cette installation ou de ce réseau. La caractéristique du réseau est définie par une courbe représentant la relation entre le débit (en abscisses) prévu et la pression nécessaire correspondante pour vaincre les résistances à l'écoulement dans ce réseau. La courbe caractéristique du réseau est une fonction de la forme $y = ax^2$ plus souvent écrite :

$$\Delta P = K \cdot Q^2$$

On voit que les pressions varient comme le carré du débit.

Le point de fonctionnement d'une installation est situé à l'intersection des courbes caractéristiques de la pompe et du réseau. On voit, figure 5, que pour différentes courbes de réseau correspondent des points de fonctionnement différents. Une surestimation des résistances à l'écoulement lors du calcul de la caractéristique de réseau (courbe 1) détermine un point de fonctionnement plus bas sur la courbe de pompe en fonctionnement (courbe 2). Comme d'autre part la puissance électrique absorbée par le moteur de pompe est fonction du débit, on voit le danger que peut présenter la surestimation des résistances à l'écoulement ou le by-pass de tronçons de réseau sans compensation de résistance.

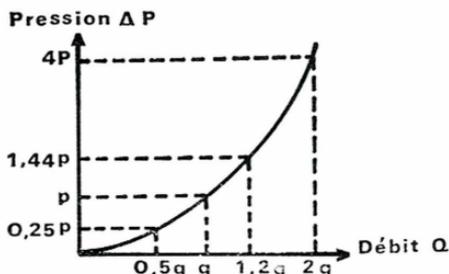


Fig. 4.

Courbe caractéristique d'un réseau.

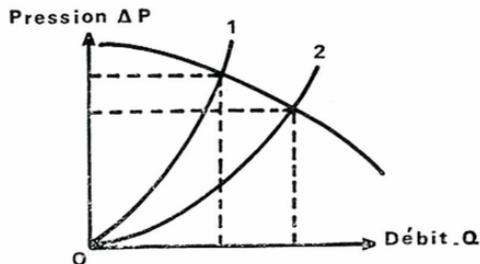


Fig. 5.

Points de fonctionnement pour deux courbes caractéristiques de réseau 1 et 2.

2.2.3. Purge d'air

Compte tenu de la vitesse de circulation, l'air se trouve entraîné et en partie dissous dans l'eau pulsée. Cet air devra être évacué aux points hauts de l'installation par des dispositifs de purge, automatiques de préférence.

car ils assurent une fonction instantanée et continue. On s'assurera que les purgeurs sont bien placés en des points « en pression », définis par l'emplacement relatif de la pompe et du vase d'expansion.

Emplacement relatif du vase d'expansion par rapport à la pompe

— Pompe à l'arrêt

La pression statique, en chaque point de l'installation, est définie par le niveau de l'eau dans le vase. S'il s'agit d'un vase fermé, la pression statique est la même en tous les points et augmentée de la pression de « gonflage ».

— Pompe en fonctionnement

Au refoulement, la pression (voir croquis) s'accroît de la hauteur manométrique de pompe puis, à mesure que l'on s'en éloigne, diminue de la valeur des pertes de charge jusqu'à l'expansion; elle diminue encore de la valeur des pertes de charge entre l'expansion et l'aspiration de la pompe. La partie située entre l'expansion et l'aspiration est soumise à une pression inférieure à celle du point d'expansion et si sa charge statique est inférieure à la pression d'aspiration, elle sera en dépression. Les risques d'entrée d'air sont alors certains.

L'emplacement de la pompe par rapport au vase d'expansion doit donc faire l'objet d'une attention toute particulière (voir croquis fig. 6) et une condition suffisante permet de dire que la hauteur de vase au-dessus du point le plus haut de l'installation (en vase ouvert) ou la pression statique de « gonflage » (en vase fermé) doit être supérieure à la hauteur manométrique de pompe.

Emplacements relatifs du vase, de la pompe et de la chaudière

Le point E de la figure 6 (expansion) représente le point inerte de l'installation.

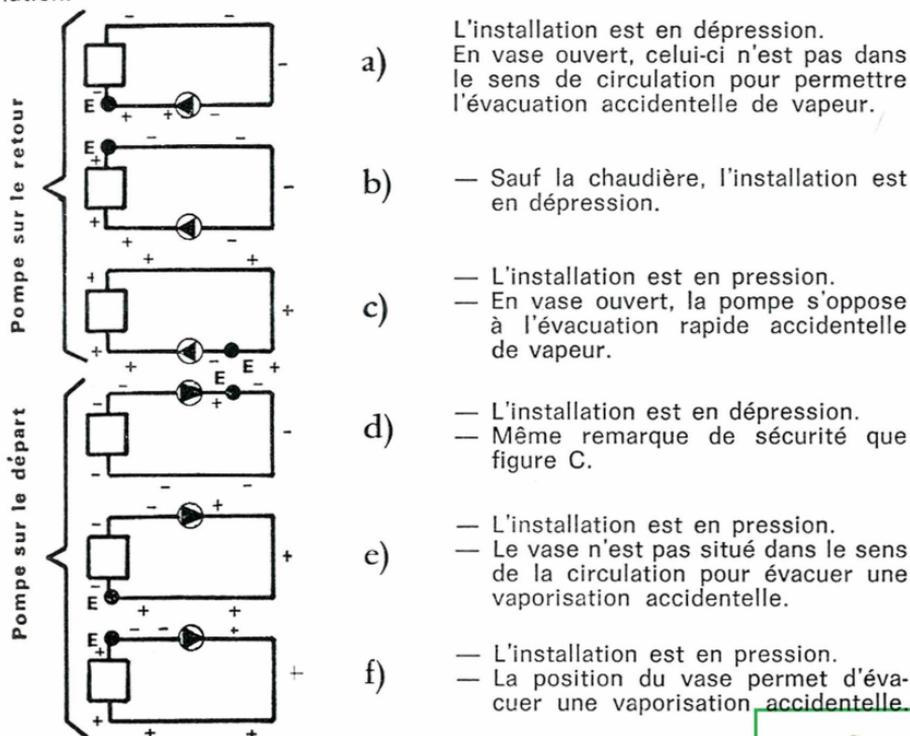


Fig. 6.

3. NOTIONS CONCERNANT RETARDS - INERTIES - TRANSFERTS

En thermique, les réactions ne sont jamais instantanées, il s'écoule toujours un certain temps entre une variation de la grandeur à régler et la compensation de cet écart. Le temps de compensation est dénommé en terme général **retard**.

Ce retard comprend :

- le temps de réponse de l'organe de mesure ou détecteur ;
- le temps de transfert de l'ordre émis par le détecteur à l'organe de réglage chargé de modifier la grandeur réglante (ce transfert peut être considéré comme négligeable s'il s'agit d'un régulateur électrique ou électronique. Il sera fonction de la vitesse du fluide moteur et de la distance en régulation pneumatique ou hydraulique) ;
- le temps de manœuvre de l'organe de réglage chargé de modifier la grandeur réglante ;
- le temps de transfert de la nouvelle valeur de la grandeur réglante ;
- le temps de réponse du corps de chauffe.

Les **temps de transfert** sont évidemment fonction de la vitesse de déplacement et de la distance entre les deux points considérés.

$$t = v \cdot l$$

t = temps.
v = vitesse de déplacement.
l = distance.

Les **temps de réponse** sont dus aux capacités calorifiques des corps considérés qui dépendent de leur nature (chaleur spécifique et conductibilité), de leurs masses et de leur coefficient global d'échange externe.

Ces temps de réponse se décomposent en :

- **temps mort** : temps nécessaire X_m pour qu'une variation de température donne un début d'action ;
- **constante de temps** : temps nécessaire X_R pour compenser approximativement les deux tiers de la variation après écoulement du temps mort.

$$X_R = \frac{m \cdot c}{k \cdot s}$$

X_R = constante de temps.
m = masse du corps.
c = chaleur spécifique du corps.
s = surface d'échange.
k = coefficient d'échange thermique.

La totalité de la compensation ne sera effective qu'après environ 5 fois X_R .

La figure 7 montre la forme de la compensation.



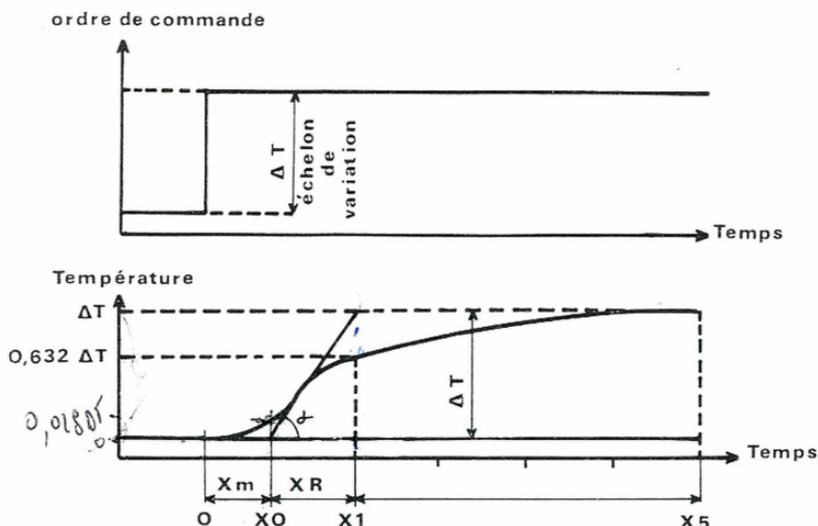


Fig. 7.

X_m = temps mort.

X_R = constante de temps.

Temps de réponse : $T = X_m + X_R$

$\text{tg } \alpha$ = vitesse de montée (ou de réponse) généralement exprimée en degrés d'élévation par minute.

$\frac{1}{\text{tg } \alpha}$ = coefficient d'inertie, exprimé généralement en minute par degré, ou nombre de minutes nécessaire pour monter d'un degré.

Les organes de détection (thermostats, sondes...) possèdent des constantes de temps variables suivant leur nature et leur dimension (voir plus haut), qui peuvent augmenter notablement lorsqu'ils sont équipés d'écrans de protection, de doigts de gant, susceptibles de modifier le coefficient d'échange calorifique entre le fluide à mesurer et le détecteur lui-même.

L'ordre de grandeur des constantes de temps des détecteurs peut être de 10 à 100 secondes et plus.

Les corps de chauffe possèdent généralement des constantes de temps beaucoup plus importantes en raison surtout de leurs dimensions, donc de leurs masses. On peut citer les ordres de grandeur suivants :

- Echangeurs = 10 à 100 secondes.
- Batteries, convecteurs = 1 minute à 10 minutes.
- Radiateurs à eau = 10 minutes à 1 heure.
- Panneaux de sol = 1 heure à 5 heures.

CHAPITRE II

Généralités sur la régulation automatique

1. DÉFINITION

La régulation automatique a pour but :

- de maintenir automatiquement (sans intervention humaine)
- à une valeur désirée (point de consigne)
- une grandeur physique (température, pression, humidité,...)
- soumise à des variations (pertes ou apports de calories).

COMMENT ?

- en mesurant la valeur réelle de la grandeur physique à régler
- en la comparant avec le point de consigne
- en agissant sur la grandeur de réglage (température ou débit du fluide, par exemple) pour réduire l'écart constaté.

2. BOUCLES DE RÉGULATION

Pour réaliser les différentes opérations nécessaires à la régulation, il faut :

— **un organe de détection**

pour mesurer la valeur réelle de la grandeur à régler (température, pression, humidité...);

— **un régulateur**

pour comparer la valeur réelle de la grandeur à régler avec le point de consigne (valeur désirée), et transmettre un signal de correction à l'organe de réglage ;

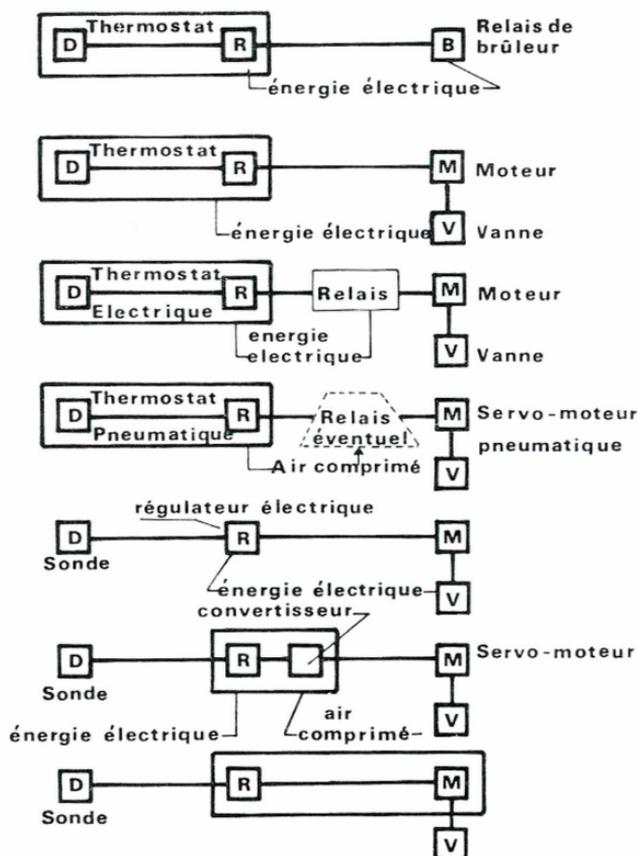
— **un organe de réglage**

pour ajuster la grandeur de réglage à la valeur nécessaire.

Exemple : température ou débit d'eau chaude : ces organes sont disposés en « boucle » pour constituer un circuit fermé.

Nota. — Dans certains cas, le régulateur est soit incorporé à l'organe de réglage, soit à l'organe de détection. Par exemple : le thermostat d'ambiance est à la fois organe de mesure et régulateur. Voir tableau résumé page suivante.





2.1. Boucle fermée

La figure 1 montre une boucle simple appliquée à la régulation d'ambiance d'un local, dans laquelle apparaissent les différents organes et les grandeurs caractéristiques soumises à variation :

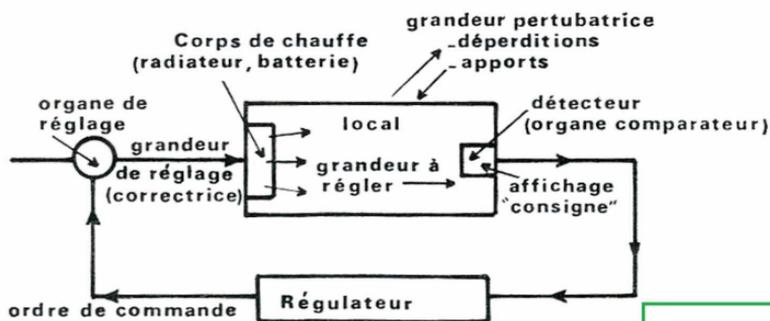


Fig. 1.

- a) la **grandeur à régler** : c'est la grandeur physique (température, humidité, pression) qui doit être maintenue à la valeur désirée pour que le fonctionnement de l'installation soit correct (ici : ambiance d'un local) ;
- b) les **grandeurs perturbatrices** : c'est tout ce qui tend à modifier la grandeur à régler (déperditions ou apports calorifiques, soleil, vent, occupation des locaux, éclairage, etc.). Elles constituent la « charge » de l'installation ;
- c) la **grandeur de réglage** : c'est la grandeur sur laquelle agit l'organe de réglage pour ramener la grandeur à régler sur la valeur désirée (ici : température ou débit de l'eau alimentant les surfaces de chauffe).

Fonctionnement de la boucle fermée

Dans l'installation existe le paramètre dont il faut contrôler la valeur et que l'on appelle « grandeur à régler ». La valeur de celle-ci est injectée à l'entrée de la boucle et comparée à une valeur fixée d'avance, dénommée « point de consigne ».

Le régulateur mesure la différence entre « point de consigne » et « valeur instantanée de la grandeur à régler » pour donner constamment un signal d'erreur ou écart.

A partir de cet écart, le régulateur élabore un ordre de commande qui est envoyé dans un organe de réglage. Celui-ci modifie le débit ou la température d'eau chaude alimentant les surfaces de chauffe.

La variation calorifique qui en résulte va se répercuter sur la température ambiante du local, ce dont le détecteur va rendre compte. La boucle est donc refermée : c'est la caractéristique essentielle de tout système de régulation. Ce système élémentaire ne comporte qu'une boucle, mais ne tient pas compte de l'inertie thermique.

Du fait de l'inertie thermique (principalement celle des corps de chauffe) (voir chap. I-3), rien n'est instantané, et les ordres circulent dans la boucle à une vitesse relativement lente. La boucle est dite **longue**, car dans un réglage de chauffage central on observe souvent un retard global supérieur à une heure. Si l'on voulait faire fonctionner ce système sans précaution, il serait impossible de la stabiliser et l'on obtiendrait le phénomène bien connu sous le nom de « pompage ».

Pour conserver une bonne précision au système, tout en obtenant la stabilité, on ajoute des boucles secondaires plus courtes permettant de prévoir la réponse et de devancer son action (fig. 2). **Par exemple**, on prend comme grandeur auxiliaire la température d'eau chaude au départ et on l'applique au régulateur. La boucle **courte** ainsi réalisée représente alors un temps de transfert de 5 à 10 minutes, ce qui va beaucoup faciliter la stabilisation.

En résumé, une boucle **courte** apporte un effet stabilisateur, mais introduit, parfois, une erreur permanente que l'on s'efforce de limiter à une valeur acceptable.

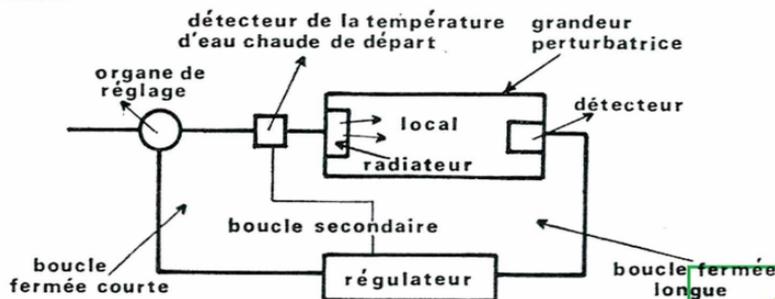


Fig. 2.



La régulation en boucle courte fermée s'applique à la régulation **individuelle** d'ambiance d'un seul et unique local.

2.2. Boucle ouverte

(Cas d'un seul élément perturbateur)

Un cas particulier intéressant en chauffage central est celui où le système à régler a des réactions suffisamment bien connues par rapport à la température extérieure — grandeur perturbatrice principale — pour qu'on puisse établir entre elle et la température d'eau chaude une loi physique simple. On peut **supprimer** la mesure de la température intérieure et couper la boucle longue en se limitant à la boucle courte : c'est le principe de la régulation en fonction de la température extérieure (fig. 3).

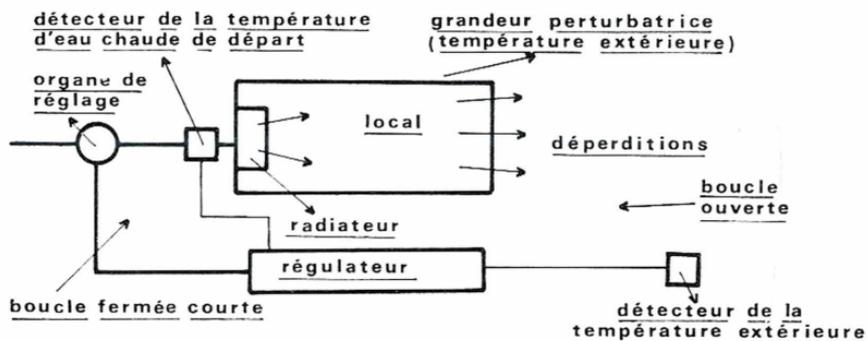


Fig. 3.

Cette simplification du réglage n'est valable que dans la mesure où la température intérieure — grandeur à régler — ne dépend que de la **loi** reliant la température extérieure et la température de départ d'eau chaude. En fait, ce mode de réglage est utilisé quand les autres facteurs perturbateurs n'ont pas une influence prépondérante.

Il cesse d'être valable dès que l'un d'eux : insolation, apport interne, devient important.

La **loi de correspondance** entre température extérieure et température de départ d'eau chaude se détermine comme indiqué au paragraphe 2.3.2.

Ce mode de régulation s'applique principalement à la régulation **collective** de plusieurs locaux d'un même immeuble.

2.3. Introduction des éléments perturbateurs dans la boucle de régulation

2.3.1. Principes

Dans ce qui précède, seule la variation de la grandeur à régler a été introduite dans les régulateurs, abstraction faite des éléments perturbateurs qui provoquent cette perturbation, que ce soit des éléments extérieurs ou intérieurs à l'installation à régler. La grandeur de réglage n'est liée qu'à l'écart.

Or les actions perturbatrices ne produisent pas leurs effets instantanément sur la variable à régler, ou sur la variable de réglage.

Lorsque les retards de réponse s'accroissent, la méthode de réglage précédente oblige à corriger sans cesse les effets étalés dans le temps des diverses perturbations et se révèle incapable de trouver un équilibre stable. Il s'établit un « pompage » autour de la valeur de réglage, avec comme conséquence une variation de la variable à régler parfois inacceptable.

Pour éviter cet inconvénient, on a recouru à une autre méthode qui consiste à introduire dans le régulateur, à la fois les grandeurs perturbatrices, la grandeur de réglage et la grandeur à régler.

On établit les « lois de correspondance » entre ces variables et la grandeur à régler, c'est-à-dire que l'on calcule l'action thermique de chacune d'elles par rapport à celle à régler, en régime perturbé maximum pour tenir compte des retards de réponse.

Les perturbations étant détectées dès qu'elles se manifestent, le régulateur commence à agir sur l'organe de réglage dans la proportion déterminée par les lois de correspondance, avant même que la grandeur à régler ait changé de valeur.

On enregistre les variations de chaque grandeur au moyen d'un détecteur dont les informations sont introduites dans le régulateur. On dose leurs actions suivant les lois de correspondance préparées dans le régulateur qui, en fonction des perturbations détectées, commandera ainsi l'organe de réglage suivant ces mêmes lois.

Si ces dernières ont été correctement établies et ont bien tenu compte des retards de réponse en régime variable, la correction apportée par le régulateur sera parfaite et la grandeur à régler sera maintenue stable.

Dans le cas contraire, il se manifestera une petite variation qui sera alors facilement corrigée, comme dans la première méthode de la boucle fermée.

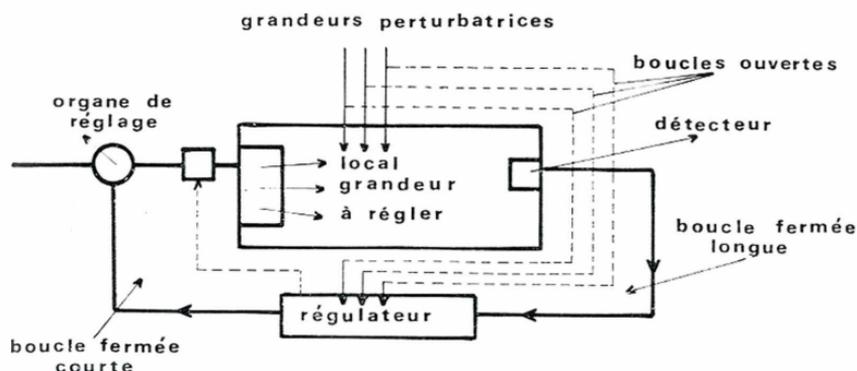


Fig. 4.

Boucle de régulation avec compensation

Il y a lieu de recourir à cette méthode toutes les fois que le système à régler est soumis à des fortes perturbations dues à plusieurs variables connues et que les retards de réponse sont importants.

Relation entre la puissance émise et la température du fluide

Nous avons vu, chapitre I, que la puissance à fournir relève de la formule :

$$P1 = K1 \cdot S1 (t_i - t_e) \quad (\text{formule 1})$$

et que, d'autre part, l'émission calorifique d'un corps de chauffe correspond à :

$$P2 = K2 \cdot S2 (t_m - t_i) \quad (\text{formule 2})$$



Les variables sont :

t_e = température extérieure
 t_m = température moyenne du fluide

afin de maintenir la température ambiante t_i constante.

Comme par définition $P_1 = P_2$, t_e et t_m sont liés linéairement. Il faudra donc agir sur t_m en fonction des variations de t_e .

Ceci reste valable tant que les grandeurs perturbatrices se limitent à la seule température extérieure.

Si d'autres grandeurs perturbatrices interviennent et modifient t_i , on ne pourra agir que sur t_m afin de les compenser.

2.3.2. Loi de correspondance (à ambiance fixe)

Considérons un local chauffé par radiateurs, dont l'ambiance doit être maintenue à valeur constante. On supposera que les apports calorifiques dus au soleil ou à l'occupation sont nuls et qu'il en est de même des déperditions résultant de l'action du vent. La variable qui influencera la grandeur à régler sera donc la température extérieure. On établira une relation entre cette température et la température de l'eau qui alimentera les corps de chauffe.

Exemple : Par le temps le plus froid (par exemple $-10\text{ }^\circ\text{C}$), afin de maintenir l'ambiance à $20\text{ }^\circ\text{C}$, il faudra alimenter les radiateurs avec de l'eau à $80\text{ }^\circ\text{C}$ (voir chap. I-2).

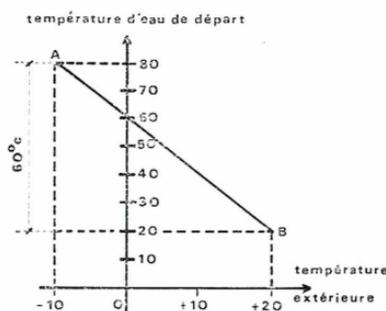


Fig. 5.

La loi sera caractérisée par :

$$\frac{\text{écart des températures d'eau}}{\text{écart des températures extérieures}} = \frac{80 - 20}{20 - (-10)} = \frac{60}{30} = 2$$

L'installation aura donc une loi de correspondance ayant une pente de 2. C'est-à-dire que pour $1\text{ }^\circ\text{C}$ de variation de la température extérieure, on provoquera $2\text{ }^\circ\text{C}$ de variation sur la température du fluide contrôlé.

2.3.3. Loi de correspondance (à ambiance évolutive)

Il est possible également d'utiliser une loi de correspondance donnant une température ambiante croissante ou décroissante, lorsque la température extérieure varie :

Exemple : + $20\text{ }^\circ\text{C}$ par + $20\text{ }^\circ\text{C}$ extérieur
 et + $23\text{ }^\circ\text{C}$ par $-10\text{ }^\circ\text{C}$ extérieur.

Théoriquement, par $20\text{ }^\circ\text{C}$ à l'extérieur, pour maintenir les locaux à $20\text{ }^\circ\text{C}$, il suffirait d'envoyer de l'eau à cette même température dans les radiateurs. Nous avons les deux points extrêmes A et B de la courbe que devra suivre le régulateur et que l'on apparentera à une droite.

On aura donc :

- Par $-10\text{ }^\circ\text{C}$ extérieur, départ $80\text{ }^\circ\text{C}$: point A.
- Par $+20\text{ }^\circ\text{C}$ extérieur, départ $20\text{ }^\circ\text{C}$: point B.



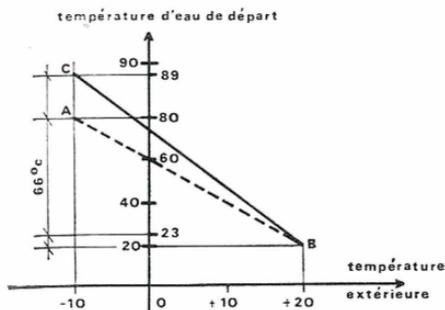


Fig. 6

On peut déterminer cette loi de la manière suivante : pour l'installation précédente, un écart de $20 - (-10) = 30^\circ\text{C}$ extérieur avait exigé un écart de température d'eau de $80 - 20 = 60^\circ\text{C}$.

Si l'on désire maintenir un écart de $23 - (-10) = 33^\circ\text{C}$ extérieur, l'écart de température d'eau devra être :

$$\frac{60 \times 33}{30} = 66^\circ\text{C}$$

La nouvelle température de départ sera de $23 + 66 = 89^\circ\text{C}$ pour la température extérieure de base (-10°C).

Le second point de la courbe est de 20°C par $+20^\circ\text{C}$ extérieur.

La pente est de :

$$\frac{89 - 20}{20 - (-10)} = \frac{69}{30} = 2,3 \text{ au lieu de } 2$$

2.3.4. Lois de correspondance à variables multiples

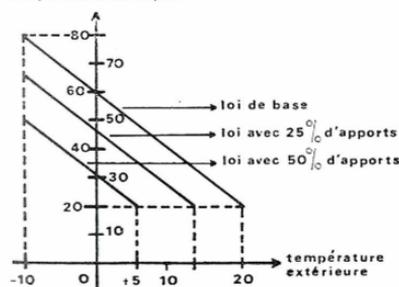
Dans l'exemple précédent, nous avons admis que la grandeur à régler ne dépendait que d'une seule variable : la température extérieure ; d'autres variables peuvent modifier la température intérieure des locaux ; suivant leur importance, on en tiendra plus ou moins compte.

Les trois principales seront :

- Apports calorifiques internes aux locaux : occupants, machines, éclairage, etc.
- Apports calorifiques dus à l'ensoleillement.
- Déperditions complémentaires dues à l'action du vent.

2.3.4.1. Apports calorifiques dus à l'occupation des locaux et à l'ensoleillement

température de départ



La loi de correspondance définie dans le paragraphe ci-dessus permettait de maintenir l'ambiance à 20°C .

Par -10°C extérieur, pour compenser les déperditions D, il fallait une variation de la température d'eau de : $\Delta t = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}$. Si les apports sont égaux à A, on

$$\text{aura donc : } \Delta t = \frac{80 - 20}{D} \times A.$$

Fig. 7.

Décalage parallèle



Supposons que les apports sont égaux à 50 % des déperditions, on aura alors

$\Delta t = \frac{60}{2} = 30^\circ\text{C}$, ce qui représente la moitié de la variation totale. D'autre

part, à 20°C sans apport, on ne chauffe plus. Avec les apports égaux à la moi-

tié des déperditions, il ne faudra plus chauffer à : $20 - \frac{(20 + 10)}{2} = + 5^\circ\text{C}$.

Si les apports avait été égaux à 25 % des déperditions, on aurait cessé de

chauffer à $20 - \frac{(20 + 10)}{4} = + 12,5^\circ\text{C}$.

Le détecteur de correction, qu'il soit d'ambiance ou extérieur à effet solaire, devra donc à tous moments mesurer le dépassement dû aux apports calorifiques. La correction apportée se traduira par un décalage parallèle inférieur de la loi de correspondance.

2.3.4.2. Déperditions dues au vent (effet anémométrique)

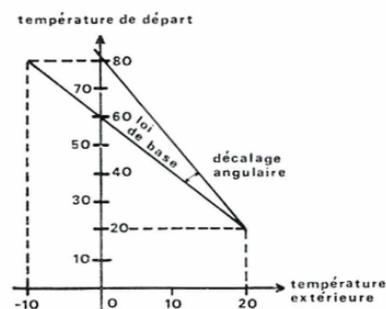


Fig. 8.

Décalage angulaire

Les déperditions dues au vent sont de deux types :

a) par modification du coefficient de transmission des murs ;

b) par infiltration, la façade de l'immeuble se trouvant en surpression par rapport à l'intérieur. Le détecteur extérieur de correction de vent devra donc tenir compte de la température du vent, de sa vitesse, de son incidence par rapport à la façade considérée.

Il est à noter qu'une correction valable ne peut être apportée que dans la mesure où l'installation de chauffage le permet, c'est-à-dire :

- 1° qu'elle délivre la surpuissance nécessaire pour combler les déperditions passagères dues au vent ;
- 2° que la répartition des circuits permette d'effectuer la correction souhaitée (notion de régulation par zone, etc.).

Si l'on suppose un vent ayant une vitesse de 50 km/h, et une température de 20°C , les déperditions seront nulles. Par contre, à la même vitesse mais à 0°C de température, les déperditions seront très importantes. La correction à apporter devra donc se traduire le plus souvent par une variation angulaire de la loi de correspondance.

3. ORGANES DE DÉTECTION

Les **organes de détection** sont les organes qui, dans un dispositif de régulation de chauffage ou de conditionnement d'air, permettent de contrôler les grandeurs comme les températures, les humidités, les pressions, les niveaux, etc. Notre étude se limitera aux **organes de détection** de température. Nous distinguerons deux grandes classes d'appareils, suivant les types de régulation :

- les **thermostats**, utilisés dans les régulations électromécaniques ou pneumatiques ;
- les **sondes**, utilisées dans les régulations électroniques.

Cette étude de base pourra, malgré tout, s'appliquer aux organes de détection d'humidité, de pression ou de niveau qui seront analysés dans un autre livre, ainsi que les thermostats pneumatiques.

Organes de détection pour régulations électromécaniques

Ces organes sont communément appelés **thermostats**.

Ils comprennent trois parties :

- un **élément sensible**, chargé de contrôler la température, par un moyen physique en produisant une action mécanique ;
- un **comparateur**, chargé de confronter l'action de l'élément sensible avec une référence dans une balance de forces ; la référence est généralement un ressort dont la tension est fixée par le réglage du point de consigne ;
- un **élément d'exécution**, chargé d'assurer la commande électrique nécessaire.

C'est en raison de cette dernière fonction que les thermostats sont appelés parfois improprement **organes d'impulsion**.

1. DÉSIGNATIONS DIVERSES DES THERMOSTATS

Il existe une terminologie très variée dans le domaine des thermostats. Il est bon d'y mettre un peu d'ordre.

1.1. Un thermostat est désigné sous le nom de :

- **Aquastat** : lorsqu'il est chargé de contrôler spécialement une température d'eau et, par extension, la température d'un fluide liquide.
- **Airstat** : lorsqu'il est chargé de contrôler spécialement une température d'air et, par extension, la température d'un fluide gazeux.

1.2. Pour tenir compte de leur **place** dans la boucle de régulation, les **thermostats** prennent les noms de :

- **Thermostat d'ambiance** : lorsque l'organe est placé dans un local dont il doit contrôler la température. Il est fixé généralement sur un mur, une cloison.



- **Thermostat d'immersion** : lorsque l'élément sensible est « introduit » dans une canalisation, une chaudière, un ballon, un échangeur, une cuve, un bac, etc.
- **Thermostat d'applique** : lorsque l'élément sensible est « appliqué » directement sur un conduit transportant un fluide liquide (tuyau d'eau) pour contrôler par conductibilité la température de ce fluide.
- **Thermostat de gaine** : lorsque l'élément sensible est introduit dans une gaine de transport d'air.

1.3. Pour tenir compte de leur **fonction** dans la boucle de régulation, ou de leur rôle particulier, les **thermostats** sont dénommés :

- **Thermostat de régulation** : lorsqu'ils commandent effectivement et directement les organes de réglage.
- **Thermostat de sécurité** : lorsqu'ils doivent jouer un rôle de **limitation** de température pour assurer la sécurité des installations.

Exemples : Un thermostat **limiteur maxi** sur panneaux de sol agira pour limiter la température de l'eau à 55 °C.

Un thermostat **antigel** préviendra le gel d'une batterie de chauffage en cas d'anomalie de fonctionnement.

1.4. Pour tenir compte du **mode d'action** de leur dispositif de commande électrique, les **thermostats** sont dénommés :

- **Thermostat « tout ou rien »** (fig. 9a).

La commande mécanique actionne un interrupteur, un commutateur ou un inverseur à contacts secs ou à mercure, à rupture brusque.

Les contacts ont un pouvoir de coupure important, par exemple jusqu'à 12 A sous 220 V.

Un thermostat doit être capable d'effectuer au moins 100 000 manœuvres, avec son pouvoir de coupure nominal.

- **Thermostat flottant** (fig. 9b).

La commande mécanique actionne une lame mobile, à mouvement lent, pouvant occuper toutes les positions entre les contacts fixes.

Les contacts sont toujours à faible pouvoir de coupure, par exemple 1 A sous 24 V ; 0,2 A sous 220 V.

- **Thermostat proportionnel** (fig. 9c).

La commande mécanique actionne un curseur se déplaçant le long d'une résistance électrique bobinée, en pouvant occuper toutes les positions intermédiaires.

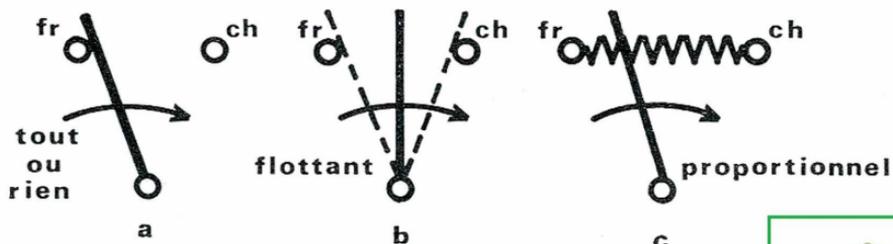


Fig. 9.

1.5. Enfin, pour tenir compte du **principe de détection** utilisé, de la nature de l'**élément sensible**, les **thermostats** se répartissent en quatre types :

- Thermostat à dilatation solide.
- Thermostat à bilame ou bimétal.
- Thermostat à dilatation liquide.
- Thermostat à tension de vapeur.

Avant de les étudier en détail, notons quelques définitions nécessaires.

2. QUELQUES DÉFINITIONS CONCERNANT LES THERMOSTATS

2.1. Contacts

Le but final du thermostat est d'actionner un contact électrique ou de déplacer le curseur d'un potentiomètre en fonction d'une variation de température.

Dans les trois représentations des commandes (fig. 9, a, b, c), **et par convention**, on indique par une flèche le sens de déplacement du contact mobile ou du curseur lorsque la température contrôlée croît. On définit ainsi un contact (ou extrémité) **froid** et un contact (ou extrémité) **chaud**.

2.2. Différentiel - sensibilité

On appelle différentiel (ou fourchette) l'écart de température nécessaire pour faire passer le contact mobile (ou le curseur) du contact froid au contact chaud (ou d'une extrémité à l'autre) ou inversement.

Le différentiel peut être réglable.

S'exprimant en °C, il traduit en fait **la sensibilité** du thermostat « **tout ou rien** ». Dans un système **flottant ou proportionnel**, la sensibilité exprimera l'écart de température entraînant un mouvement décelable ou un signal exploitable.

Notons aussi que dans un système proportionnel, le **différentiel** est dénommé, de préférence : **écart de bande proportionnelle**, ou, plus simplement, **bande proportionnelle**.

2.3. Point de consigne

C'est la valeur désirée de la grandeur à régler. Le bouton de réglage agit sur la tension d'un ressort équilibrant l'action de l'élément sensible dans une balance de forces. Le point de consigne correspond **généralement** à la température **supérieure** assurant le basculement « tout ou rien » du contact mobile de froid sur chaud (voir fig. 10).

Cette fonction correspond au déclenchement (arrêt) dans un système « chauffage » et à l'enclenchement (marche) dans un système « refroidissement ».

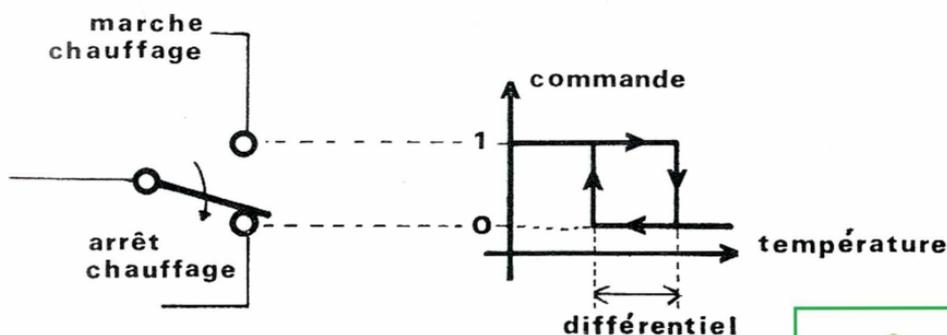


Fig. 10.

Le point de consigne peut aussi être considéré comme la température **inférieure** assurant le basculement du contact chaud au contact froid.

Le différentiel est bien l'écart entre ces deux températures supérieure et inférieure.

Dans un système proportionnel, le point de consigne peut être réglé soit au début de course, soit en fin de course, soit à mi-course du curseur.



Fig. 11.

2.4. Zone d'emploi - Domaine d'emploi

C'est la délimitation d'un champ de température dans lequel un thermostat est susceptible d'être utilisé sans risque de détérioration ou de mauvais fonctionnement.

2.5. Zone de réglage - Plage de réglage - Intervalle de réglage - Gamme de réglage

C'est la délimitation correspondant à l'échelle d'utilisation pratique du thermostat, permettant un choix du point de consigne.

2.6. Zone neutre - Plage neutre - Décalage

L'action mécanique assurée par l'élément sensible peut commander des **contacts doubles**, simultanés ou **décalés** (fig. 12).

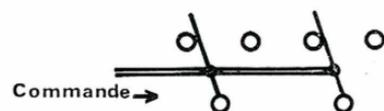


Fig. 12.

S'il y a décalage, le 2^e contact n'est actionné qu'après une nouvelle variation de température.

L'écart de température entre les deux opérations constitue la zone ou plage neutre, ou le décalage.

2.7. Constante de temps - Temps mort

Du fait de l'inertie thermique, l'action d'un thermostat n'est pas instantanée. Le retard de fonctionnement est de l'ordre d'une dizaine de minutes.

Il dépend des caractéristiques de l'appareil (voir chap. I-3).

2.8. Résistances additionnelles

2.8.1. Résistance d'anticipation ou accélératrice ou d'atténuation

Dans un thermostat à commande « tout ou rien », le temps d'établissement d'un contact (enclenchement ou déclenchement) est fonction :

- du différentiel,
- de l'inertie du thermostat,
- de la charge contrôlée,
- de la vitesse de variation de la charge,
- de l'inertie du local.

Une résistance chauffée pendant le temps d'établissement d'un contact peut « tromper » l'élément détecteur, modifier le temps de commande et, par là, diminuer les variations de la température contrôlée.

Un exemple de cette fonction est donné au chapitre III, Régulation « tout ou rien » (§ 1.2., 3^e cas).

2.8.2. Résistance d'abaissement du point de consigne

De même une résistance chauffante mise sous tension **manuellement** ou **par une horloge** peut « tromper » l'élément détecteur en augmentant la température qu'il ressent et produire par là un abaissement artificiel du point de consigne de l'ordre de 2 °C à 5 °C.

Cette fonction est désignée habituellement sous le nom de « **ralenti** ».

3. LES DIFFÉRENTS TYPES DE THERMOSTATS D'APRÈS LE MODE DE DÉTECTION DES TEMPÉRATURES

3.1. Thermostats à dilatation linéaire d'un corps solide

Ces thermostats sont aussi appelés à **tige métallique** ou à **canne**.

En fait, on utilise le principe de la dilatation linéaire, en fonction de la température d'un **tube** métallique à l'intérieur duquel se trouve une **tige non dilatable**.

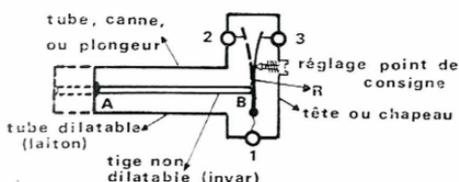


Fig. 13.

Tube et tige sont solidaires à l'extrémité A.

Toute variation de température entraîne une variation proportionnelle de longueur du tube, donc un déplacement relatif correspondant de l'extrémité B de la tige, permettant à la lame ressort R d'établir la commutation de commande 1-2 ou 1-3.

Le déplacement obtenu est très faible, quelques dixièmes de millimètre pour 10 °C, et nécessite un appareillage précis. La sensibilité est donc forcément limitée et le différentiel est assez important : 5 à 10 °C.

AVANTAGES

Ces appareils sont simples, robustes, utilisables dans une très large zone d'emploi.

INCONVÉNIENTS

La sensibilité est généralement réduite. Le différentiel est assez important. Le mécanisme de commande exige une grande précision puisque les dilatations sont faibles.

EMPLOI

Ces thermostats s'emploient de préférence comme thermostats de sécurité ou comme limiteurs.



3.2. Thermostats à déformation d'un bilame (ou bimétal)

Le principe de la dilatation des corps solides est appliqué ici à un bilame (ou bimétal).

3.2.1. Bilame court

Deux lames de métaux de natures différentes, donc de coefficients de dilatation linéaire différents, sont assemblées par laminage.



Fig. 14.

Le métal 1 a un grand coefficient de dilatation linéaire.

Le métal 2 a un faible coefficient de dilatation linéaire.

L'extrémité A est fixe.

Sous l'effet d'une augmentation de température, le bilame s'incurve, son extrémité B vient en B', par suite de l'allongement supérieur de la lame en métal 1.

L'extrémité B agit sur un système à levier pour commander un commutateur.

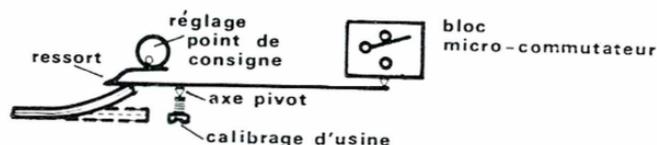


Fig. 15.

Le déplacement Δl de l'extrémité du bilame est faible et, malgré la présence du levier amplificateur, ce genre d'appareil a encore un différentiel assez important : 4 à 8 °C.

Pour diminuer le différentiel, il faut augmenter la longueur du bilame.

3.2.2. Bilame en U

La longueur des deux lames est plus grande, le différentiel plus petit : 1 à 2 °C.

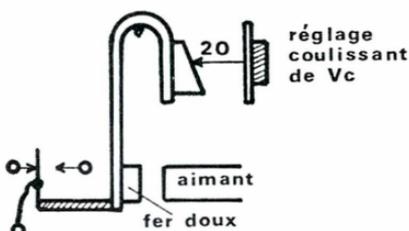


Fig. 16.

3.2.3. Bilame en spirale

La longueur des deux lames enroulées en spirale est beaucoup plus grande sous un faible encombrement.

Le différentiel est plus petit : $0,5^{\circ}\text{C}$ environ.

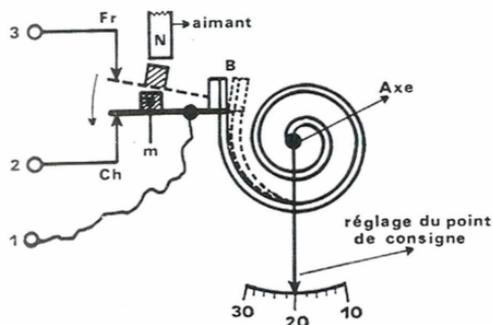


Fig. 17.

L'extrémité B du bilame se déplace vers la gauche, sous l'effet d'une augmentation de température.

Pour réaliser la rupture brusque de 1-3, on peut utiliser la force de retenue d'un aimant N sur une masselotte de fer doux m.

Par température descendante, l'aimant aide à la rupture brusque de 1-2.

AVANTAGES

Ces thermostats se prêtent à une présentation compacte, donnent une bonne sensibilité, surtout lorsque le bilame est long.

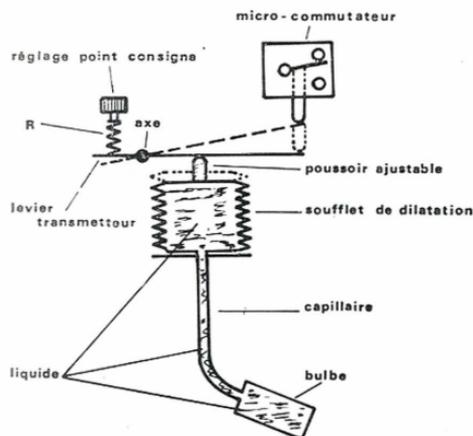
INCONVÉNIENTS

L'effort développé par le bilame est assez faible et nécessite une commande appropriée des contacts.

EMPLOI

Bilame court : thermostat d'applique sur tuyauteries.

Bilame en U et en spirale : thermostat d'ambiance pour appartement.



3.3. Thermostats à dilatation de liquide

Ces thermostats comportent un soufflet de dilatation métallique, prolongé ou non par un capillaire, terminé par un bulbe. Le tout est rempli **complètement** d'un liquide à forte dilatation : alcool, pétrole, huile.

Fig. 18.



Ces appareils sont plus particulièrement destinés au contrôle de températures de fluides liquides.

Les variations de températures constatées au niveau du bulbe se traduisent par une variation résultante du volume du liquide à l'intérieur du bulbe.

Le soufflet se déforme et son poussoir actionne un microcommutateur par l'intermédiaire d'un levier.

Le déplacement du poussoir est sensiblement proportionnel à la variation de température constatée.

AVANTAGES

Ces thermostats sont plus sensibles que les thermostats à dilatation solide. Différentiel : environ 3 °C.

Ils sont souvent munis d'un réglage permettant d'augmenter volontairement le différentiel jusqu'à 12 °C.

INCONVÉNIENTS

Le capillaire et le bulbe sont fragiles et risquent d'être détériorés s'ils ne sont pas protégés par un tube, une canne et un doigt de gant.

EMPLOI

Comme aquastat, soit sur chaudière, ballon, soit sur canalisation.

3.4. Thermostats à tension de vapeur

Extérieurement ces appareils ressemblent aux thermostats à dilatation de liquide.

Mais le liquide introduit est gazeux à la pression atmosphérique normale.

C'est par exemple :

- du propane,
- du fréon,
- du toluène,
- du chlorure de méthyle,
- etc.

Introduit sous pression, une partie est liquide, alors qu'une fraction de l'espace soufflet-capillaire-bulbe est remplie du gaz de ce liquide à l'état de vapeur saturante.

La tension (ou pression) P de cette vapeur saturante qui apparaît dans le soufflet, équilibrée par le ressort R , est fonction de la température contrôlée par le liquide. Elle varie approximativement de 1 à 10 bars.

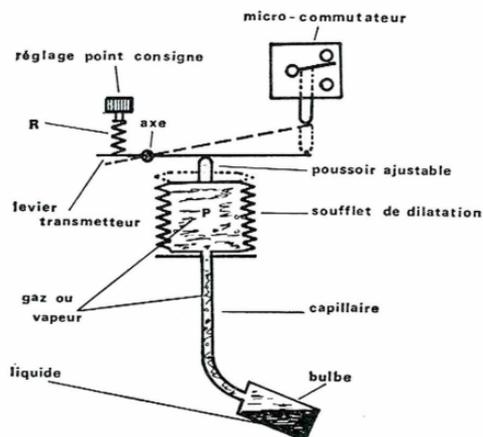


Fig. 19.

Les variations de pression agissent sur le levier transmetteur.

L'examen de la courbe des pressions de vapeur saturante en fonction de la température permet deux remarques :

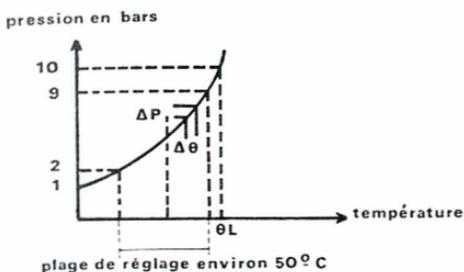


Fig. 20.

- **d'une part**, la zone ou domaine d'emploi est limitée par la pression maximale admise dans l'enceinte soufflet-capillaire-bulbe.

Cette pression est de l'ordre de 10 bars.

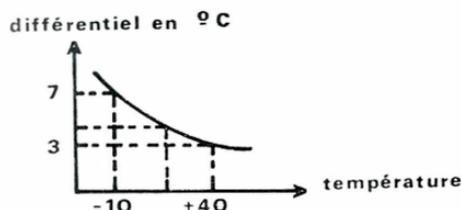
Le constructeur conseillera de ne pas soumettre le détecteur à une température limite T_L , même passagère, créant une pression supérieure à 10 bars, susceptible de détériorer, voire de crever le bulbe, capillaire ou soufflet.

Pour l'emploi, la zone ou plage de réglage sera limitée à un champ d'environ 50°C, avec une pression interne variant de 1 à 9 bars.

- **d'autre part**, la relation pression-température n'est pas linéaire. La sensibilité sera minimale pour le point de consigne le plus bas, et maximale pour le point de consigne le plus haut.

On aura donc intérêt à choisir la plage de façon que l'affichage du point de consigne se situe dans la deuxième moitié supérieure de la plage, afin de bénéficier de la plus grande sensibilité.

Les constructeurs indiquent les valeurs de différentiel (fixe ou réglable) aux extrémités de la zone ou plage d'emploi.



La figure 2 indique les variations du différentiel en fonction de l'affichage de la valeur de consigne.

Exemple : plage — 10 + 40.

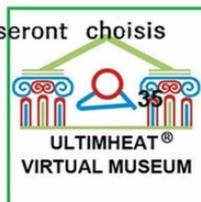
Fig. 21.

En tenant compte des remarques ci-dessus, on constate que ces appareils sont d'une grande sensibilité.

Le détecteur travaille alors avec un rapport $\frac{\Delta p}{\Delta \theta}$ grand (voir courbe fig. 20).

AVANTAGES

Ces thermostats donnent une excellente sensibilité et ils seront choisis chaque fois que l'on exigera de bonnes performances.



INCONVÉNIENTS

Le capillaire et le bulbe sont délicats. Il faut éviter de les malmenner : torsion, écrasement. Il faut même les protéger. Le constructeur devra s'assurer de la bonne étanchéité des soudures de liaisons : soufflet, capillaire, bulbe. La plage d'emploi est limitée à environ 50 °C. Pour ces trois raisons, il n'est pas conseillé de les utiliser comme thermostats de sécurité.

EMPLOI

Pour régulation de précision.

3.6. Thermostats divers

Citons enfin pour mémoire des thermostats utilisant la dilatation de corps solides comme le caoutchouc, ou d'un corps liquide comme la cire liquide. Ces thermostats répondent en général à un emploi particulier (cas des robinets de réglage de radiateurs dits thermostatiques).

CONCLUSION

Choix d'un thermostat

De l'étude qui précède, on retirera les éléments permettant de choisir un thermostat.

Les thermostats doivent, avant tout, être simples et robustes, avec un fonctionnement précis et sûr.

Les thermostats seront choisis, en conséquence, en fonction du rôle à jouer, des performances à assurer, de leur degré de fiabilité, des conditions locales (température, vibrations, humidité, esthétique) et de la place disponible.

Les catalogues des constructeurs donnent tous les renseignements nécessaires pour faire ce choix.

Organes de détection pour régulateurs électroniques

Ces organes sont communément appelés **sondes** ou capteurs, bien que ces mots puissent s'appliquer à beaucoup d'autres appareils de détection.

A l'inverse des thermostats, ils ne comportent pas d'organes mécaniques, mais seulement un **élément sensible** dont la résistance électrique varie avec la température contrôlée.

1. LES DIVERS TYPES DE SONDÉS

On retrouvera, comme pour les thermostats, les mêmes catégories, adaptées :

- à la fonction,
- au fluide contrôlé,
- au lieu de détection,



avec des fonctions nouvelles qu'il était difficile ou quasi impossible de réaliser avec des thermostats : sondes de compensation, de soleil, de vent, sondes différentielles, etc.

2. LES ÉLÉMENTS SENSIBLES DES SONDÉS

On trouve deux types d'éléments sensibles :

- les résistances électriques en fil métallique bobiné,
- les thermistances.

Ces éléments sont utilisés seuls ou en combinaison.

2.1. Résistances en fil bobiné

Elles sont constituées généralement par un fil de nickel ou de platine bobiné sur un support et noyé dans un isolant.

La résistance électrique à la température t est donnée par :

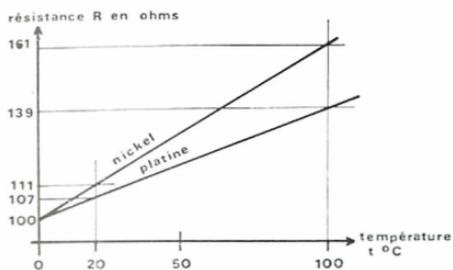
$$R_t = R_0 (1 + \alpha t), \text{ avec :}$$

R_0 = résistance à 0°C

α = coefficient de température

• nickel = 0,0061

• platine = 0,0039



La variation de résistance est linéaire, proportionnelle à la variation de température et de même sens, mais elle est un peu faible (fig. 22).

Fig. 22.

Variation d'une résistance de Ni ou Pt de 100Ω à 0°C .

L'emploi de ces éléments est courant, mais il est surtout recommandé lorsque les températures à contrôler dépassent 120°C , alors qu'il n'est plus possible d'utiliser les thermistances pourtant plus sensibles.

2.2. Thermistances

Les thermistances appartiennent à la catégorie des corps dits « semi-conducteurs » :

Elles sont réalisées (voir fig. 23) sous forme de petites pastilles d'un diamètre de 5 à 10 mm, ou de plaques, ou de perles, par un grand nombre de petits grains agglomérés par « frittage » (compression et chauffe).

Les grains sont à base d'oxydes de fer ou autres métaux (nickel, manganèse, tungstène, etc.) permettant d'obtenir diverses valeurs de résistances.

A la différence d'un conducteur en métal pur, une thermistance a un coefficient de température **négatif**, variable, compris entre $-0,08$ et $-0,02$.



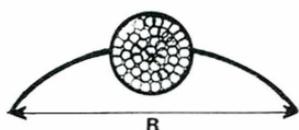


Fig. 23

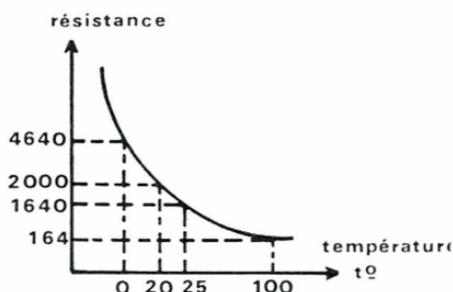


Fig. 24.

La figure 24 représente la variation de la résistance d'une thermistance en fonction de la température.

Elle est de la forme :

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{t}}$$

avec t = température absolue.

A et B = coefficients propres à chaque type.

L'examen de la courbe de variation permet 2 remarques :

- **d'une part**, la variation de la résistance est de sens **inverse** à celui de la température ;
- **d'autre part**, la variation n'est pas proportionnelle :
 - au début : variation rapide (coefficient de température — 0,08 environ) ;
 - sur la fin : variation plus lente (coefficient de température — 0,02 environ).

Mais, si l'on prend soin d'utiliser la thermistance dans une plage réduite (par exemple dans le cas de la fig. 24, de 0 à + 20 °C), on voit que **la courbe peut s'assimiler à une droite. Les variations sont alors sensiblement proportionnelles.**

On voit aussi que le coefficient de température moyen est de l'ordre de — 0,04 °C, donc 10 fois plus grand qu'avec une résistance à fil de métal.

L'intérêt des thermistances réside dans leur meilleure sensibilité par rapport aux résistances à fil..., et un prix modique.

Par contre, au-delà de 120-130 °C, les thermistances perdent leurs qualités et ne sont plus utilisables. C'est pourquoi on revient aux résistances à fil pour le contrôle des températures supérieures à 120 °C.

Les thermistances sont utilisées couramment dans le domaine — 40 à + 120, mais pour les faire travailler dans des zones où la pente de la courbe est importante, on fractionne les plages d'utilisation et on choisit le type de thermistance donnant la plus grande sensibilité.

La figure 25, utilisant des coordonnées logarithmiques, montre la variation de résistance de trois thermistances, chacune adaptée à une zone d'emploi.

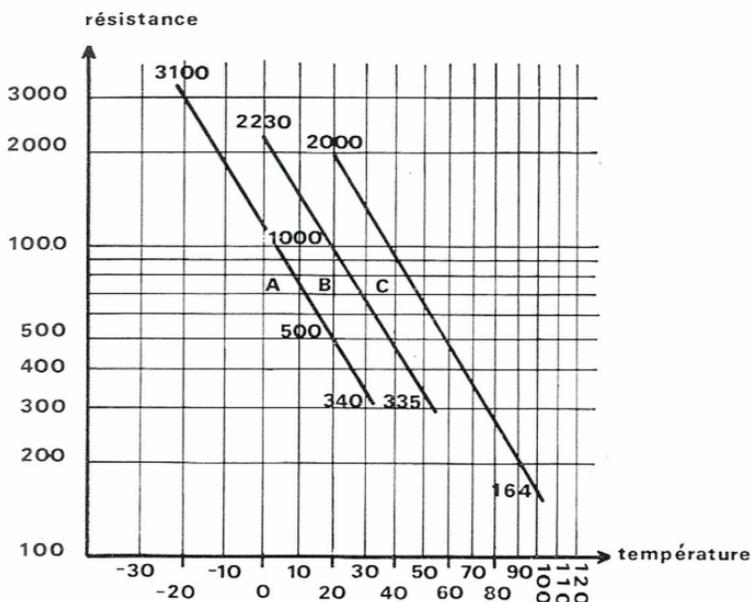


Fig. 25.

Thermistance	Plage usuelle	R à 20 °C	Emploi pour contrôle de température de
A	- 20 / + 30	500 Ω	Locaux, air soufflé
B	0 / 50	2000 Ω	Air extérieur
C	20 / 100	1000 Ω	Eau chaude

3. SONDES SPÉCIALES

3.1. Sonde de soleil (ou d'ensoleillement)

Elle est constituée, en général, de deux thermistances formant une branche d'un « pont » du régulateur.

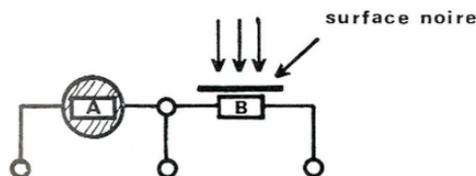


Fig. 26.

La thermistance A est protégée du soleil et n'est soumise qu'à la température extérieure.

La thermistance B, montée sous une surface noire, reçoit la totalité du rayonnement solaire, s'échauffe en conséquence, et sa résistance électrique diminue en correspondance.

De la comparaison des deux résistances A et B, le régulateur en déduit l'influence du soleil.

3.2. Sonde de vent

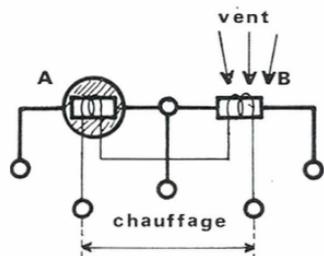


Fig. 27.

Elle est constituée comme la sonde de soleil de deux thermistances formant une branche d'un « pont » du régulateur.

Les deux thermistances sont chauffées par un bobinage électrique alimenté par le régulateur.

La thermistance A est protégée du vent et n'est soumise qu'à la température extérieure.

La thermistance B est refroidie par l'action du vent et sa résistance électrique augmente en conséquence.

De la comparaison des deux résistances A et B, le régulateur en déduit l'influence du vent.

3.3. Sonde différentielle

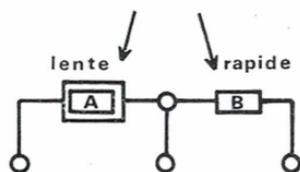


Fig. 28.

Elle est aussi constituée de deux thermistances formant une branche d'un « pont » du régulateur.

La thermistance A a une action lente aux variations de température alors que la thermistance B a une action rapide.

Lors d'une variation rapide de température, le régulateur constate un écart de résistance entre les deux thermistances et agit en conséquence.

Puis, peu à peu, les deux thermistances prennent la même valeur et l'action du régulateur cesse.

On utilise donc ces sondes pour des actions de stabilisation.

3.4. Sondes combinées

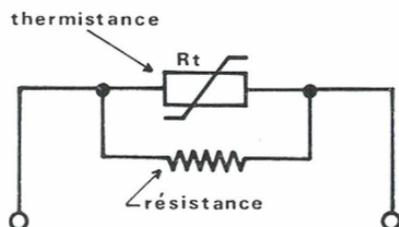


Fig. 29.

Elles sont constituées par l'association en parallèle de thermistances et de résistances.

Cela permet de « corriger » une courbure exagérée de la caractéristique R_t d'une thermistance seule ou de la modifier pour obtenir un effet particulier.

CONCLUSION

Les sondes constituent d'excellents détecteurs pour les régulateurs électroniques.

Leur volume et leur masse réduits permettent une mise en place plus facile et leur donnent des constantes de temps plus petites que les thermostats.

Elles sont robustes, à l'épreuve des chocs, des intempéries et des infiltrations. Les sondes peuvent se combiner facilement entre elles pour fournir une indication moyenne (montages série-parallèle).

Elles permettent aux régulateurs :

- de tenir compte simultanément de plusieurs paramètres : température ambiante, température extérieure, effets du soleil et du vent ;
- de faciliter la stabilisation des actions de réglage (thermistances d'asservissement, sondes différentielles).

Leurs circuits de raccordement doivent répondre à quelques précautions élémentaires :

- longueur maximale,
- section minimale,
- protection mécanique,
- protection contre les phénomènes d'induction.

4. ORGANES RÉGULATEURS

4.1. Sous le nom de « régulateur », on désigne généralement l'appareillage qui

- **compare** le renseignement fourni par le détecteur avec une valeur de référence ajustée par l'affichage du point de consigne :
 - soit dans une **balance de forces**, comme on l'a déjà vu pour les thermostats (régulations électromécanique et pneumatique),
 - soit dans **un montage électrique, type « pont de Wheatstone »** (régulation électronique) ;
- **amplifie** l'écart constaté :
 - soit mécaniquement (thermostat),
 - soit électriquement par relais ou amplificateur électronique ;
- **transforme** le mouvement résultant ou le courant électrique obtenu en **signal ou ordre de commande** directement utilisable par l'organe final de réglage.

4.2. Nature de l'ordre de commande

L'ordre de commande est élaboré par le régulateur, suivant trois formes principales :

- par action discontinue :
 - système « tout ou rien » ou « tout ou peu »,
 - système « flottant » ;
- par action continue :
 - système « proportionnel » et ses dérivés.

Dans l'étude des thermostats électriques, nous avons déjà vu (fig. 9) comment étaient réalisés les dispositifs de commande.

Dans **les régulations électroniques**, les ordres de commande sont délivrés par des relais électriques ou des commutateurs statiques.

Dans **les régulations pneumatiques**, l'ordre de commande est délivré par un thermostat pneumatique ou un convertisseur sous forme d'un débit d'air comprimé (voir chap. IV-4).



5. ORGANES DE RÉGLAGE

5.1. Généralités

L'ordre de commande fourni par le régulateur agit sur un élément final de réglage comprenant généralement deux parties :

- un **organe de commande ou de manœuvre**, qui interprète le signal de commande fourni par le régulateur, le transforme en exécution mécanique. Il renseigne éventuellement le régulateur de l'exécution.

Exemple : L'organe de commande est le relais de commande et de sécurité dans le cas d'une régulation sur brûleur, ou bien le moteur de la vanne dans le cas d'une régulation pour vanne ;

- un **organe de réglage** qui agit directement sur la grandeur de réglage. Dans le cas du chauffage, c'est l'appareil qui détermine l'apport calorifique de l'installation.

Exemple : Dans une régulation sur brûleur, c'est le brûleur lui-même. L'apport calorifique dépend alors de la marche ou de l'arrêt de celui-ci.

Dans le cas d'une régulation de **température** d'eau de départ chaudière, c'est la **vanne mélangeuse** dont la position détermine la température de l'eau.

Dans le cas d'une régulation de **débit** d'eau, c'est la **vanne diviseuse** qui règle le débit d'eau envoyé dans l'installation.

5.2. Les moteurs (appelés aussi servo-moteurs)

Les moteurs peuvent agir directement, c'est-à-dire sans source d'énergie extérieure.

Exemple : Vannes thermostatiques.

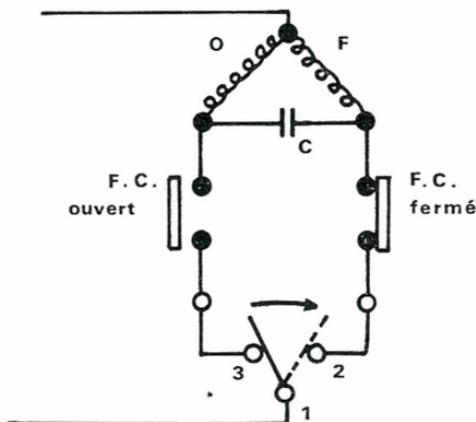
Mais, plus couramment, on utilise des moteurs fonctionnant avec une source d'énergie extérieure, électrique, pneumatique ou hydraulique.

5.2.1. Les moteurs électriques

Ils fournissent généralement un mouvement de rotation, ce qui permet l'accouplement direct aux vannes rotatives ou une transmission par embiellage.

Les mouvements de translation (pour vannes à siège) sont obtenus par l'intermédiaire d'un système pignon-crémaillère ou excentrique.

Les moteurs sont le plus souvent à deux sens de marche, permettant une double action : action directe, action inverse.



Exemple de montage d'essai d'un moteur à deux sens de marche et commande par inverseur :

FC : contact de fin de course.

F : bobinage fermeture.

O : bobinage ouverture.

C : condensateur de déphasage assurant le démarrage.

Fig. 30.

On utilise aussi des moteurs réalisant électriquement la seule action directe, l'action inverse étant obtenue par un ressort tendu pendant l'action directe et appelé ressort de rappel. La bobine (ou solénoïde) d'une vanne électromagnétique constitue un moteur à simple action.

Il ne faut pas confondre ces moteurs avec ceux dits « à retour à zéro », qui sont à double action, et dans lesquels l'action inverse peut être obtenue :

- en fonction régulation normale, par commande électrique ;
- en fonction sécurité, par l'action d'un ressort mécanique préalablement tendu.

AVANTAGES

Le moteur électrique se raccorde facilement et utilise de l'énergie disponible partout.

Son fonctionnement est silencieux.

Il s'adapte facilement aux différents types de vannes.

INCONVÉNIENTS

Le servo-moteur électrique comporte des éléments qui craignent la chaleur. La présence de contacts électriques (fins de course ou auxiliaires) interdit son emploi en atmosphère déflagrante. Ses contacts sont d'autre part sensibles à la poussière et à l'oxydation ainsi qu'au dérèglement.

Enfin, le moteur comporte des trains d'engrenages réducteurs sujets à l'usure et dont la lubrification doit être surveillée.

5.2.2. Les moteurs pneumatiques

Ils fournissent un mouvement de translation, ce qui permet l'accouplement direct aux vannes à siège.

Le mouvement direct est obtenu par l'action de l'air comprimé sur un système à diaphragme.

Le mouvement inverse est assuré par l'action d'un ressort comprimé lors de l'action directe.

AVANTAGES

La robustesse et la sécurité de fonctionnement sont l'apanage du servo-moteur pneumatique qui développe des forces considérables et peut fonctionner impunément dans la poussière ou l'atmosphère déflagrante. Son entretien est pratiquement nul. La course obtenue par un servo-moteur pneumatique est liée à la pression d'air appliquée suivant une loi proportionnelle.

INCONVÉNIENTS

L'emploi de moteurs pneumatiques nécessite de disposer d'une station de génération d'air comprimé, filtré et déshydraté. Les raccordements nécessitent des tuyauteries pneumatiques qui exigent un soin particulier dans le montage et la mise en service, avec un personnel compétent et consciencieux.

5.2.3. Les moteurs hydrauliques

Dans les installations de chauffage on peut rencontrer des moteurs à double effet fonctionnant avec la pression du réseau de distribution d'eau de ville. Par contre, dans de petites installations, on utilise des moteurs à simple effet fonctionnant par expansion d'un fluide dans un système cylindre-piston.



L'expansion est produite par l'échauffement direct ou indirect du fluide par un courant électrique fourni par le régulateur.

5.2.4. Définitions concernant les moteurs

Course : angle de rotation ou déplacement obtenu par le moteur.

La course peut être fixe ou réglable.

Elle est limitée par des contacts de coupure dits « fin de course ».

Temps de marche : temps nécessaire pour effectuer une course donnée, généralement une valeur de base (angle ou déplacement) donnée par le constructeur.

Couple : exprimé en mètre-kilogramme (m-kg) ou en centimètre-gramme (cm-g) ; il indique la force disponible sur l'arbre de commande d'un moteur rotatif.

Contact auxiliaire (éventuel) : inverseur ou commutateur actionné mécaniquement par le moteur et susceptible de commander une signalisation ou d'asservir d'autres moteurs (montages dits cascade ou séquence).

5.3. Les vannes

La vanne est l'élément de la boucle de régulation qui agit sur la grandeur de réglage.

5.3.1. Types de vannes

Il existe un très grand nombre de types de vannes différents, à une ou plusieurs voies. Une vanne sert à faire varier le débit masse ou le débit volume d'un fluide par modification de la section de passage. Cette variation de section entraîne, de fait, une variation de la résistance hydraulique de la vanne.

Les modifications du débit du fluide seront utilisées :

- soit directement (réglage de débit),
- soit pour faire un mélange (réglage de température).

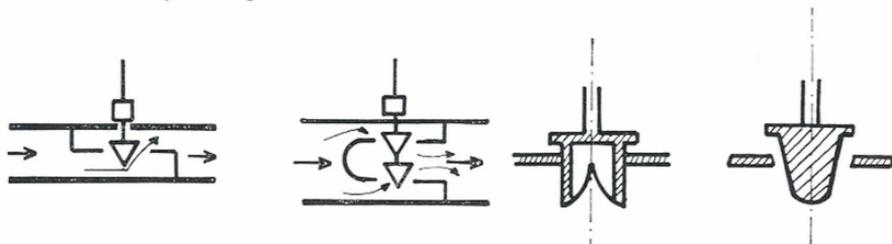
Les principaux types de vannes sont :

1° **Vannes à siège** (voir fig. 31 à 33) aussi appelées à **souppape**.

Ces vannes peuvent être à simple ou à double siège.

Leurs clapets se déplacent le long de l'axe du siège.

A pression différentielle égale, l'effort nécessaire à la manœuvre des clapets des vannes à double siège est plus faible que celui des vannes à simple siège. Par contre, leur étanchéité est plus difficile à obtenir que dans les vannes à simple siège.



a) simple siège

b) double siège

Fig. 31.

Fig. 32.



Il existe plusieurs types de clapets :

— les **clapets à jupe** (fig. 32).

La jupe du clapet a deux fonctions :

- elle sert à guider le clapet dans le siège et à laisser passer le débit au travers d'ouvertures qui y sont ménagées ;
- en modifiant la forme de ces ouvertures, on modifie la caractéristique hydraulique de la vanne (voir chap. V-14).

— les **clapets contour** (voir fig. 33).

Le clapet est plein, c'est sa forme extérieure qui définit le passage du fluide.

2° **Vannes papillon** (voir fig. 34).



Fig. 34.

Le papillon rotatif modifie la section de passage en fonction de son angle de rotation.

3° **Vannes « glissantes »**

La caractéristique de ces vannes est que la partie mobile se déplace en glissant sur le siège ; il en existe plusieurs types :

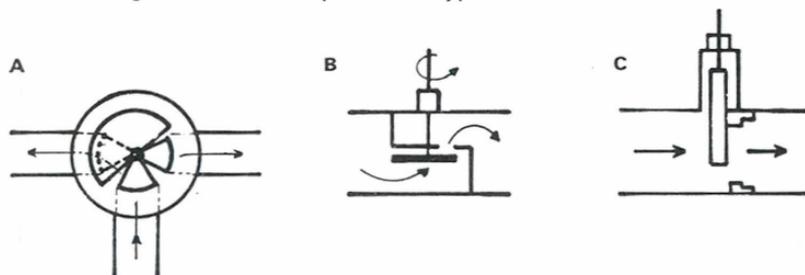


Fig. 35.

— les **vannes à disque** (fig. 35).

Ce type a un siège plat contre lequel se déplace un disque tournant ou glissant.

— les **vannes cylindriques** (fig. 36).

Ce type a un siège cylindrique contre lequel se déplace une plaque formée cylindriquement.

— les **vannes à piston** (fig. 37).

Dans cette vanne, un piston se déplace dans un cylindre percé de trous et modifie ainsi la section totale de passage.

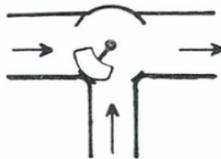


Fig. 36.

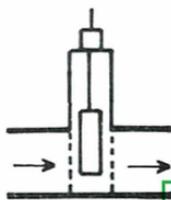


Fig. 37

4° Vannes à boisseau (fig. 38) ou à secteur.

La pièce mobile, de forme cylindrique, se déplace autour de son axe dans un siège de même forme.

5° Vannes à diaphragme (fig. 39).

Dans ces vannes, le clapet est constitué par une membrane flexible placée au dessus d'un siège. Cette membrane, déformée par action mécanique ou par pression, vient obturer le passage qui existe au repos entre elle et le siège.

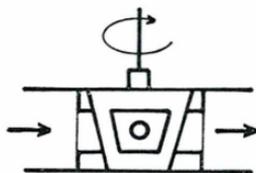


Fig. 38.

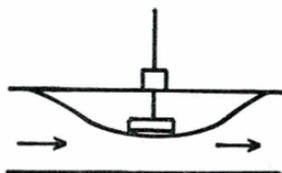


Fig. 39.

5.3.2. Nombre de voies et montage des vannes

Dépendant du nombre d'entrées et de sorties, les vannes sont décrites comme à « 2 voies », à « 3 voies », à « 4 voies », etc.

1° Vanne 2 voies.

La vanne 2 voies permet de régler un débit. Le constructeur indique sur le corps de vanne le sens de circulation du fluide (voir fig. 31).

Si ce sens n'est pas respecté, le clapet risque de vibrer au voisinage de la fin de course « fermeture » ou de ne pas assurer l'étanchéité (voir données techniques des vannes).



Fig. 40.

Symbole d'une vanne 2 voies.

2° Vannes 3 voies.

Selon le sens de passage du fluide, les vannes 3 voies peuvent être divisées en

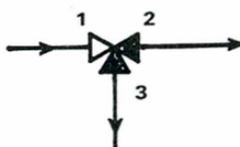
- vanne de mélange,
- vanne de répartition.

La vanne de **mélange** a deux entrées et une sortie commune (emploi en réglage de température).

La vanne de **répartition** a une entrée commune et deux sorties (emploi en réglage de débit).



Vanne 3 voies montée en mélange.



Vanne 3 voies montée en répartition.

Fig. 41.

Symboles de vannes 3 voies.

La voie commune est différenciée des autres voies par le dessin.

Le constructeur indique généralement le sens de circulation des fluides ou bien il indique clairement l'affectation des voies.

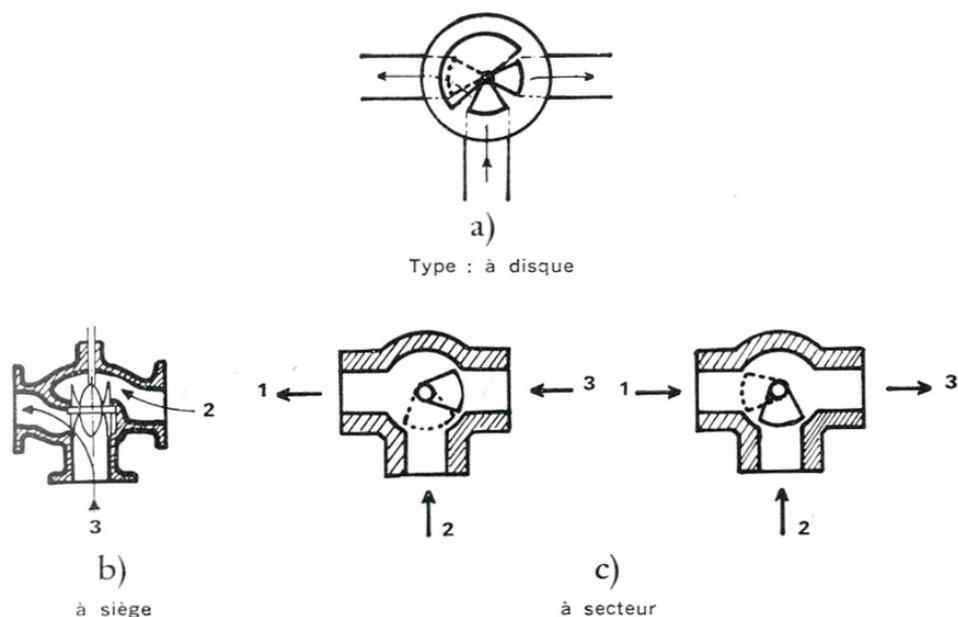


Fig. 42.
Exemples de vannes 3 voies.

En général, il est possible d'utiliser la même vanne pour les deux cas d'application. Mais un des deux est souvent mieux adapté que l'autre et devra, par conséquent, être recommandé. Il est même des cas où un des montages est prohibé.

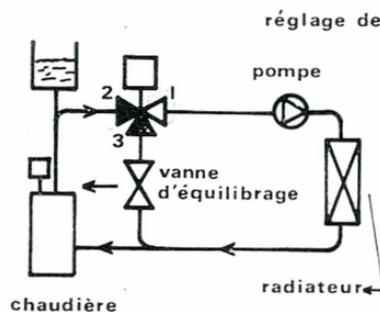


Fig. 43.
Montage mélange.

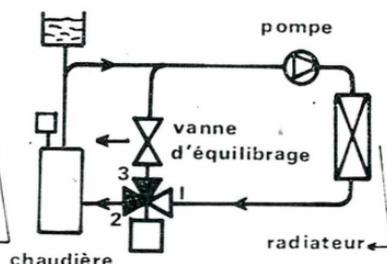


Fig. 44.
Montage répartition.

C'est ainsi que le montage **mélange** est déconseillé pour les vannes à disque et certaines vannes à secteur (risque de soulèvement du disque ou de distributeur sous l'effet de la pression amont).

De même, le montage en **répartition** est contre-indiqué pour les vannes à siège, car il provoque des vibrations du clapet au voisinage des fins de course.

Les vannes de régulation peuvent être montées aussi bien sur la tuyauterie aller que sur la tuyauterie retour ; il en résulte les quatre schémas classiques représentés aux figures 43 à 46.

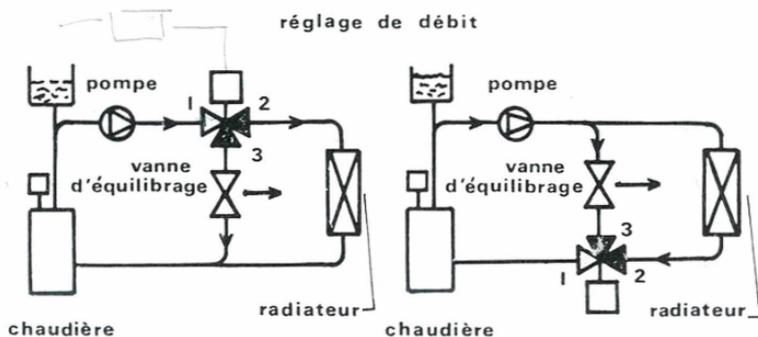


Fig. 45.

Montage décharge (vanne travaillant en répartition).

Fig. 46.

Montage décharge inversée (vanne travaillant en mélange).

Bien noter :

- que la pompe (circulateur, accélérateur) est toujours placée dans la partie du circuit où le débit est constant ;
- que le montage « décharge » utilise le principe de la répartition ;
- que le montage « décharge inversée » utilise le principe du mélange ;
- qu'une bonne régulation exige un réglage du circuit de by-pass par sa vanne d'équilibrage.

Cette nécessité sera exposée en détail au chapitre VI, VANNES.

3° Montages 3 voies réalisés avec des vannes 2 voies.

Un ensemble de deux vannes 2 voies commandées simultanément par une tringlerie peut remplacer une vanne 3 voies. Cette solution est utilisée couramment et par économie lorsque les débits exigent des diamètres importants. Les vannes 2 voies sont alors du type papillon.

On peut utiliser les quatre montages de base des figures 43 à 46.

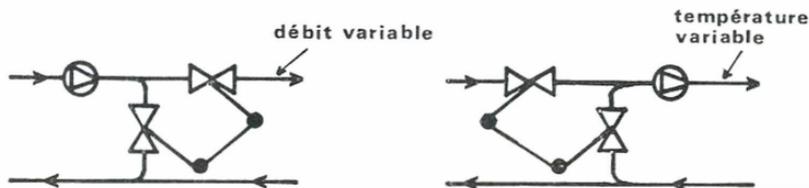


Fig. 47.

a) Montage décharge

b) Montage mélange

4° Vanne à 4 voies.

Cette vanne comporte quatre orifices disposés en croix, un papillon tournant de 90° à l'intérieur de la vanne permet d'établir les communications entre voies contiguës.

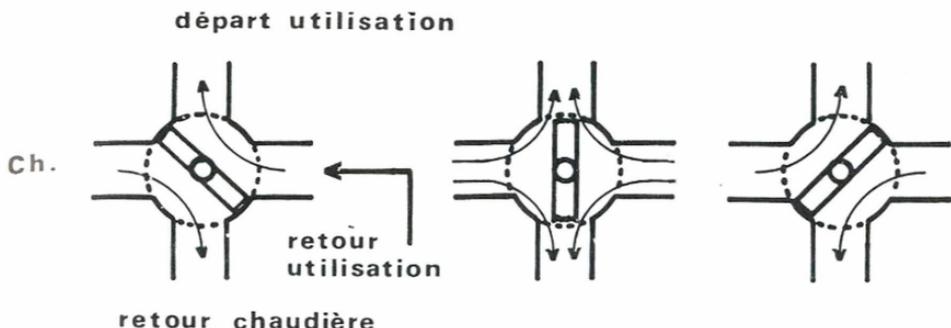


Fig. 48.

Puissance nulle
a) Vanne fermée

Puissance intermédiaire
b) Vanne 1/2 ouverte

Puissance maximale
c) Vanne ouverte 100 %

Cette vanne est utilisée en mélange (voir fig. 48) et permet de régler la température de départ vers l'utilisation.

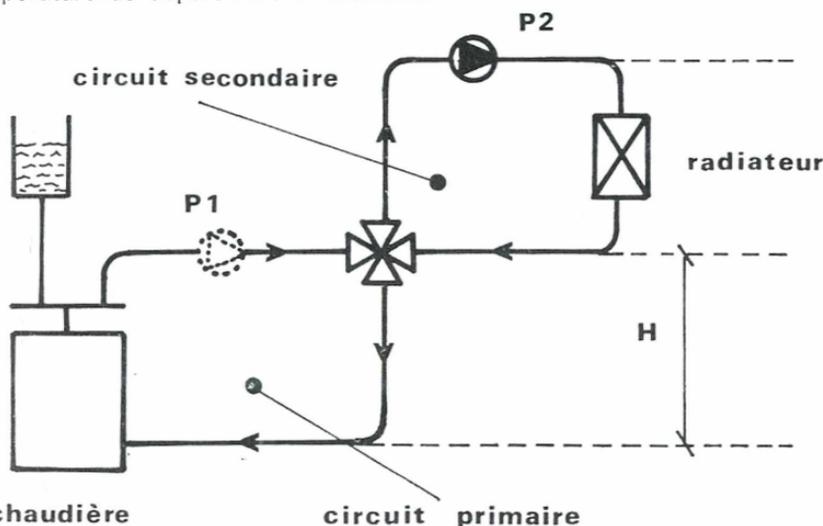


Fig. 49.

La circulation dans le circuit primaire à puissance nulle (vanne fermée) s'effectue par thermosiphon.

La pompe P₁ n'est nécessaire que si la hauteur H est inférieure à 1,50 à 2,00 m, ou si la vanne n'assure pas un mélange correct.

5.3.3. Données techniques des vannes

Afin de définir une vanne d'une façon précise, un certain nombre d'informations sont nécessaires :

— le **nombre de voies** défini comme indiqué ci-dessus par le nombre de raccordements aux tuyauteries (voir 4, 5.3.2.) ;



- le **mode de raccordement** : taraudé, soudé ou à brides, etc. ;
- la **dimension de la vanne** : qui est repérée par le diamètre nominal commun des orifices intérieurs. Ce diamètre s'exprime normalement en millimètres (mm) mais certains constructeurs utilisent encore l'unité anglo-saxonne : le pouce.

Rappel des correspondances

Diamètre en mm :

10 15 20 25 32 40 50 65 80

Diamètre en pouces :

3/8 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2 2 1/2 3

Désignation des tuyauteries :

12/17 15/21 20/27 26/34 33/42 40/49 50/60 66/76 80/90

- la **pression maximale**, qui fixe la limite supérieure d'emploi en pression de la vanne ; cette pression s'exprime normalement en bars (b) ou éventuellement en kilogramme/poids par centimètre carré (Kp/cm²). Cette pression est la somme de la pression **statique**, correspondant à la hauteur de l'installation et de la pression **dynamique**, fournie par la pompe.
- les **températures maximales d'utilisation** : température ambiante, température du fluide ;
- les **pressions différentielles maximales** entre l'entrée et la sortie des vannes.

Remarque. — La pression maximale, la température maximale, la pression différentielle maximale d'une vanne sont définies par la classification en P.N. ou pression nominale.

Les pressions s'expriment normalement en bars (b) ou millibars (mb) mais on utilise couramment le millimètre de colonne d'eau (mm CE).

Rappel des correspondances

Bar :	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
Millibar :	1 000	100	10.	1	0,1
mm CE :	10 000	1 000	100	10	1

- le **fluide utilisé** : qui impose ou interdit certains matériaux ;
- l'**étanchéité** : caractérisée par le coefficient de fuite indiqué par le constructeur, en fonction du coefficient de vanne.

*
**

Le chapitre V expose les conditions permettant de définir certaines notions importantes, telles que :

- diamètre des vannes,
 - pressions différentielles maximales,
 - coefficient de vanne,
- et on y trouvera quelques définitions complémentaires.



CHAPITRE III

Régulations à action discontinue

1. RÉGULATION A DEUX POSITIONS « TOUT OU RIEN », AVEC VARIANTE « TOUT OU PEU »

1.1. Principe

L'organe de réglage ou de commande ne peut occuper que deux positions extrêmes, à l'exclusion de toute position intermédiaire (fig. 1).

Exemple : Marche/arrêt, Ouvert/fermé.

Dans la variante « tout ou peu » (fig. 2), l'une des positions permet un fonctionnement intermédiaire.

Le passage d'une position à l'autre, appelé « **commutation** », doit s'effectuer lorsque la grandeur à régler franchit le point de consigne.

En fait, à cause du différentiel du régulateur, la commutation s'effectue comme indiqué à la figure 3.

Le régulateur est dit à action discontinue à deux échelons.

Exemples d'organes actionnés en « tout ou rien » :

- relais de brûleur,
- vanne électromagnétique,
- pompe ou ventilateur,
- moteur « tout ou rien »,

pour lesquels l'ordre de commande est délivré par :

- un thermostat « tout ou rien » dans les régulations électromagnétiques,
- un relais « tout ou rien » dans les régulations électroniques.

position de l'organe
de réglage

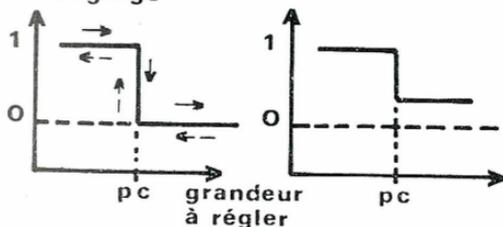


Fig. 1.

Fig. 2.

différentiel

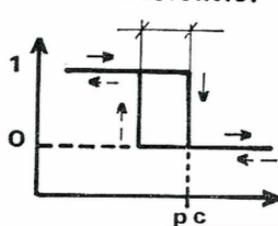


Fig. 3.



1.2. Analyses de fonctionnement

Prenons pour exemple la régulation de la température d'un ballon d'eau chaude sanitaire à accumulation et supposons, pour simplifier, l'alimentation du ballon assurée par une vanne « tout ou rien » à commande instantanée ou vanne « solénoïde », du type électromagnétique (1).

Un thermostat du type « aquastat » commande la vanne en « tout ou rien ».

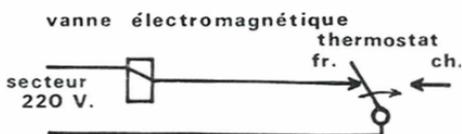


Fig. 4.

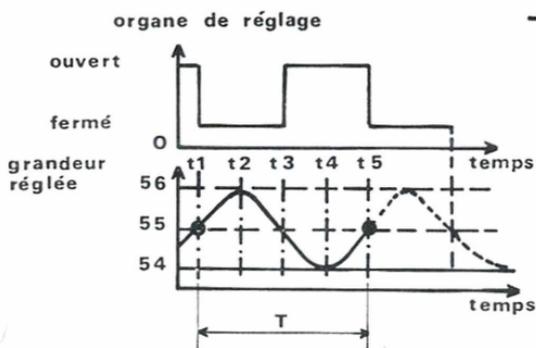


Fig. 5.

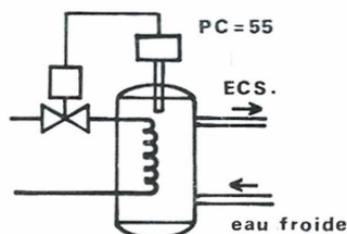


Fig. 6.

1^{er} cas : On suppose nul le différentiel du thermostat et pas de retard. Au temps 0', au démarrage, la température du ballon est en dessous du point de consigne :

- la vanne d'eau chaude chaudière est grande ouverte ;
- la température de l'eau du ballon est en train de croître.

Après t1, la température atteint le point de consigne, puis le dépasse :

- la vanne se ferme, mais la température continue à croître durant un certain temps du fait de la capacité du serpentin chauffant ;
- la température de l'eau du ballon passe par une valeur maximale au temps t2, puis décroît.

A t3, la température descend au-dessous du point de consigne :

- la vanne s'ouvre, mais la température du ballon continue à décroître un certain temps correspondant au réchauffage du serpentin, jusqu'à un mini au temps t4, avant de croître à nouveau ; puis le cycle recommence à t5, comme de t1 à t5.

Le cycle est caractérisé :

- par une période : temps T de t1 à t5 ;
- par une amplitude : variation de la température autour du point de consigne.

(1) Les autres solutions de régulations des ballons d'E.C.S. à accumulation sont indiquées au chapitre VII.

2° cas : En réalité, le régulateur possède un différentiel.

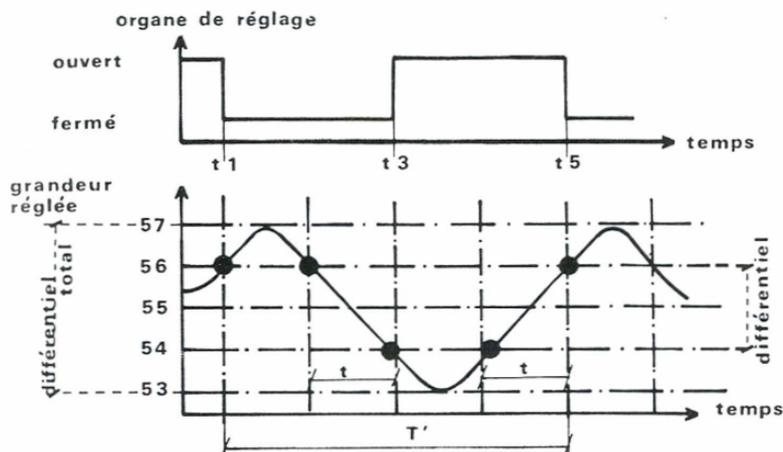


Fig. 7.

Dans ce cas, on remarquera :

- l'amplitude du cycle est augmentée de la valeur du différentiel propre au régulateur.
Le résultat s'appelle **différentiel résultant** ou **différentiel total** (voir fig. 7) ;
- la période du cycle est augmentée de deux fois le temps t que met la variable pour franchir le différentiel. Elle devient T' .

On voit donc que le différentiel :

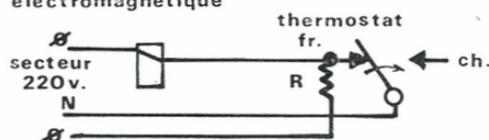
- augmente l'amplitude : l'écart sur la grandeur réglée est plus grand ;
- augmente la période : les organes de régulation fonctionnent moins souvent, ce qui prolonge leur durée de vie.

Le réglage du différentiel interviendra donc sur la courbe de régulation finale.

3° cas. Le thermostat régulateur est du type « à anticipation » (revoir à ce sujet le chapitre II, § 2.8.1.).

Schéma électrique

vanne électromagnétique



Le thermostat possède une résistance R qui est mise sous tension à chaque demande de chaud (contact froid).

Fig. 8.

Cette résistance chauffe l'élément détecteur qui est ainsi « trompé », et la commutation s'effectue avec « anticipation ».



Le cycle de régulation prend l'allure de la figure 9, courbe (1).

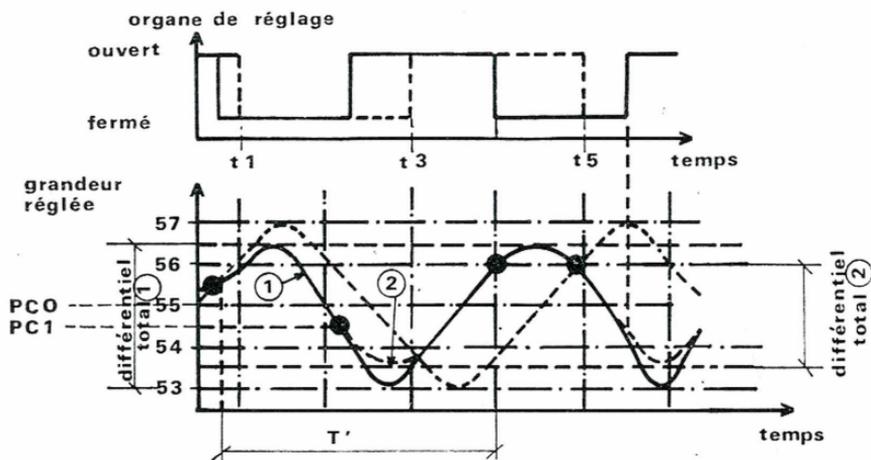


Fig. 9.

On voit que dans ce cas l'amplitude a diminué (ce qui est bien). Par contre, la période T' est légèrement plus courte (les organes fonctionnent plus souvent, ce qui peut abrégier leur durée de vie).

De plus, la valeur moyenne de réglage PC1 est légèrement abaissée par rapport à la valeur fixée PC0. Cette diminution est d'autant plus importante que la « charge » de l'installation est plus grande.

1.3. Conditions d'utilisation de la régulation « tout ou rien »

Une bonne régulation « tout ou rien » doit présenter une courbe d'enregistrement de température avec la plus faible amplitude et la plus longue période.



Fig. 10.

Ce résultat est obtenu, avec les conditions suivantes :

- L'inertie thermique du système **réglant** doit être **faible** par rapport à celle du système réglé. Pour le ballon, c'est l'inertie de l'ensemble vanne-serpentin, soit une capacité de l'ordre de quelques litres.
- Inversement, l'inertie thermique du système **réglé** doit être **grande** par rapport à celle du système réglant. Pour le ballon, c'est l'inertie de la masse de 1000 litres ou plus d'eau.
- La boucle de régulation doit réagir sans retard.

Cette condition suppose une action instantanée du régulateur et l'utilisation d'organes de commande rapides.



d) Le différentiel doit être faible (1).

e) L'emploi du thermostat à anticipation contribue à diminuer l'amplitude des oscillations.

1.4. Applications

1.4.1. Application au ballon à accumulation

Le ballon qui a servi d'exemple pour l'analyse du fonctionnement répond parfaitement aux conditions posées, à savoir :

- ballon à **accumulation**, c'est-à-dire que l'on admet des soutirages faibles devant la capacité du ballon et une température homogène par brassage, agitation, convection ;
- capacité de l'élément chauffant faible, donc inertie faible ;
- capacité de l'élément chauffé grand, donc inertie grande.

Il est donc bien fondé de lui appliquer une régulation « tout ou rien ».

1.4.2. Application à la régulation d'une installation de chauffage par radiateurs Action sur vanne

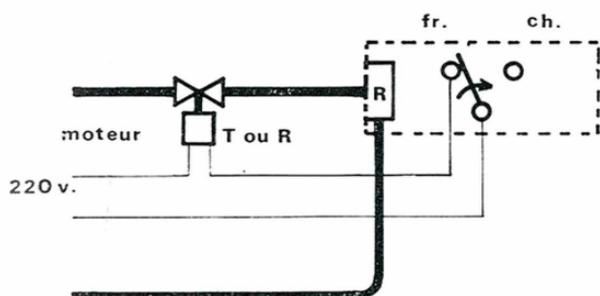


Fig. 11.

Le système **réglant** (vanne - radiateur) doit avoir une inertie **très faible** par rapport au système réglé.

Le système **réglé** (local) doit avoir une inertie **très grande** par rapport au système réglant.

Le thermostat doit avoir une faible constante de temps, et sera de préférence « à anticipation ».

Le moteur de vanne devrait être rapide.

Dans ces conditions, la régulation « tout ou rien » est **possible**.

(1) Toutefois, il est parfois nécessaire d'augmenter, grâce au différentiel, une période trop petite constatée sur une installation dont le temps de réponse est court. Mais, en contrepartie, l'amplitude augmente ce qui peut être gênant.

1.4.3. Application à la régulation d'une installation de chauffage par radiateurs
Action sur brûleur

Schéma thermique et électrique

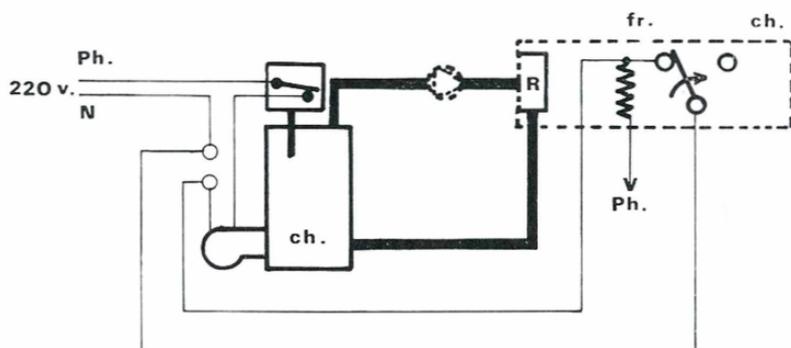


Fig. 12.

Le brûleur est commandé par le thermostat d'ambiance. Le thermostat de chaudière joue le rôle de thermostat limiteur.

Le système **réglant** comporte cette fois le brûleur + la chaudière + les tuyauteries + les radiateurs.

Dans cette installation, avec radiateurs en fonte, la quantité d'énergie calorifique disponible au moment de l'arrêt du brûleur est importante.

- La quantité de chaleur accumulée dans le briquetage de la chaudière continue à chauffer l'eau.
- L'énergie calorifique disponible dans l'eau de la chaudière se dissipera lentement dans les radiateurs.

Si les pertes calorifiques sont faibles (bâtiment avec murs épais et petites ouvertures, bien isolé), la température ambiante peut monter de 1 à 2°C après que le thermostat aura arrêté le brûleur.

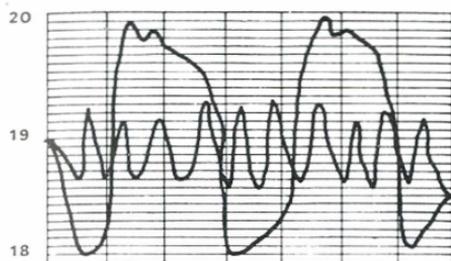
A la remise en route du brûleur, la quantité de chaleur à apporter pour réchauffer le briquetage de la chaudière, l'eau, la tuyauterie, les radiateurs et les murs est importante, et la température ambiante continuera à descendre de 1 à 2°C après que le thermostat aura remis le brûleur en route.

Il y a donc un risque d'avoir à la fois une amplitude importante et des cycles longs.

On utilisera en conséquence un thermostat à anticipation.

Exemple : Si l'on considère une installation dont les cycles sans anticipation sont de 1/2 heure de marche pour 1/2 heure d'arrêt, avec un brûleur de 60 000 kcal/h, l'installation reçoit 30 000 calories dans l'heure.

Avec un thermostat anticipé, la même installation a des cycles composés : 1/4 d'heure de marche, 1/4 d'heure d'arrêt, 1/4 d'heure de marche, 1/4 d'heure d'arrêt. L'installation reçoit la même quantité d'énergie mais le réglage est beaucoup plus sensible et l'inertie apparente est diminuée.



L'enregistrement ci-contre montre l'efficacité de ce dispositif.

Fig. 13.

Par contre, ce système présente des inconvénients.

Les temps de fonctionnement du brûleur sont fonction de la saison :

- en hiver, les temps de marche seront longs et les temps d'arrêt courts, la température de l'eau de chaudière sera élevée : 70 à 90 °C ;
- en demi-saison, les temps de marche se réduiront et les temps d'arrêt s'allongeront. La température d'eau sera moyenne : 40 à 60 °C ;
- en fin de saison de chauffe, les temps de marche seront courts et les temps d'arrêt longs. La température d'eau s'abaissera à 30, 25 et même 20 °C.

En conséquence, et pendant une bonne partie de l'année :

- les températures de retour à la chaudière sont suffisamment basses pour favoriser la corrosion ;
- les utilisateurs ne peuvent disposer d'ECS (si l'installation comporte un ballon) qu'en période froide.

1.5. Conclusion sur la régulation « tout ou rien »

AVANTAGES

C'est un système simple, peu coûteux, facile à installer et à remplacer. Il donne satisfaction à condition d'être employé dans les conditions exposées au § 1.3.

Il se prête aux fonctions de limitation et de sécurité.

Il permet d'obtenir différents régimes (jour - nuit), avec des appareillages adaptés et un dispositif de commutation par horloge.

INCONVÉNIENTS

La grandeur réglée n'est pas constante. Il y a une oscillation permanente de cette grandeur autour de la valeur de consigne.

Le rayonnement des corps de chauffe n'est pas constant. Les usagers sont sensibles à cet inconfort.

Les bruits dus aux dilatations de tuyauteries provoquées par les variations rapides de la température de l'eau incommode les usagers.

Le système ne s'applique pas à la régulation :

- des installations à panneaux de sol : le système réglant ayant trop d'inertie ;
- des ballons d'eau chaude sanitaire (ECS) à accumulation de trop faible capacité ; le système réglé a peu d'inertie ;
- des préparateurs instantanés (voir chap. VII, § 1.3.).



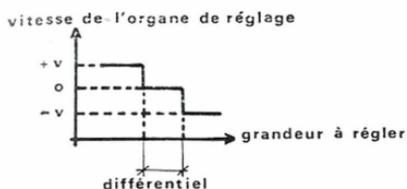


Fig. 14.

Pour assurer cette dernière fonction, le dispositif inverseur doit posséder un « différentiel ».

La figure 14 montre comment est commandé le moteur de l'organe de réglage par le système inverseur à trois positions.

L'inverseur de commande est réalisé :

- dans les régulations **électromécaniques** : par le contact à déplacement lent d'un thermostat « flottant » (fig. 15) ;
- dans les régulations **électroniques** : par l'ensemble des deux contacts des relais de commande (fig. 16).

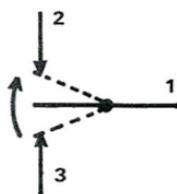


Fig. 15.

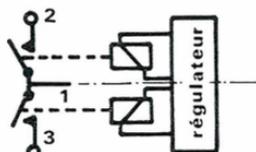


Fig. 16.

Les **relais à balance** électromécaniques et les **bascules électroniques** par transistors sont assimilables à des commandes flottantes.

Le système de la figure 16 peut aussi être réalisé par des transistors commandant des triacs.

2.2. Analyses de fonctionnement

2.2.1. On suppose une installation de réglage de température d'eau correspondant à la figure 17, avec un détecteur contrôlant la grandeur à régler (température d'eau départ vers l'installation).

Pour simplifier, on suppose que la température à l'orifice 1 de la vanne varie de 20°C à 80°C proportionnellement à l'ouverture, donc proportionnellement au temps de marche du moteur.

On suppose en outre l'installation stabilisée pour une valeur de consigne départ fixe (ex. : 50°C).

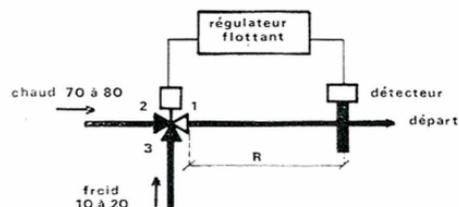


Fig. 17.

Le régulateur possède un différentiel D (fig. 19) qui matérialise l'écart de température (grandeur à régler) nécessaire pour déplacer le contact mobile 1 de 2 en 3 inversement (fig. 18).

2.2.2. Réactions de l'installation possédant retard pur (ou temps morts) et constante de temps

1^{er} cas

On suppose nulle la constante de temps du détecteur.

On examine l'évolution de la grandeur à régler (température) en fonction de la vitesse du moteur, à la suite d'une variation de charge, matérialisée par un déplacement rapide du point de consigne de 50 °C à 60 °C.

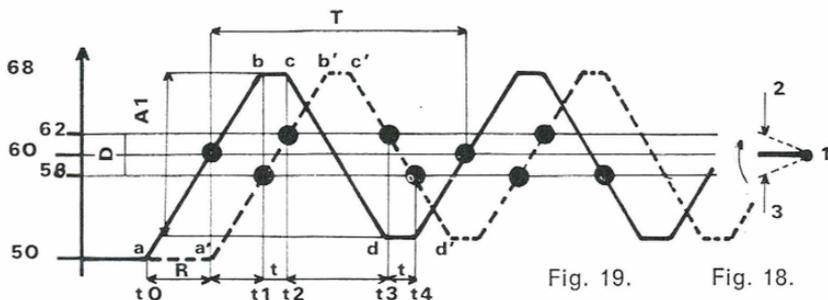


Fig. 19. Fig. 18.

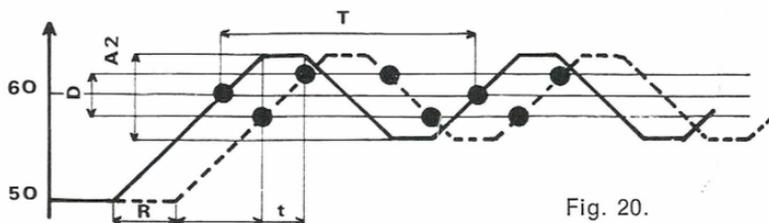


Fig. 20.

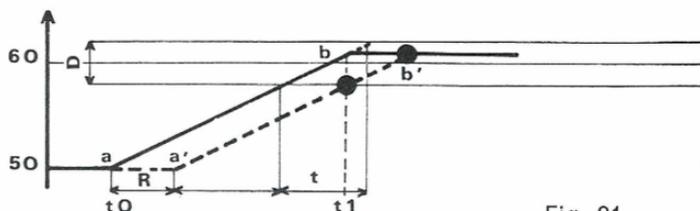


Fig. 21.

a) Avec un moteur rapide (fig. 19)

Au temps t_0 on affiche rapidement le nouveau point de consigne à 60 °C. Le contact 1.3 du régulateur met le moteur de vanne en marche vers l'ouverture. La température à l'orifice 1 de la vanne croît suivant la loi ab supposée proportionnelle à l'ouverture de la vanne.

La température ressentie par le détecteur croît suivant la loi $a'b'$, décalée dans le temps du retard pur R .

A t_1 le contact 1.3 est coupé et le moteur arrêté.

La température départ reste alors stationnaire suivant bc à l'orifice 1, et avec le décalage du temps R suivant $b'c'$ au détecteur.

A t_2 le contact 1.2 est établi, ce qui met le moteur en marche vers la fermeture.

La température en 1 évolue suivant cd , alors que la température au détecteur évolue suivant $c'd'$ toujours décalée de R .

Le moteur est arrêté de t_3 à t_4 , puis le cycle reprend sans pouvoir se stabiliser.

On remarquera sur la figure 19 :

- le temps R , retard de détection ;
- le temps t , temps mis par la grandeur réglée (température) pour franchir le différentiel.

On a $t < R$: le système est instable.

La température contrôlée évolue cycliquement avec une période T et une amplitude A_1 importante.

La régulation est mauvaise. Il y a pompage.

Avec un moteur plus rapide on aurait eu une régulation s'apparentant au système « tout ou rien ».

b) Avec un moteur moins rapide (fig. 20)

La réaction de l'installation est semblable au cas précédent, mais cette fois le temps t que met la grandeur réglée (température) pour franchir le différentiel est plus grand.

Ce temps est encore inférieur au retard R .

On a donc encore une instabilité, mais avec une amplitude A_2 plus faible.

c) Avec un moteur lent (fig. 21)

On choisit cette fois un moteur avec lequel la température réglée met un temps $t > R$ pour franchir le différentiel.

La température ressentie par le détecteur évolue suivant $a'b'$, et au temps t_1 le moteur de vanne est arrêté.

La température atteinte est à l'intérieur des limites du différentiel. La stabilisation est effective tant qu'il n'y aura pas de variations de charges, susceptibles de faire passer la grandeur réglée au-delà des limites du différentiel.

On voit donc déjà que la détermination de la vitesse du moteur est d'une grande importance pour la stabilité de la régulation.

2° cas :

Le détecteur possède une constante de temps non négligeable.

On choisit la vitesse du moteur assez lente pour se trouver dans le cas du n° 2.2.2.-c précédent, par exemple 12 secondes pour franchir les 4°C du différentiel, soit un temps t plus grand que le retard pur R fixé arbitrairement à 6 secondes.

On examine l'évolution de la grandeur à régler en fonction de cette constante de temps, les autres paramètres — différentiel, vitesse du moteur, temps de retard — étant constants (fig. 22, 23, 24).

a) **Avec une constante de temps nulle**, on devrait stabiliser comme au n° 2.3.3.-c (fig. 21), c'est-à-dire suivant a-b-c-d à la figure 22.

b) **Avec une constante de temps faible**, par exemple 9 secondes (fig. 22), la température ressentie par le détecteur évolue suivant a-b-e-f-g, pour se stabiliser rapidement à h à l'intérieur des limites du différentiel, au temps t_1 .

La stabilisation en température demande environ 90 secondes.

c) **Avec une constante de temps plus longue**, par exemple 18 secondes (fig. 23), la température évolue suivant a-b-c-d-e-f-g, pour se stabiliser à h au temps t_2 , après environ 240 secondes.

d) **Avec une constante de temps encore plus longue**, par exemple 50 secondes (fig. 24), la température évolue plus lentement suivant



a-b-c-d-e-f-g-h, pour se stabiliser enfin à l'intérieur des limites du différentiel au bout d'un temps d'environ 360 secondes, à **condition qu'une variation de charge (ou de valeur de consigne) ne se produise pas pendant ce temps.**

On remarque d'ailleurs que la période T3 (fig. 24) est plus longue que la période T2 (fig. 23).

On remarque aussi que les amplitudes successives A3, A'3, A''3, etc., de la figure 24, tendent à diminuer, mais qu'elles sont plus grandes que les amplitudes de même rang A2, A'2, A''2, de la figure 23.

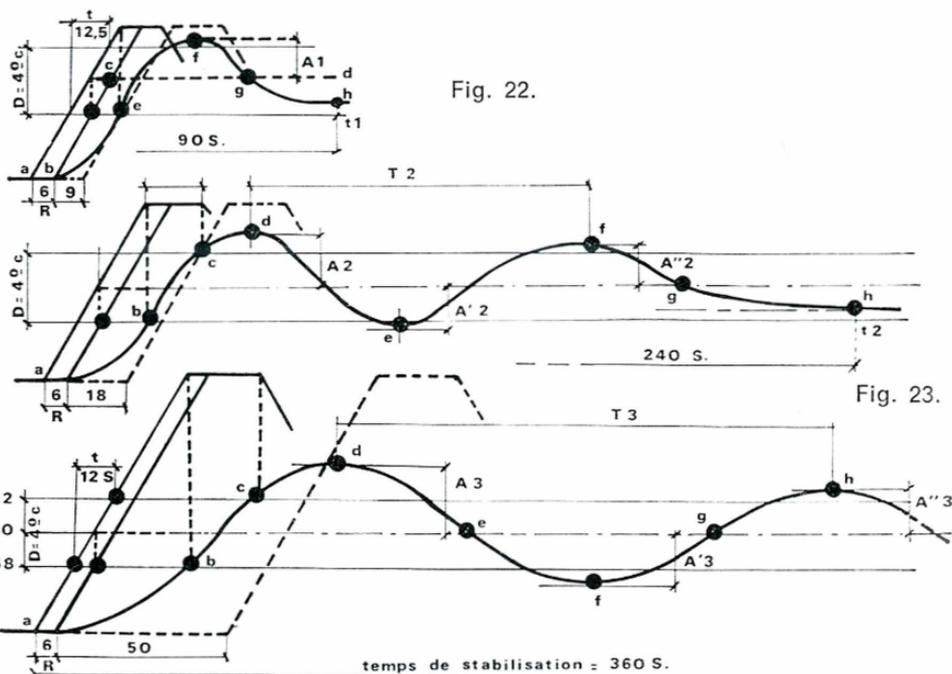


Fig. 22.

Fig. 23.

Fig. 24.

2.3. Conclusions

2.3.1. Adaptation du procédé

Des analyses précédentes on peut conclure que la vitesse du moteur doit être déterminée en fonction des paramètres de l'installation :

- différentiel,
- retards purs ou temps morts,
- constantes de temps.

- a) **Le différentiel** doit être ajusté au plus près de la précision demandée.
- b) **Le retard pur** conditionne impérativement la vitesse du moteur. Il y aura toujours pompage si $R > t$, même si la constante de temps du détecteur est réduite à 0 (cas des fig. 19 et 20).
Par contre, avec $t > R$, la stabilisation est possible (cas de la fig. 21).
On peut choisir $t = 2R$.
- c) **La constante de temps** conditionne la durée de stabilisation (cas des fig. 22 à 24). Si la durée est trop longue et si la charge varie pendant ce temps, la stabilité sera remise en cause.



2.3.2. Applications à l'exemple de la figure 24

a) Le **différentiel** est déterminé en fonction de la précision demandée :

— Précision = $\pm 2^\circ\text{C}$.

— Différentiel = 4°C .

b) Le **retard pur** a été supposé de 6 secondes.

Si l'eau circulant dans la tuyauterie entre l'orifice 1 de la vanne et le détecteur a une vitesse de 0,5 m/s, la distance vanne-détecteur ne doit pas excéder 3 mètres.

c) La **constante de temps** a été supposée de 50 secondes.

C'est un ordre de grandeur courant.

d) La **vitesse du moteur** reste à déterminer.

Le temps t de franchissement du différentiel (4°C) doit être supérieur au retard pur R (6 secondes).

On choisit $t = 2R = 12$ secondes.

Soit 12 secondes pour passer de 58 à 62°C .

Avec une vanne ouvrant de 90° d'angle pour délivrer de l'eau entre 20°C et 80°C (écart = 60°C), le temps de marche du moteur pour 90° d'angle est de :

$$\frac{12 \times 60}{4} = 180 \text{ secondes}$$

Soit = $1/2$ degré d'angle par seconde

e) Le **temps de stabilisation en température** est de l'ordre de 360 secondes (soit 6 minutes), ce qui peut paraître long et la régulation risque de ne pouvoir suivre les variations rapides de charge : l'installation serait instable en permanence.

2.3.3. Améliorations à apporter au procédé

Pour diminuer le temps de stabilisation il faut :

a) **Réduire le plus possible les retards purs**, par exemple en plaçant le détecteur au plus près de l'orifice de vanne.

Dans le cas supposé à la figure 24, avec une distance vanne-détecteur de 1,50 m, on aurait un retard de 3 secondes.

b) **Réduire si possible les constantes de temps**, en apportant un soin particulier au choix du détecteur et à sa mise en place.

Rappelons que la constante de temps du détecteur est inversement proportionnelle à la vitesse du fluide à son contact.

La figure 25, comparée à la figure 24, montre bien le résultat obtenu :

— avec un retard pur de 3 secondes au lieu de 6 ;

— avec une constante de temps de 30 secondes au lieu de 50.

La durée de stabilisation en température n'est plus que de 240 secondes au lieu de 360 secondes.

c) **Diminuer la vitesse du moteur.**

La figure 26, comparée à la figure 25, montre bien une stabilisation plus rapide avec un moteur plus lent.

Il ne faut toutefois pas exagérer la lenteur du moteur, car la régulation ne pourrait suivre les variations rapides de charge.



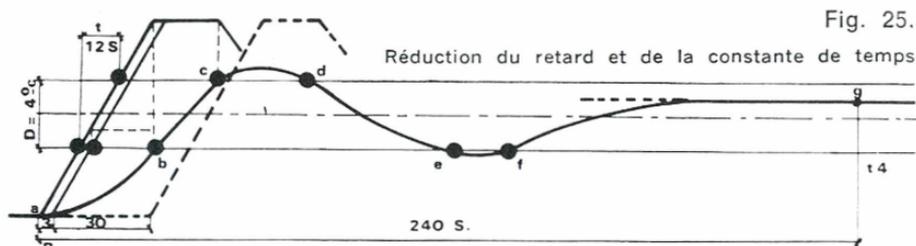


Fig. 25.

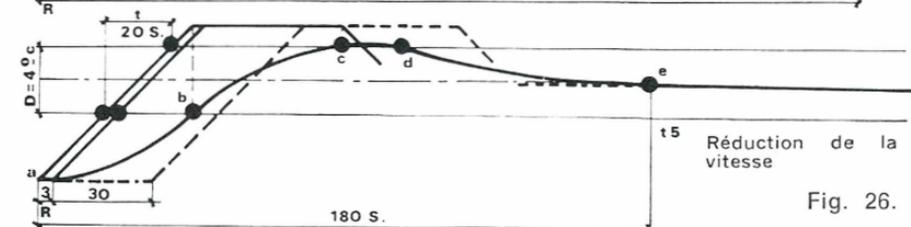


Fig. 26.

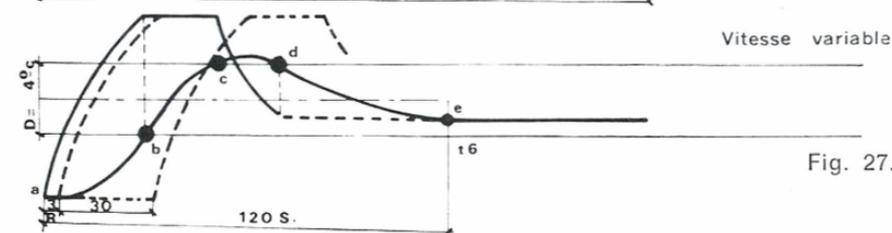


Fig. 27.

La bonne solution consisterait donc :

- A avoir une grande vitesse de moteur au début de l'action de réglage.
- A diminuer progressivement cette vitesse au fur et à mesure que l'on approche du réglage.
- A terminer l'opération à vitesse très lente au voisinage du point de consigne.

C'est pourquoi on adjoint souvent à un régulateur flottant un dispositif à vitesse variable permettant justement d'obtenir une vitesse de l'organe de commande d'autant plus petite qu'on se rapproche de l'équilibre.

Le résultat est illustré par la figure 27.

Ce procédé, dénommé « système flottant à vitesse variable », est analogue au système de régulation proportionnelle avec action complémentaire intégrale, décrit au chapitre IV, paragraphe 5.2.

2.4. Emploi du procédé

La régulation en système flottant est un système simple et qui donne satisfaction lorsqu'il est bien employé.

La précision est bonne, sans écart autre que celui introduit par le différentiel. Il trouve diverses applications d'emplois.

Exemples :

- régulation de température d'eau de ballons d'ECS à accumulation par vanne 3 voies (voir chap. VII) ;
- régulation de température d'eau départ radiateurs en fonction de la température extérieure.

Par contre, le procédé ne peut être employé en régulation d'ambiance en raison de l'importance des retards purs introduits par l'installation, supérieurs à 2 minutes, et qui conduiraient à une régulation en « tout ou rien ».

CHAPITRE IV

Régulations à action continue

1. GÉNÉRALITÉS - SYSTÈME PROPORTIONNEL

1.1. Définition

Ce type de régulation est caractérisé par le fait que l'organe de réglage prend une position proportionnelle à l'écart entre la valeur de la grandeur réglée et la valeur de consigne. Autrement dit, en état d'équilibre, à chaque valeur de la grandeur réglée correspond une position déterminée de l'organe de réglage.

1.2. Application au chauffage

Supposons l'installation de chauffage statique de la figure 1 ci-dessous analogue à celle de la boucle fermée représentée au chapitre II (fig. 1).

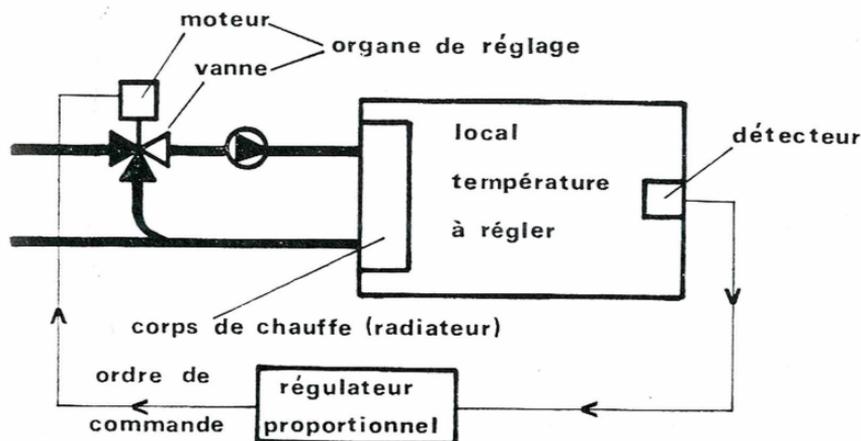


Fig. 1.

Cette installation a pour but de maintenir constante la température ambiante du local.

Toute variation de la température ambiante, mesurée par le détecteur, entraîne, par l'intermédiaire du régulateur proportionnel, une modification de l'ouverture de la vanne. Il en résulte une variation correspondante de l'émission calorifique du corps de chauffe.

Ceci peut se traduire par le diagramme ci-dessous (fig. 2) :

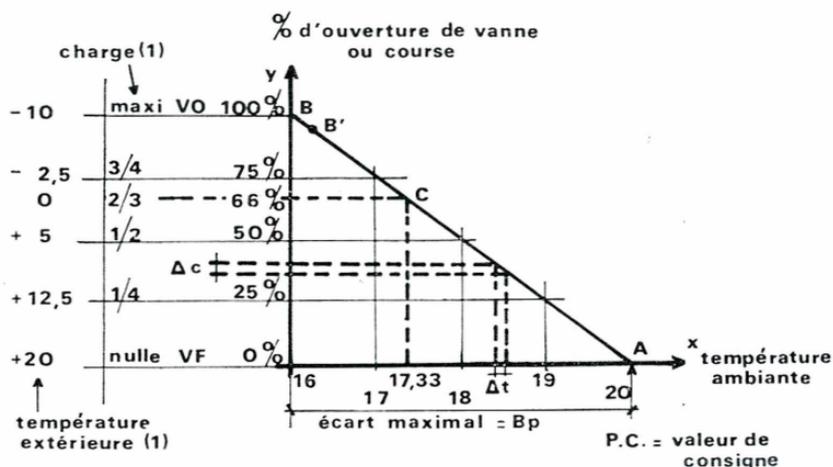


Fig. 2.

(1) Les correspondances charge-températures sont données ici à titre d'exemple, la charge maxi correspondant à -10°C extérieur. On sait que, pour Paris, on prend pour base -7°C , pour Strasbourg -14°C , pour Nice -2°C , pour Brest -4°C , etc. (Voir aussi DTU et chap. I, § 1.1.).

Dans cet exemple, la valeur de consigne de la température ambiante a été fixée à 20°C , correspondant — pour une charge nulle, soit 20°C extérieur — à la fermeture totale de la vanne, c'est-à-dire à une ouverture à 0 % (V.F.). Toute diminution de la température ambiante, constatée par le détecteur, entraîne la vanne vers l'ouverture.

L'ouverture totale, soit 100 % (v.o), correspond dans notre exemple à une diminution de 4°C de la température ambiante.

Cet écart de 4°C représente la valeur de la bande proportionnelle.

Inversement, l'augmentation de la température ambiante de 16°C vers 20°C se traduira par la fermeture correspondante de la vanne de 100 % vers 0 %.

1.3. Examen du système

1.3.1. Bande proportionnelle

Définition : la bande proportionnelle (en abrégé : BP) est la variation nécessaire de la grandeur à régler qui fait passer l'organe de réglage de 0 à 100 %, ou inversement.

La largeur de la BP est réglable.

1.3.2. Régulateur proportionnel

On dit qu'un régulateur est proportionnel si, à chaque variation de la grandeur à régler, correspond un ordre de commande proportionnel qui fournira une position proportionnelle de la course de l'organe de réglage (revoir fig. 2). C'est pourquoi, sur le diagramme de la figure 2, la correspondance entre les deux valeurs est représentée par la droite AB, de la forme $y = ax$, pouvant s'écrire :

$$\Delta C = K \cdot \Delta t$$

avec $y = \Delta C$: variation de la course en % ;

$x = \Delta t$: variation de la température ambiante ;

$a = K$: coefficient dit « d'amplification » ou « gain » du régulateur et traduisant la « pente » de la droite AB.



1.3.3. Ecart permanent de réglage

Les régulateurs proportionnels présentent l'inconvénient d'un **écart permanent de réglage**, appelé encore **écart statique** qui, s'il n'est pas corrigé, fait que la température effectivement réglée est différente de la valeur désirée affichée en point de consigne.

Dans notre exemple, illustré par le diagramme figure 2, on voit bien que :

- à charge nulle, la vanne est fermée, l'écart est nul ;
- à charge maxi (supposée pour -10°C extérieur), la vanne doit être grande ouverte à 100 %, et pour obtenir cela, la température ambiante doit descendre à 16°C , soit un écart maxi de 4°C égal à la largeur de la bande proportionnelle choisie (1) ;
- à charge donnée (par exemple $2/3$, aux environs de 0°C extérieur), la vanne doit être ouverte aux $2/3$, ce qui suppose une température ambiante de $17,33^{\circ}\text{C}$, soit un écart de $4^{\circ}\text{C} \times 2/3 = 2,66^{\circ}\text{C}$, avec la valeur de consigne.

Cet écart est **permanent**, dès que la stabilisation est acquise après une modification de la charge.

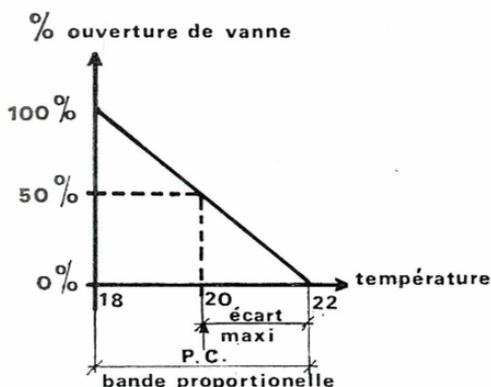
Il est spécifique à ce genre de régulation et, en conséquence, en limite l'emploi.

1.3.4. Remèdes pour corriger l'écart de réglage

1.3.4.1. Par diminution de la BP

On peut réduire la largeur de la bande proportionnelle, mais alors on risque d'avoir une régulation instable : voir le paragraphe 1.3.5. : Stabilité des régulations proportionnelles.

1.3.4.2. Par partage de l'écart



On peut aussi, comme dans la figure 3, choisir le point de consigne pour la demi-course de l'organe de réglage correspondant à la demi-charge. C'est une question de réglage interne des appareillages.

Fig. 3.

(1) On objectera que, si les calculs de déperdition et d'installation sont bien faits pour 20°C d'ambiance, avec une vanne ouverte à 100 %, la température devrait remonter à 20°C .

C'est vrai, mais si la température augmente la régulation demandera la fermeture proportionnelle de la vanne, ce qui diminuera l'émission calorifique et la température tendra à diminuer de nouveau.

Après quelques oscillations, très lentes, un équilibre s'établira en un point de fonctionnement B' , très voisin du point théorique B.

Pour la même BP, les écarts de réglage par rapport à la consigne sont réduits de moitié, mais ils seront soit en + soit en -.

Associé au premier procédé : réduction de la largeur globale de la BP, c'est une solution couramment employée lorsqu'on n'utilise pas les principes de modification de point de consigne ou de correction.

1.3.4.3. Par modification du point de consigne

Le procédé consiste à déplacer **manuellement** le point de consigne en fonction de la charge, donc en fonction de l'ouverture de l'organe de réglage, pour corriger l'écart de réglage qui apparaît.

C'est un pis-aller, il est préférable d'utiliser le procédé de la correction automatique.

1.3.4.4. Par un procédé de correction automatique

Le procédé consiste à déplacer **automatiquement** le point de consigne pour corriger l'écart.

Il nécessite une boucle complémentaire et un « détecteur » de la charge. Ce sera un détecteur de la température extérieure.

Reprenons le cas de la figure 2, mais en intervertissant les axes et leurs orientations, nous obtenons le diagramme de la figure 4 avec la même droite AB représentant la proportionnalité course/température.

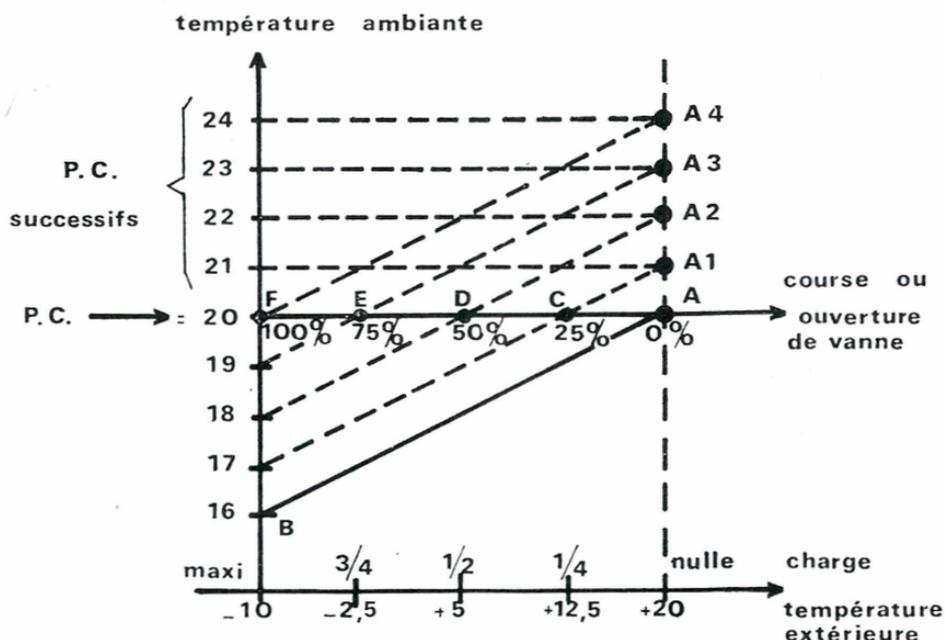


Fig. 4.

Dans cet exemple :

A charge nulle et si PC = 20 le point de fonctionnement est A

A 1/4 de charge et si PC = 21 le point de fonctionnement est C

A 1/2 de charge et si PC = 22 le point de fonctionnement est D

A 3/4 de charge et si PC = 23 le point de fonctionnement est E

A charge maxi et si PC = 24 le point de fonctionnement est F

On a donc la possibilité d'obtenir une température réglée constante, et **sans écart** avec la valeur de consigne, en déplaçant (sens +) automatiquement le point de consigne par l'action du détecteur complémentaire de « **compensation extérieure** ».

On peut même faire mieux : en donnant plus d'influence à cette action, c'est-à-dire en déplaçant davantage le point de consigne, on augmente progressivement la température réglée, de façon à obtenir des températures supérieures à la consigne, au fur et à mesure de l'augmentation de la charge.

On obtient alors une loi comme AN (fig. 5) dénommée **loi de confort chauffage**.

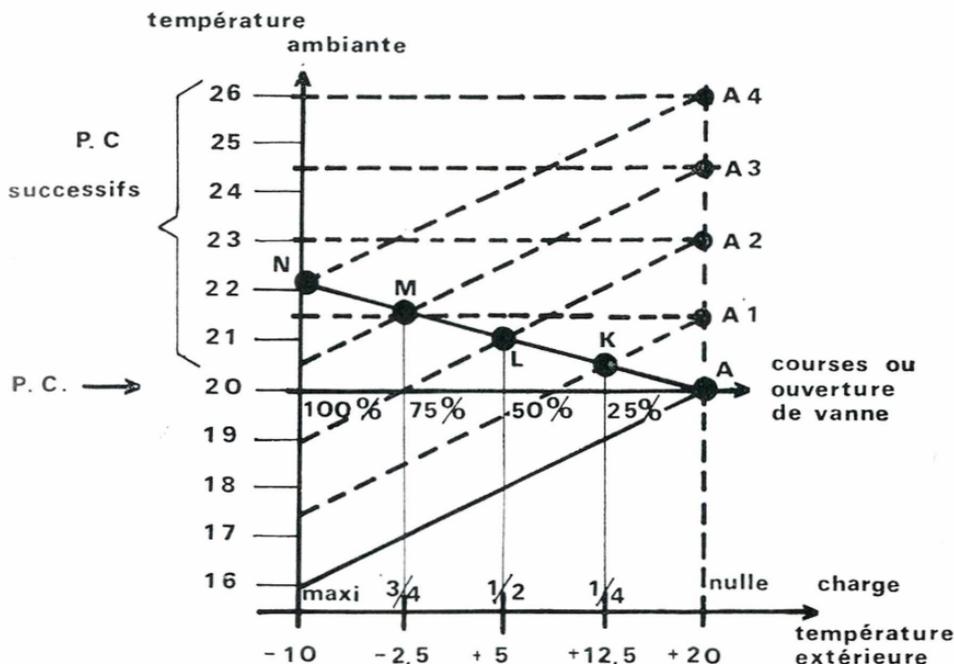


Fig. 5.

Dans cet exemple :

- A charge nulle et si PC = 20 le point de fonctionnement est A
- A 1/4 de charge et si PC = 21,5 le point de fonctionnement est K
- A 1/2 de charge et si PC = 23 le point de fonctionnement est L
- A 3/4 de charge et si PC = 24,5 le point de fonctionnement est M
- A charge maxi et si PC = 26 le point de fonctionnement est N

La **loi de confort chauffage** donne aux occupants du local réglé, pendant les périodes de basse température extérieure, une température supérieure à la consigne, compensant l'impression désagréable causée par le froid des murs, cloisons, surfaces vitrées en contact avec l'extérieur. L'installation doit évidemment avoir été calculée pour la température maximale désirée à pleine charge, soit, dans notre exemple : 22 °C.



Remarque

Même avec la correction automatique du point de consigne, la régulation proportionnelle ne permet pas d'éliminer l'écart statique dû à la correction des charges internes.

Cette correction ne peut être obtenue que par une régulation dans laquelle on introduit des actions complémentaires (voir Actions complémentaires, chap. IV, § 5).

Cas particuliers des régulations proportionnelles en refroidissement

Dans une régulation proportionnelle **refroidissement**, la **loi de confort** est donnée immédiatement par l'écart permanent dû à la BP.

En effet, l'écart de réglage se trouve dans le **bon sens** et permet de laisser augmenter progressivement la température ambiante quand la température extérieure croît. Toutefois, l'écart maxi (extérieur-intérieur) ne doit jamais être supérieur à 6 °C. Exemple de la figure 6 : 26/32.

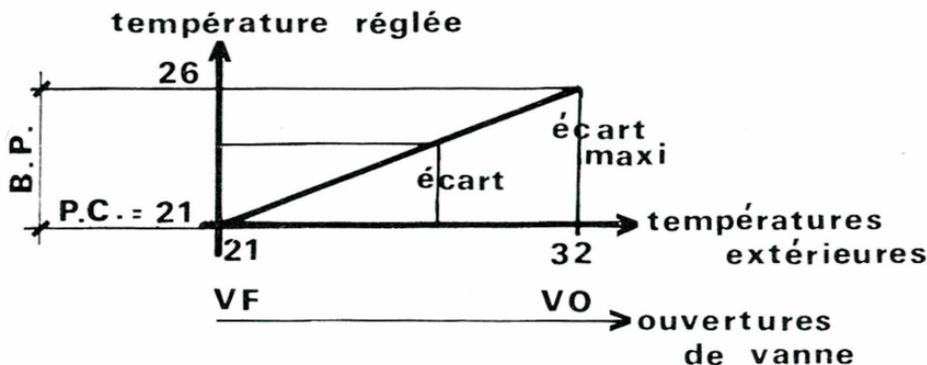


Fig. 6.

1.3.5. Stabilité des régulations proportionnelles

Pour qu'une régulation proportionnelle soit stable, deux conditions sont absolument nécessaires :

1.3.5.1. Il faut, d'une part, que la bande proportionnelle ait une valeur suffisante

La figure 7 ci-dessous montre différentes relations proportionnelles avec des BP décroissantes : 4, 2, 1, 0,5 °C.

La relation (1) donne généralement une régulation très stable. Les autres le seraient de moins en moins. On voit bien, en effet, que pour une même petite variation de température $\Delta t = 0,25 \text{ °C}$, on obtient avec les relations (1) à (4) des courses de vannes C1, C2, C3, C4 de plus en plus grandes, donc de plus en plus imprécises.

On peut même dire qu'avec la relation (5) la même variation $\Delta t = 0,25 \text{ °C}$ fait passer la vanne d'ouverture à fermeture ou inversement.



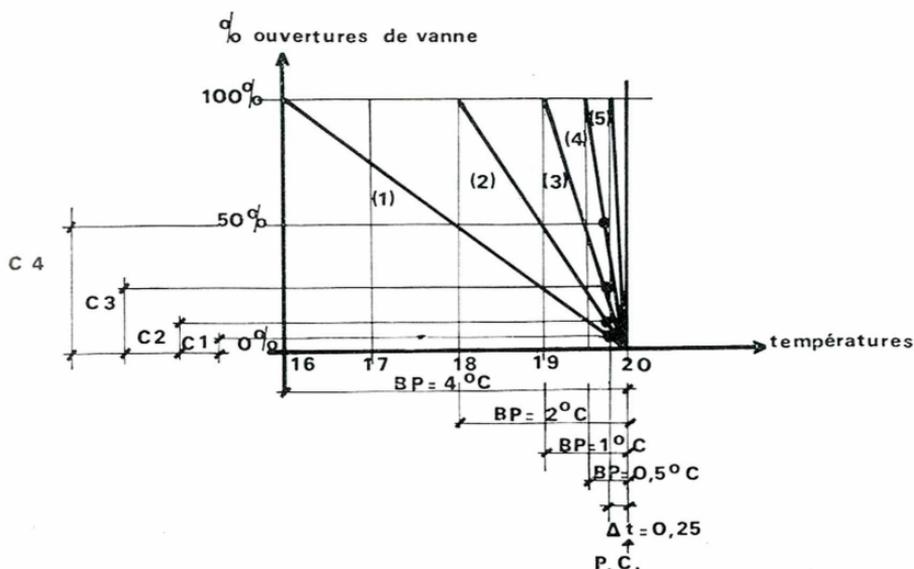


Fig. 7.

On est donc revenu à une régulation du genre « tout ou rien » ou « flottant », avec le phénomène du « pompage » caractéristique de l'instabilité.

La stabilité ne peut donc être assurée que si la bande proportionnelle est choisie assez large.

On verra au paragraphe suivant (Conclusions), comment on peut concilier stabilité et précision.

1.3.5.2. Il faut, d'autre part, que la position de la commande motrice de l'organe de réglage soit liée de façon rigide à l'écart, ce qui, dans le cas d'un **moteur électrique**, nécessite une liaison de retour dénommée **asservissement**. Cette fonction est assurée par un **potentiomètre** de position montée sur le moteur. En pneumatique, cette fonction est assurée par un **positionneur**.

1.4. Conclusions

La régulation proportionnelle est un procédé de régulation relativement simple et qui donne satisfaction s'il est bien employé.

1.4.1. Grâce à l'asservissement (voir § 1.3.5.2), le positionnement de l'organe de réglage peut être **très rapide**.

1.4.1. Pour obtenir une bonne stabilité, il est nécessaire de régler la bande proportionnelle assez large : en ambiance, au moins 2°C.

1.4.3. Pour éviter des oscillations sur la grandeur réglée, il faut, avec un moteur rapide, des corps de chauffe à **réponse rapide**, ou tout au moins inférieur au temps de réponse total. Il faut aussi éliminer au maximum les temps morts.

1.4.4. Pour corriger l'écart statique :

• si l'on ne compense pas la température extérieure, il faut réduire la bande proportionnelle au détriment de la stabilité. Ici apparaît le dilemme habituel de tous les systèmes de régulation proportionnels : stabilité ou précision.



Il faut trouver un compromis, et c'est sur l'installation elle-même que l'on réglera la bande proportionnelle au plus juste compatible, avec une bonne stabilité.

Une bonne solution consiste toujours à choisir le point de consigne en correspondance avec la demi-charge comme il est dit au paragraphe 1.3.4.2.

Dans ce cas, avec une BP de 1,5 °C, l'écart maxi sera de 0,75 °C par rapport à la valeur de consigne pour des écarts extérieurs de l'ordre de 30 ° (— 10 à + 20).

On ne pourra pas apprécier ces variations réparties sur toute l'année, l'impression de **confort** restera acquise aux usagers.

• **si l'on compense la température extérieure**, on peut choisir une BP plus large, 4 à 6 °C pour l'ambiance donnant avec certitude une bonne stabilité. La compensation extérieure permettra en outre, dans une installation de chauffage, de régler la température suivant une **loi de confort**.

*
**

Mais tout ceci n'est vrai qu'à condition d'avoir, entre le positionnement de l'organe de réglage et l'émission calorifique consécutive, une autre relation de proportionnalité. Nous verrons, au chapitre V, « Vannes », la nécessité de bien choisir la vanne de régulation et d'en déterminer correctement le diamètre optimum afin de satisfaire la condition de proportionnalité sur l'ensemble de la boucle de régulation.

2. APPLICATION AU SYSTÈME ELECTROMÉCANIQUE

2.1. Description

Le système comprend trois organes :

- un thermostat agissant sur un potentiomètre cumulant les fonctions de détecteur-comparateur-transmetteur ;
- un relais sensible, du type relais à balance (1), agissant sur un moteur ;
- un moteur actionnant l'organe de réglage : vanne, volet équipé d'un potentiomètre d'asservissement.

L'ensemble est monté suivant le schéma symétrique de la figure 8, représenté en « équilibre électrique » pour une ouverture de l'organe de réglage de 50 %.

2.2. Fonctionnement avec relais à balance électromécanique (1)

Le diagramme de fonctionnement est donné par la figure 9, analogue à la figure 2, du chapitre IV, paragraphe 1, « Généralités ».

Le déplacement du curseur du potentiomètre du thermostat provoque un déséquilibre électrique du montage. Le contact mobile du relais à balance bascule du côté défavorisé.

Le moteur est alors commandé dans le sens correspondant à la demande du thermostat, en entraînant l'organe de réglage, mais aussi le curseur de son potentiomètre asservi, et ceci jusqu'à rétablissement de l'équilibre électrique du montage.

(1) Le relais à balance électromécanique peut être remplacé par un ensemble électro-mécanique comprenant amplificateur, bascule et commutateur statique.



Le relais revient à l'équilibre et le moteur s'arrête.

Dans l'exemple représenté aux figures 8 et 9, l'équilibre est matérialisé pour la demi-ouverture de l'organe de réglage, pour une température correspondant au point de consigne, soit 20 °C. Cette valeur a été choisie au milieu de la bande proportionnelle fixée à 4 °C, soit de 18 à 22 °C.

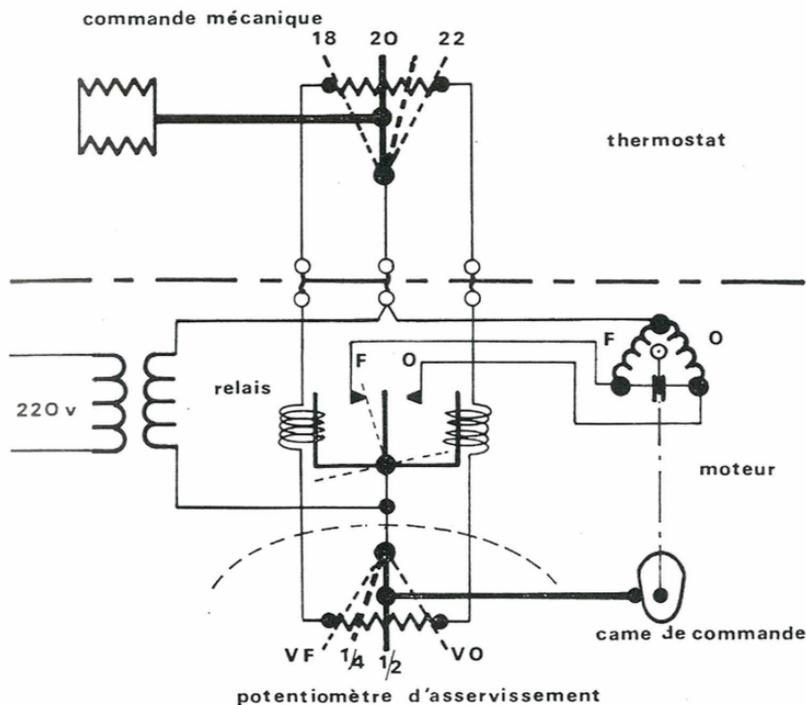


Fig. 8.

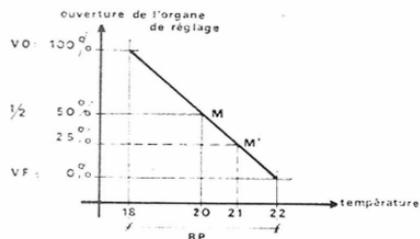


Fig. 9.

Une élévation de température de 20 à 21 °C ressentie par le thermostat entraîne la fermeture de l'organe de réglage à 25 %.

Sur le diagramme figure 9, le point de fonctionnement M vient en M'.



2.3. Remarques particulières concernant

2.3.1. La stabilité

Si on diminue (fig. 11) la largeur de la bande proportionnelle BP, la stabilité diminue, la régulation s'apparentant alors à une régulation « tout ou rien ».

2.3.2. La fixation du point de consigne

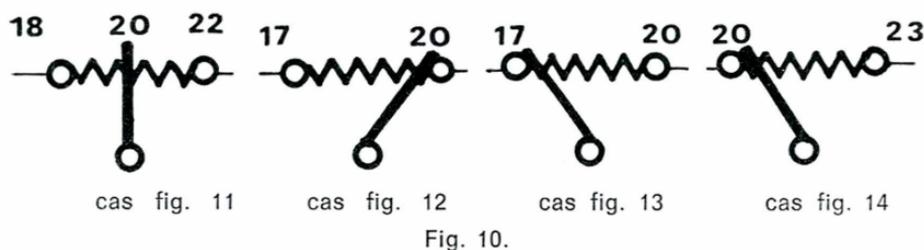
Il peut être fixé :

- soit pour la demi-charge : cas des figures 8, 9, et 11 ;
- soit pour la charge nulle : cas des figures 12 et 14 ;
- soit pour la charge totale : cas de la figure 13.

2.3.3. Le calibrage du thermostat

Le calibrage (ou réglage interne du thermostat) permet d'ajuster la position du curseur en fonction du choix du point de consigne.

Exemples :



2.3.4. L'écart de réglage et la précision

Dans les figures 9 ou 11, l'écart est nul pour la demi-charge. Sa valeur maximale atteint $BP/2$ pour les charges nulles ou maxi.

Dans le cas des figures 12 et 14, l'écart est nul à charge nulle, il est maxi et égal à BP pour la charge maxi.

C'est l'inverse dans le cas de la figure 13.

Ceci apparaît mieux avec les figures 15 à 17, où les axes de coordonnées sont intervertis.

L'écart ainsi déterminé conditionne la précision du réglage.

ouverture ou course

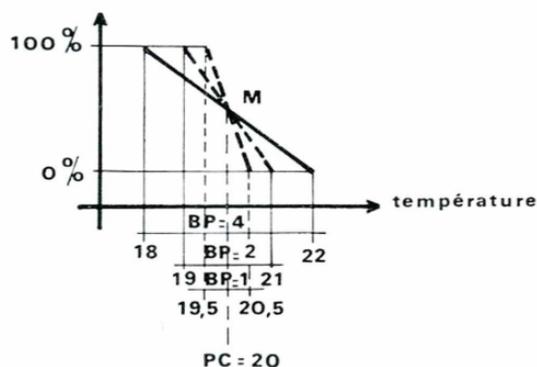


Fig. 11.

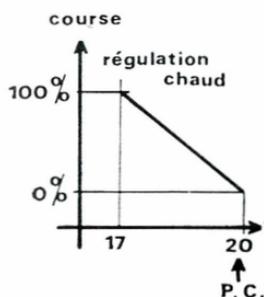


Fig. 12.

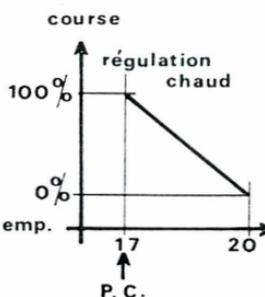


Fig. 13.

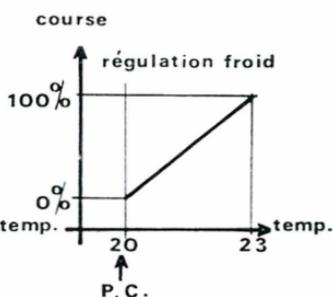


Fig. 14.

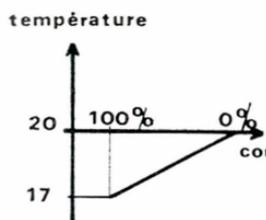


Fig. 15.

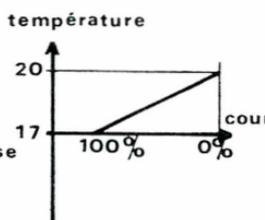


Fig. 16.

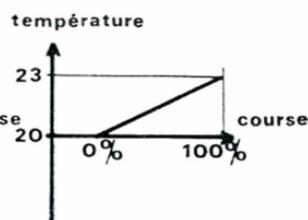


Fig. 17.

2.3.5. La sensibilité de l'appareillage

Elle est liée à la sensibilité du relais. Elle peut atteindre 1/50 de la BP.

2.3.6. La vitesse du moteur

La vitesse du moteur intervient peu sur la précision du réglage.

On peut choisir une vitesse assez rapide, de l'ordre de 1 seconde par degré d'angle pour une vanne rotative.

Un moteur trop lent risquerait de ne pas suivre les variations de charge.

2.4. Avantages du procédé

Système simple, robuste, bon marché.

Facile à mettre en œuvre et à entretenir.

Régulation rapide.

Bonne sensibilité au moins égale à 0,1 °C.

En régulation « froid » (voir fig. 14 et 17), l'écart de réglage — dans le bon sens — permet une régulation de « confort ».

2.5. Inconvénients du système

Comme toutes les régulations proportionnelles non corrigées, il introduit un écart de réglage qui n'apparaît gênant qu'en régulation « chauffage ».

En diminuant la BP au minimum compatible avec la stabilité, par exemple 2 °C, l'écart maxi sera limité à ± 1 °C.

En pratique, cet écart affecte peu le « confort » de l'installation. Une retouche du point de consigne peut d'ailleurs y remédier.

Le thermostat, sensible aux vibrations, doit être fixé sur un support stable.



2.6. Emploi

S'emploie couramment en chauffage pour régler :

- la température d'ambiance d'un local ;
- la température de départ d'un secondaire d'échangeur ;

S'emploie aussi en régulations de froid, d'humidité relative ou de pression.

Conditions d'une bonne régulation

L'inertie thermique de l'élément chauffé doit être du même ordre de grandeur que l'inertie de l'élément chauffant.

Si la BP est bien choisie, la régulation se stabilise rapidement après chaque variation de charge, comme l'indique le diagramme de la figure 18 ci-dessous.

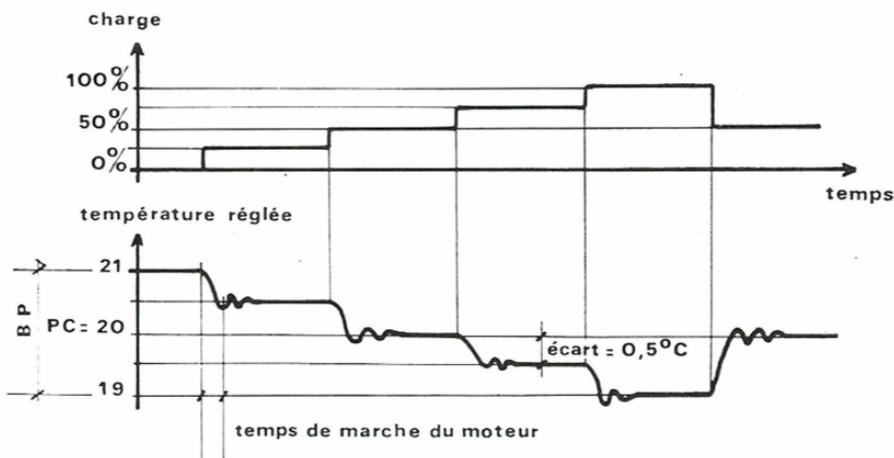


Fig. 18.

3. APPLICATION AU SYSTÈME ELECTRONIQUE

3.1. Description

Le système comprend généralement trois organes :

- une sonde de détection de la variable à régler : températures d'ambiance, d'eau de départ, d'air soufflé, etc. ;
- un régulateur dit « électronique » constitué par :
 - un montage comparateur utilisant le principe du pont de Wheatstone,
 - un ensemble amplificateur,
 - un étage de sortie constitué par deux relais de commande du moteur ;
- un moteur actionnant l'organe de réglage : vanne, volet, équipé d'un potentiomètre d'asservissement.

3.2. Fonctionnement

3.2.1. Rappel du principe des montages en pont de Wheatstone

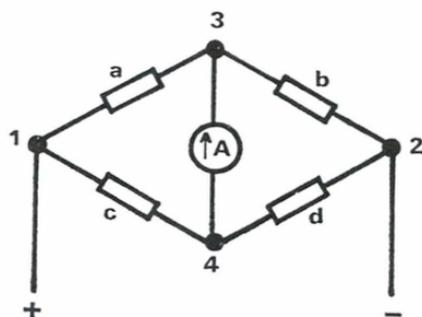


Fig. 19.

La figure 19 représente un montage en pont de Wheatstone.

Le pont est dit « en équilibre » si aucun courant ne circule dans l'appareil A branché dans la diagonale 3-4.

A ce moment on a :

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \text{ ou encore } \frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$

Si l'une des résistances varie, le pont est déséquilibré et un courant apparaît entre 3 et 4 dans l'appareil A.

3.2.2. Application d'un régulateur électronique

Le montage de la figure 20 est analogue à celui de la figure 19 précédente.

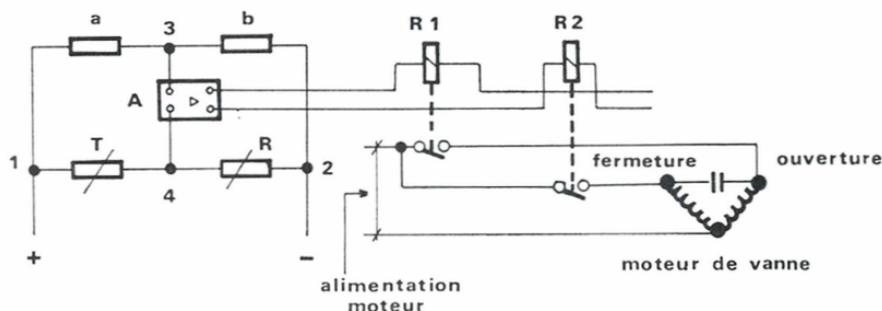


Fig. 20.

Les deux résistances a et b sont fixes et égales. R est la résistance variable présentée par la sonde de détection (voir chap. II, § 3, « Sondes »). T est une résistance variable d'équilibrage.

A l'équilibre on a :

$$\frac{a}{T} = \frac{b}{R} \text{ ou encore } \frac{a}{b} = \frac{T}{R}$$

Comme on a fait $a = b$, on a nécessairement $T = R$.

Si R varie, en prenant la nouvelle valeur R', le pont est déséquilibré et une tension apparaît entre 3 et 4.

L'appareil A est un amplificateur capable d'actionner l'un ou l'autre des relais R1-R2, suivant le sens du courant établi entre 3 et 4, et, en définitive, le moteur de vanne est commandé en ouverture ou fermeture.

L'arrêt du moteur peut être obtenu de trois façons :

— si la sonde reprend son ancienne valeur R ;

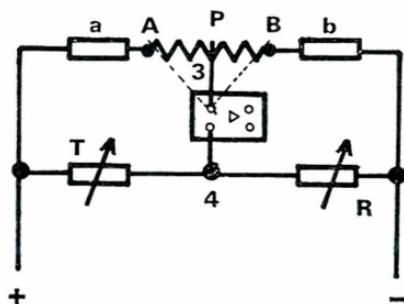


— si on donne à T une nouvelle valeur T' égale à la nouvelle valeur R' de la sonde ;

— si on modifie le rapport $\frac{a}{b}$ tel que $\frac{a}{b} = \frac{T'}{R'}$.

Cette dernière façon permet d'obtenir l'asservissement proportionnel de position du moteur.

3.2.3. Asservissement proportionnel de position



Dans le montage de la figure 21, on a ajouté dans la branche a — b le potentiomètre P monté sur le moteur, comme en système électromécanique, avec son curseur à mi-course.

Fig. 21.

Lorsque le moteur est commandé dans le sens correspondant à la variation de la sonde, il entraîne l'organe de réglage, mais aussi le curseur de son potentiomètre jusqu'à rétablissement de l'équilibre électrique du montage.

Le mouvement du moteur est proportionnel à la variation de température détectée par la sonde.

La course totale du moteur est obtenue pour une variation totale de température qui définit la « bande proportionnelle » (voir fig. 22).

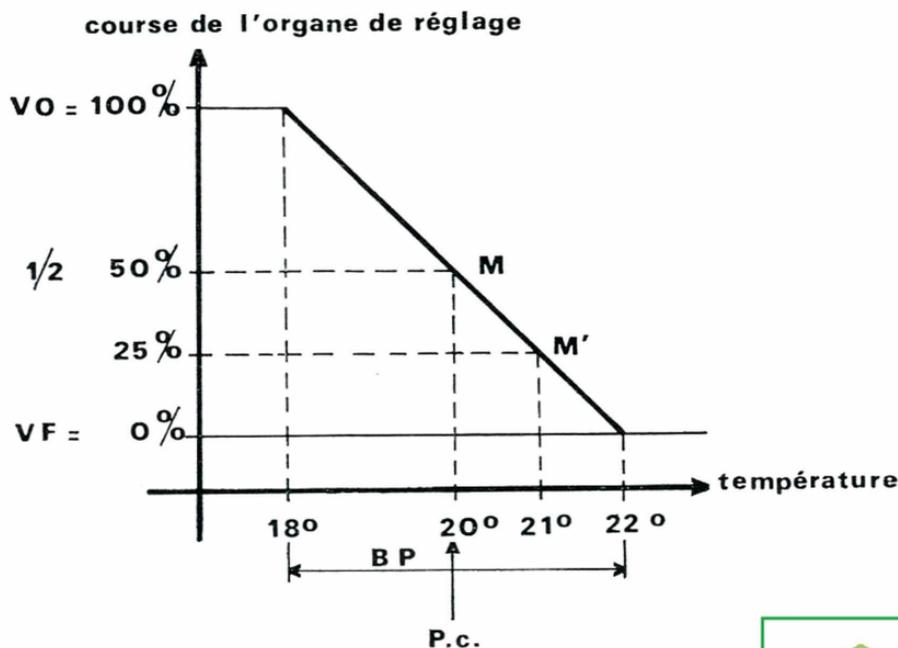


Fig. 22.

Dans l'exemple représenté aux figures 21 et 22, l'équilibre initial est matérialisé pour la demi-ouverture de l'organe de réglage, pour une température correspondant au point de consigne, soit 20 °C. Cette valeur a été choisie au milieu d'une bande proportionnelle fixée à 4 °C, soit de 18 à 22 °C.

*
**

Le montage de la figure 21 est un montage de principe, permettant une explication simple du fonctionnement.

Les constructeurs utilisent des montages dérivés de ce principe, adaptés à des besoins particuliers et propres à chaque appareil.

Il convient de se reporter aux notices des constructeurs.

3.3. Remarques particulières

On peut faire les mêmes remarques que celles qui ont été faites pour le système électromécanique.

Il faut cependant noter ici quelques points particuliers.

3.3.1. Réglage de la bande proportionnelle

Il s'effectue par un réglage d'autorité (ou d'influence) de l'asservissement proportionnel. Divers procédés sont utilisés, ils ne seront pas décrits ici.

3.3.2. Fixation du point de consigne

Il s'effectue par le réglage du potentiomètre T appelé « affichage », de façon à obtenir l'équilibre du pont pour une position déterminée de l'organe de réglage : demi-charge, charge nulle, charge totale. Le curseur du potentiomètre du moteur se trouve alors à mi-course, ou en A, ou en B (voir fig. 21).

On peut ainsi obtenir les différents cas traités en système électromécanique aux figures 11, 12, 13.

3.3.3. Ecart de réglage

Comme toutes les régulations proportionnelles, la régulation électronique introduit un **écart de réglage**, consécutif de la bande proportionnelle indispensable.

Mais on a vu au chapitre IV, paragraphe 1.3.4, que cet écart peut être très facilement corrigé.

3.3.4. Sensibilité

En raison de l'emploi d'amplificateurs pour déceler l'équilibre du pont, la sensibilité des régulateurs électroniques est excellente.

Elle est meilleure que le 1/10 de °C.

3.3.5. Vitesse du moteur

Les remarques faites pour le système électromécanique sont encore valables ici. Toutefois, pour améliorer encore la précision de réglage et diminuer les écarts, on utilise souvent l'artifice du moteur à vitesse variable.

C'est la régulation proportionnelle intégrale qui est étudiée au § 5.2 de ce chapitre.



3.4. Avantages du procédé

Systeme précis et sensible.
Régulation rapide.
Affichages et réglages par potentiomètres à lecture directe.
Emploi de sondes discrètes.
Facilité de compensations.
Bonne fiabilité des matériels actuels.
Absence de tout organe mécanique susceptible de dérèglement.
Emploi d'une technique « électronique » moderne.

3.5. Emploi

Ce procédé de régulation doit se généraliser et supplanter rapidement les régulations électromécaniques dans toutes leurs applications.
Emploi courant pour toutes régulations demandant de la précision et de la sensibilité.

4. APPLICATION AU SYSTEME PNEUMATIQUE

Nous retrouvons, comme dans les systèmes précédents, trois organes principaux : un détecteur, un relais proportionnel, une commande motrice. Mais l'énergie nécessaire n'est plus fournie par un courant électrique mais par de l'air comprimé détendu à une pression qui est généralement de 1,2 bar.

4.1. Détecteur-transmetteur

Le détecteur a pour rôle de transformer la variation de la grandeur réglée en un déplacement ou une variation de force suivant les cas.

Un thermostat pneumatique, par exemple, sera à dilatation (déplacement) ou à tension de vapeur (variation de force), il transformera ce déplacement ou cette variation de force en une variation de la pression modulée émise par lui.

Les transmetteurs pneumatiques utilisent le principe de la buse-palette ou un principe dérivé de celui-ci :

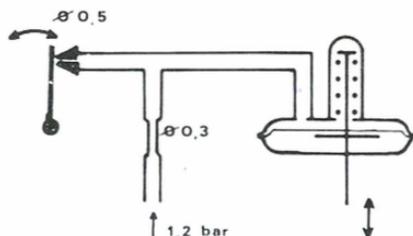


Fig. 23.

Une buse dont l'orifice a un diamètre de 0,5 mm est alimentée en air comprimé (1,2 bar) par une restriction de diamètre 0,3 mm.

Une petite palette mobile peut, soit obturer la buse, soit laisser libre son orifice.

Quand l'orifice est obturé, la pression à l'intérieur de la buse est de 1,2 bar, puisque l'air ne peut pas s'échapper. Par contre, quand l'orifice est libre, la pression à l'intérieur de la buse est voisine de zéro. Pour des positions intermédiaires de la palette, la pression à l'intérieur de la buse évolue de 0 à 1,2 bar, proportionnellement à la distance buse-palette.

Si on lie mécaniquement la palette à l'organe détecteur, tout déplacement de ce dernier entraînera une variation de la distance buse-palette, donc une variation proportionnelle de la pression à l'intérieur de la buse.

4.2. Commande motrice

Pour manœuvrer l'organe de réglage qui fera varier la grandeur de réglage (vanne...), on utilise une commande motrice constituée essentiellement d'une membrane sur laquelle viendra s'appliquer la pression de l'air modulé et d'un ressort antagoniste. Ainsi l'organe de réglage prendra une position correspondant à la pression de l'air sur la membrane.

Si on envoie sur la commande motrice la pression régnant à l'intérieur de la buse, nous obtiendrons un déplacement de l'organe de réglage qui sera lié à la position relative de la palette, donc lié au déplacement ou à la valeur de la force du détecteur primaire, donc à la grandeur à régler. Ainsi, à toutes variations de la valeur de la grandeur correspond une variation proportionnelle de l'organe de réglage.

Dans la pratique, les matériels utilisent le principe décrit ci-dessus, avec quelques adjonctions. Ainsi, le transmetteur est très souvent équipé d'une contre-réaction négative, constituée par un soufflet manométrique qui est soumis à la pression d'air comprimé émise et qui a pour rôle d'équilibrer très exactement le déplacement ou la force du détecteur primaire.

De même, les commandes motrices pneumatiques peuvent être munies d'un relais de positionnement qui lie étroitement la position de l'organe de réglage à la valeur de la pression d'air modulé, quelle que soit la tension du ressort de la commande motrice ou la résistance opposée par l'organe de réglage (presse-étoupe...). Le relais de positionnement permet également des manœuvres plus rapides de l'organe de réglage.

4.3. Avantages et inconvénients du système pneumatique

Le système pneumatique présente un seul inconvénient : la nécessité de disposer d'air comprimé propre à une pression de 1 à 2 bars. Si on ne dispose pas déjà d'une telle source d'énergie, il faut que l'installation projetée comprenne un certain nombre de chaînes de régulation pour justifier l'installation d'un compresseur spécial.

Ses avantages sont :

- Sécurité d'emploi (vanne se fermant par manque d'air comprimé...).
- Simplicité et robustesse du matériel.
- Rapidité de manœuvre, action véritablement continue et progressive des commandes motrices pneumatiques.
- Sensibilité des détecteurs meilleure que 1/10 de °C.

4.4. Emploi

Le système pneumatique sera préféré chaque fois :

- que pour des raisons de sécurité on devra obtenir une fermeture impérative des organes de réglage soumis à de fortes pressions différentielles ;
- que la vitesse de réponse devra être rapide.



5. ACTIONS COMPLÉMENTAIRES

5.1. Nécessité des actions complémentaires

Nous avons vu que le réglage proportionnel pouvait présenter deux inconvénients :

- le risque de « pompage » si la bande proportionnelle était réglée petite ;
- ou une augmentation de l'**écart permanent** résiduel si la bande proportionnelle était réglée grande.

Ainsi l'action P seule ne peut effectuer un réglage correct, si la grandeur de réglage est soumise à de fortes variations.

5.2. Action complémentaire intégrale

5.2.1. Généralités, définition de l'action intégrale, communément désignée *i*

Dans le système **proportionnel**, l'organe de réglage prend une **position proportionnelle** à l'« écart » de la grandeur à régler. Dans le système **intégral**, c'est la **vitesse** de l'organe de réglage qui est **proportionnelle** à l'« écart » de la grandeur à régler.

5.2.2. Analogie

Ainsi donc, dans la fonction intégrale, la vitesse de l'organe de réglage varie en fonction directe de l'écart mesuré.

A grand écart correspond grande vitesse ; à petit écart, petite vitesse. Au fur et à mesure que l'écart se comble, la vitesse se réduit.

L'image de cette action correspond à celle de l'automobiliste lancé apercevant au loin un feu rouge. Deux solutions s'offrent à lui :

- soit continuer à la même vitesse jusqu'au feu et freiner avec le risque de dépasser celui-ci ;
- soit réduire progressivement sa vitesse, afin que le véhicule s'immobilise de lui-même en arrivant au feu.

La fonction intégrale réalise la seconde option.

5.2.3. Réalisation pratique du système intégral en régulation

La variation de vitesse de l'organe de réglage proportionnellement à l'écart peut être réalisée de différentes façons, suivant que le régulateur est pneumatique ou électronique.

Les constructeurs utilisent des montages adaptés aux besoins particuliers propres à chaque appareil et il convient de se reporter aux notices correspondantes des constructeurs.

Nous citerons quelques exemples courants :

- en pneumatique, la fonction est couramment réalisée par l'intermédiaire d'un soufflet de contre-réaction dont l'action est dosable par une résistance pneumatique réglable ;
- en électronique,
 - si l'organe de réglage est équipé d'un moteur à courant continu, la fonction se concrétise par un potentiomètre de contre-réaction entre la sortie et l'entrée de l'amplificateur, permettant de doser l'influence de l'action intégrale ;
 - plus souvent, et quand l'organe de réglage est muni d'un moteur asynchrone à courant alternatif, la fonction est réalisée par un compensateur thermique, constitué de deux résistances variables en fonction de la tem-

pérature et munies de dispositifs chauffants. Ces dispositifs, appelés communément **chaufferettes**, sont mis sous tension lors des commandes de l'organe de réglage et font ainsi varier la valeur des résistances variables incluses dans le système de mesure.

On conçoit donc que les temps de mise sous tension et d'arrêt du moteur seront fonction de la durée d'échauffement des chaufferettes et, de ce fait, fonction de l'écart à combler. Par cet artifice, on réalise un moteur dont la **vitesse relative** varie proportionnellement à l'écart de réglage. On notera qu'il s'agit en fait d'une succession de tops sur un moteur à vitesse constante, donc d'une fonction « escalier ».

5.2.4. Fonction PI

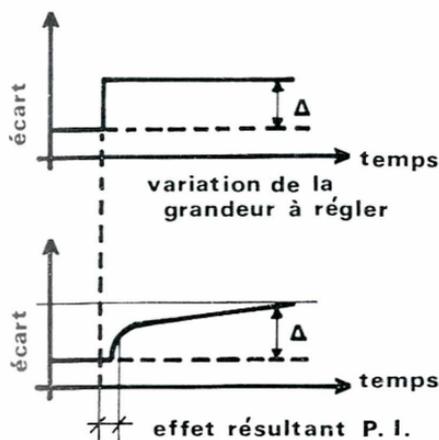


Fig. 24.

L'action intégrale n'est jamais utilisée seule, du fait de l'instabilité qu'elle engendre, dans les problèmes de chauffage qui nous préoccupent. On a recours à l'action **proportionnelle** et **intégrale**, couramment désignée PI.

On y aura recours sur les installations :

- où l'on a besoin d'un réglage sans écart permanent ;
- où se produisent de fortes variations de la grandeur à régler.

Ces deux actions sont généralement combinées dans le même régulateur et délivrent, en réponse à un échelon de variation, un effet correctif.

Après une perturbation, l'action **proportionnelle** fournit rapidement une partie notable de la correction, puis l'action **intégrale** dose progressivement le complément jusqu'à l'annulation de l'écart. Cette action est mise en évidence par la fonction de transfert représentée figure 24.

5.3. Action complémentaire dérivée

5.3.1. Généralités, définition de l'action dérivée, communément désignée D

Dans la fonction **dérivée**, l'action du régulateur est proportionnelle à la **vitesse de variation** de l'écart de réglage et non plus à la **valeur** de l'écart comme dans le proportionnel.

Si la vitesse de l'écart de réglage varie brusquement, l'action du régulateur est importante, et ce, d'autant plus que la variation de l'écart a été brusque. Il en découle que si la vitesse de variation de l'écart est **constante** ou **nulle**, l'action **dérivée** est par conséquent **nulle**.

Cette action dérivée ne se manifestera donc qu'au moment des changements de vitesse, elle disparaîtra dès que la vitesse de l'écart redeviendra constante.

On conçoit donc que cette action ne peut pas être utilisée seule, car elle ne peut pas corriger les écarts constants et permanents de réglage, elle agit seulement au moment de leur variation.



5.3.2. Fonction PID

Chacune des trois actions énumérées aura son effet dans le temps.

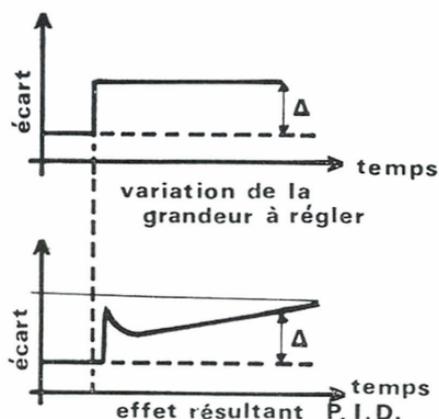


Fig. 25.

Au moment de la variation brusque de l'écart, l'action **dérivée** fournira immédiatement le principal de la correction. Cette dernière sera beaucoup plus importante que celle apportée par l'action proportionnelle, mais sera brève et s'annulera rapidement. A partir de ce moment, l'action **proportionnelle** se substitue à l'action dérivée et il en résultera un écart de réglage permanent. Enfin, l'action **intégrale** poursuivra l'action P jusqu'à l'annulation totale de l'écart de réglage.

L'action dérivée convient surtout lorsque l'inertie du système réglant est nettement supérieure à celle du système à régler (par exemple, panneaux de sol en dalle pleine équipant un bâtiment léger).

Dans ce cas, l'organe de détection mesure la vitesse de variation de la température extérieure. Cette information introduite dans le régulateur permet de doser le chauffage non plus en fonction de la température extérieure du moment, mais en fonction de la température qu'il fera au bout du temps $H + \Delta H$ (voir courbe ci-contre).

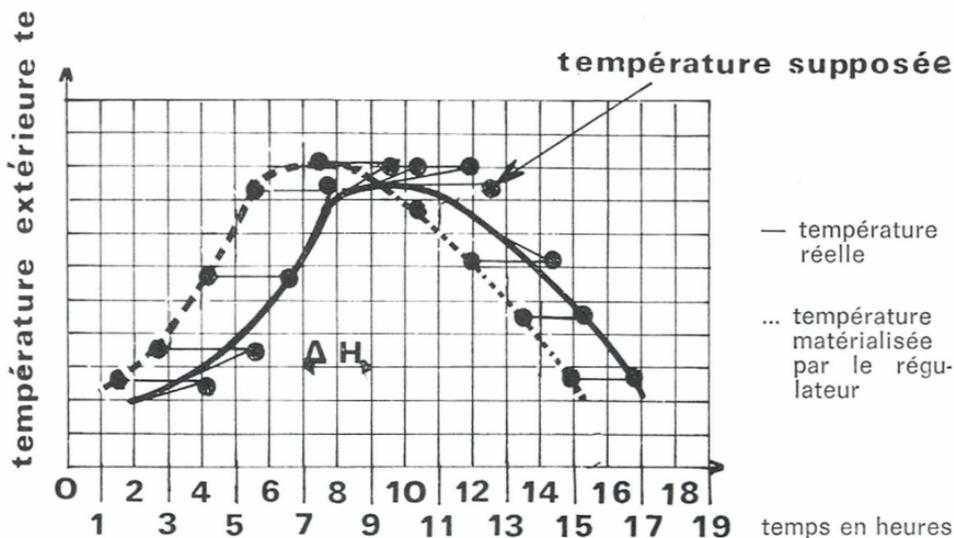


Fig. 26.

Un deuxième cas de nécessité de l'action dérivée existe lorsque les variations de charge sont importantes et rapides et que le système présente un temps mort important.

CHAPITRE V

Choix et détermination des vannes

Le choix d'une vanne, la détermination de ses caractéristiques, sont d'une importance capitale pour obtenir d'un système de régulation les résultats attendus.

Ce choix doit satisfaire :

- les caractéristiques physiques particulières à l'installation ;
- la précision de réglage désirée et permise par l'appareillage de régulation.

Pour permettre ce choix, il est nécessaire de s'appuyer sur les données techniques concernant les vannes exposées au chapitre III, § 53, mais aussi sur quelques données complémentaires.

Il est nécessaire enfin d'examiner le rôle de la vanne dans le circuit hydraulique qu'elle doit régler.

1. DONNÉES TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

1.1. Perte de charge

On appelle communément **perte de charge**, que l'on désigne par Δp_v , la **perte de pression**, exprimée en mm CE ou en bars, qui se produit dans une vanne entre l'orifice d'entrée (amont) et l'orifice de sortie (aval), pour un débit donné.

On l'exprime souvent pour le débit maximal correspondant à l'ouverture totale 100 %.

Cette perte de pression est proportionnelle au carré de la vitesse du fluide et à sa densité.

C'est une donnée très importante qui intervient dans le choix du diamètre d'une vanne de régulation.

1.2. Pression différentielle

C'est la différence de pression existant entre l'entrée et la sortie de la vanne de régulation **dans l'installation**.

Il existe une limite supérieure pour chaque **type** de vanne et chaque **diamètre**, dépendant de la technologie de la vanne, du taux de fuite admis, du débit maximal considéré, de la puissance du moteur d'entraînement.

En ce qui concerne les vannes 3 voies, cette différence de pression n'est pas la perte de charge qui est prise en compte habituellement dans le calcul du débit et qui détermine le diamètre de la vanne.

En effet, pour déterminer le diamètre de la vanne, il faut considérer la différence de pression (ou perte de charge) Δp_v pour le débit maximal désiré dans le circuit réglé.

Nous reviendrons, plus loin, sur cette très importante question.

La différence de pression à considérer comme **pression différentielle maximale** est celle qui existe de chaque côté de la pièce mobile



(clapet, disque, soupape, secteur) en position **fermée**. Elle est égale à la somme des pertes de charge dues au passage du fluide, au débit maximal considéré, dans la voie grande ouverte de la vanne **et** dans le circuit dans lequel la vanne fait varier le débit (fig. 1 et 2). C'est la différence des pressions $p_1 - p_3$.

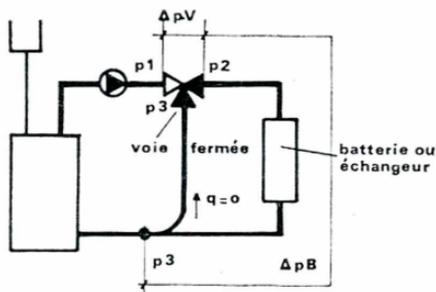


Fig. 1.
Vanne en décharge.

$$p_1 - p_3 = \Delta pV + \Delta pB.$$

ΔpB : perte de charge dans la **batterie** ou l'échangeur au débit maximal.

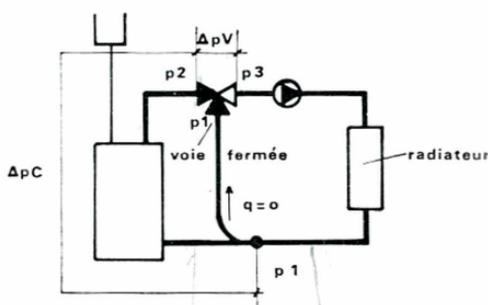


Fig. 2.
Vanne en mélange.

$$p_1 - p_3 = \Delta pC + \Delta pV.$$

ΔpC : perte de charge dans la **chaudière** au débit maximal.

1.3. Coefficient de vanne

On appelle coefficient de vanne, que l'on désigne par K_v (ou C_v), le débit Q d'une vanne qui existerait pour une différence de pression de 1 bar.

C'est un débit rapporté à des conditions unitaires.

Pour l'eau : $Q = K_v \sqrt{\Delta p}$, avec Q en m^3/h et Δp en bars.

Cette formule permet de déterminer le débit permis par une vanne pour une différence de pression donnée.

1.4. Courbes caractéristiques des vannes

On peut distinguer, parmi d'autres, deux familles de courbes caractéristiques des vannes : celles qui sont nécessaires aux constructeurs de vannes et celles qui sont nécessaires aux utilisateurs.

1.4.1. *Pour le constructeur*, ce qui importe c'est de connaître la relation précise qui lie le débit à la levée du clapet d'une vanne à siège ou à soupape, ou qui lie ce débit à l'angle de rotation d'une vanne tournante (disque, secteur, papillon) sous une différence de pression constante.

C'est cette relation qui donne son nom à la **caractéristique de débit** de la vanne (voir fig. 3).

— **linéaire** : le débit est proportionnel à la levée l du clapet (ou à l'angle φ de rotation) :

$$Q = K \cdot l$$

— **quadratique** : le débit est proportionnel au carré de la levée :

$$Q = K \cdot l^2$$

— **logarithmique** : le déplacement du clapet produit une variation proportionnelle au débit total précédant le changement ;

Cette caractéristique est dénommée aussi « à égal pourcentage » :

— à **puissance calorifique linéaire** : la puissance calorifique consécutive à la variation de débit — dans des conditions bien précisées (voir § 2.7.4) — est proportionnelle à la levée.

La caractéristique est obtenue en donnant au clapet de vanne (ou à la pièce rotative d'une vanne tournante) la forme appropriée (voir fig. 4).

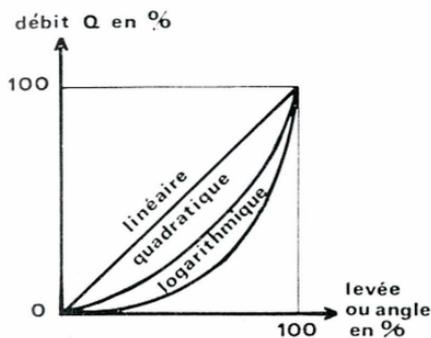


Fig. 3. Exemple de caractéristique débit/levée ou angle.

caractéristiques

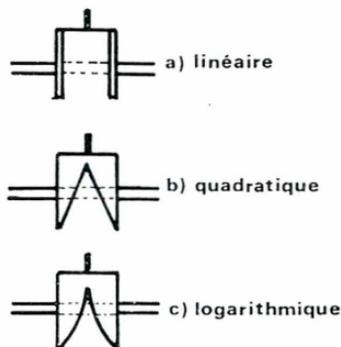


Fig. 4. Exemple de formes de clapets de vanne à siège ou à soupape.

1.4.2. Pour l'utilisateur, au contraire, la vanne pouvant être utilisée sous des pressions différentielles très différentes, ce qui compte c'est la relation entre la différence de pression et le débit pour une vanne d'un diamètre déterminé. Cette loi exprimant le débit en fonction du K_v et de la différence de pression :

$$Q = K_v \cdot \sqrt{\Delta p}$$

étant du second degré, est représentée par une droite dans un diagramme en coordonnées logarithmiques. Le K_v de la vanne est donc un des points de cette droite puisqu'on peut y lire le débit sous une différence de pression de 1 bar.

Des diagrammes permettent de trouver le K_v d'une vanne pour un débit et une perte de charge donnés.

La figure 5 montre un diagramme **général**, valable pour toutes les vannes, mais nécessite de reporter le K_v indiqué sur un tableau annexe (fourni par les constructeurs de vannes) pour trouver le diamètre correspondant.

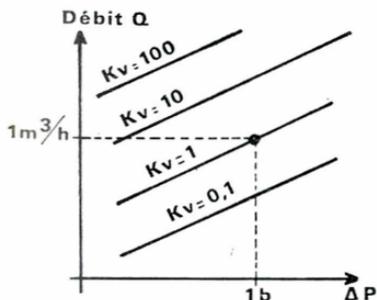


Fig. 5. Diagramme général.

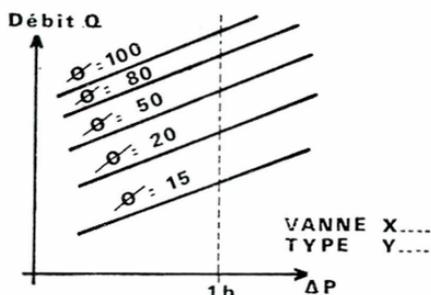


Fig. 6. Diagramme particulier à une vanne donnée.



La figure 6 montre un diagramme **particulier** à une vanne de marque et de type donnés. Il faut évidemment autant de diagrammes qu'il y a de types de vannes chez un constructeur. Ce système dispense de l'emploi d'un tableau annexe.

2. ETUDE DE LA VANNE DANS L'INSTALLATION

2.1. Importance d'un gain constant

Nous avons montré au chapitre IV, paragraphe 1.3, quel rôle important joue la bande proportionnelle dans la stabilité d'une boucle de régulation. Nous avons vu que sa valeur est liée à celle du « gain » de l'amplificateur, supposé constant dans la bande 0 — 100 % de l'ouverture de la vanne.

Or, nous devons considérer l'ensemble de l'installation pour définir le « gain » total de la boucle de régulation, qui peut être maintenant représentée suivant le diagramme de la figure 7. Or, du fait de l'insertion de la vanne de réglage et du corps de chauffe dans la boucle de régulation, la courbe du gain risque de prendre l'allure (2) de la figure 8 représentative d'une variation **non linéaire**.

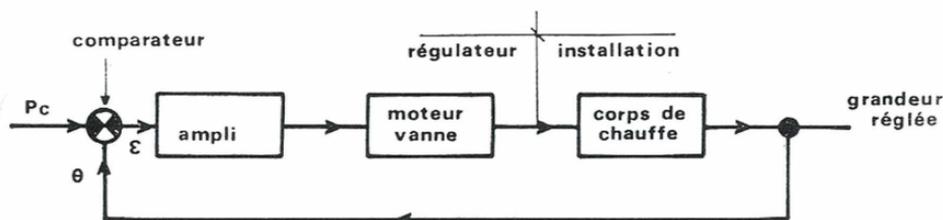


Fig. 7.

Si l'on s'est fixé une erreur maximale ϵM , le gain statique doit répondre à l'inégalité :

$$k_1 > K > k_2$$

En effet, le gain doit être inférieur à la valeur k_1 définie par les conditions de précision et supérieur à la valeur k_2 définie par les conditions de stabilité.

Une installation donnée aura des résultats d'autant plus précis que l'intervalle (k_1-k_2) sera plus faible, donc que les variations de K dans l'intervalle de puissance 0 - P_{st} seront plus petites ou, à la limite, nulles.

Dans le cas de la représentation figure 8, courbe (2), le gain statique, pour chaque valeur de la puissance P , a pour valeur la limite du rapport :

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta \theta}$$

lorsque $\Delta \theta$ est très petit, le gain maximal admissible a pour valeur :

$$K_{st} = \frac{P_{st}}{\epsilon M_0}$$



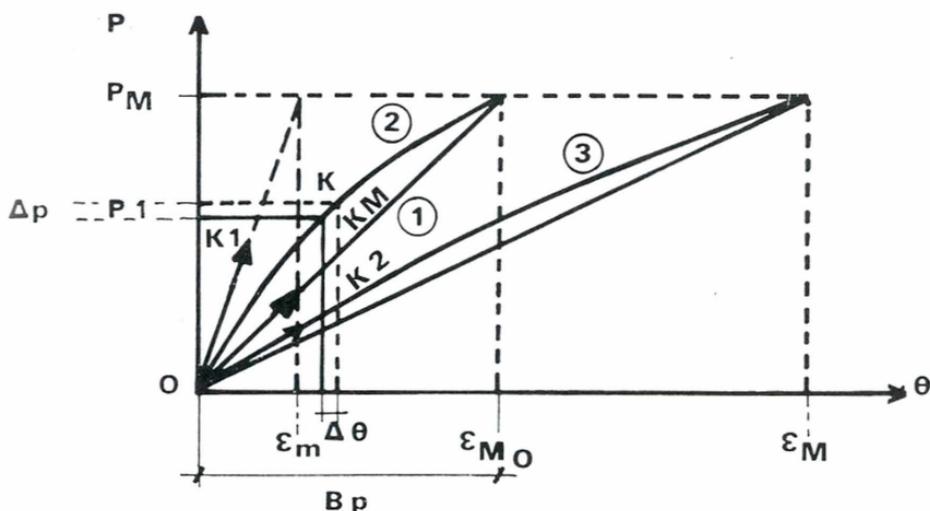


Fig. 8.

On vérifie aisément que K est supérieur à la valeur K_{x} dans l'intervalle 0-P₁.

Par conséquent, une installation réagissant de cette manière risque d'être instable dans cette bande. Le seul remède consiste à augmenter la bande proportionnelle de telle façon que K reste inférieur ou égal à K_{x} pour toutes les valeurs de P , avec pour inconvénient, évidemment, une erreur plus grande, comme le fait apparaître la courbe (3).

La bande proportionnelle minimale correspond donc à un K constant. Nous allons rechercher les moyens qui permettent de l'obtenir.

Le « gain » statique de la boucle complète est défini par le rapport entre la variation totale de puissance calorifique fournie (dans la bande 0 — Puissance maximale P_{x}) et la variation totale de la température, dont la limite maximale est la bande proportionnelle B_p .

$$K = \frac{P_x}{B_p}$$

La courbe (1) de la figure 8 représente une variation linéaire de la puissance et traduit un **gain K constant** pour une erreur de réglage admise ϵ_{M0} égale à la valeur de B_p .

2.2. Conditions nécessaires au gain constant

Le diagramme fonctionnel d'une installation, donné à la figure 7, peut être développé suivant la figure 9 (en supposant l'emploi d'une vanne à siège).



Fig. 9.



— L'amplificateur commande le moteur de telle façon qu'à une variation de ε corresponde une variation proportionnelle de l'angle de rotation α du moteur :

$$\alpha = k_1 \cdot \varepsilon$$

— L'ensemble pignon-crémaillère transforme la rotation du moteur en une levée l du clapet de vanne selon la relation :

$$l = k_2 \cdot \alpha$$

d'où $l = k_1 \cdot k_2 \cdot \alpha$, et par suite $l = k \cdot \varepsilon$.

— A cette levée l correspond un débit Q qui ne dépend que de l , de la forme du clapet et de la pression différentielle entre l'entrée et la sortie de la vanne.

On a vu (§ 1.4.1) que : $Q = f(l \cdot \Delta p)$ pour un clapet de forme donnée.

A ce débit Q correspond la puissance calorifique P :

$$P = f(Q)$$

Par conséquent, pour que K soit constant, il faut que

$$P = k_3 \cdot l$$

Pour l'obtenir, il n'existe que deux possibilités :

— soit que $P = aQ$ et $Q = bl$

— soit que les fonctions $P(Q)$ et $Q(l)$ se compensent.

Le problème se ramène donc à étudier séparément les fonctions $P = f(Q)$ et $Q = f(l)$ pour vérifier si cela est possible.

2.3. Etude de la fonction $P = f(Q)$

Caractéristique d'un échangeur de chaleur

Soit le circuit de la figure 10, dans lequel une vanne 3 voies V_3 règle la température d'eau chaude traversant des radiateurs placés dans une ambiance. La température de l'eau chaude au départ de la chaudière est réglée par un aquastat à la valeur supposée constante T_s .

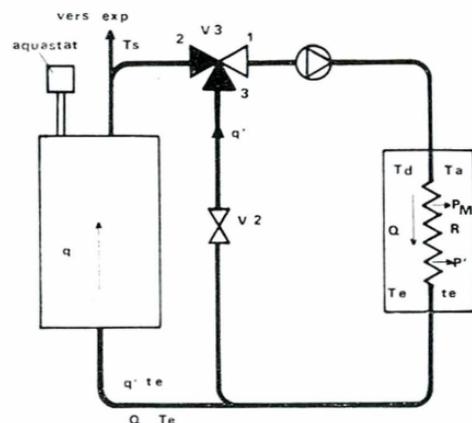


Fig. 10.

Appelons :

P_M la puissance calorifique maximale.

P' une puissance calorifique quelconque comprise entre 0 et P_M .

Q le débit maximal d'eau chaude correspondant à la puissance P_M .

q' le débit d'eau chaude correspondant à la puissance P' .

q'' le débit dans le circuit de by-pass équilibré par le réglage V2.

T_s la température au départ de la chaudière.

T_d la température à l'entrée des radiateurs.

T_e la température maximale de retour d'eau chaude correspondant à la puissance P_M .

t_e la température de retour d'eau chaude correspondant à la puissance P' .

T_a la température ambiante.

R la résistance thermique des radiateurs.

Le débit traversant les radiateurs est supposé constant.

C'est vrai si le circuit du by-pass est correctement équilibré par la vanne V2 (voir § 3.1).

La température ambiante T_a est aussi supposée constante du fait de la faible valeur, en général, des bandes proportionnelles.

A partir d'hypothèses simplificatrices, on peut écrire les équations suivantes :

$$P_M = Q \cdot c (T_s - T_e)$$

$$P' = q' \cdot c (T_s - T_e)$$

$$Q = q' + q''$$

$$Q \cdot T_d = q' \cdot T_s + q'' \cdot T_s$$

$$P_M = \frac{1}{R} \left(T_a - \frac{T_s + T_e}{2} \right)$$

$$P' = \frac{1}{R} \left(T_a - \frac{T_d + T_e}{2} \right)$$

En posant $\frac{P'}{P_M} = p$ et $\frac{q'}{Q} = q$, on obtient la relation

$$p = \frac{q (T_s - T_a)}{(T_s - T_e) + q (T_e - T_a)}$$

qui prouve que la première des possibilités envisagées au paragraphe précédent ne peut plus être satisfaite.

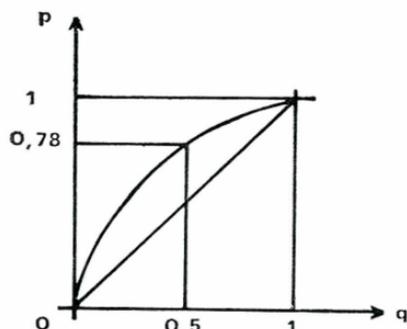


Fig. 11.

La courbe représentative de cette fonction $p = f(q)$ est tracée à la figure 11 pour une installation classique de chauffage central avec :

$$T_s = 90^\circ\text{C}$$

$$T_e = 70^\circ\text{C}$$

$$T_a = 20^\circ\text{C}$$

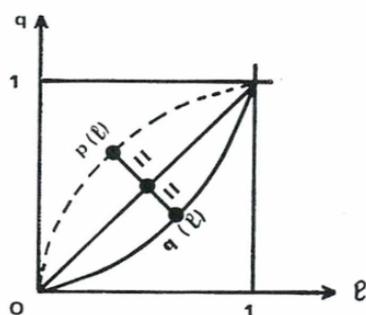
La courbe serait d'autant plus déformée vers les p positifs que la température T_s serait plus grande, pour un même écart $T_s - T_e$. Cette courbe a sensiblement la même allure pour tous les échangeurs rencontrés en chauffage et conditionnement d'air.



2.4. Etude de la fonction $P = f(l)$

Caractéristique optimale d'une vanne

La première des deux possibilités ayant disparu, il reste à envisager la deuxième.



Pour que les fonctions $p(q)$ et $q(l)$ se compensent, il faut et il suffit que la courbe représentative de la fonction $q(l)$ soit la symétrique de celle de $p = f(q)$ par rapport à la première bissectrice (fig. 12).

Fig. 12.

Sachant que le débit varie approximativement comme la section de passage, cette condition peut être réalisée en taillant le clapet de façon que la section offerte au passage du fluide suive la loi désirée quand le clapet se déplace. Un calcul simple effectué sur la formule $p(q)$ du paragraphe précédent pour une installation classique de chauffage central montre que p est sensiblement égal à \sqrt{q} .

Par conséquent, la relation désirée entre q et l doit être de la forme : $q = l^2$.

C'est la règle qui est habituellement retenue.

Nous allons voir au paragraphe suivant les restrictions qu'il y a lieu d'apporter à cette conclusion.

2.5. Etude hydraulique d'un circuit

En réalité, on ne doit pas considérer uniquement la caractéristique de la vanne, mais la caractéristique globale de la vanne et de l'échangeur dans lequel elle fait varier le débit. Examinons le circuit figure 13.

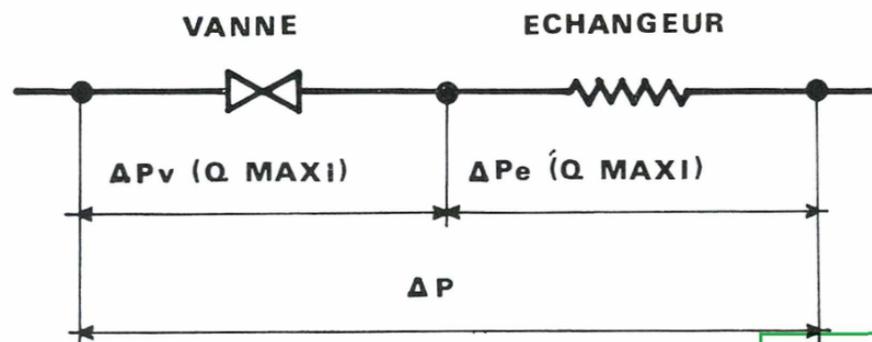


Fig. 13.

Nous supposons que la perte de charge totale Δp aux bornes du circuit est constante. Cette hypothèse est plausible pour deux raisons :

- parce qu'en général la caractéristique de la pompe dans le domaine d'utilisation est presque plate (fig. 14) ;
- parce que, quand on utilise une vanne 3 voies à clapet dissymétrique et si on prend la précaution d'équilibrer le circuit by-pass, la perte de charge totale Δp et le débit total Q sont constants.

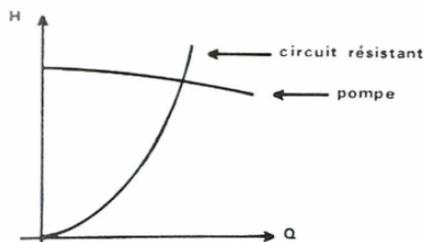


Fig. 14.

2.6. Autorité de la vanne - Définition

Pour examiner le rôle de la vanne considérée à la figure 13, nous utiliserons, de préférence au montage « mélange » de la figure 10, le montage « décharge » de la figure 15, où la vanne est matérialisée par le passage 1-2.

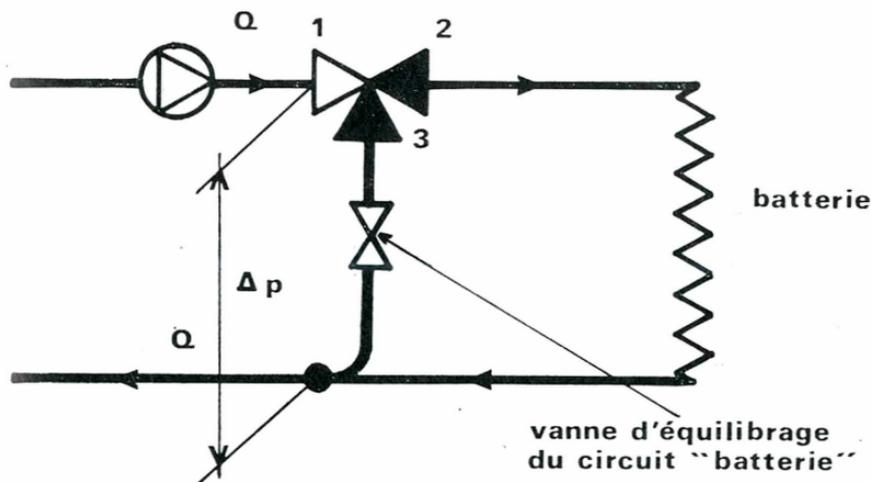


Fig. 15.

Nous définirons l'influence de la vanne dans le circuit à débit variable par un paramètre a appelé « autorité de la vanne », tel que :

$$a = \frac{\Delta p_v (Q \text{ maxi})}{\Delta p (\text{total})}$$



qu'on peut encore écrire :

$$a = \frac{1}{1 + \frac{\Delta p_v (Q \text{ maxi})}{\Delta p_e (Q \text{ maxi})}}$$

On vérifie aisément que :

1° Quand la vanne grande ouverte a une perte de charge **infiniment grande** devant celle de l'échangeur de chaleur et des tuyauteries de liaison :

$$a = 1$$

Ce cas correspond à celui d'une vanne seule ayant une perte de charge Δp_v constante, débitant à l'air libre ($\Delta p_e = 0$) ou à celui d'une vanne de résistance hydraulique très grande devant celle du circuit qu'elle contrôle.

La caractéristique globale du circuit est alors celle qui est donnée par le constructeur de la vanne, par exemple : courbe (1), figure 16.

2° Quand la vanne grande ouverte a une perte de charge **infiniment petite** devant celle de l'échangeur et des tuyauteries de liaison :

$$a = 0$$

Ce cas correspond à celui d'une vanne dont la résistance hydraulique est très petite devant celle du circuit qu'elle contrôle.

Par conséquent, la caractéristique globale du circuit est un échelon de débit représenté en (2), figure 16. La régulation proportionnelle est transformée en régulation « tout ou rien ».

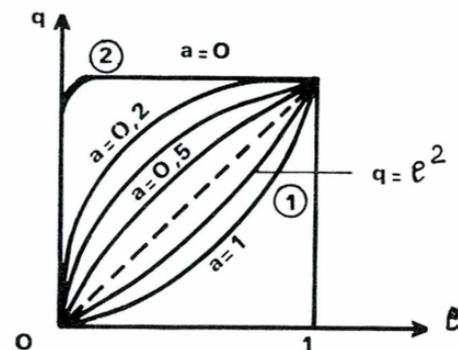


Fig. 16.

La figure 16 montre comment se déforme la **caractéristique globale du circuit** quand l'autorité de la vanne varie.

Le problème se ramène donc à choisir une vanne dont la **caractéristique propre** (d'autorité $a = 1$), permette l'obtention de la relation désirée $q = l^2$ pour une autorité de vanne décidée par le projeteur et comprise entre 0 et 1.

2.7. Détermination de l'autorité de la vanne

La caractéristique optimale de $p = f(l)$ devant être linéaire, examinons ce que devient cette caractéristique pour chacune des vannes habituellement rencontrées dans la pratique.

- vanne à caractéristique linéaire,
- vanne à caractéristique quadratique,
- vanne à caractéristique logarithmique,
- vanne dite à puissance linéaire.

2.7.1. Vanne à caractéristique linéaire

La figure 17 montre que la caractéristique $p = f(l)$ la meilleure est obtenue quand la vanne a une autorité $a = 1$.

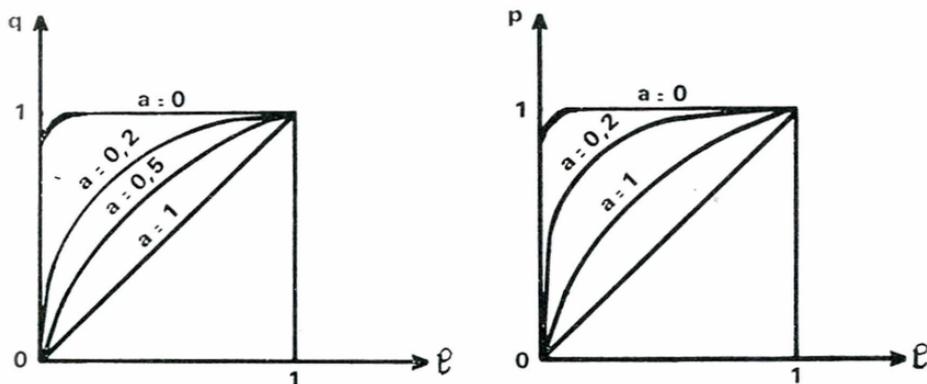


Fig. 17.

Comme il est impensable de choisir une autorité trop grande, la caractéristique résultante sera médiocre. Elle conduira à régler la bande proportionnelle à une valeur très élevée.

Cette vanne ne peut donc être utilisée en régulation, du moins dans nos applications.

2.7.2. Vanne à caractéristique quadratique

La figure 18 montre que la caractéristique $p = f(l)$ la meilleure serait encore obtenue avec une autorité $a = 1$

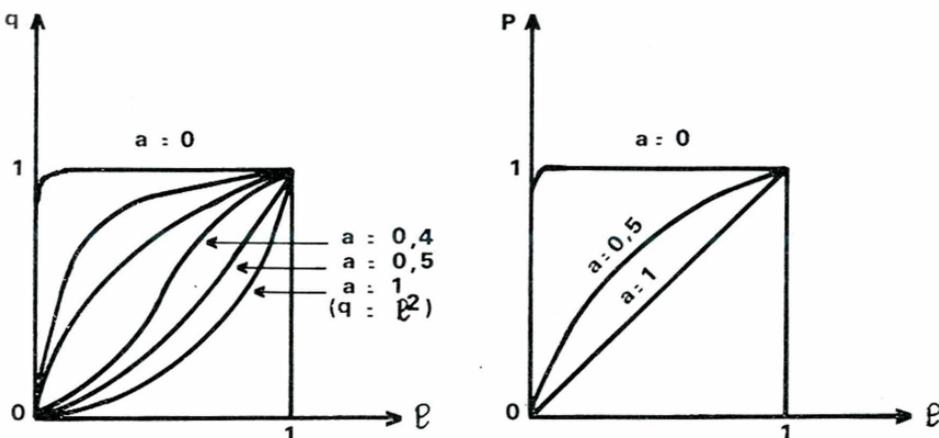


Fig. 18.

ce qui serait impensable.

Toutefois, avec $a = 0,5$, la caractéristique de p n'est pas linéaire, mais donne cependant satisfaction dans la majorité des cas.

Si on le peut — c'est-à-dire si la hauteur manométrique fournie par la pompe le permet, — on a évidemment intérêt à donner à la vanne une autorité plus grande, par exemple 0,6 ou 0,7.

La bande proportionnelle optimale ne pouvant être obtenue que pour $a = 1$, il faudra dans ce cas la régler à une valeur légèrement supérieure.

2.7.3. Vannes à caractéristique logarithmique

Dans ces vannes, chaque déplacement du clapet produit une variation de débit proportionnelle au débit total précédant le changement.

La figure 19 montre que la caractéristique $q(l)$ obtenue pour $a = 1$ est un peu plus « courbée » que pour les vannes à caractéristique quadratique, mais l'amélioration obtenue n'est pas complète.

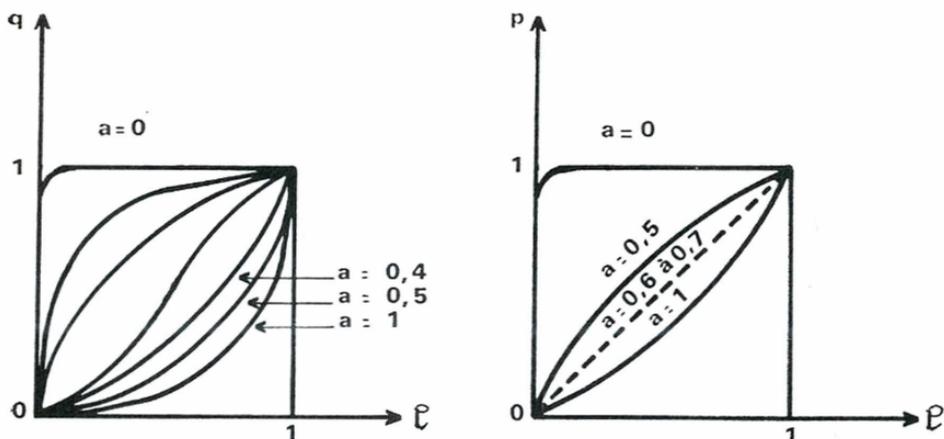


Fig. 19.

Une caractéristique $p = f(l)$ linéaire s'obtient comme pour la vanne quadratique avec :

$$0,5 < a < 0,7$$

aussi préfère-t-on alors avoir recours aux vannes dites à caractéristique de puissance calorifique linéaire.

2.7.4. Vannes à puissance calorifique linéaire

Dans ce type de vannes, le constructeur a taillé le clapet de façon à obtenir une puissance calorifique p proportionnelle à la levée du clapet et pour une autorité $a = 0,5$ (fig. 20).

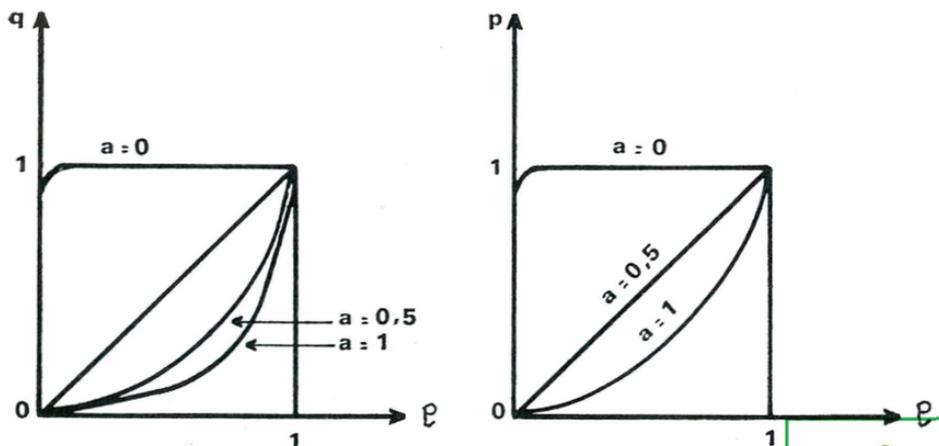


Fig. 20.

Dans ce cas, il faut impérativement choisir une autorité de 50 %, c'est-à-dire donner à la vanne grande ouverte (Q maxi) une perte de charge égale à celle de l'échangeur et des tuyauteries de liaison pour le même débit.

Une autorité trop grande aurait le même effet nuisible qu'une autorité trop petite.

En choisissant une telle vanne, l'utilisateur est assuré de pouvoir régler la bande proportionnelle à minimum.

3. CONCLUSIONS CONCERNANT LE CHOIX DES VANNES - APPLICATIONS

Pour que la bande proportionnelle puisse être réglée au mieux, il faut choisir la vanne de façon que sa perte de charge pour le débit maximal (vanne grande ouverte) soit :

- au moins égale à la perte de charge (au débit maximal) du circuit hydraulique dans lequel **elle fait varier le débit** si la vanne est à **caractéristique quadratique** ;
- ou bien **égale** à la perte de charge du même circuit (au débit maximal) si la vanne est à **caractéristique « puissance linéaire »**.

Une vanne à caractéristique de débit linéaire ne peut que donner des résultats médiocres, même si on accepte qu'elle crée une perte de charge très importante.

Les graphiques des figures 17, 18, 19 et 20 indiquent clairement qu'une vanne dont l'autorité est nulle transforme le système « proportionnel » en système « tout ou rien ».

Remarques

a) Les conclusions sont moins rigoureuses s'il s'agit de régulations autres que proportionnelles, soit PI ou PID.

b) Il faut remarquer aussi que l'« autorité » choisie pour la vanne à pleine ouverture ne reste pas constante, mais évolue nécessairement vers 1 quand la vanne va vers fermeture.

De ce fait, sur les figures représentant les caractéristiques des vannes (fig. 17, 18, 19, 20), l'évolution de la puissance se fait en partant de l'autorité choisie, par exemple 50 %, quand la vanne est grande ouverte, et en passant progressivement par les autorités 60, 70, 80, 90, 100 % quand la vanne va progressivement d'ouverture à fermeture ou vice versa.

Détermination des diamètres de vannes

La perte de charge optimum à donner à la vanne étant déterminée, le diamètre se déduit des abaques fournis par les constructeurs, décrits au paragraphe 1.4 (fig. 4 et 4 bis). Une vanne choisie selon les critères énoncés ci-dessus a souvent un diamètre plus petit que celui de la tuyauterie sur laquelle elle se monte. Certains y voient là une anomalie inacceptable et, de ce fait, se trouvent confrontés avec des problèmes d'instabilité et, par suite, de précision.



3.1. Détermination d'une vanne 3 voies d'une installation de chauffage par radiateurs

On utilise un montage « mélange » identique à celui de la figure 10 et repris ci-dessous, schématiquement, figure 21.

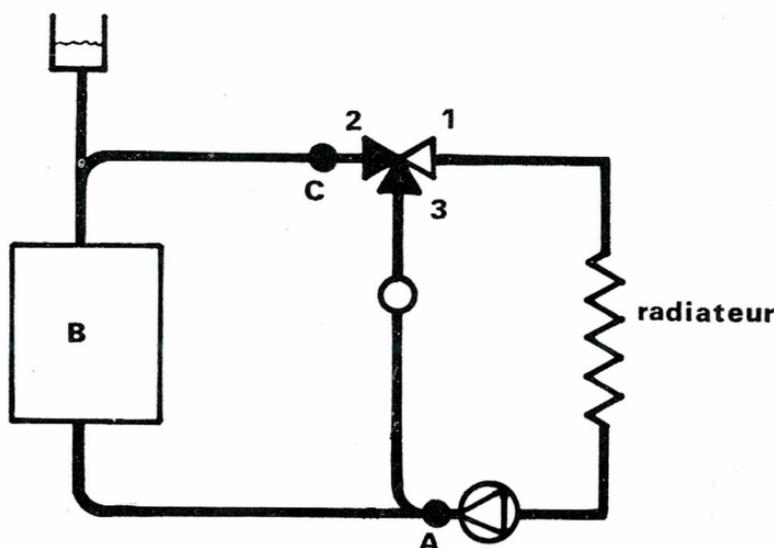


Fig. 21.

Dans ce montage, et contrairement à l'exemple pris au paragraphe 2.6 pour définir l'autorité des vannes (montage décharge de la figure 15), le **circuit où le débit varie** est la partie A-B-C.

La voie 2-1 grande ouverte doit avoir une perte de charge au moins égale à celle du circuit A-B-C pour le débit maximal.

Comme la perte de charge de la voie 3-1 est approximativement égale à celle de la voie 2-1, le by-pass doit, par souci d'équilibrage, avoir la même perte de charge que le circuit A-B-C pour le débit maximal.

3.2. Détermination d'une vanne 3 voies d'une installation avec batterie d'eau

On utilise un montage « décharge » (fig. 22) identique à celui pris au paragraphe 2.6 (fig. 15) où le circuit C-B-A est le circuit où le débit varie.

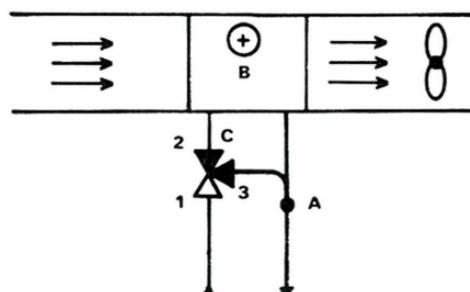


Fig. 22.

La voie 1-3 grande ouverte doit avoir une perte de charge au moins égale à celle du circuit C-B-A pour le débit maximal. Pour les mêmes raisons que précédemment, le by-pass doit avoir la même perte de charge que le circuit C-B-A pour le débit nominal.

3.3. Détermination d'une vanne 3 voies de sous-station

On utilise le montage de la figure 23 ci-dessous.

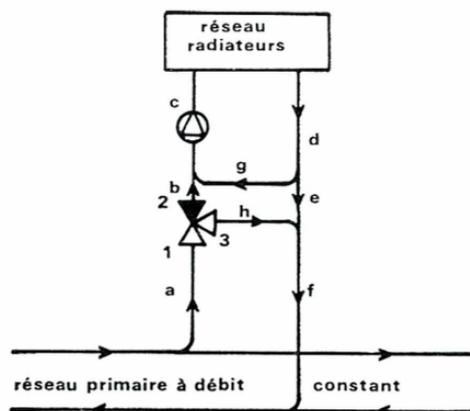


Fig. 23.

Les branches a et f sont à débit pratiquement constant. Le circuit C-Réseau d-g est aussi à débit pratiquement constant.

Par conséquent, la vanne doit être choisie par rapport au seul circuit des tronçons b et e, où le **débit est variable**.

C'est-à-dire que, grande ouverte, la vanne doit provoquer une perte de charge au moins égale à celle des tronçons b et e. Le tronçon h doit encore être équilibré par rapport aux deux tronçons à débit variable.

CHAPITRE VI

Sous-stations

1. DÉFINITION

Par sous-station, on entend généralement l'ensemble des appareils, et par extension le local où ceux-ci sont regroupés, nécessaire à la transformation de l'énergie prélevée sur un réseau de distribution générale pour permettre l'utilisation de cette énergie sous une forme compatible avec la destination des besoins desservis par ce poste de transformation. Ces besoins peuvent être entre autres :

- le chauffage des locaux,
- l'eau chaude sanitaire.

L'énergie, avant transformation, est généralement désignée par le « primaire », l'énergie après transformation est désignée par le « secondaire ».

Les sous-stations doivent évidemment être réalisées en conformité avec les règlements en vigueur (voir D.T.U.).

Différents types de sous-stations

On différenciera, dans la suite, trois types de sous-stations, selon la nature du fluide primaire :

- vapeur,
- eau surpressée (appelée couramment eau surchauffée),
- eau chaude basse pression.

2. SOUS-STATION A FLUIDE PRIMAIRE « VAPEUR »

La vapeur n'est plus que très rarement utilisée directement dans les corps de chauffe destinés au maintien des conditions de confort, pour des raisons évidentes de sécurité, ou même simplement de confort, en raison du niveau élevé de température de ce fluide. En conséquence, la vapeur va donc être utilisée pour la préparation d'un fluide à température plus basse, généralement de l'eau chaude ou faiblement surchauffée. **Cette transformation est obtenue dans un échangeur.**

Principes de la régulation en sous-stations vapeur

La température du **secondaire** est, soit maintenue constante, soit variable suivant une loi déterminée (par exemple en fonction des conditions extérieures).



Les dispositifs de régulation correspondants seront variables suivant le type de construction de l'échangeur, mais ils consistent, en tout état de cause, à contrôler, par une vanne **2 voies**, le débit de fluide mis en jeu au primaire, soit en admettant plus ou moins de vapeur, soit en contrôlant le débit d'eau condensée.

2.1. Cas de la vapeur haute pression

Le fluide primaire est donc à haute température : vapeur saturée ou faiblement surchauffée (ce qui peut être défini sur un diagramme de Mollier) :

- pour des débits faibles, le contrôle de la température de sortie pourra agir directement sur un organe placé sur la tuyauterie d'arrivée de vapeur à haute pression ;
- pour des débits plus importants, on devra détente la vapeur primaire à une valeur compatible, avec l'utilisation d'organes de contrôle appropriés.

2.1.1. Régulation de pression

La régulation de pression peut être obtenue par des régulateurs à action directe (fig. 1) (membrane motrice et ressort en opposition, régulateur strictement proportionnel), ou par des systèmes utilisant un fluide auxiliaire : eau de ville ou air comprimé (fig. 2) (régulateur à action proportionnelle ou à action proportionnelle intégrale).

Les régulateurs électriques de pression sont moins fréquents, à moins qu'ils ne fassent appel aux techniques industrielles et, dans ce cas, la vanne reste une vanne à servo-moteur pneumatique ou hydraulique.

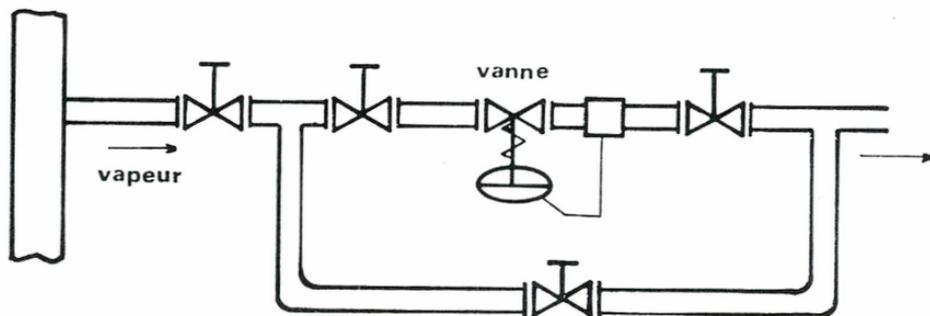


Fig. 1.
Régulation de pression à action directe.

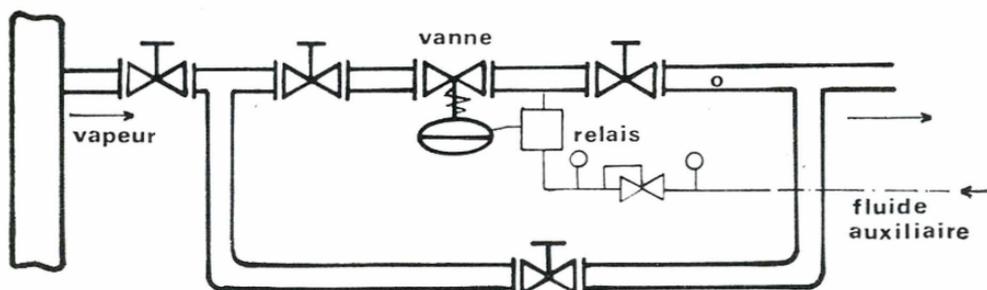


Fig. 2.
Régulation de pression à fluide auxiliaire (eau ou air).

2.1.2. Régulation de température

La régulation de température peut être obtenue :

— Par un système à **action directe** (fig. 3) à dilatation de liquide contenu dans un bulbe et transmis par un capillaire directement à la tige de clapet de l'organe de réglage. Ce régulateur, équilibré ou non par un soufflet métallique, selon les pressions de service, ne pourra être étanche que s'il est mono-siège et non pas lorsque l'équilibrage est réalisé par un double siège. Ce dernier type est à éliminer en cas de service intermittent (préparateur d'eau chaude sanitaire).

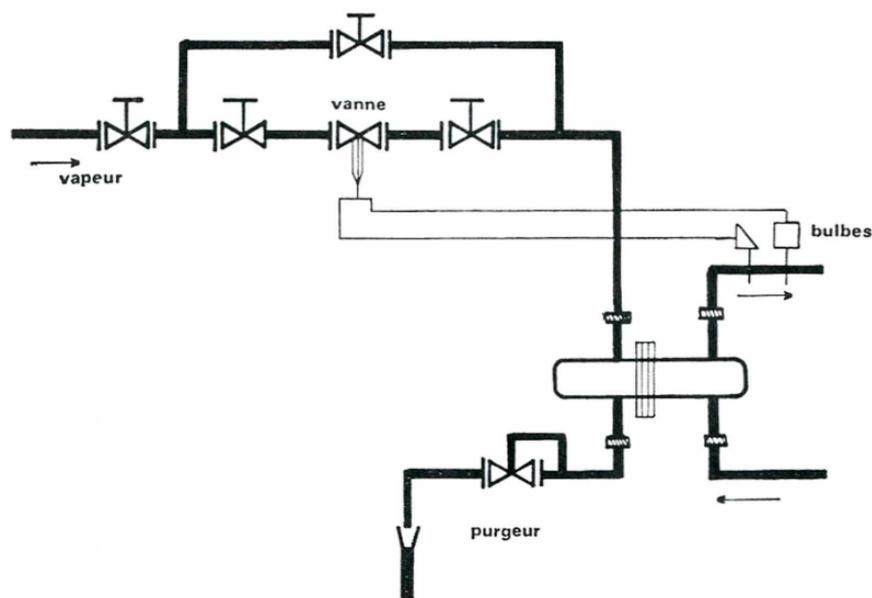


Fig. 3.

Régulation de température (vapeur haute pression, petit diamètre, sécurité par double plongée).

Ces types de régulateurs sont strictement proportionnels, de bande proportionnelle fixe par construction, ce qui permet d'obtenir de bonnes précisions en cas de régime à peu près stable. Par contre, le volume de liquide du détecteur secondaire et son temps de réponse non négligeable interdisent l'utilisation de ce type de matériel, en cas de régime très rapidement variable.

Dans ce dernier cas, il est préférable d'avoir recours à des régulateurs de température utilisant un **fluide auxiliaire** (hydraulique ou pneumatique) (fig. 4).

(Voir fig. 4 page suivante)

L'élément de mesure qui reste, le plus souvent un système à dilatation liquide ou métallique, contrôle un relais régulateur alimenté en fluide auxiliaire : air comprimé, eau de ville, dont la pression de sortie du fluide commande le servomoteur à membrane d'une vanne.

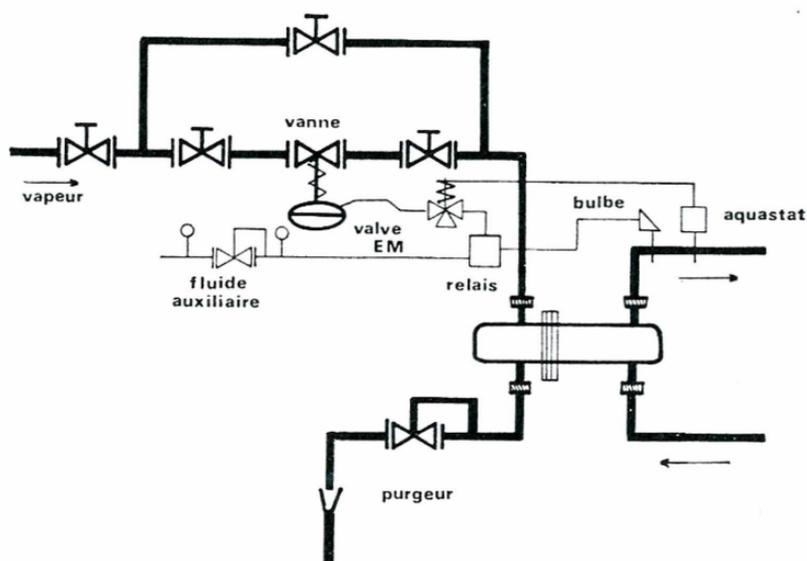


Fig. 4.

Régulateur de température à fluide auxiliaire (vapeur haute pression, grand diamètre, avec sécurité par valve EM).

Avec ce système, la détection sera, en général, plus précise et plus rapide. De plus, l'utilisation d'une vanne à servo-moteur à fluide auxiliaire permet l'application à des pressions beaucoup plus élevées, même en cas de diamètre important. Les vannes, enfin, peuvent être placées à une distance beaucoup plus grande de l'élément capteur ou de l'élément régulateur. Le régulateur peut être équipé d'une action proportionnelle, proportionnelle et intégrale, voire dérivée.

L'élément de mesure peut être également électrique ou électronique.

Il est également possible d'utiliser des régulateurs à fluide auxiliaire « électrique » pour le contrôle de la température du secondaire.

Cependant, les vannes à servo-moteur électrique sont rapidement limitées en ce qui concerne la pression différentielle maximum admissible et la vitesse d'ouverture ou de fermeture, ce qui restreint leur possibilité d'emploi sur les installations vapeur.

Les régulateurs électriques peuvent, eux aussi, être à action P, PI ou PID. Les détections de température secondaire sont, soit du type électromécanique, soit du type électronique.

2.2. Cas de la vapeur basse pression

Les systèmes de régulation sont strictement analogues à ceux de la vapeur haute pression sur le plan du principe.

La régulation de pression évoquée au paragraphe 2.1.1. est alors inutile. Les schémas 3-4 sont valables et peuvent être adoptés le plus souvent quel que soit le diamètre. Les solutions actions directes simples sont évidemment fréquemment retenues (fig. 5).

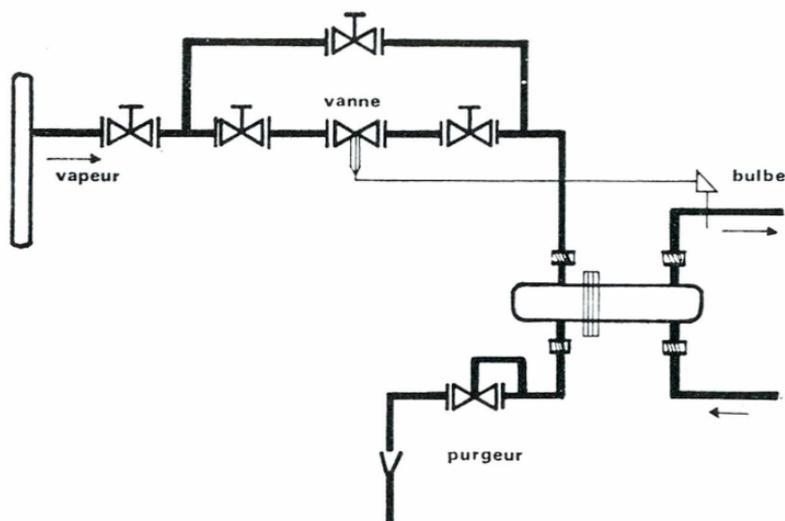


Fig. 5.
Régulateur de température à action directe : (sans sécurité).

2.3. Sécurités

Les dispositifs de sécurité des installations de vapeur sont relativement simplifiés puisque les quantités de chaleur contenues dans l'installation sont relativement faibles.

On prévoit cependant, souvent, pour les solutions à action directe, un deuxième détecteur thermostatique (fig. 3) agissant, soit sur la même vanne par l'intermédiaire d'un dispositif (qui peut d'ailleurs être à réenclenchement empêché), soit sur une vanne supplémentaire. Sur les dispositifs de régulation hydraulique ou pneumatique, on adopte, en général, une solution combinée électrique utilisant un organe de détection « tout ou rien » entraînant la mise à l'air libre (fig. 6) du servo-moteur pneumatique ou hydraulique de la vanne de régulation ; celle-ci, par l'action du ressort de rappel, revient donc à sa position de sécurité que l'on choisit, bien sûr, « fermée par manque de fluide auxiliaire » (la mise à l'échappement est obtenue par une petite vanne électromagnétique à 3 voies pilotée par un organe de détection de la grandeur de référence : pression ou température, c'est-à-dire manostat ou thermostat « tout ou rien »). Il est recommandé de prévoir l'adjonction d'une vanne de sécurité supplémentaire, travaillant en « tout ou rien ».

(Voir fig. 6 page suivante)

2.4. Fonctions annexes

Les dispositifs de purge d'eau condensée nécessaires ne sont pas différents de ceux que l'on utilise habituellement sur les réseaux vapeur. Ils doivent être adaptés au type d'échangeur utilisé. Le comptage des calories est généralement fait par un compteur volumétrique placé sur le débit d'eau condensée.

2.5. Régulation secondaire

Nous avons vu que les sous-stations vapeur étaient conçues pour la préparation d'une eau chaude basse pression à température constante. Les régulations à placer sur ce fluide secondaire préparé ne sont donc pas différentes de



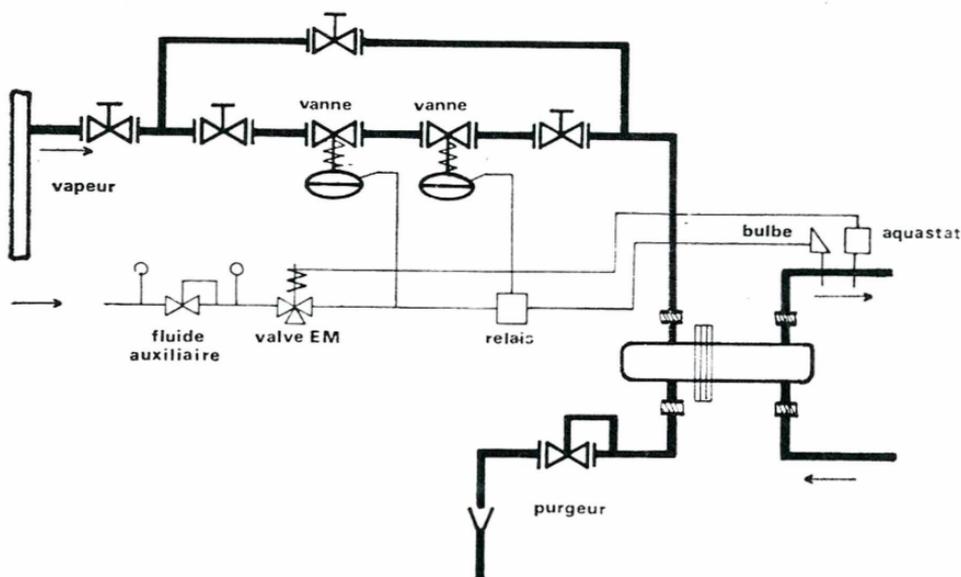


Fig. 6.

celles que l'on utilise sur les ensembles résidentiels utilisant, comme fluide de chauffage, l'eau chaude basse pression (vanne mélangeuse motorisée à 3 ou 4 voies, commandée par un régulateur d'ambiance ou travaillant en fonction de la température extérieure).

L'eau chaude basse pression secondaire peut également être à température variable (en fonction des conditions extérieures) dans le cas où le réseau de distribution secondaire le permet.

Remarque générale sur les régulations secondaires

Il ne faut jamais utiliser à l'aval une régulation plus rapide que la régulation amont. Il faut toujours faire l'inverse : régulation amont plus rapide que régulation aval, sinon on ne pourra corriger, et on risque l'« emballement » du primaire.

Exemple d'un cas fréquent : Intermittence brutale sur les circuits secondaires par vannes « tout ou rien », commandées par un programme. Il faut utiliser des vannes entraînées par des moteurs lents : 300 à 900 secondes.

2.6. Calcul des vannes de régulation

Le calcul des vannes de régulation vapeur est exécuté suivant les normes habituelles pour ce type d'installation, en tenant compte du dispositif de purge (à l'air libre ou avec contre-pression), on veillera cependant à ne pas surdimensionner les organes de réglage, sachant qu'ils sont fréquemment appelés à travailler à une puissance bien inférieure à la puissance nominale.

3. SOUS-STATION A FLUIDE PRIMAIRE « EAU SURPRESSÉE »

(Température supérieure à 110 °C, pression supérieure à 13 bars.)

L'eau surpressée est de plus en plus utilisée pour la distribution, à grande distance, des calories utilisées au chauffage de confort. La température de départ, définie plus haut, résulte de calculs économiques. La pression de service en découle : elle est la somme de la pression « statique » nécessaire pour éviter des phénomènes de vaporisation en tout point du réseau et de la pression dynamique nécessaire pour assurer la circulation du fluide dans le réseau. La première est constante, la seconde varie en fonction des caractéristiques du réseau. L'ensemble de ces valeurs est fixé en chaufferie. Le fluide étant en général à un niveau de température et de pression incompatible avec l'utilisation directe ou par mélange dans les appareils de chauffage, la sous-station, comme précédemment, va être destinée à transformer l'énergie primaire en une énergie secondaire utilisable directement. Il s'agira, le plus souvent, d'eau chaude à basse température et basse pression.

3.1. Régulation

La pression du fluide primaire n'étant pas à contrôler, il s'agira seulement de régler la température du secondaire en modifiant le débit de fluide primaire dans l'échangeur qui assure la transformation. La température secondaire étant, soit maintenue constante, soit variable en fonction d'une grandeur physique, en général la température extérieure, le contrôle du débit primaire est obtenu par une vanne à 2 voies ou 3 voies dont la construction doit être prévue pour les caractéristiques de température et de pression du fluide primaire (vanne à corps en acier moulé, siège et clapet en acier inox).

On utilise, en général, la vanne 3 voies à caractéristique de puissance linéaire pour réduire l'influence des variations de consommation, dans les sous-stations, sur la distribution générale.

Cette solution évite, en cas de fermeture rapide due à une variation brusque de la demande, l'apparition de phénomènes vibratoires importants, puisque la circulation générale reste constante. Cette disposition permet, en outre, un fonctionnement régulier et simple des pompes de circulation générale de chaufferie, sans dispositif d'enclenchement ou de variation de vitesse important, mais entraîne une consommation d'énergie électrique supplémentaire et accroît les pertes calorifiques en ligne par augmentation de la température des eaux de retour.

La régulation par vanne 2 voies peut être considérée comme plus fine, dans la mesure où le clapet a reçu un profil lui conférant une caractéristique de contrôle exponentielle, ce qui est important à faible débit. Mais les variations importantes de débit sur le réseau primaire entraînent, en général, des charges en investissement ou en surveillance au niveau de la production centralisée telles que l'énergie de circulation supplémentaire consommée pour assurer un débit constant dans le réseau est largement compensée.

La quantité d'énergie emmagasinée dans les capacités de la sous-station est telle qu'elle impose des dispositifs de sécurité efficaces. Ceux-ci sont d'ailleurs définis par le D.T.U. n° 653.

Ce même D.T.U. a d'ailleurs fixé, aussi, les règles d'emploi des matériaux ou matériels autres que ceux de régulation. Nous y reviendrons plus loin.

3.1.1. Régulation de température constante ou secondaire

La régulation de température constante par une vanne thermostatique à bulbe à action directe n'est que rarement utilisée seule, en raison de l'absence de position de sécurité pour ce type de matériel.



Si des dispositifs auxiliaires de sécurité hydrauliques, pneumatiques ou électriques sont utilisés, ce type de matériel pourra rendre les mêmes services que ceux que nous avons vus lors des installations vapeur.

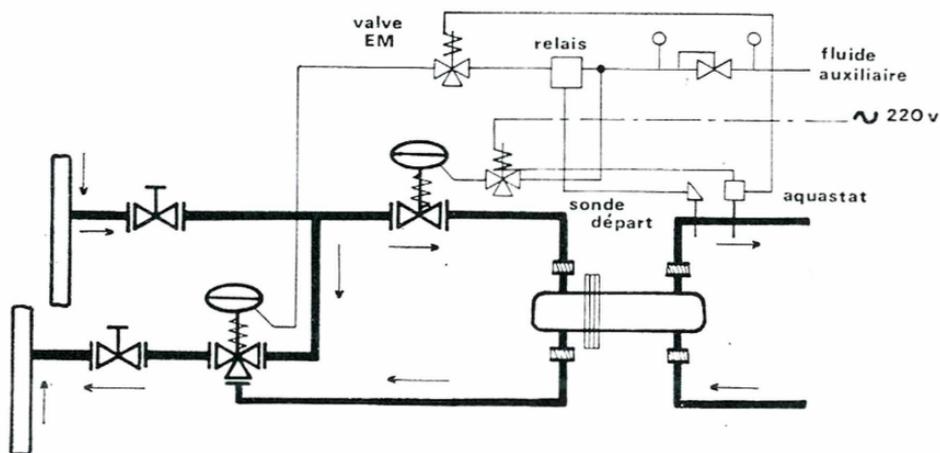


Fig. 7.

Régulation de température d'eau secondaire fixe (cas de chauffage + production d'eau chaude).

Bien préférables, par contre, sont les dispositifs de régulation hydraulique ou pneumatique analogues à ceux que nous avons définis précédemment. Les dispositifs électriques seront, eux aussi, fréquemment employés, puisque la pression différentielle, cas le plus défavorable, correspond seulement à la hauteur manométrique des pompes et non pas à la pression totale (sauf en cas de rupture à l'aval des organes en question).

La régulation utilisée est, en général, une régulation proportionnelle ou proportionnelle intégrale, cependant, on peut être amené à envisager l'utilisation d'une régulation à action PID.

3.1.2. Régulation de température variable en fonction des conditions extérieures

Pour ce type d'installation, les solutions à action directe, pneumatique ou hydraulique sont, en général, écartées au profit de solutions mixtes électropneumatiques ou électrohydrauliques, ou de solutions entièrement électriques. Le régulateur proprement dit n'est alors pas différent d'un régulateur électrique classique destiné à l'eau chaude basse pression des installations résidentielles. Les dispositifs complémentaires de contrôle du fluide auxiliaire (eau de ville ou air comprimé) permettent la commande des servo-moteurs à membrane des vannes utilisées.

(Voir fig. 8 page suivante)

Dans ce type de sous-station, il est clair, par contre, que les systèmes de sécurité doivent être renforcés, puisque l'admission du fluide primaire sur l'échangeur peut être très importante en cas de variation brutale de la demande.

Remarque

L'influence réciproque des régulations primaires et secondaires peut entraîner des risques ou des incompatibilités contre lesquels il faudra se prémunir par des dispositifs de sécurité.

3.2. Sécurité (fig. 7 et 8)

Les dispositifs de sécurité sont explicitement prévus dans le D.T.U. correspondant. Ils conduisent à l'adjonction d'une ou deux vannes supplémentaires, selon que la vanne de régulation peut ou non être considérée, en cas de fermeture totale, comme un organe d'isolement.

Le pilotage des vannes pneumatiques ou hydrauliques de sécurité ne sera pas différent de celui que l'on a évoqué précédemment (adjonction d'un thermostat ou d'un manostat de sécurité pilotant une vanne électromagnétique commandant la mise au repos des servo-moteurs des vannes).

Dans le cas de régulation entièrement électrique, on prévoit, en général, en plus, l'adjonction d'un système mécanique à ressort de fermeture impérative des vannes électriques. Ce dispositif est déclenché par manque de courant et peut donc être, lui aussi, commandé par un thermostat ou un aquastat « tout ou rien ».

En tenant compte de la capacité importante de calories contenues dans l'échangeur et susceptibles d'être libérées rapidement, on prévoit souvent l'adjonction d'un contact électrique de pression différentielle permettant le contrôle du débit secondaire, ainsi que d'un manostat de détection de pression statique permettant de se prémunir contre une éventuelle rupture de canalisation ou de faisceau de l'échangeur au primaire.

En effet, on doit absolument éviter la transmission de pression primaire au secondaire et sa montée en température, même en cas d'interruption brutale de la consommation sur ce circuit.

En conséquence, la fermeture totale du réseau secondaire devra être évitée, chaque fois que cela sera possible.

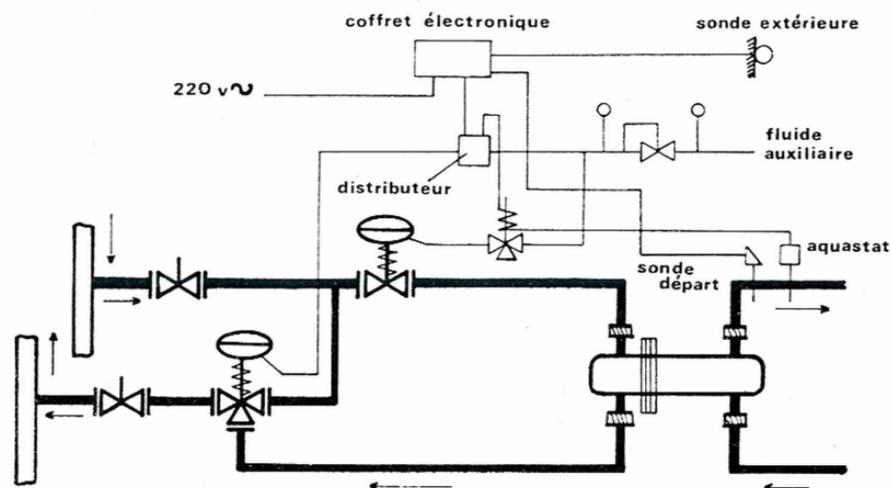


Fig. 8.

Régulation de température variable en fonction de la température extérieure (cas de chauffage seulement).

3.3. Calcul des vannes

Le dimensionnement des vannes sera, lui aussi, conduit suivant les normes de calcul habituelles. On portera, cependant, une attention particulière à obtenir un équilibrage naturel du réseau pour le débit nominal, en jouant aussi bien

sur la vanne de régulation que sur la ou les vannes de sécurité. Au besoin, on utilisera en supplément, soit des diaphragmes d'équilibrage fixe, qui ne seront efficaces que pour le débit nominal pour lequel ils ont été déterminés, ou mieux, des régulateurs de pression différentielle. Ils peuvent être à action directe ou à fluide auxiliaire, nous y reviendrons lors de l'étude des sous-stations à eau chaude basse pression.

4. SOUS-STATION A FLUIDE PRIMAIRE « EAU CHAUDE BASSE PRESSION »

(Température maxi 110 °C ; pression maxi 13 bars.)

La production conjuguée d'énergie électrique et d'énergie calorifique a conduit certains pays à développer, plus particulièrement, les réseaux de chauffage à eau chaude basse pression, puisque le rendement de la turbine où l'on prélève les calories sur la vapeur d'échappement ne tolérerait pas un niveau de température pour l'eau chaude ainsi fabriquée, supérieur à 110 ou 130 °C. De même, le calcul économique conduit, souvent, à adopter ces mêmes niveaux de température et de pression pour des installations ne dépassant pas 10 000 thermies/heure.

Ces caractéristiques permettent, en effet, l'utilisation relativement directe de l'énergie du réseau dans les corps de chauffe, par mélange avec le fluide de l'installation proprement dite, ce qui réduit, évidemment, considérablement, le prix de revient des matériels nécessaires à la transformation de l'énergie.

4.1. Régulation

Les systèmes de régulation utilisés seront de plusieurs types. En effet, le mélange du fluide primaire avec le fluide secondaire entraîne la nécessité du contrôle des pressions, des températures et des débits de l'installation.

4.1.1. Régulation de pression

Les corps de chauffe usuels (radiateurs) ont une pression maximum admissible qui est souvent inférieure à celle que l'on rencontre dans le réseau général (à titre indicatif, pression maximum dans un radiateur fonte : 4 bars). En effet, la pression dans le réseau, qui peut être de grande dimension, tient compte de la **pression statique** nécessaire pour éviter la vaporisation dans toute l'installation, y compris les immeubles qui peuvent être de grande hauteur, à laquelle s'ajoute la hauteur manométrique des pompes de circulation.

Si l'on ne prévoyait pas la réduction de la pression à l'entrée de la sous-station, celle-ci serait donc transmise aux corps de chauffe. Elle doit être ramenée à un niveau acceptable pour l'utilisation et est, en général, suffisante pour assurer la réinjection dans le retour. Cependant, dans le cas contraire, la réinjection dans le réseau retour devra être assurée par une pompe supplémentaire. Dans d'autres cas, la pression du retour risque d'être insuffisante pour assurer un remplissage total de l'installation, en cas d'arrêt des pompes, de circulation générale : on sera ainsi amené à prévoir une soupape de retenue sur le secondaire. En tout état de cause, un diagramme complet et précis des pressions régnant sur le réseau, dans la sous-station ou dans le secondaire, devra être tracé pour assurer un projet correct des appareils de régulation de pression.

Les matériels utilisés seront presque exclusivement du type à action directe travaillant sans fluide auxiliaire, les performances de ces matériels étant tout à fait compatibles avec le service qu'ils assurent et leur prix de revient étant, évidemment, inférieur à ceux de matériels plus élaborés utilisant l'air comprimé ou l'eau comme fluide auxiliaire.

4.1.2. Régulation de température

4.1.2.1. Régulation de température sur le primaire

Le contrôle de la température du primaire vise à assurer le mélange d'une fraction du débit de retour secondaire avec le débit départ primaire pour obtenir une température correspondant à la destination des corps de chauffe. On envisage, dans ce cas, deux solutions :

a) Régulation de température secondaire constante : L'injection d'eau primaire se fait par une vanne 2 voies avec ou sans by-pass calibré, ou par une vanne 3 voies. La préparation d'eau chaude est donc assurée par des matériels analogues à ceux que l'on a rencontrés sur l'eau surchauffée, mais dont la construction peut être beaucoup plus légère puisque les caractéristiques de pression et de température l'autorisent. Ceci entraîne fréquemment l'utilisation de matériels de régulation à action directe puisque l'« imprécision » ou l'« insécurité » ne présentent pas un caractère aussi « dangereux » que dans les systèmes à eau surchauffée à haute pression.

b) Une autre solution consiste, comme pour l'eau surchauffée, à asservir directement, par un organe placé sur le primaire, la température secondaire aux conditions extérieures (fig. 9).

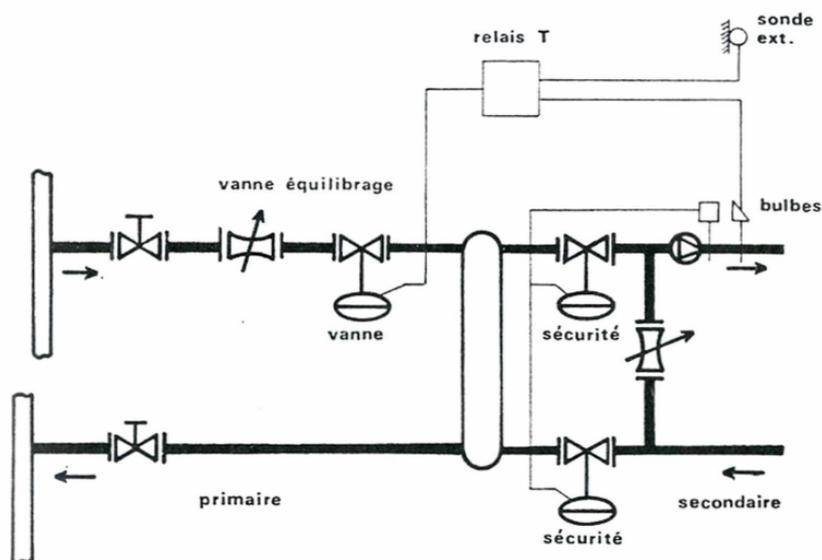


Fig. 9.

Là encore, on aura affaire à des matériels électriques, électropneumatiques ou électro-hydrauliques, les matériels à action directe étant habituellement rejetés. Dans cette solution, on doit cependant s'assurer que la température du secondaire n'est jamais supérieure à la valeur limite compatible avec la nature des corps de chauffe.

4.1.2.2. Régulation de température sur le secondaire

Dans le cas où l'on a préparé une eau chaude à température constante, la régulation utilisée sur le secondaire n'est pas différente de celle que l'on rencontre dans les installations résidentielles classiques (voir remarque § 3.1.2).



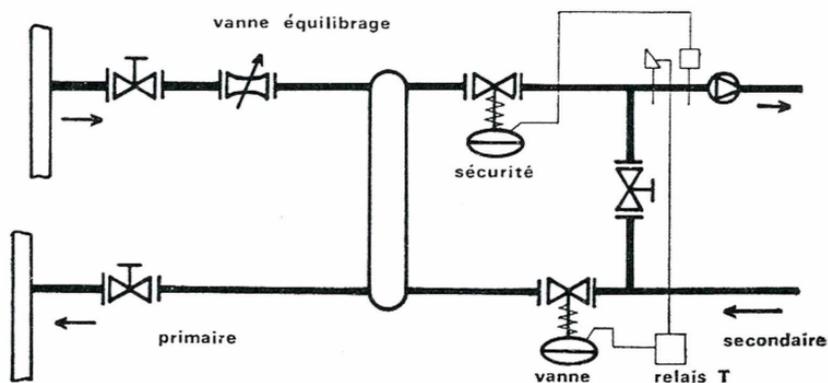


Fig. 10.

4.1.3. Limitation de débit

Dans la mesure où l'installation est raccordée directement au primaire et que celle-ci ne prélève donc finalement que la quantité suffisante à ses besoins, on conçoit bien que les débits mis en jeu dans la sous-station sont essentiellement variables, et l'on doit s'attacher à les contrôler précisément pour maintenir un fonctionnement correct de l'ensemble des sous-stations et de la chaufferie centrale.

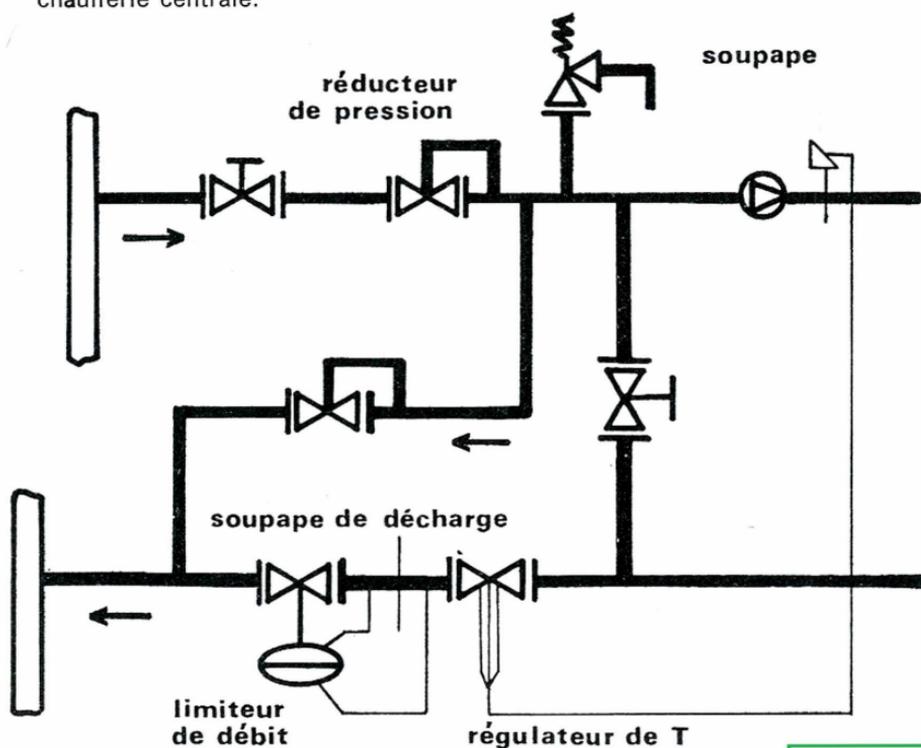


Fig. 11.

Sous-station avec réduction de pression et limitation de débit.

Ceci revient à contrôler la pression différentielle, **soit aux bornes de la sous-station, soit aux bornes de l'installation** (après la sous-station), le débit pouvant lui aussi être contrôlé par la création d'une perte de charge calibrée sur un élément témoin (diaphragme). On voit donc que la limitation de la pression différentielle et du débit peut être faite par le même type d'appareil, voire par le même appareil. La mesure de pression différentielle est faite entre départ et retour, la mesure de débit sur un diaphragme. **C'est ce qui a conduit à penser, à rendre systématiquement nulle ou presque nulle la pression différentielle aux bornes de la sous-station.**

Le moyen le plus simple qui vient à l'esprit est alors de « court-circuiter » celle-ci à l'entrée, en assurant seulement un équilibrage entre le by-pass et la consommation dans la sous-station avant circuit d'utilisation pour le débit nominal. Il faut, bien sûr, s'assurer que le by-pass ne créera pas un circuit préférentiel interdisant toute admission de fluide primaire dans le secondaire.

4.2. Sécurités

Les dispositifs de sécurité visent essentiellement à protéger le secondaire contre une introduction anormale de fluide primaire et, en particulier, à interdire tout dépassement de pression ou de température accidentel.

En ce qui concerne la température, les solutions ne sont pas différentes de celles évoquées précédemment, en particulier dans les applications pour matériels électriques ou à action directe.

En ce qui concerne la pression, une soupape de décharge permet de mettre en liaison directe le réseau départ et le réseau retour, cette même soupape pouvant être complétée par une soupape de sécurité avec échappement à l'atmosphère.

Les soupapes de décharge utilisées pour se prémunir contre un éventuel « vidage » de l'installation ne seront pas différentes.

Là encore, le diagramme piézométrique complet de l'installation permettra de définir les éléments de sécurité qui doivent être retenus.

En ce qui concerne le débit, les éléments de régulation sont, en général, jugés suffisants, puisqu'ils ne risquent pas d'entraîner de désordre dangereux dans l'installation, mais seulement des perturbations à caractère technique ou économique. Le comptage de calories peut s'effectuer comme pour l'eau surchauffée, par un compteur de calories classique. Cependant, l'équipement de l'installation en régulation de débit permet, si la température de retour générale ou de chaque corps de chauffe est maintenue constante par des régulations appropriées, d'adopter une tarification forfaitaire ou volumétrique seulement.

4.3. Calcul des vannes

Le calcul n'est pas différent de ceux que l'on a évoqués pour l'eau surchauffée. Là encore, on devra cependant tenir compte, avec précision, du diagramme piézométrique pour le dimensionnement des appareils et, en particulier, de la charge disponible dans la sous-station: Ceci vaut, en particulier, pour le régulateur de pression et le régulateur de pression différentielle. Quant au réseau secondaire, son calcul n'est pas différent d'une installation normale de chauffage résidentiel à eau chaude accélérée par pompe.

5. SOUS-STATION « PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE »

La production d'eau chaude sanitaire est, évidemment, fréquemment assurée par le fluide primaire destiné au chauffage. Il s'agit alors simplement d'un échangeur qui produira directement cette eau chaude sanitaire ou un fluide



intermédiaire à basse pression et basse température, conformément aux règlements en vigueur.

L'eau chaude est généralement produite à température constante, par un dispositif qui ne diffère pas de ceux que l'on a évoqués précédemment, puisque le piquage destiné à la production d'eau chaude sanitaire par accumulation est, en général, différent de celui du chauffage pour permettre une utilisation estivale réduite à ce seul équipement (certaines distributions générales prévoient, d'ailleurs, un tube départ de grande dimension pour le chauffage, un tube départ de petite dimension pour l'eau chaude sanitaire et un retour général commun).

Les systèmes de production d'eau chaude instantanée réclament, par contre, des équipements de régulation légèrement différents, en raison de la grande vitesse de variation de la demande calorifique. Quant à l'eau chaude sanitaire ainsi préparée, elle est parfois distribuée à une température inférieure après accumulation, grâce à un mitigeur thermostatique à action directe à trois voies. Les différents problèmes d'eau chaude sanitaire sont repris au chapitre suivant.

6. CONCLUSION

Le prix de revient des matériels de régulation nécessaires, tant en premier investissement qu'en exploitation, est évidemment largement compensé par les économies de consommation réalisées. Ce sont eux qui ont permis le développement des systèmes de chauffage à distance, puisqu'ils permettent d'améliorer le rendement des installations centrales et donc d'augmenter le nombre des usagers raccordés à un même réseau, tout en réduisant la dépense du consommateur.

En un mot, ils permettent au vendeur et à l'acheteur d'être satisfaits tout en prenant une part active au développement de systèmes de chauffage visant à réduire la pollution et à améliorer l'environnement.



CHAPITRE VII

Eau chaude sanitaire

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Présentation du problème

La plupart des installations de chauffage domestique à eau comportent un circuit de production d'eau chaude sanitaire. Il semble que cette solution soit particulièrement pratique et économique.

Si le chauffage nécessite une température d'eau différente suivant les saisons et les heures de la journée, le besoin en température de l'eau sanitaire, lui, est le même toute l'année.

La production d'eau chaude sanitaire est nécessaire pour répondre aux besoins de la ménagère lors des lavages et de la cuisine, et de chacun en toilettes, bains ou douches.

D'une façon générale, on évalue les besoins de la façon suivante :

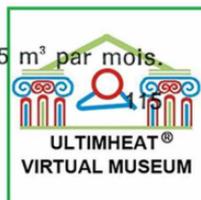
a) En température

- Température de distribution usuelle : 60 °C environ.
- Température pratique d'utilisation :
 - moins de 40 °C pour la toilette.
 - environ 55 °C pour la cuisine.

La précision avec laquelle la température de l'eau chaude doit être réglée n'est pas très grande. Une fourchette de 5 °C est généralement admise. En fait, chaque individu, lors de l'usage qu'il fait de l'eau, effectue un mitigeage pour amener la température à sa convenance. Le rôle de la régulation est de stabiliser la température de l'eau dans une fourchette raisonnable, en regard des conditions d'emploi, de sécurité, de longévité du réseau et des problèmes d'entartrage.

b) En volume

Volume consommé pour un logement de 3 à 5 pièces : 2,5 m³ à 5 m³ par mois.



c) En débit instantané moyen par appareil

• Evier	0,2 l/sec.
• Lavabo individuel	0,1 l/sec.
• Bidet	0,1 l/sec.
• Baignoire	0,35 l/sec.
• Douche	0,25 l/sec.

(Suivant NFP 41204)

1.2. Différents modes de production d'eau chaude sanitaire

On retient, dans les procédés de production domestique :

- **La préparation instantanée de l'eau chaude** qui peut assurer à tout moment un débit continu à température constante ;
- **L'accumulation** qui consiste à stocker un volume d'eau chaude.
Elle réclame un certain temps pour reconstituer des réserves entre deux périodes de grande consommation.

Ces systèmes sont communément appelés « ballons d'eau chaude ». En fait, les systèmes instantanés mériteraient l'appellation de « chauffe-eau » ou « préparateur », pour laisser le terme de « ballon d'eau chaude » aux systèmes à accumulation.

L'un ou l'autre sont des échangeurs de température qui peuvent se présenter extérieurement ou intérieurement à la chaudière. Dans ce dernier cas, elle est dite « à production d'eau chaude incorporée ».

Quel que soit le type d'échangeur choisi, il est absolument nécessaire de prévoir une régulation de la température de l'eau chaude sanitaire produite, pour avoir une installation conforme aux impositions du D.T.U. (*) : température maxi 60 °C.

Cette régulation peut être obtenue par action sur le débit du primaire si cela est possible ou par mitigeage de l'eau sanitaire avec de l'eau de ville non réchauffée.

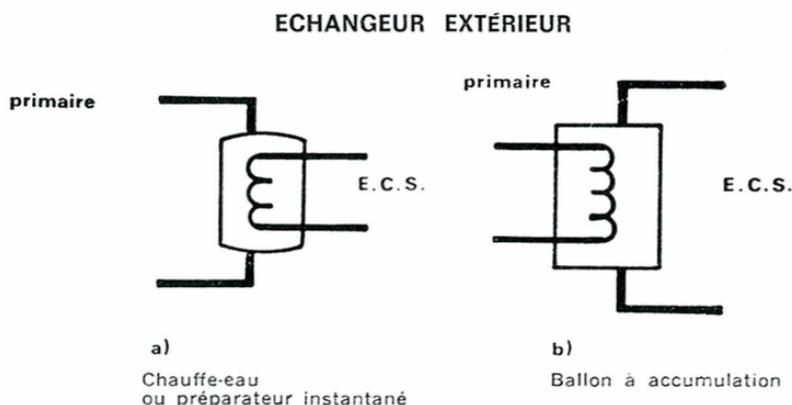


Fig. 1.

(*) 60-1 : Mars 1970, additif n° 3, alinéas 3.111 : « Température de l'eau ».

ECHANGEUR INCORPORÉ (CHAUDIÈRE COMBINÉE)

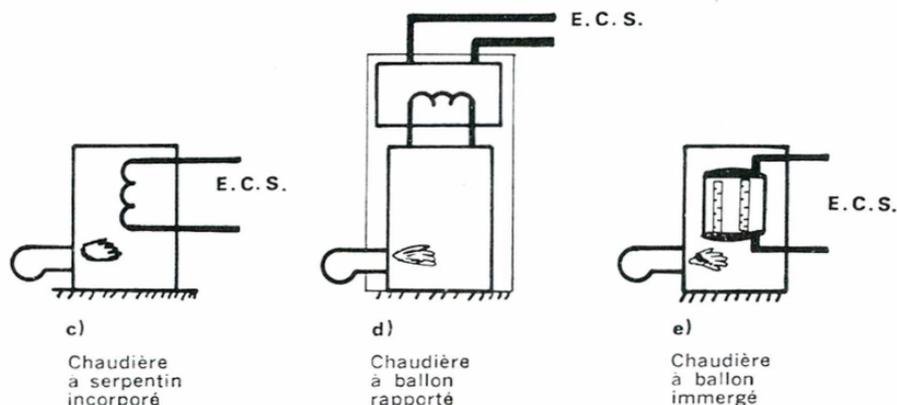


Fig. 2.

Il est nécessaire d'insister sur le fait que, pour les procédés ci-dessus, la technologie de l'échangeur détermine obligatoirement le principe de régulation.

Repères fig. 1 et 2	Type de préparation	Régulation par action sur le primaire	Mitigeage sur le secondaire
	Accumulation		
e	1. Ballon immergé	Impossible	Obligatoire
d	2. Ballon rapporté	Souhaitable (qd possible)	Eventuel
b	3. Ballon extérieur	a) avec régulation b) sans régulation	a) éventuel b) obligatoire
	Instantané		
c	Serpentin incorporé	Impossible	Obligatoire
a	Echangeur extérieur	Souhaitable	A éviter si eau non traitée

1.3. Production par accumulation - Production instantanée

La différence fondamentale entre les deux méthodes est que la production **instantanée** implique une puissance calorifique installée en rapport avec le débit d'eau sanitaire **maximum** exigé par les besoins instantanés. Par contre, la production par **accumulation** utilise une puissance calorifique nominale inférieure aux besoins instantanés maxima, parce que les calories sont stockées pendant les périodes de besoin réduit.

— Dans le cas de la production **instantanée**, la capacité calorifique du primaire du préparateur est généralement faible et celle du secondaire l'est



toujours. Le problème posé par le réglage d'un tel procédé est ramené au problème du réglage d'un système à faible inertie et dont les variations de charge (soutirage) sont très rapides.

- Dans le cas de la production par **accumulation**, la capacité calorifique du primaire est faible en regard de celle du secondaire. Les variations de température du secondaire sont donc très lentes et le problème de régulation est ramené à celui des systèmes à grande inertie.

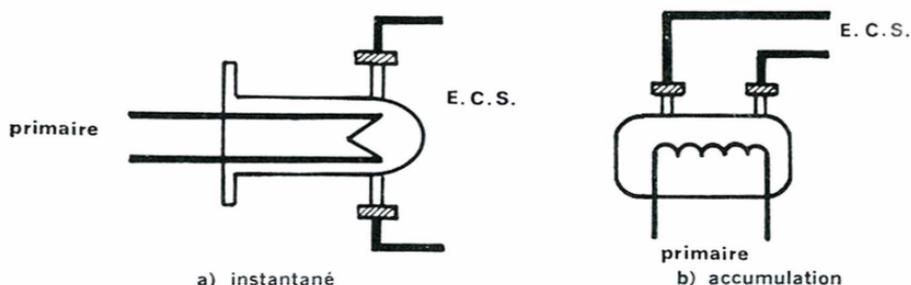


Fig. 3.

2. RÉGULATION SUR SYSTÈME A ACCUMULATION PAR ACTION SUR LE PRIMAIRE

Il faut bien considérer que le volume d'eau accumulé est, en dehors des périodes de soutirage, une masse inerte qu'il faut limiter à une température donnée.

La deuxième considération est qu'en période de soutirage la puissance calorifique installée, même dispensée au maximum, ne suffira pas à maintenir la température de l'eau ; il suffirait donc que le système soit ouvert ou fermé.

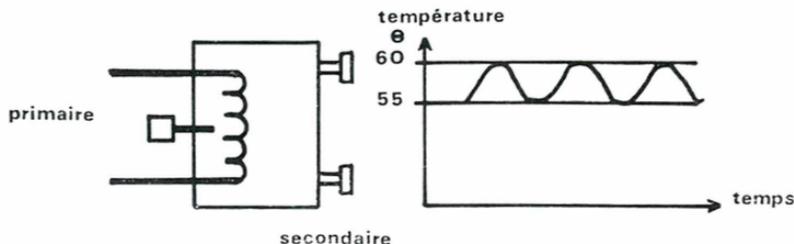


Fig. 4.

Pour cela, un réglage « tout ou rien » suffit. Compte tenu de la relative lenteur des variations, la température n'excédera pas la fourchette fixée par la valeur du différentiel du régulateur, et la capacitance du système autorisera un différentiel étroit. (Voir chap. IV : « Régulation à action discontinue », § 1.2.)

Incidence du différentiel sur la précision

En supposant une eau de ville à $+ 10^{\circ}\text{C}$ et une sortie à 60°C , les débits suivants peuvent être soutirés sans remise en route du système, d'où diminution de la capacité calorifique du ballon traduite par une température de sortie moindre.

Différentiel	Débit
2,5 °C	5 %
5 °C	10 %
10 °C	20 %

Ainsi, un appareil très précis et doté d'un différentiel étroit permettra l'emploi d'un ballon d'un volume de 20 % inférieur à ce qu'il serait s'il était asservi à un appareil muni d'un large différentiel.

Solutions pratiques

a) Mise en route et arrêt de la **pompe** de circulation :

- l'aquastat assure cette fonction,
- l'arrêt de la pompe n'isole pas totalement le ballon.

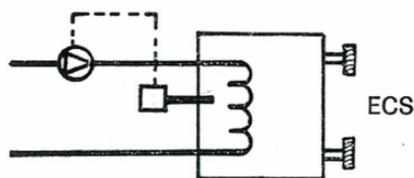


Fig. 5.

b) Isolement par vanne 2 voies « tout ou rien ».

L'aquastat assure la manœuvre de la vanne qui prendra successivement la position ouverte et fermée.

La vanne 2 voies « tout ou rien » n'est pas une vanne de réglage et son choix ne sera pas l'objet d'un calcul précis ; au contraire, sa perte de charge doit être faible.

Un contact auxiliaire est nécessaire pour arrêter la pompe de circulation, si elle est propre au ballon, dès que le circuit est fermé.

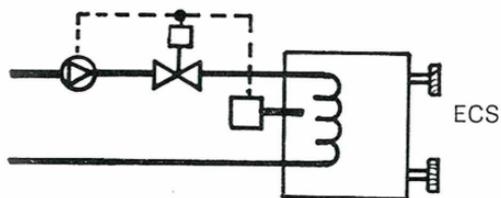


Fig. 6.

c) Isolement par vanne 3 voies « tout ou rien ».

L'aquastat assure la manœuvre de la vanne qui successivement permettra le débit dans le ballon ou dans le by-pass.

Cette vanne peut indifféremment être diviseuse ou mélangeuse. Le choix de son diamètre ne nécessite aucun calcul.



Ce procédé permet à l'ensemble de l'installation de travailler à débit constant sur la pompe.

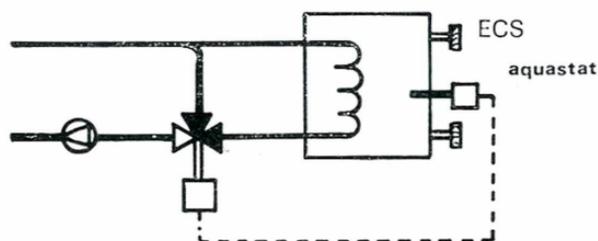


Fig. 7.

d) On utilisera un **système flottant** ou modulant sur vanne 3 voies, dès qu'un régime continu paraîtra utile en regard de la puissance totale de l'installation et de la puissance relative de l'échangeur.

Si un échangeur dit « à accumulation » est capable d'assurer en régime continu environ 50 % des besoins, l'accumulation n'absorbant que les pointes, on substituera au régulateur « tout ou rien » un régulateur flottant proportionnel.

Le montage de la vanne sera réalisé comme pour le système « tout ou rien ». Par contre, la vanne sera calculée en regard des pertes de charge du circuit qu'elle contrôle

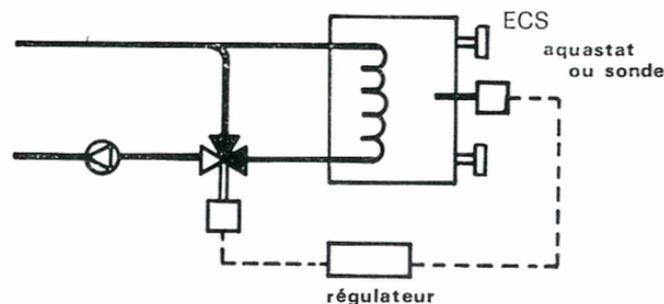


Fig. 8.

3. RÉGULATION SUR SYSTÈME INSTANTANÉ PAR ACTION SUR LE PRIMAIRE

Les préparateurs sont généralement des **échangeurs** à contre-courant à très fort coefficient d'échange (certains appareils atteignent $10\,000\text{ kcal/m}^2/^\circ\text{C/h}$, et la tendance actuelle s'oriente vers des volumes primaires extrêmement réduits (trois fois le volume du serpentin).

Les réactions sont extrêmement rapides.

Par ailleurs, les variations de charges sont elles aussi très rapides et directement fonction du volume soutiré.

Un système continu du type proportionnel est obligatoire, encore faut-il que son propre temps de réponse soit adapté (voir constante de temps du détecteur, vitesse du moteur). Il peut arriver qu'une action dérivée complémentaire à l'action proportionnelle soit nécessaire.

Quel que soit le mode de réglage, la vanne devra être affectée d'une forte autorité et être étanche, pour éviter l'élévation de température du serpentin durant l'entretien de boucle (1). Sa caractéristique doit être à **puissance linéaire** et de bonne finesse.

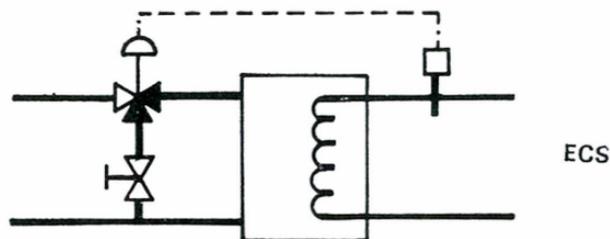


Fig. 9.

4. LA PRIORITÉ SANITAIRE

Il se peut que dans les installations mixtes (ou combinées) la puissance calorifique installée ne puisse assurer à la fois le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

En cas de demande simultanée, la priorité doit être donnée à l'eau chaude, ce qui implique l'arrêt ou la réduction du chauffage.

Généralement, un régulateur de température, monté sur la conduite de distribution sanitaire, s'assure que l'eau est à température normale. En cas d'insuffisance de température, il agit directement en arrêtant la pompe ou

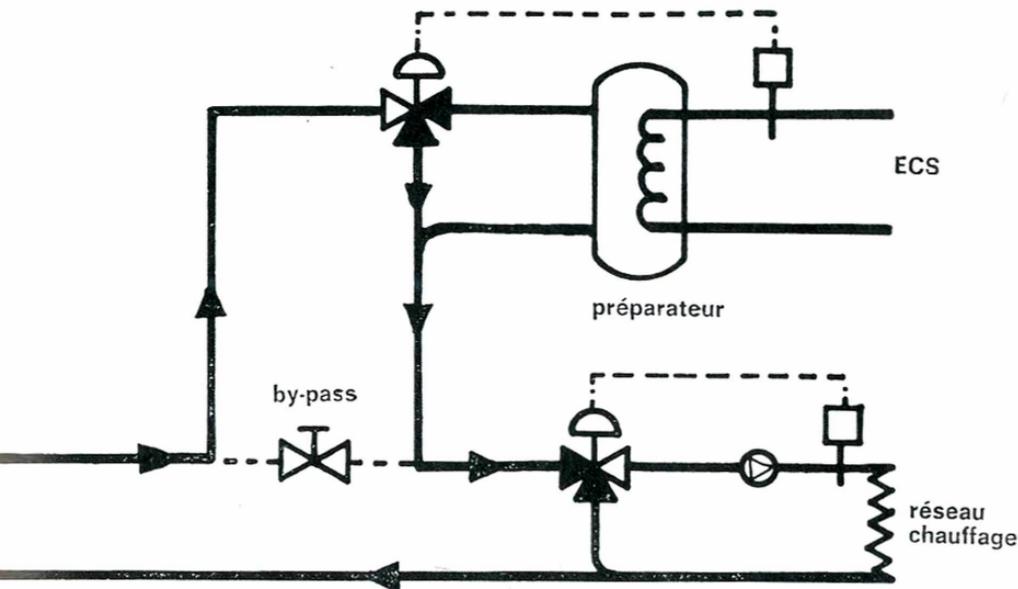


Fig. 10.

(1) Boucle : circulation utilisée pour maintenir dans le réseau, en dehors du puisage, une température d'eau constante.

en fermant la vanne de régulation du circuit chauffage pour rétablir cette anomalie. Cette fonction peut aussi être remplie par un interrupteur de débit agissant dès qu'il détecte un minimum de soutirage.

Les préparateurs instantanés sont généralement montés en série ou en parallèle avec le circuit chauffage. S'ils sont montés en **parallèle**, un dispositif de priorité sanitaire agissant sur l'allure du chauffage peut être nécessaire. Mais, dans ce cas, on installe plus volontiers le préparateur en **série** avec le circuit chauffage. Le préparateur sera naturellement prioritaire sur le chauffage puisqu'il se trouve placé avant lui (voir fig. 10).

Si le débit chauffage est supérieur au débit du préparateur, ceci implique qu'un by-pass au préparateur assure le complément de débit au profit du réseau de chauffage. Si besoin était, ce by-pass pourrait être occasionnellement fermé, ce qui aurait pour effet de réduire le débit en chaudière et de relever la température de départ.

5. MITIGEAGE

En accumulation ou en instantané, il est impossible de prévoir exactement à l'avance la température d'utilisation correspondant à chaque besoin ; aussi, on a recours, quand cela est nécessaire, à un mitigeur. C'est également (comme vu plus haut) la seule solution quand le dispositif de production d'eau chaude se trouve dans la chaudière.

Sur les installations collectives, un soin particulier devra être pris dans le calcul et le choix du poste de mitigeage, ainsi que dans la détermination et la réalisation du circuit de bouclage. Ces précautions auront pour but essentiel d'obtenir, d'une part une stabilité correcte de l'eau soutirée, et d'autre part éviter les bruits de dilatation désagréables durant les périodes d'entretien de boucle.

5.1. Choix du diamètre de vanne

Le débit à prendre en considération pour le calcul de la vanne est celui de l'entretien de boucle. Une autorité de 50 % sur le Δp du préparateur est suffisante.

Exemple :

- Appareil débitant 200 l/mn (12 000 l/h) avec 2500 mm CE.
- Entretien de boucle prévu : 10 %, soit 1200 l/h.
- Δp du préparateur sous 1200 l, égal à 100 fois moins que Δp sous 12 000 l/h (les Δp varient avec le carré des débits), soit $2500/100 = 25$ mm CE.
- La vanne sera choisie pour présenter un Δp de 25 mm CE sous 1200 l/h (autorité 50 %), soit $K_v = 24$.

On s'assurera ensuite qu'au débit nominal (dans notre exemple 12 000 l/h) la chute de pression dans la vanne est compatible avec la pression résiduelle nécessaire au poste de soutirage le plus éloigné.

Il faut également s'assurer que l'on dispose aux entrées de vannes de pression équivalente pour la température de soutirage requise.

5.2. Montage du détecteur

L'emploi d'une bouteille de mélange dans laquelle le détecteur sera monté est recommandé. La bouteille favorise l'homogénéité de la température de l'eau de circulation et amortit les oscillations de température.



5.3. Disposition des bouclages

Les débits d'entretien de boucle étant généralement supérieurs aux besoins du réchauffage de cette boucle, on prendra soin de ne réinjecter dans le préparateur que la quantité d'eau nécessaire à compenser les pertes calorifiques de la boucle, l'excédent de débit étant recyclé en aval du mitigeur.

5.4. Cas particulier des douches

On doit éviter qu'accidentellement la température de soutirage ne dépasse 40 °C environ. Pour ce faire, un by-pass de sécurité monté en aval du mitigeur jouera ce rôle.

6. SÉCURITÉ

Les préparateurs ou ballons sont des échangeurs dont le primaire peut être alimenté en eau chaude 110 °C, mais aussi en vapeur.

Le choix du matériel de réglage dépendra des caractéristiques du fluide primaire. Chaque fois qu'en cas de non-soutirage il y a du danger que le secondaire atteigne la température primaire, il faudra s'assurer que la vanne utilisée soit dite « étanche » ; on l'équippa avec des dispositifs de fermeture impérative par dépassement de température ou manque de courant. Ces dispositifs peuvent être des moteurs à ressort de rappel ou des vannes de sécurité à fluide auxiliaire.

A défaut, une évacuation de l'excédent calorifique doit être possible sur le secondaire, par exemple par une vanne 3 voies placée à l'aval de l'échangeur et à l'amont de la distribution. Elle sera commandée par un aquastat de sécurité plongeant dans l'échangeur.

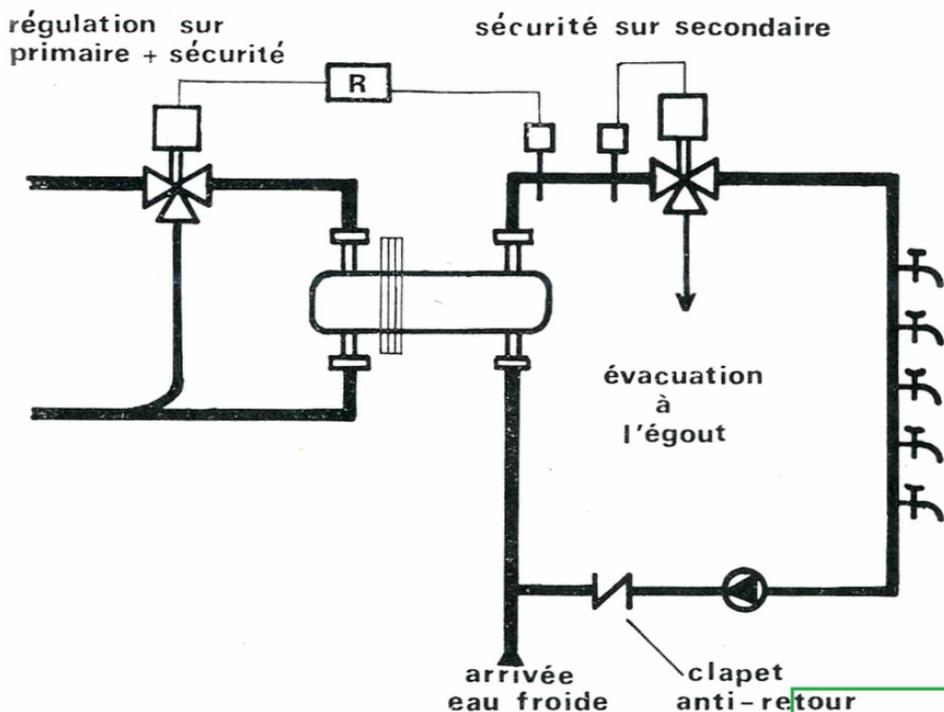


Fig. 11.

Cette vanne interrompt la circulation et évacue l'eau trop chaude à l'extérieur. Si les règlements interdisent le rejet à l'égoût d'eau supérieure à T°, le thermostat devra commander simultanément une vanne automatique permettant d'introduire de l'eau de ville dans l'eau chaude évacuée, de façon à abaisser sa température. Ces dispositifs seront impérativement du modèle à action directe pour ne pas être tributaires des coupures de courant.



CHAPITRE VIII

Ventilation - Air chaud

1. VENTILATION

1.1. But

Nous rappellerons que le but de la ventilation est de fournir, dans des locaux habités, de l'air extérieur filtré en quantité suffisante afin d'y éviter une pollution excessive de l'air. L'air ventilé ne participe pas au chauffage du local et sera, dans la majorité des cas, **insufflé à la température ambiante** ; l'installation comportera donc nécessairement un système de chauffage ou de réfrigération. La ventilation mécanique est également largement utilisée pour renouveler l'air vicié de certains locaux, tels garages, parkings, usines, etc.

1.2. Quelques chiffres

On considère comme valeurs usuelles minimum, des débits d'air de 20 m³/h par personne (fumeurs 30 m³/h) et comme renouvellement horaire.

5 à 10 volumes pour cinémas, théâtres, salles de réunion, restaurants, W.-C.

3 à 8 volumes pour les bureaux.

5 à 8 volumes pour les salles de bains.

10 à 20 volumes pour les grandes cuisines (20 à 50 pour les petites).

1.3. Constituants

L'équipement de ventilation comprend en général :

- une prise d'air extérieur,
- un filtre,
- une batterie de chauffage,
- éventuellement un humidificateur,
- un ventilateur de soufflage,
- des gaines de distribution, bouches de diffusion.

1.4. Régulation ventilation simple

L'installation ne comporte qu'une batterie de chauffage, avec éventuellement un humidificateur.

Le contrôle s'effectue à partir de la température de l'air soufflé dont le point de consigne sera **égal** ou **légèrement supérieur** à la température ambiante requise. Le mode de réglage est du type proportionnel à valeur constante.



L'humidité relative sera réglée à partir d'un hygrostat d'ambiance agissant en « tout ou rien » sur l'humidificateur (voir fig. 1).

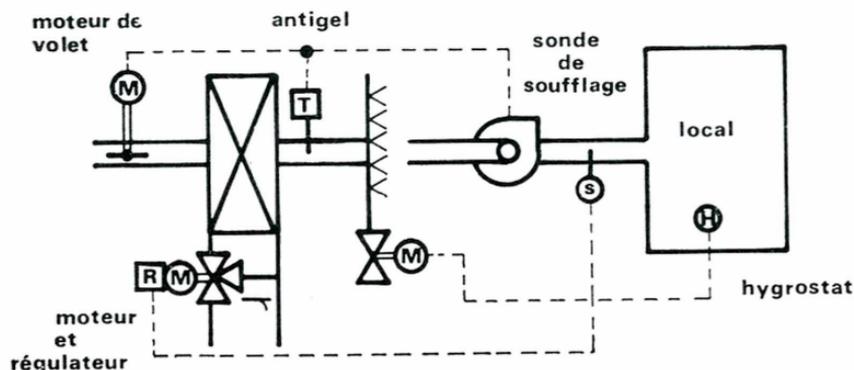


Fig. 1.

1.5. Sécurités antigel de l'installation

L'installation fonctionnant en air neuf total devra être protégée par un thermostat antigel stoppant le ventilateur de soufflage en cas de non-alimentation de la batterie de chauffage. Si l'installation présente un risque de tirage par ventilation naturelle et si elle ne comporte pas de persiennes équilibrées, il est impératif de prévoir un volet motorisé se fermant sous l'action du thermostat antigel, afin d'éviter le gel de la batterie et de l'humidificateur. Ce volet motorisé comportera nécessairement un dispositif de retour à zéro en fermeture par manque de courant (voir fig. 1).

2. CHAUFFAGE A AIR CHAUD

2.1. Description

L'équipement de ventilation décrit au paragraphe 1.4 se limitait à fournir un certain débit d'air neuf réchauffé jusqu'à la température ambiante des locaux. Dans les installations de chauffage à air chaud, l'air chaud devra également annuler les déperditions du local, la puissance calorifique à fournir sera donc plus importante et la température de soufflage plus élevée. Du fait que l'air ne peut être soufflé à une température trop élevée sans gêne pour les occupants, les débits d'air seront beaucoup plus importants qu'en ventilation simple. Dans un but d'économie, on ne prendra qu'une partie d'air extérieur (celui nécessaire à la ventilation hygiénique), le complément étant assuré par de l'air ambiant recyclé. Le mélange des deux airs est effectué par des volets, avec une limite minimum d'air frais durant l'hiver. Une ventilation d'été est possible avec volume maximum d'air extérieur. Le reste est identique aux installations de ventilation.

2.2. Procédés de régulation

Nous examinerons deux procédés de régulation possibles.

2.2.1. Par contrôle de soufflage

Si les apports internes (machines, êtres humains, etc.) sont négligeables et si les déperditions des locaux ne sont essentiellement fonction que de la tem-

pérature extérieure, il peut être prévu un système de régulation à loi de correspondance entre le soufflage et l'extérieur. Ce système ne peut pas s'appliquer aux locaux réagissant aux ensoleillements. Il suffira de prévoir une régulation classique en fonction de la température extérieure, dans laquelle la sonde de départ sera remplacée par une sonde de gaine placée au soufflage (voir fig. 2).

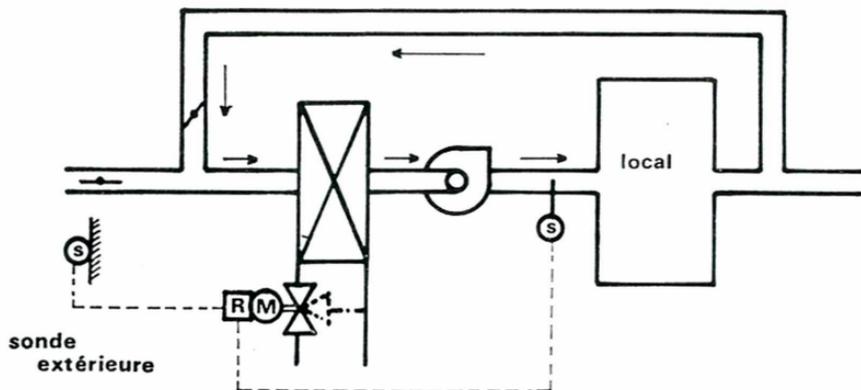


Fig. 2.

2.2.2. Par contrôle de la température ambiante

C'est le système le plus usuel car, dans la plupart des cas, les apports internes ou les ensoleillements sur surfaces vitrées ne peuvent être négligés. Le contrôle s'effectue à partir de l'ambiance (ou de la reprise si elle représente bien la température moyenne) en système proportionnel. Un thermostat de basse limite permettra de limiter la fermeture de la vanne afin de ne pas souffler à une température trop basse, gênante pour les occupants en cas de variation brutale de charge, suroccupation, etc. Si les déperditions sont prépondérantes en regard des apports internes, il pourra utilement être prévu une sonde de compensation extérieure évitant l'écart permanent inhérent aux systèmes proportionnels (voir fig. 3).

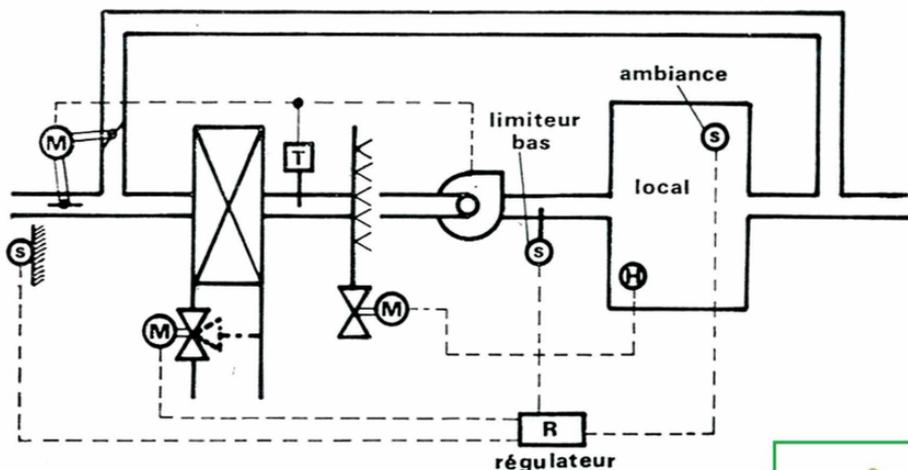


Fig. 3.

En fin de régime hiver, quand la vanne de chaud est fermée, il est possible de rafraîchir l'ambiance par ouverture proportionnelle des volets d'air neuf, en fonction de la demande de la sonde d'ambiance (fig. 4) pour chauffage plus rafraîchissement été.

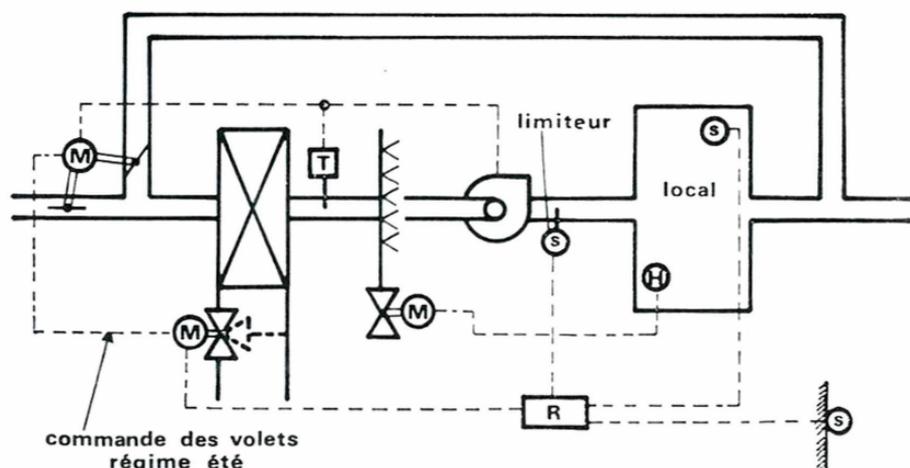


Fig. 4.

2.3. Sécurité antigel

Les sécurités sont identiques au système de ventilation (voir § 1.5).

2.4. Réglage de l'humidité relative

L'humidité peut être éventuellement réglée en hiver par un hygrostat ambiant agissant en « tout ou rien » sur un rampe de pulvérisation.

2.5. Chauffage air chaud par batteries électriques

Le contrôle s'effectue en système proportionnel, avec action sur un moteur équipé d'un dispositif à programme appelé « step-controller », permettant l'enclenchement en cascade des différents éléments électriques de la batterie de chauffage, ou par variation de puissance par thyristor. Dans le cas d'un « step-controller », il est toujours utile de prévoir un dispositif de remise à zéro par manque de courant, afin d'éviter l'enclenchement à pleine charge au retour du courant après panne.

La sécurité de la batterie contre une élévation anormale de la température doit être assurée par un thermostat de sécurité limiteur (coupe-feu).

3. AEROTHERME

3.1. Description

Le ventilateur de soufflage et la batterie de chauffage sont groupés en un seul appareil placé dans l'ambiance à chauffer. Ces appareils sont utilisés parfois pour les chauffages individuels, ils sont surtout appliqués aux chauff.

fages de grands locaux, halls, usines. Deux dispositions principales sont usitées :

- aspiration haute et soufflage vertical vers le bas à faible vitesse ;
- aspiration basse et soufflage horizontal en partie haute à grande vitesse.

Ces appareils peuvent être munis, comme dans les systèmes à air chaud, d'une prise d'air extérieur.

3.2. Régulation des systèmes aérothermes

La régulation sera évidemment du type à contrôle d'ambiance. Deux procédés seront possibles suivant que l'aérotherme est en air ambiant total ou à faible taux d'air neuf (sans imposition d'un taux de renouvellement d'air), ou avec pourcentage d'air neuf assurant la ventilation des locaux.

3.2.1. Ambiance totale chauffage

Dans tous les cas où les mouvements d'air intérieur consécutifs à la mise en route et à l'arrêt du ventilateur ne sont pas gênants, il suffira simplement de prévoir un thermostat d'ambiance « tout ou rien » agissant sur la marche ou l'arrêt du ventilateur. Dans le cas où deux régimes sont requis, deux thermostats (jour 20 °C, nuit 15 °C, par exemple) pourront être sélectionnés par une horloge à programme (voir fig. 5).

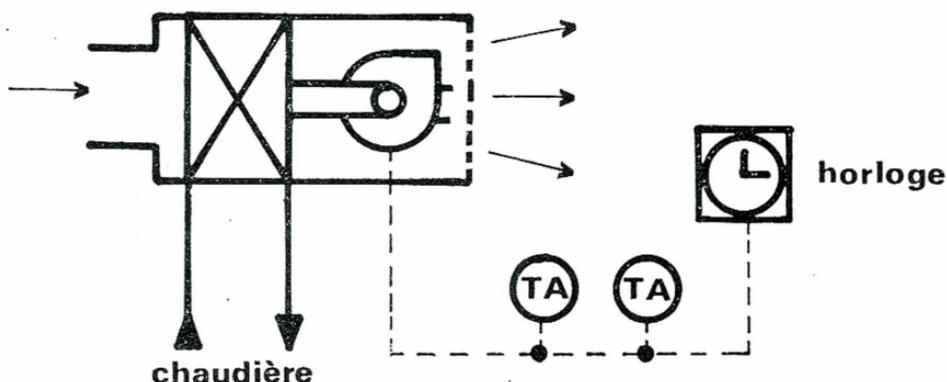


Fig. 5.

3.2.2. Chauffage et ventilation

Dans ce cas, il n'est plus possible d'arrêter le ventilateur, sous peine de ne pouvoir assurer le débit d'air frais requis. La régulation ne pourra agir que sur le réglage de la batterie de chauffage en système proportionnel (voir air chaud, § 2.2.2, le limiteur de bas soufflage étant exclu). Si plusieurs aérothermes alimentent une même salle, un seul régulateur avec sa vanne pourra

agir sur la température du fluide alimentant ces aérothermes en parallèle (voir fig. 6).

aérothermes

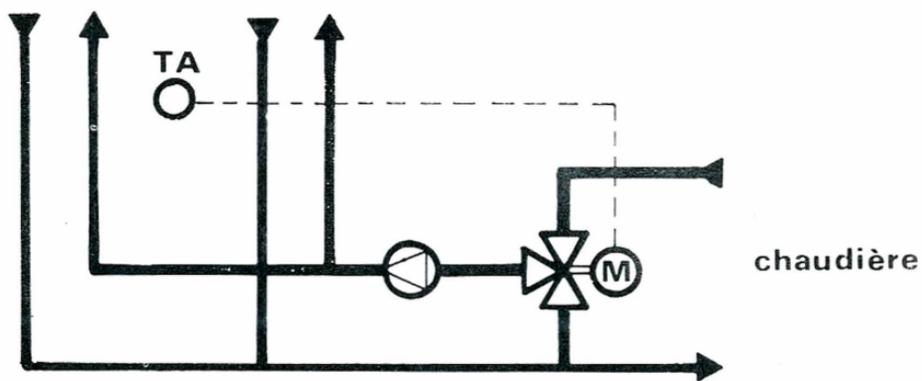


Fig. 6.

CHAPITRE IX

Chauffage électrique

Avec les conditions économiques, s'améliorant progressivement, le chauffage électrique se développe, et passe du chauffage d'appoint à la totalité des besoins.

1. PRODUCTION DE CHALEUR

La transformation de l'énergie électrique en énergie chaleur se fait :

- Le plus couramment par effet Joule.
Tout conducteur s'échauffe pour être utilisé, aussi bien en éclairage qu'en chauffage.
- Par « pompe à chaleur thermodynamique », dont le principe de fonctionnement est analogue à celui de la machine frigorifique classique.

Une pompe de chaleur comporte principalement un circuit fermé, dans lequel évolue un fluide de transfert entre la source froide et la source chaude. C'est un appareil qui peut effectuer un transfert de chaleur, aussi bien dans le sens « intérieur-extérieur », qu'en sens inverse.

L'énergie électrique est utilisée, non à produire des calories, mais à les déplacer d'un milieu extérieur (air ou eau) vers le local à chauffer.

2. MOYENS D'UTILISATION

Nous distinguerons trois types principaux :

2.1. L'utilisation directe

- par rayonnement : radiateurs, panneaux rayonnants, revêtements chauffants...
- par convection naturelle : plinthes chauffantes, convecteurs muraux...
- par convection forcée : ventilo-convecteurs, aérothermes, batteries électriques...

2.2. L'utilisation par fluides intermédiaires

Ce type d'installation, assez peu développé en France, consiste à réchauffer dans une chaudière un fluide qui peut être de l'eau, de l'huile ou un fluide thermique quelconque, nous ramenant à une installation classique.



2.2. L'accumulation directe

Ce système consiste à réchauffer, à une température plus ou moins élevée, une masse relativement importante de matière réfractaire susceptible de restituer la chaleur qu'elle a reçue.

Cette restitution peut se faire :

- par rayonnement différé : plancher chauffant ;
- par convection naturelle ou forcée : poêle à accumulation, calorifère central...

On peut également stocker de l'énergie calorifique au sein d'une masse importante d'un fluide (eau, huile, liquide thermique) ou d'une matière réfractaire, qui restituera l'énergie au moyen d'un fluide comme dans les installations classiques.

3. RÉGLAGES

Régler un chauffage consiste à moduler l'énergie dissipée par un appareil. Nous avons vu que la modulation d'une énergie véhiculée par un fluide pouvait se faire de deux façons :

- soit en « tout ou rien »,
- soit en modulant le débit du fluide.

Avec l'énergie électrique, la première méthode sera surtout utilisée. L'organe de réglage sera :

- un interrupteur, si la puissance est faible,
- un contacteur dans le cas contraire.

Un nouveau système de commande des corps de chauffe électrique par thyristors permet une modulation continue de l'énergie électrique. Nous étudierons ce matériel à la fin du présent chapitre.

3.1. « Tout ou rien »

Ce type de réglage, que nous avons étudié au chapitre IV, est très facile à mettre en œuvre avec l'énergie électrique. Il sera utilisé principalement pour la commande :

- des radiateurs : thermostats d'ambiance ;
- des ventilo-convecteurs : thermostats d'ambiance ou de reprise ;
- des batteries électriques terminales : thermostats d'ambiance, thermostats de gaine de soufflage, thermostats de gaine de reprise.

Un thermostat commandera :

- l'appareil directement, si la puissance est faible ;
- le contacteur, si la puissance installée est supérieure au pouvoir de coupure du thermostat.

Il y a lieu, dans le cas des batteries électriques, de se prémunir contre une surchauffe éventuelle due à une interruption de la circulation d'air dans la gaine, ce que le réglage seul ne peut constater. Habituellement, cette sécurité est assurée :

- soit par un contrôleur de débit d'air, qui met hors service l'énergie électrique en cas de manque de circulation d'air ;
- soit par un thermostat de contrôle à haute température placé au contact même de la batterie.



Thermostat à anticipation

Un thermostat à anticipation (voir chap. II-3, § 2.8.1) sera préféré à un thermostat normal, pour la commande des mêmes organes de chauffe, chaque fois que l'on désirera un réglage fin.

Le thermostat à anticipation s'applique très bien à l'énergie électrique. En effet, résistance d'anticipation et résistance de chauffage étant de même nature, et obéissant aux mêmes lois, la première peut parfaitement préfigurer l'action de la seconde. Il sera nécessaire de choisir un thermostat prévu pour le chauffage électrique dont les caractéristiques de cycle, et de pouvoir de coupure, seront spécialement adaptées.

3.2. Réglage à puissance fractionnée

Si les conditions d'utilisation sont très variables, il sera nécessaire de disposer d'une grande puissance pour répondre aux besoins maxima, qui ne sont évidemment pas permanents. On aura donc intérêt à diviser les corps de chauffe. On pourra ainsi réduire les oscillations dues au réglage par « tout ou rien », et augmenter la tenue dans le temps des contacteurs.

On fera appel à un combinateur à étages ou « step-controller », qui enclenchera, suivant les besoins, les différents étages du corps de chauffe.

La boucle de réglage sera du même type que celle qui est utilisée dans le cas du chauffage par fluide, mais la vanne et sa commande motrice seront remplacées par le combinateur à étages et un contacteur par élément.

Il est nécessaire de prévoir un retour à zéro du combinateur, en cas de manque de courant, interdisant l'enclenchement simultané de tous les éléments au retour du courant.

Ce type de réglage sera dans la plupart des cas celui des batteries centrales.

3.3. Réglage progressif — Thyristors

Le thyristor est un redresseur à électrode de commande, qui présente deux états stables : blocage ou conduction. Il se bloque à la fin de chaque demi-alternance.

Deux utilisations sont possibles :

1. La modulation de l'énergie est obtenue en débloquant le thyristor en un point variable de chaque demi-alternance.

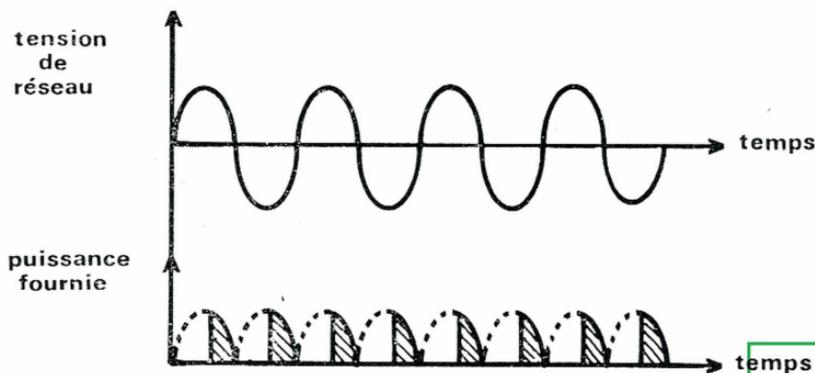


Fig. 1.



On obtiendra ainsi un réglage continu, mais cette utilisation présente l'inconvénient d'enclencher le courant à intensité non nulle et, de ce fait, de créer des parasites qu'il faudra éliminer par ailleurs.

2. Si l'on débloque le thyristor au début d'une demi-alternance, c'est-à-dire à intensité nulle, on éliminera les parasites. Le régulateur modulera l'énergie dans le temps en enclenchant le corps de chauffe pendant une fraction T' d'une période T .

Le réglage ne sera pas aussi continu que dans le cas précédent. Aussi faudra-t-il choisir, pour la période T , une valeur faible par rapport à la constante de temps introduite par l'inertie de l'installation.

puissance fournie

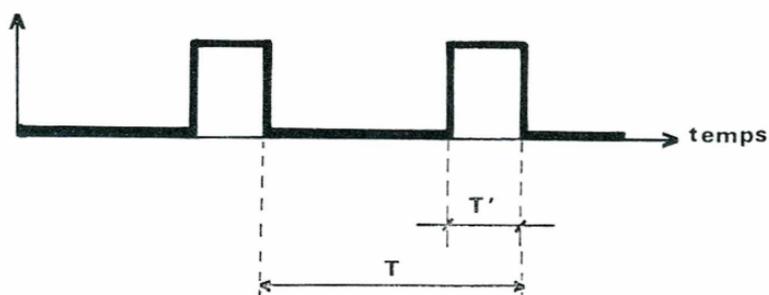


Fig. 2.

Exemple

T a une valeur courante de 80 à 120 secondes, suivant les constructeurs.

T' varie de 0 à T proportionnellement à la charge.

3.4. Réglage progressif par transformateur à tension de sortie variable (variableur)

Le changement de position de la commande variable de la tension de sortie est assuré par un servo-moteur, lui-même commandé par l'une des régulations proportionnelles précédentes.

La tension de sortie, et par suite la puissance fournie, varie de 0 à 100 %.

4. CAS PARTICULIERS

4.1. Appareils à fluide intermédiaire

Les chaudières, dont l'élément chauffant est constitué de résistances électriques, sont en général traitées comme une chaudière à mazout ou à gaz, par un aquastat placé sur le départ du fluide, le réglage du fluide lui-même n'ayant pas d'aspect particulier.

Il y a lieu de se prémunir, comme dans le cas des batteries, contre une éventuelle surchauffe : par un thermostat de sécurité, ou éventuellement un contrôleur de débit.

4.2. Chauffage à accumulation

Les conditions économiques en France ont conduit à un développement de ce type de chauffage, et les constructeurs de matériel de régulation ont dû s'adapter à ces conditions :

- la première : c'est que la charge de l'élément d'accumulation se fasse pendant les périodes d'heures creuses ;
- la deuxième : c'est qu'il est inutile de recharger longuement un appareil qui n'est pas complètement déchargé. On doit donc tenir compte de la charge résiduelle.
- la troisième : c'est que la charge doit être d'autant plus poussée que les conditions extérieures sont plus sévères.

Cette dernière condition a une limite évidente : la charge se faisant la nuit, il faut anticiper sur les conditions extérieures au moment de l'utilisation de cette charge, c'est-à-dire le lendemain ; or l'arsenal des sondes existant sur le marché ne permet pas de prévoir le temps.

On a donc développé un système permettant le réenclenchement de la charge pendant les heures de jour si les conditions extérieures, instantanées cette fois, le demandent.

4.3. Réglage des systèmes à accumulation

Du plus simple au plus complexe, le réglage d'un système à accumulation comprendra :

4.3.1. Une simple horloge destinée à enclencher la charge pendant les heures creuses.

4.3.2. Une horloge doublée d'une sonde de charge résiduelle. La charge résiduelle est en général contrôlée en un point de la masse réfractaire où on mesure la température.

4.3.3. Une horloge, une sonde de charge résiduelle, une sonde extérieure.

Le rôle de cette sonde extérieure étant de déterminer, en tenant compte de la charge résiduelle, la durée de la charge dans l'intervalle autorisé par l'horloge.

Cette sonde extérieure peut avoir également pour rôle de réenclencher la charge pendant les heures de jour si la température tombe en dessous d'un niveau donné.

4.3.1. Une horloge, une sonde de charge résiduelle, une sonde extérieure, une sonde d'ambiance.

4.3.5. Dans certains types d'installations, on préfère réenclencher la charge si nécessaire pendant les heures de jour, non pas en fonction de la température extérieure, mais en fonction de la température ambiante relevée dans un local témoin, s'il est vraiment représentatif.

4.3.6. Certains dispositifs ont été développés, qui tiennent compte de la différence entre la température d'ambiance et la température extérieure.

Ces systèmes peuvent s'appliquer aussi bien à un corps de chauffe unique, comme un plancher chauffant, qu'à des corps de chauffe divisés (radiateurs à accumulation dans les différentes pièces d'une habitation).

4.3.7. Dans le cas de corps de chauffe divisés, il est possible



l'installation de réglage, compte tenu du fait que certaines fonctions peuvent être centralisées :

- programme horaire,
- sonde extérieure,
- éventuellement sonde d'ambiance.

Par contre, chaque élément devra disposer d'une sonde de charge résiduelle qui lui est propre, ainsi que de son appareillage de couplage.

4.4. Chauffage mixte

Pour concilier les avantages du chauffage à accumulation (tarif des heures creuses) et la souplesse du chauffage direct, on utilise de plus en plus une combinaison de ces deux systèmes.

Au chauffage par accumulation (chaudière ou plancher chauffant), on demande d'apporter une énergie calorifique proportionnelle aux conditions extérieures, qui demeure insuffisante aux besoins totaux. Le complément d'énergie est donné par des appareils à chauffage direct, qui seront choisis à faible inertie ; par exemple : rayonnement ou air chaud.

On réglera l'un et l'autre système séparément :

- le chauffage à accumulation en fonction des conditions extérieures ;
- le chauffage d'appoint direct en fonction des températures ambiantes.



CHAPITRE X

Robinet thermostatique

1. CONSTITUTION DU ROBINET THERMOSTATIQUE.

Les robinets thermostatiques (fig. 1) comprennent 4 parties :

- un détecteur de mesure chargé de contrôler la température par un moyen physique, en produisant une action mécanique, encore appelé élément sensible,
- un comparateur chargé de confronter l'action de l'élément sensible à une référence (point de consigne) dans une balance de forces. Cette référence est généralement un ressort;
- un élément d'affichage modifiant la tension du ressort compensateur;
- un organe de réglage chargé de faire varier le débit du fluide caloporteur traversant le corps de chauffe : c'est la partie «vanne» du robinet thermostatique.

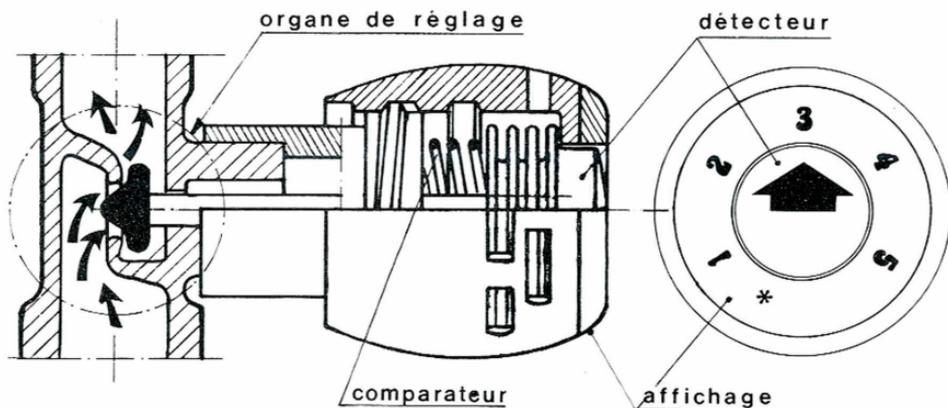


Fig. 1

1.1. Détecteur de mesure

La fonction de cet élément est de détecter, d'une manière continue, toute variation de la température ambiante, et après comparaison (point de consigne) de convertir l'écart éventuel en une action mécanique sur la «vanne».

Ce problème a été examiné pour les thermostats (p. 31 § 3), mais les solutions technologiques relatives aux robinets thermostatiques sont conditionnées par le fait qu'il s'agit dans ce cas de transmettre un mouvement de translation au clapet de la vanne.

1.11. Dilatation d'un liquide (fig. 2).

L'élément détecteur est une cartouche (soufflet métallique ou membrane) emplit d'un liquide (huile de silicone ou toluel) dont la dilatation provoque une déformation localisée de la cartouche (partie déformable). C'est de cette déformation que résultera l'action mécanique sur la «vanne».

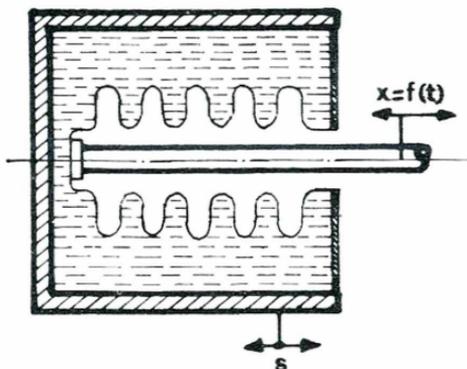


Fig. 2

1.1 2. Pression de vapeur saturante (fig. 3)

Une cartouche déformable (soufflet métallique ou membrane) est emplit d'un liquide (état gazeux à la pression atmosphérique (1) sous une pression telle qu'une partie soit liquide et une autre à l'état de vapeur saturante.

La variation de température ambiante provoque une variation de la pression de vapeur (2) laquelle déforme le soufflet et agit mécaniquement sur la «vanne».

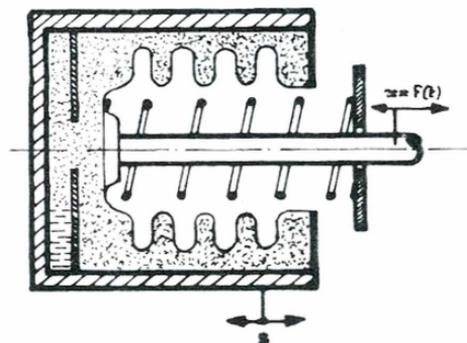


Fig. 3

- (1) Ex : propane, toluène, chlorure de vinyle, fréon, chlorure de méthyle...
 (2) La pression de vapeur saturante dépend dans une forte mesure de la température de surface du liquide.



1.13. Dilatation de solide.

La gamme de température et le faible encombrement nécessaire orientent cette solution vers l'emploi :

- soit d'une spirale bimétallique (fig. 4),
- soit d'un bloc d'élastomère (caoutchouc) ou de plastique ayant un coefficient de Poisson élevé (fig. 5).

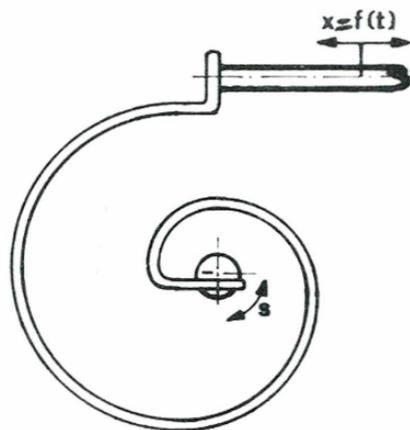


Fig. 4

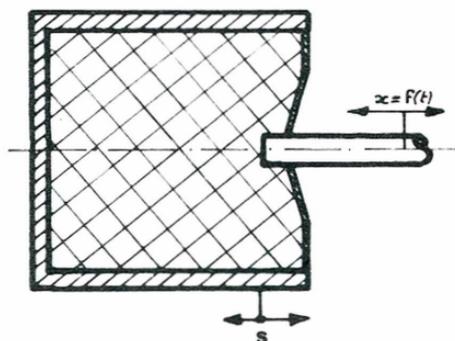


Fig. 5

1.14. Fusion.

Ce détecteur est constitué d'une enveloppe métallique contenant un mélange de cire dont le point de fusion se situe dans la gamme des températures ambiantes. Cette augmentation de volume par fusion est importante (environ 10%). Elle provoque la déformation d'une membrane en caoutchouc (fig. 6) ou d'un sac en caoutchouc (fig. 7). C'est de cette déformation que résultera l'action mécanique sur la «vanne».

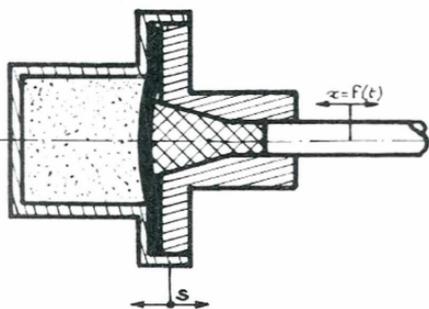


Fig. 6

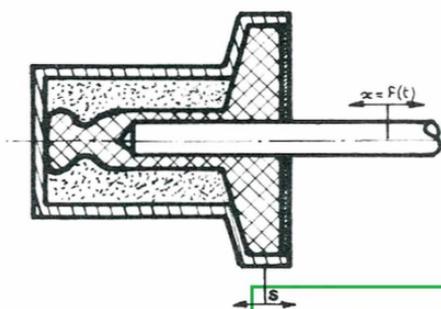


Fig. 7

1.2. Organe comparateur

L'organe comparateur est généralement un ressort qui réalise un équilibre de forces à partir de l'information du détecteur, et qui détermine ainsi le déplacement du clapet de la «vanne».

1.3. Organe d'affichage

Cet organe est un chapeau marqué de repères dont la rotation modifie soit la compression du ressort de comparaison, soit la position du détecteur.

La possibilité de rotation est d'au moins 240° avec au moins 5 repères qui définissent 4 plages de réglage.

1.4. Organe de réglage

C'est la partie «vanne» du robinet : le déplacement du clapet de la vanne fait varier la section de passage du fluide caloporteur alimentant le corps de chauffe. Une attention particulière doit être accordée au choix du diamètre du robinet.

2. NOMENCLATURE DES DIFFERENTS MODELES.

Le montage d'un robinet thermostatique s'effectue par l'assemblage de 2 parties livrées séparément :

- la tête;
- le corps de vanne.

Pour chacune de ces deux parties il existe différents modèles adaptés aux besoins de l'installation.

2.1. «Tête» de robinet thermostatique

- Robinet thermostatique avec détecteur de mesure et élément d'affichage du point de consigne incorporés (fig. 8).
- Robinet thermostatique avec détecteur de mesure à distance et élément d'affichage du point de consigne incorporé (fig. 9).
- Robinet thermostatique avec détecteur de mesure et élément d'affichage du point de consigne à distance (fig. 10 et 11).

2.2. «Corps» du robinet thermostatique

- Robinet 2 voies + corps droit (fig. 12),
+ corps équerre (fig. 13),
+ corps équerre inversé (fig. 13 bis).
- Robinet 3 voies (fig. 14).
- Robinets 4 voies (fig. 15).
- Robinet 2 voies + ensemble distributeur (fig. 16).



TETES

Fig. 8

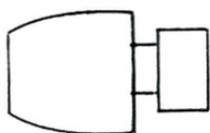


Fig. 9

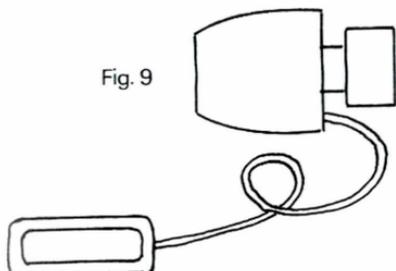


Fig. 10

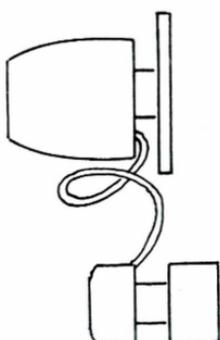
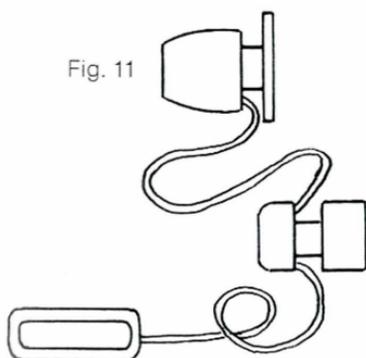


Fig. 11



CORPS

Fig. 12
2 voies-droit

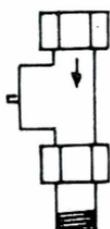


Fig. 13
2 voies-équerre

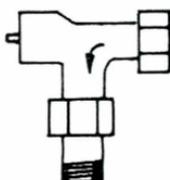


Fig. 13bis
2 voies-équerre inversée

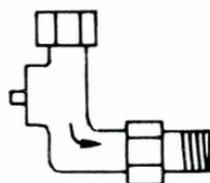


Fig. 14
3 voies

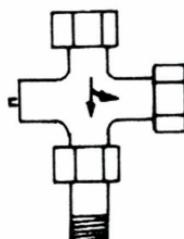


Fig. 15
4 voies-monobloc

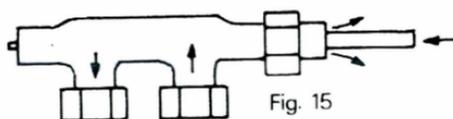
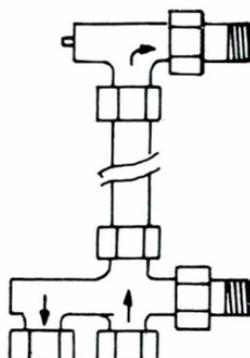


Fig. 16
Robinet 2 voies
avec distributeur



3. ETUDE GLOBALE DU ROBINET THERMOSTATIQUE.

3.1. Remarque importante

La fonction du robinet thermostatique est d'adapter d'une manière continue la puissance émise par le corps de chauffe en fonction de l'écart entre la température ambiante mesurée et celle retenue pour consigne (fig. 17).

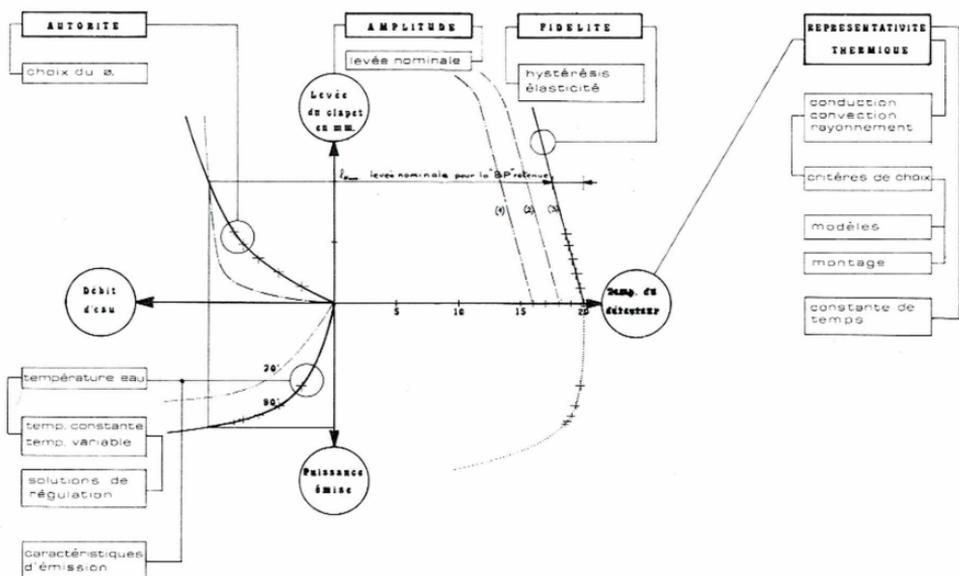


Fig. 17

Ce graphe est explicité par l'ensemble des figures 17a, b, c, d

L'analyse de cette fonction résultante (fig. 17 a) s'appuie sur l'étude des fonctions intermédiaires suivantes (fig. 17 b, c, d) :

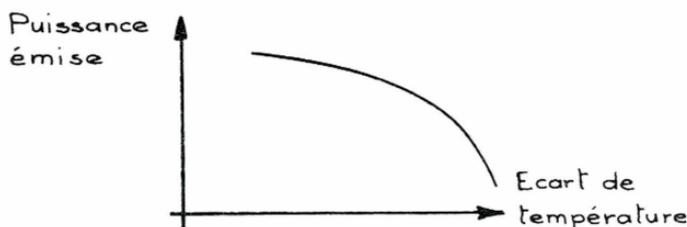
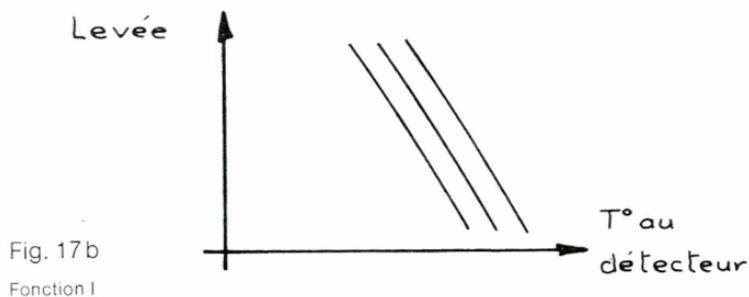
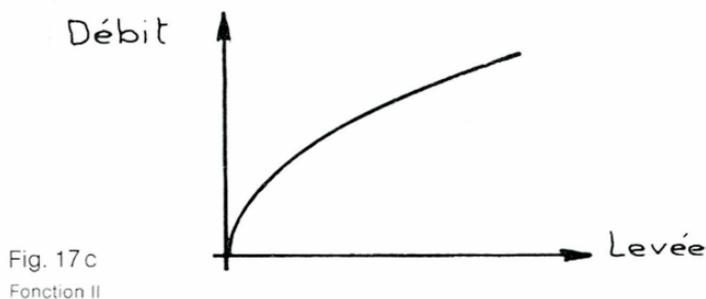


Fig. 17a

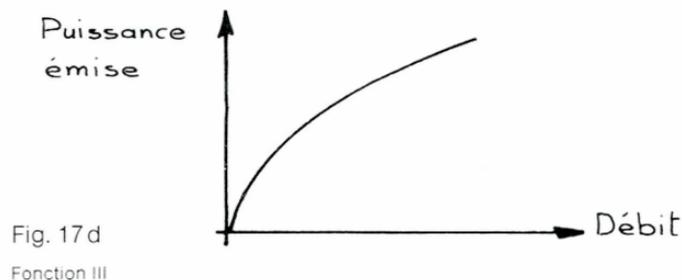
Fonction résultante



- Levée du clapet, fonction de l'écart entre la température au détecteur et la température de consigne (§ 3.1.) (fig. 17b).



- Débit d'eau, fonction de la levée du clapet (§ 3.2.) (fig. 17 c).



- Puissance émise, fonction du débit d'eau (§3.3.) (fig. 17 d).

Ces quatre fonctions sont reportées sur le graphe (fig. 18) suivant auquel on se référera chaque fois pour déterminer l'influence des différents paramètres.



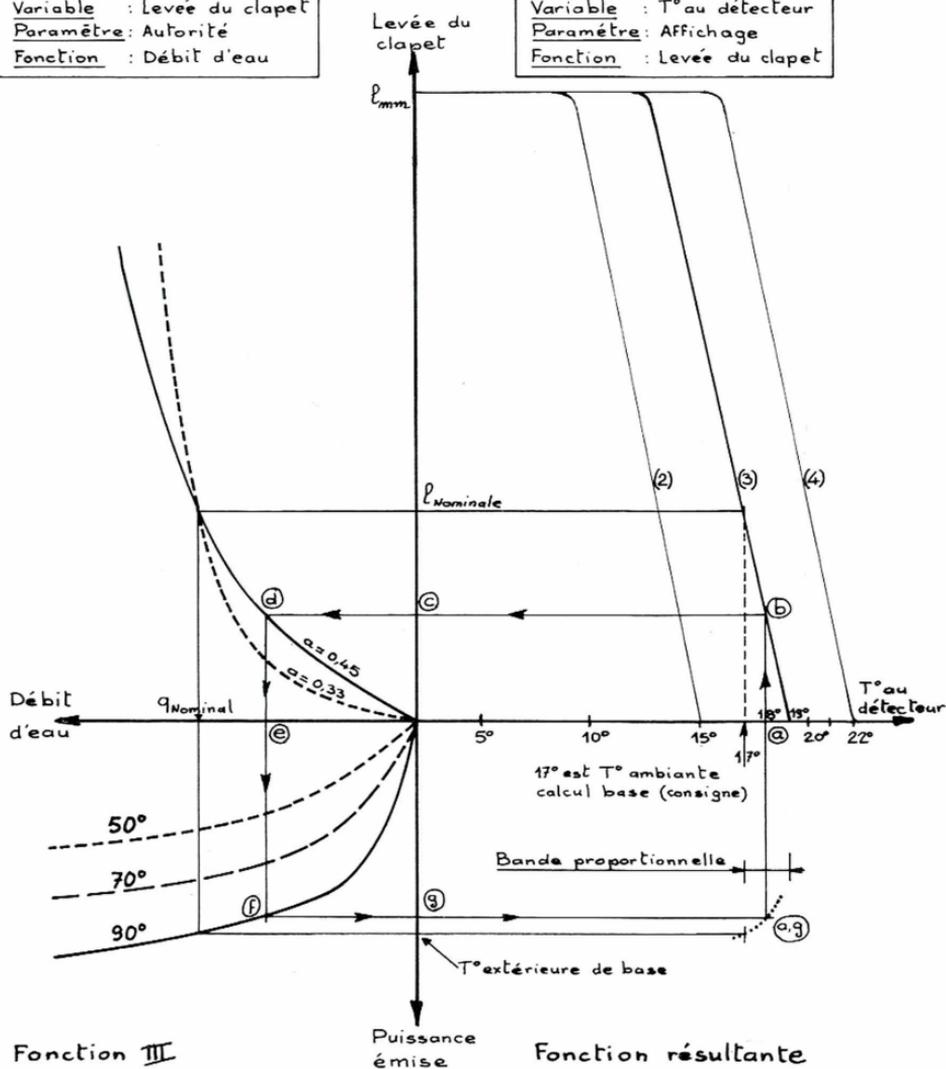
3.11. Exemple préliminaire

Fonction II

Variable : Levée du clapet
 Paramètre : Autorité
 Fonction : Débit d'eau

Fonction I

Variable : T° au détecteur
 Paramètre : Affichage
 Fonction : Levée du clapet



Fonction III

Variable : Débit d'eau
 Paramètre : Température d'eau
 Fonction : Puissance émise

Fonction résultante

Variable : Température au détecteur
 Paramètres : Fonctions I, II, III
 Fonction : Puissance émise

Fig. 18



Fonction I :

Soit une température de 18°C au détecteur (point a) le robinet thermostatique étant réglé sur la position d'affichage n°3 le point d'équilibre relevé (b) correspond à une levée de clapet (c).

Fonction II :

L'autorité de ce robinet thermostatique est supposée être de 0,45 ce qui, à une levée du clapet (c) fait correspondre le point (d) soit un débit d'eau (e).

Fonction III :

Sont représentées les lois d'émission du corps de chauffe sur lequel est installé ce robinet thermostatique pour différentes valeurs de températures d'entrée.

A un débit (e) pour une température d'eau de 90°C (f) correspond une puissance émise (g).

Fonction résultante :

On en déduit que pour une température au détecteur de 18°C (a) et dans les conditions précédemment exposées, la puissance émise est (g).

Conclusion :

1. Toute variation de la température ambiante mesurée au détecteur entraîne une variation de puissance émise, d'où la possibilité de tracer la fonction puissance en fonction de la température au détecteur pour un affichage donné.

2. Toute variation de l'un des paramètres entrant dans chacune des fonctions I à III, entraînera une modification de la fonction :

puissance = f (température détecteur).

CONCLUSION GENERALE

L'étude des fonctions intermédiaires a pour finalité de définir les caractéristiques et paramètres favorables à l'obtention d'une fonction résultante la plus progressive possible (proportionnelle).

3.2. Etude de la levée du clapet

Fonction I :

Examen des paramètres de la relation entre la température au détecteur et la levée du clapet :

– **Représentation thermique de la température au détecteur** : la température au détecteur doit être aussi proche que possible de celle de l'ambiance. L'influence sur la température au détecteur des phénomènes de conduction, convection et rayonnement doit être évaluée pour définir les choix technologiques et les critères de montage (bulbe incorporé ou non par exemple).

– **Paramètres de fidélité** : on désigne ici par fidélité l'aptitude du robinet thermostatique à retrouver la même levée du clapet pour une même valeur de la température au détecteur ceci pour une valeur d'affichage donnée constante.

Les paramètres à étudier sont :

- le temps de réponse,
- l'hystérésis,
- l'élasticité (influence de la pression statique et de la pression différentielle).

– **Amplitude de la levée du clapet** : pour une même température au détecteur, la levée du clapet dépend de la valeur d'affichage. L'amplitude de cette levée est donc fonction d'un écart entre la température mesurée et la température affichée. Cette amplitude débouche sur la notion de levée nominale.



3.21. Représentativité thermique

- a) Influence thermique sur le détecteur par conduction : des parties isolantes sont interposées dans l'assemblage des pièces constitutives du robinet thermostatique pour réduire au maximum l'influence de la température du fluide caloporteur sur le détecteur (fig. 19). Cette influence doit être inférieure à 2°C lorsque le fluide caloporteur est à 90°C .

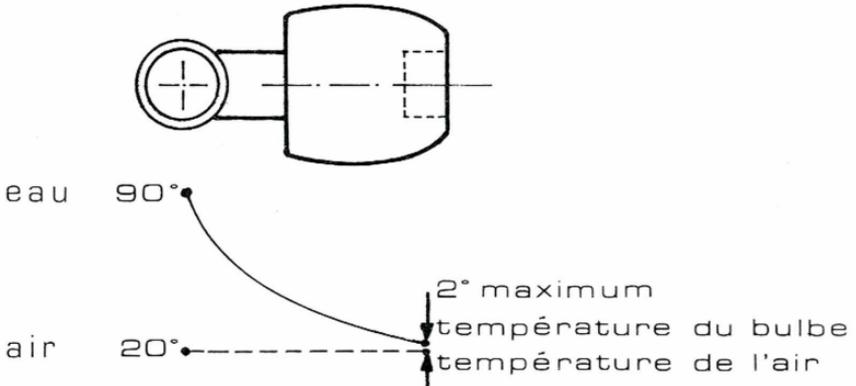


Fig. 19

- b) Influence thermique sur le détecteur par convection et rayonnement :

Le détecteur peut être influencé par rayonnement lorsqu'il se trouve à proximité du corps de chauffe (ex radiateur très large) et par convection si les conditions de montage l'empêchent d'être correctement ventilé (ex niche cache-radiateur) (fig. 20).

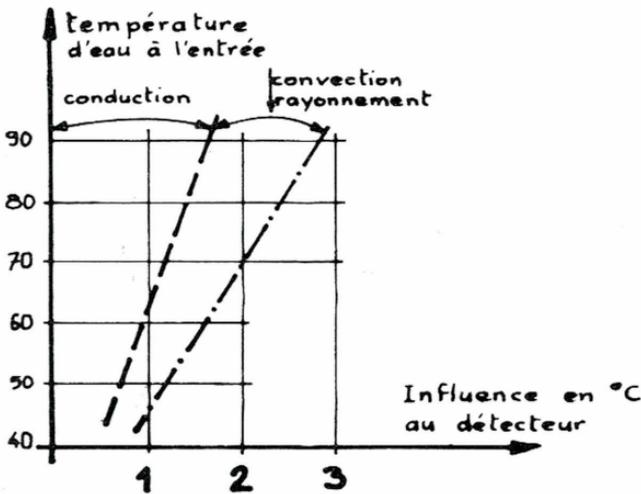


Fig. 20

- c) Conclusion sur les influences parasites : les influences parasites sont considérablement réduites par des précautions élémentaires de mise en œuvre mais ne peuvent être totalement supprimées.

Des mesures ont mis en évidence un décalage parallèle entre la température au détecteur et la température ambiante (fig. 21) ce qui peut justifier le choix d'un affichage par repères de préférence à un marquage en degré.

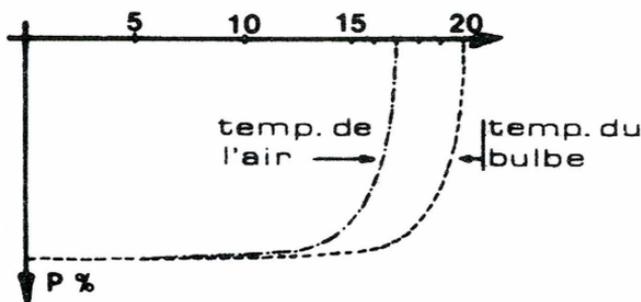


Fig. 21

3.22. Paramètres de fidélité

a) Temps de réponse :

Cette notion qualifie l'aptitude qu'a le robinet thermostatique à enregistrer les variations de température ambiante. Cette aptitude dépend de différents éléments constitutifs de la tête thermostatique (nature du thermostat) mais aussi de la manière dont le détecteur est « ventilé » ou non. On désigne par temps de réponse le temps que met le robinet thermostatique pour réaliser 63% de la levée du clapet entre deux états d'équilibre lors d'une brusque variation de la température ambiante (fig. 22).

De ce temps de réponse dépend en partie la stabilité de l'installation.

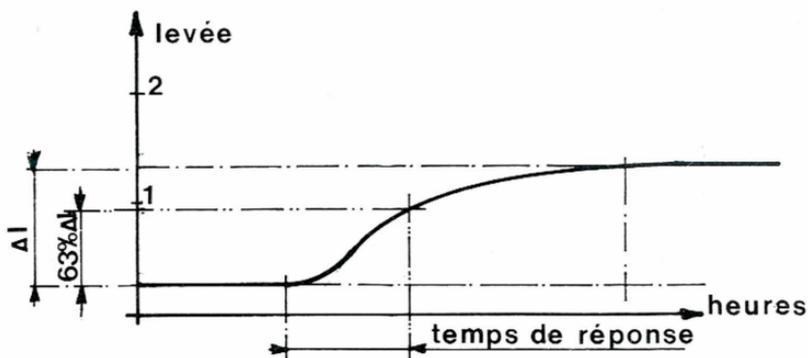


Fig. 22

b) Hystérésis :

Lorsque l'on trace les lois « levée clapet/température détecteur » pour des températures croissantes puis décroissantes, les levées obtenues pour les mêmes températures ne sont pas les mêmes.

On appelle hystérésis la valeur $\Delta\Theta$ (en ° C) écart de température (montée, descente) corrélatif à une même levée. La levée prise pour référence est la levée nominale (fig. 23).

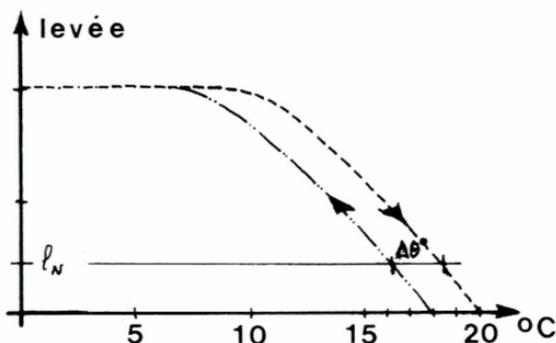


Fig. 23

c) **Elasticité** ou influence de la pression statique et de la pression différentielle.

Etant donné que le système de comparaison du robinet thermostatique s'appuie sur un équilibre de force, certains efforts parasites issus des frottements (tige de commande) et de la pression différentielle (clapet) viennent le modifier, ce qui entraîne une certaine disparité dans les courbes «levée clapet-température détecteur».

Ces influences traduites en $^\circ\text{C}$ de température au détecteur doivent demeurer inférieure à 2°C dans les conditions de pressions maximales admises par le constructeur (fig. 24).

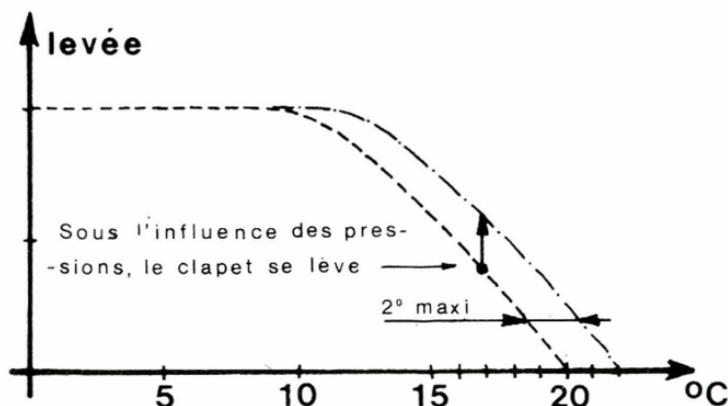


Fig. 24

3.23. Amplitude de la levée du clapet

La «bande proportionnelle» totale d'un robinet thermostatique est très large. En moyenne il faut une variation de température au détecteur de 6°C pour passer de l'ouverture totale du robinet à la fermeture totale.

L'on conçoit aisément qu'un tel écart est, sur le plan de la régulation inacceptable, tout comme le serait d'ailleurs un écart trop faible qui rendrait la régulation instable.

En définitive, c'est à partir d'une fraction de la levée totale du clapet, désignée levée nominale l_N , que sera définie la bande proportionnelle. Elle correspond aux 2°C nécessaires pour passer de la fermeture (à 21°C), à l'ouverture (à 19°C), le mouvement réalisé correspondant à la levée nominale (fig. 25 et fig. 18).

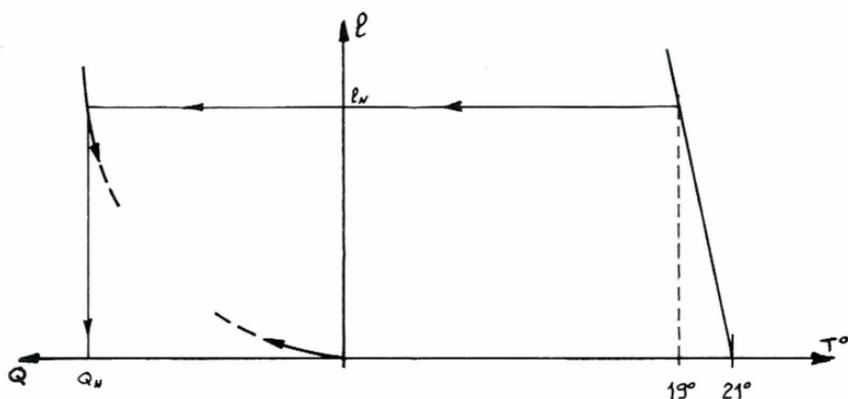


Fig. 25

3.3. Débit d'eau – Fonction de la levée du clapet

3.31. Définition du débit nominal. Q_N

Le débit nominal Q_N est le débit d'eau exprimé en m³h pour une perte de pression donnée lorsque la levée du clapet est la levée nominale.

3.32. Débit d'eau, fonction de la levée du clapet.

Cette fonction a pour paramètre prédominant l'autorité du robinet thermostatique.

3.321. Définition conventionnelle de l'autorité d'un robinet thermostatique :

L'autorité d'un robinet thermostatique est le rapport entre la perte de charge du robinet à sa levée nominale et la somme des pertes de charges du robinet et du tronçon (canalisation, corps de chauffe, raccord réglable) sur lequel le robinet est monté.

3.322. Progressivité du réglage du débit :

Dans le cas du robinet thermostatique, la progressivité du réglage du débit sera d'autant meilleure que l'autorité du robinet sera grande.

A une autorité faible correspondra un manque total de progressivité.

On retiendra que l'autorité nominale a sera 0,3.

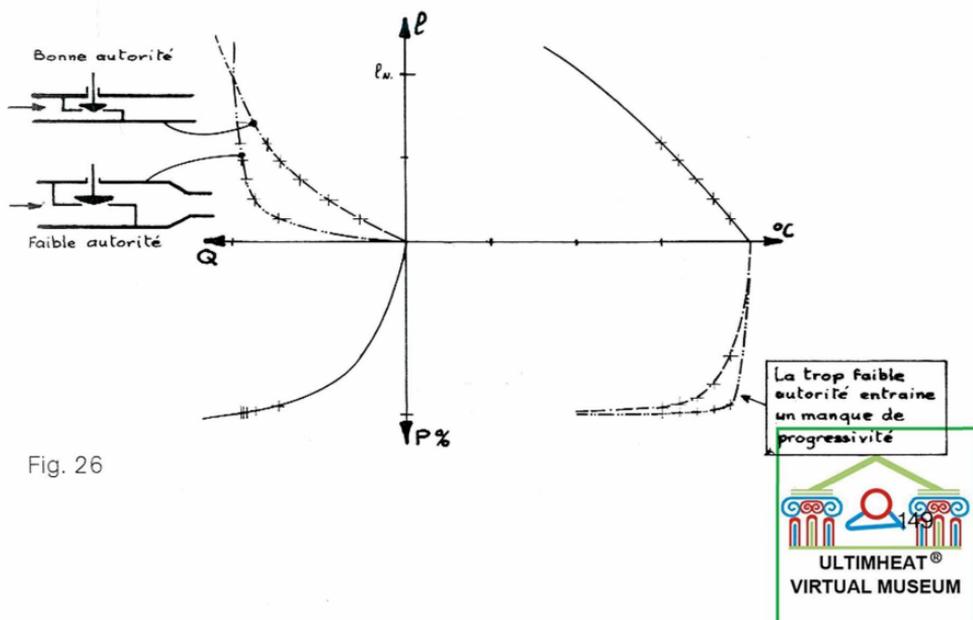


Fig. 26

3.4. Puissance émise, fonction du débit : fonction III.

La variation de la puissance du corps de chauffe est très sensible à faible débit et peu importante à fort débit (fig. 27).

La progressivité est mieux assurée si,

- la chute nominale de température dans l'émetteur est élevée (supérieure à 10°C);
- le débit est faible.

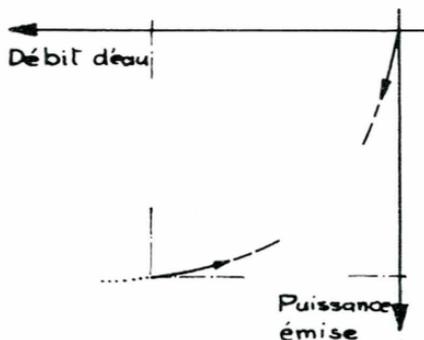


Fig. 27

Un paramètre important est ici la température de l'eau. Celle-ci doit-elle être constante?

A forte charge le problème ne se pose pas.

A faible charge, on constate une meilleure progressivité avec une température d'eau plus faible, ceci justifiant la mise en place d'un dispositif de mélange (régulation centrale) (fig. 28).

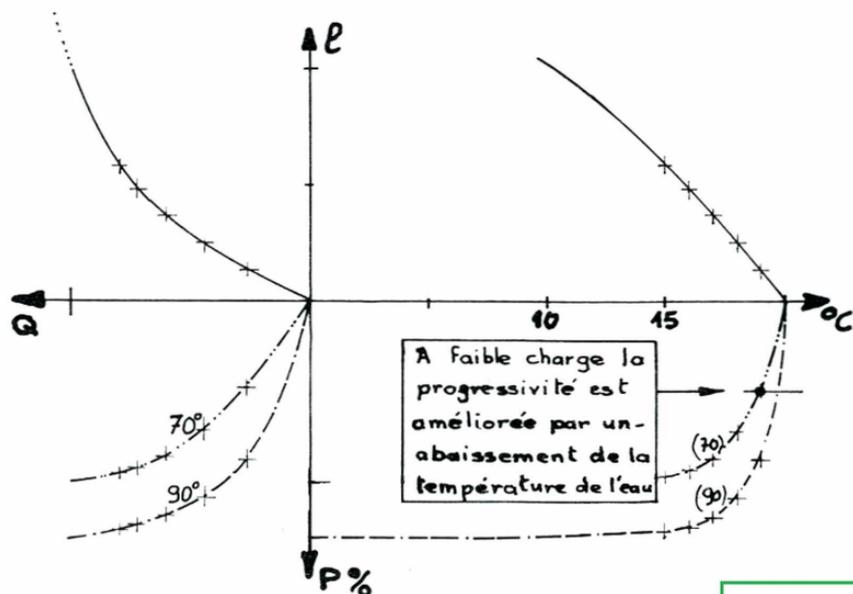


Fig. 28

4. APPLICATIONS.

4.1. Choix du diamètre du robinet.

Le diamètre du robinet sera choisi en fonction du débit et de la perte de charge (autorité) à l'aide des tableaux fournis par les constructeurs ou à défaut à l'aide du tableau ci-dessous (fig. 29).

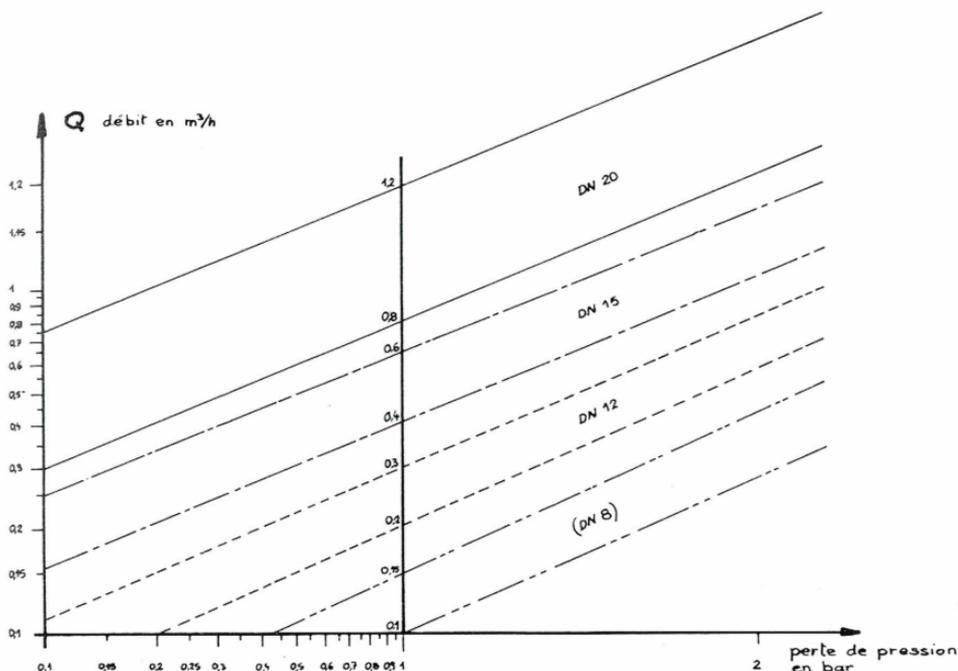


Fig. 29

4.2. Conditions nécessaires pour une bonne régulation.

- Assurer la représentativité thermique de la température ambiante (position du détecteur fonction de l'émetteur et de l'environnement).
- Déterminer un robinet ayant : une bonne autorité; une bande proportionnelle compatible avec les critères de stabilité connus ($1,5^{\circ} \leq Bp \leq 3^{\circ}C$).
- Moduler la température de l'eau en fonction de la charge.
- Choisir des robinets thermostatiques de qualité.
- Se reporter à la figure 17 pour évaluer l'importance des différents paramètres sur une installation.

4.3. Précautions dans l'usage des robinets thermostatiques 2 voies.

L'usage des robinets thermostatiques à 2 voies implique un bon équilibrage de l'installation tant au niveau des colonnes de distribution qu'au niveau des corps de chauffe de manière à ce que chaque élément soit irrigué dans les conditions nominales par le débit qui lui est dû (débit nominal).

De plus, il faut veiller à ce que la pression différentielle maximale dans l'installation (tous les robinets fermés sauf un) soit compatible avec la pression maximale annoncée par le constructeur sinon il faut exercer un contrôle au niveau de cette pression différentielle.



CHAPITRE XI

Programmation - Optimisation Principes

1. REGULATION ET PROGRAMMATION.

La température extérieure n'est pas stable, les besoins sont très variables suivant l'occupation et l'activité; la régulation automatique du chauffage a pour but d'améliorer le confort en maintenant l'ambiance désirée, et pour conséquence d'abaisser la consommation d'énergie en adaptant la fourniture de calories aux besoins, de jour comme de nuit.

Deux anomalies remarquables :

Première anomalie : les déperditions étant proportionnelles à l'écart entre la température extérieure et la température intérieure, on constate pour maintenir une ambiance nocturne stable une consommation plus importante la nuit que le jour. Or cet accroissement correspond soit à une inoccupation (cas des immeubles de bureaux) soit dans le cas des logements à la période de non activité. Il n'est donc pas préjudiciable de réduire le chauffage la nuit et c'est un facteur important d'économie.

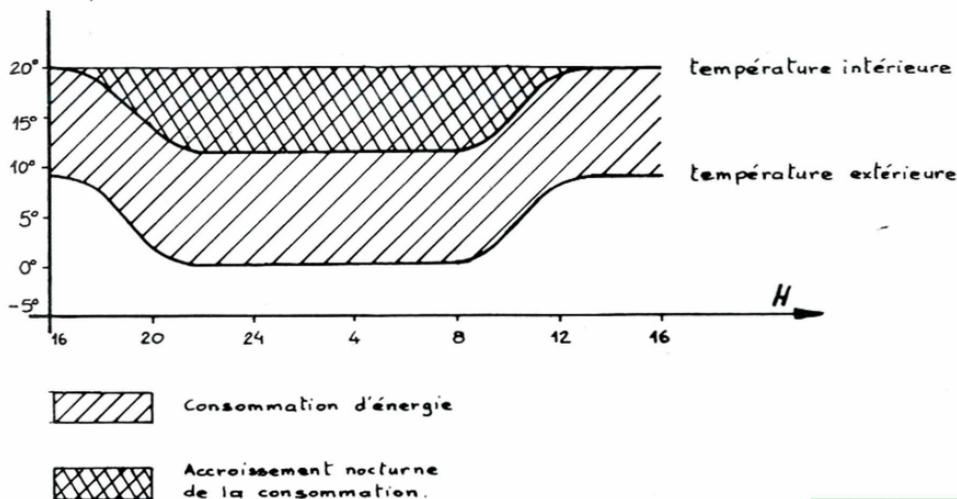


Fig. 1



Deuxième anomalie : alors que les différents systèmes de régulation tiennent compte des différents paramètres climatiques pour ajuster l'allure du chauffage, ils sont très souvent installés sans système de programmation automatique. Le réglage manuel ne peut être jugé satisfaisant sur le plan confort lors de la commande de remise en température (le matin par exemple).

2. DETERMINATION DU POINT DE DEMARRAGE.

Le problème essentiel à résoudre est de garantir une ambiance satisfaisante dès le début de la période d'occupation (ou d'activité). Pour une allure de chauffe donnée, le point de démarrage change avec les conditions saisonnières.

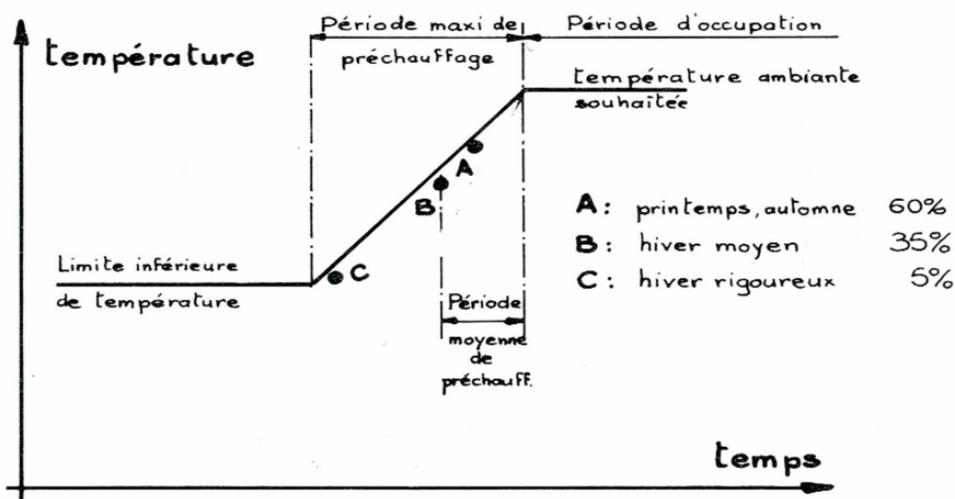


Fig. 2

L'analyse de ces variations saisonnières conduit à distinguer deux cas en fonction de la valeur de la limite inférieure de température. En fait, cela revient à distinguer le faible abaissement de température (2° à 4° en ambiance), de l'abaissement plus important possible pour un immeuble à occupation intermittente.

3. IMMEUBLE A OCCUPATION PERMANENTE (Programmation).

On pourra admettre ici un point de démarrage fixe (fig. 3) sachant que par temps doux la température «jour» sera atteinte un peu avant l'heure prévue (fig. 4) et qu'inversement par temps très froid elle sera atteinte après l'heure fixée (fig. 5).

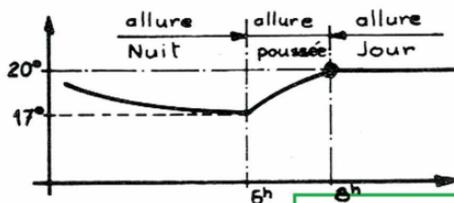


Fig. 3



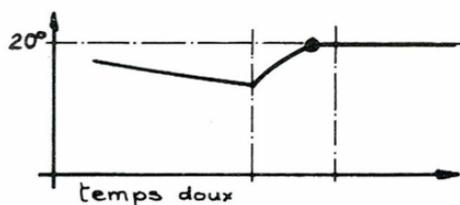


Fig. 4

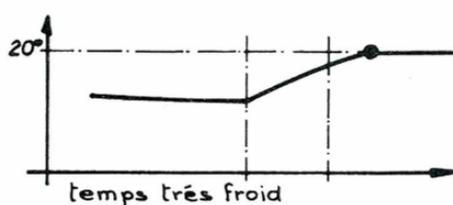


Fig. 5

Pour réduire cette variation, l'interrupteur horaire pourra, au lieu de passer directement de la loi de correspondance «nuit» à celle de «jour», passer une troisième loi dite «d'allure poussée» pendant un temps défini.

Cette loi d'allure poussée est obtenue soit par un décalage parallèle (fig. 6), soit par un décalage angulaire (fig. 7) de la loi de correspondance du régulateur.

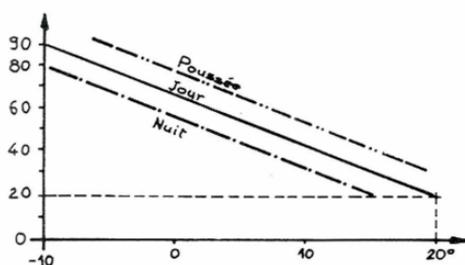


Fig. 6

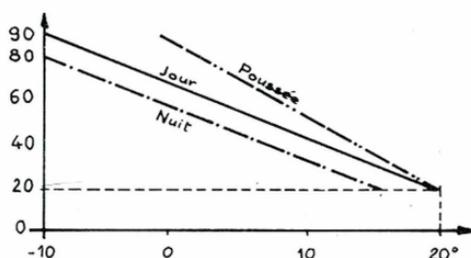


Fig. 7

4. IMMEUBLE A OCCUPATION INTERMITTENTE.

– Programmation

La caractéristique importante de l'occupation intermittente est l'écart important de température possible entre les périodes d'occupation et d'inoccupation.

Le principe même de la programmation étant une remise en marche à une heure fixe (choisie), il pourra se produire au cours de l'hiver des variations importantes de l'heure à laquelle la température d'occupation sera atteinte. Cela entraînera soit un inconfort, soit une dépense inutile.

Une façon de remédier à cet inconvénient est de modifier le «programme» c'est-à-dire l'heure de remise en marche en fonction du déroulement de la saison de chauffe.

Point A (fig. 2) de remise en marche au printemps et en automne.

Point B ou C (fig. 2) au coeur de l'hiver.

– Optimisation

Contrairement au ralenti nocturne (point de démarrage fixe), c'est dans le cas d'une optimisation le point correspondant au début de l'occupation qui doit être fixe.

Le point de démarrage, variable, va dépendre des valeurs de la température ambiante résultante, de la température extérieure, de la surpuissance de l'installation de chauffage (fig. 8).



CHAPITRE XII

Bibliographie réglementaire

LA LOI ET LA REGULATION DE CHAUFFAGE.

De nombreux textes réglementaires, en application de la Loi relative aux économies d'énergie, sont parus. Ils couvrent l'ensemble du domaine bâti français (bâtiments neufs ou existants, logements ou locaux à autres usages), et font apparaître un besoin de classification et un rappel des exigences essentielles de ces différents textes, avec leurs références.

1. LOI RELATIVE AUX ECONOMIES D'ENERGIE.

Loi 74 908 du 29 octobre 1974 (J. O. du 31 octobre 1974).

COPROPRIETE : travaux de régulation décidés à la majorité simple

L'article 7 de cette loi, en modification de l'alinéa 1er de l'article 25 de la loi 65-557 du 10 juillet 1965 fixant le statut de la copropriété des immeubles bâtis, relative aux économies d'énergie, les travaux de régulation et d'équilibre des installations de chauffage, sont désormais décidés à la majorité simple, à la 2e réunion de l'Assemblée générale si la majorité absolue n'a pas été obtenue à la première réunion.

2. LOGEMENTS NEUFS :

Arrêté du 10 avril 1974 relatif à l'isolation thermique et au réglage automatique (art. 4) des installations de chauffage dans les bâtiments d'habitation (J. O. du 18 avril 1974).

Les logements neufs (art. 6) : Toutes constructions ayant fait l'objet d'une demande de permis de construire, d'une demande de prorogation de permis de construire, ou d'une déclaration préalable au sens de l'article L. 430-3 (arrêté du 2 août 1976) du Code de l'urbanisme, à compter des dates suivantes :

- le 1er mai 1974 pour les prescriptions «1ère phase»;
- le 1er juillet 1975 pour les prescriptions «2e phase».

De plus, toutes les constructions qui feront l'objet d'une déclaration d'achèvement de travaux au sens de l'article R 460-1 du code de l'urbanisme, postérieure à la date du 31 décembre 1978 devront être conformes aux prescriptions 2e phase, et ce, quelle que soit la date de la demande de permis de construire ou de la déclaration préalable de travaux.



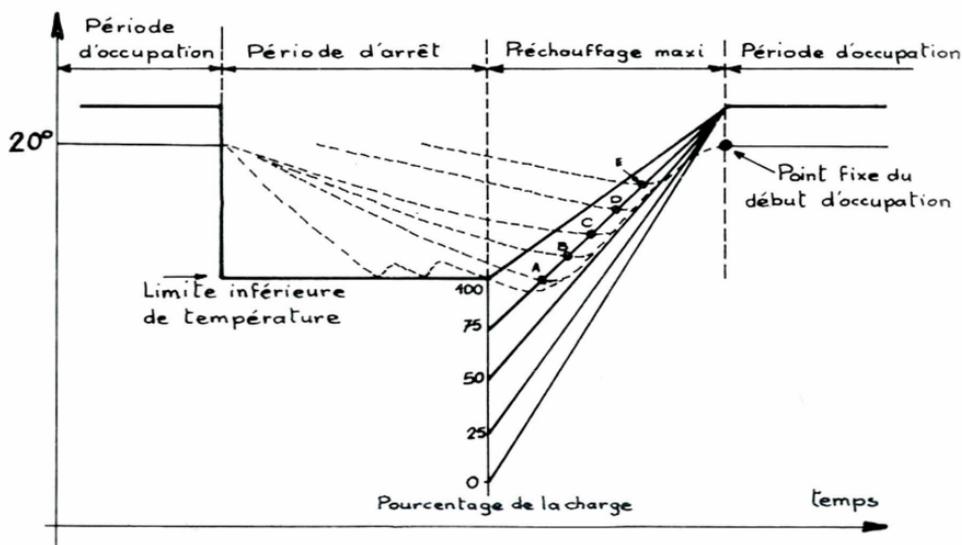


Fig. 8

Pendant l'inoccupation, la température interne n'a pour limite basse que les protections diverses :

- matériels,
- circuits d'eau (antigel),
- migration d'eau dans les murs (+ quelques degrés par rapport à l'extérieur).

5. FACTEURS D'ECONOMIES OBTENUES PAR LA PROGRAMMATION ET L'OPTIMISATION :

Le pourcentage d'économie de combustible à envisager dépend de la façon dont l'installation de chauffage fonctionnait précédemment; les facteurs à retenir pour évaluer l'économie sont :

- Le rapport du temps d'inoccupation sur le temps d'occupation :
- La durée des périodes d'inoccupation (une période de 48 heures fait réaliser plus d'économies que 4 fois 12 heures).
- La surpuissance des sources de chaleur,
- L'isolation thermique et l'inertie du bâtiment :

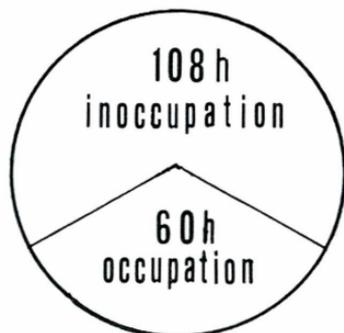


Fig. 9

Exemple :

un immeuble à usage de bureaux n'est occupé en une semaine que pendant $5 \times 12 = 60$ heures, il est inoccupé 108 heures.

Chauffage individuel (logements neufs) (art. 4) : Un dispositif par logement ou par pièce, réglant la fourniture de chaleur en fonction soit de la température extérieure, soit de la température intérieure. Ces prescriptions ne sont pas applicables aux générateurs individuels dont le principe de fonctionnement n'autorise que le réglage manuel.

Chauffage collectif (logements neufs)

1re phase (art. 4) :

Un dispositif par bâtiment ou par ensemble de bâtiments thermiquement homogènes (arrêté du 2 août 1976) réglant la fourniture de chaleur en fonction de la température extérieure.

2e phase :

L'installation doit comporter des dispositifs complémentaires par pièce, par logement, ou par partie de bâtiment ayant pour objet d'éviter automatiquement que la fourniture de chaleur n'excède les besoins, compte-tenu en particulier des influences autres que celle de la température extérieure.

Ensemble de bâtiments thermiquement homogènes : ils satisfont les trois conditions suivantes :

1. Ils ont le même type d'occupation, ce qui est le cas s'ils sont tous et exclusivement à usage de logements.
2. Ils ont une isolation thermique identique.
3. Ils ont une inertie thermique identique, ce qui est le cas s'ils sont réalisés selon un même procédé ou avec des technologies communes.

Chauffage mixte (logements neufs) (art. 4).

Pour la partie collective :

Un dispositif par bâtiment ou par ensemble de bâtiments thermiquement homogènes, réglant la fourniture de chaleur en fonction de la température extérieure.

Pour la partie individuelle :

Un dispositif par logement ou par pièce, réglant la fourniture de chaleur en fonction de la température intérieure.

3. LOGEMENTS EXISTANTS :

Décret 75-495 du 19 juin 1975 relatif à la régulation des installations de chauffage des locaux (J. O. du 20 juin 1975).

La Régulation (art. 2) d'une installation de chauffage consiste en un ou plusieurs dispositifs permettant de régler **automatiquement** la fourniture de chaleur dans les locaux en fonction des températures extérieure et intérieure, ou de l'une de ces températures.

La puissance (art. 2) d'une installation de chauffage est définie comme le produit de la quantité de combustible **consommée** à l'heure, en marche continue maximale par le pouvoir calorifique inférieur de ce combustible.

Puissance consommée : Dans le cas où cette puissance n'est pas donnée explicitement, elle sera prise égale à 125% de la puissance nominale fournie indiquée par le constructeur (31 juillet 1975).

Puissance consommée comprise entre 31 kW (26.600 kcal/h) (art. 31) et 250 kW (215.000 kcal/h) (construction existante) :

Toute installation de chauffage située dans cette gamme doit comporter au moins une régulation par bâtiment avant le 15 septembre 1976.

Puissance consommée supérieure à 250 kW (21.500 kcal/h) (art. 32) (construction existante) :

Toute installation de chauffage d'une puissance consommée supérieure à cette



valeur doit comporter au moins, une régulation en fonction de l'extérieur avant le 15 septembre 1975.

Dérogation : ces dispositions ne sont pas applicables dans le cas de générateurs à combustibles solides, à chargement et conduite manuels, pour les installations de chauffage d'une puissance inférieure à 1.000 kW mises en service avant le 1er janvier 1976.

4. LOCAUX A USAGE AUTRE QUE D'HABITATION (bureaux, commerces, ateliers, écoles...)

Locaux neufs : dans l'attente de texte réglementaire la définition suivante sera retenue : «toute installation de chauffage doit comporter, de construction, une ou plusieurs régulations, telles que la fourniture de chaleur soit limitée aux besoins correspondant aux valeurs maximales de température ou de renouvellement d'air fixées par la réglementation».

– Dérogation :

Une régulation ne peut être commune à plusieurs locaux que si l'une des deux conditions est satisfaite :

- la puissance de l'installation est inférieure à 10 kW;
- le type d'émetteurs, la destination, et l'exposition sont identiques pour au moins les trois quarts du volume, ce volume est inférieur à 600 m³.

– Programmation :

Elle est obligatoire et ne peut être commune qu'à des locaux présentant les mêmes conditions d'occupation ou d'utilisation.

Locaux existants :

Ces locaux relèvent du décret 75-495 du 19 juin 1975 également applicable aux logements existants.

Les situations sont d'une variété telle que la mise en place d'une réglementation nécessite une étude dans chaque cas. Le type de régulation varie essentiellement en fonction :

- de la nature des locaux,
- du type d'activité,
- du type d'occupation.

5. AVANTAGES FISCAUX

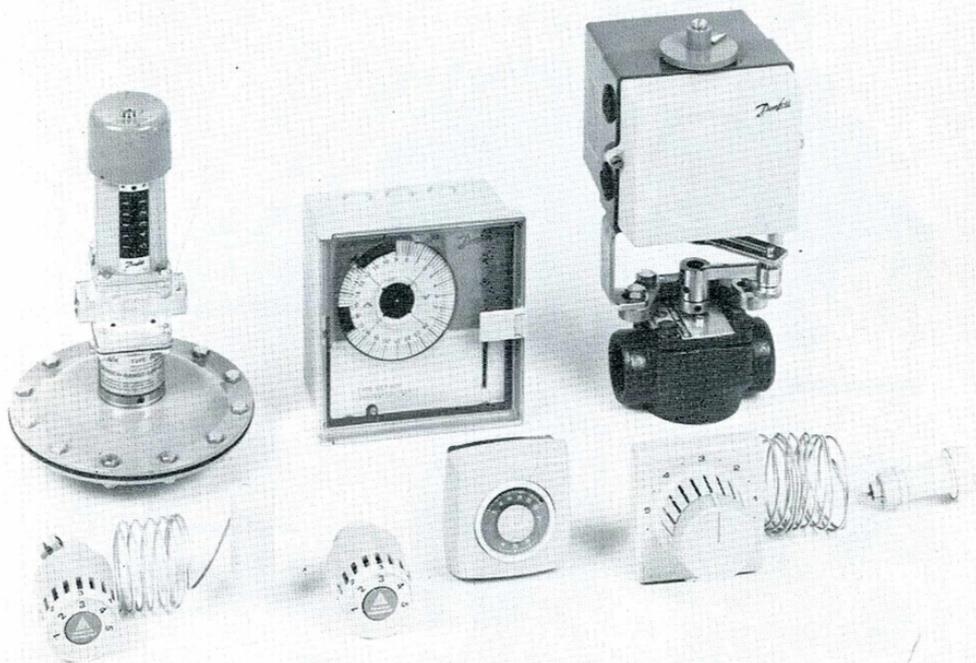
Loi de Finances 74-1129 du 30 décembre 1974, art. 08 :

Les dépenses effectuées par un contribuable pour sa résidence principale, qu'il soit ou non propriétaire, et ayant pour objet d'améliorer la mesure et la régulation du chauffage sont déductibles du revenu global dans la limite de 7.000 F par contribuable plus 1.000 F par personne à charge.

Ces dispositions sont réservées aux logements existants ou dont le permis de construire a été demandé avant le 1er mai 1974. Suivant cette classification, l'Association CONFORT-REGULATION diffuse une plaquette intitulée «LA LOI ET LA REGULATION DE CHAUFFAGE» dans laquelle une double page est consacrée à chacun des cas évoqués. Face aux rappels essentiels de la Réglementation, enrichis de commentaires, figurent des exemples de solutions.



DANFOSS



Danfoss

Danfoss SARL

B.P. 310 - 92003 NANTERRE CEDEX
350. avenue G. Clemenceau
Tél. : 204.48.47
Télex : 612 677 F

Agences Régionales

69009 LYON
18. avenue Sidoine Apollinaire
Tél. : (78) 83-35-33
Télex : 900 445 F

59700 MARC EN BARCEUL
11 ter. allée Gabriel
Tél. : (20) 72-08-85

13002 MARSEILLE
58. avenue Robert Schuman
Tél. : (91) 90-63-45

44000 NANTES
12. quai de Versailles
Tél. : (40) 71-51-08 - 20-16-90

67000 STRASBOURG
68. boulevard Clemenceau
Tél. : (88) 36-34-37 - 36-03-02

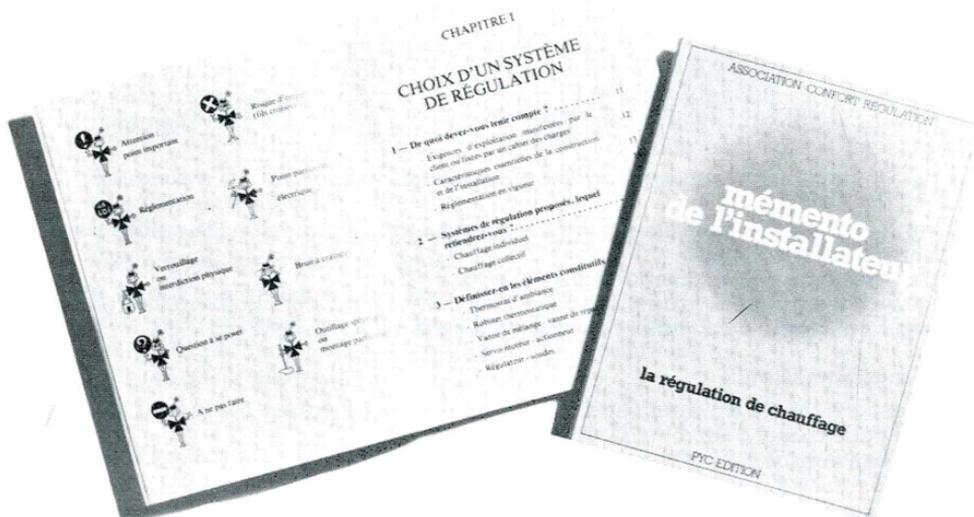
31000 TOULOUSE
12. boulevard Lazare Carnot
Tél. : (61) 62-56-57



MEMENTO DE L'INSTALLATEUR

la régulation de chauffage

OUVRAGE DE L'ASSOCIATION CONFORT REGULATION
Edition 1979, 155 × 210, 176 pages, nombreuses illustrations



Après le Guide de la Régulation, l'Association Confort Régulation¹ a conçu à l'intention des installateurs et chefs de chantier un ouvrage pratique qui devrait leur permettre :

- de choisir le meilleur système de régulation selon le type d'installations (individuelle ou collective, résidentielle ou tertiaire...),
- de trouver des conseils sur la mise en œuvre et la pose des matériels : choix et position des sondes, des vannes, rappel des notions indispensables,
- d'éviter — ou en tout cas limiter — les erreurs et incidents de chantiers, donc de gagner du temps et de réaliser une économie.

Au fil des pages, Régulette, petit personnage sympathique et ange gardien du lecteur, le guide en attirant son attention sur chaque point essentiel. Après des chapitres pratiques (choix d'un système de régulation, mise en place, procédure de mise en service ou dépannage), les pages roses rappellent les notions indispensables (hydraulique, électricité, unités, renseignements divers).

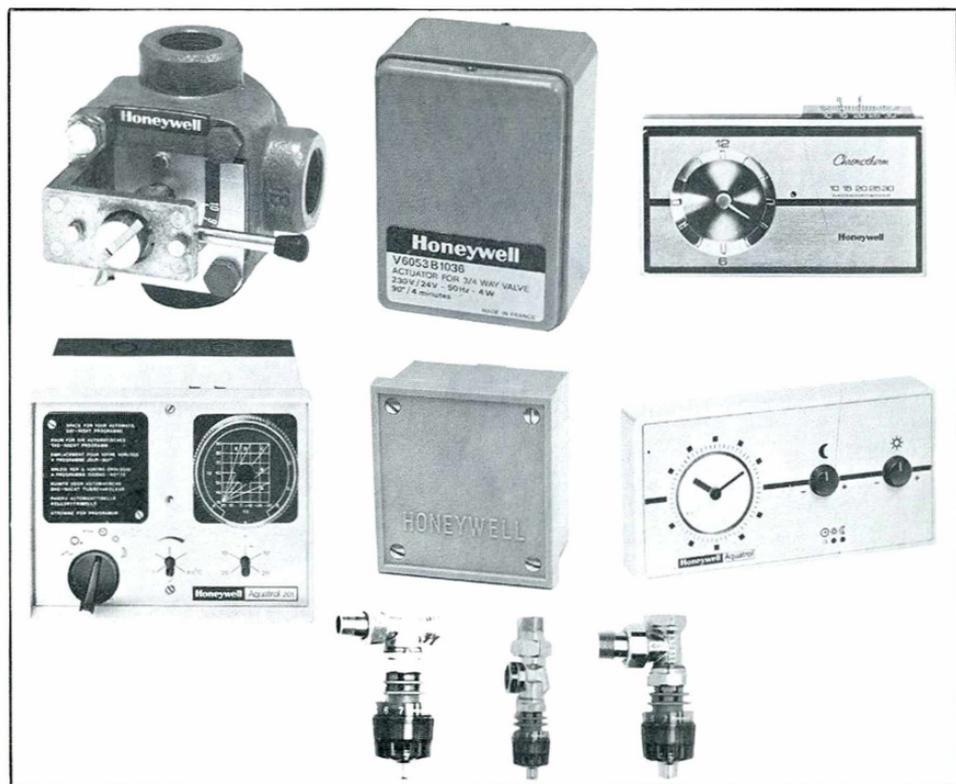
Cet ouvrage clair et essentiellement pratique devrait rapidement devenir le vade-mecum des chauffagistes et de leur personnel d'installation.

1. Membres de l'Association Confort Régulation : Danfoss, Honeywell, Landi, Myson, Pont-à-Mousson S.A., Samson Régulation, Sauter Appareils automatiques, ULTRHEAT®, VIRTUAL MUSEUM



Honeywell

RÉGULATION DU CHAUFFAGE



CONDITIONNEMENT D'AIR

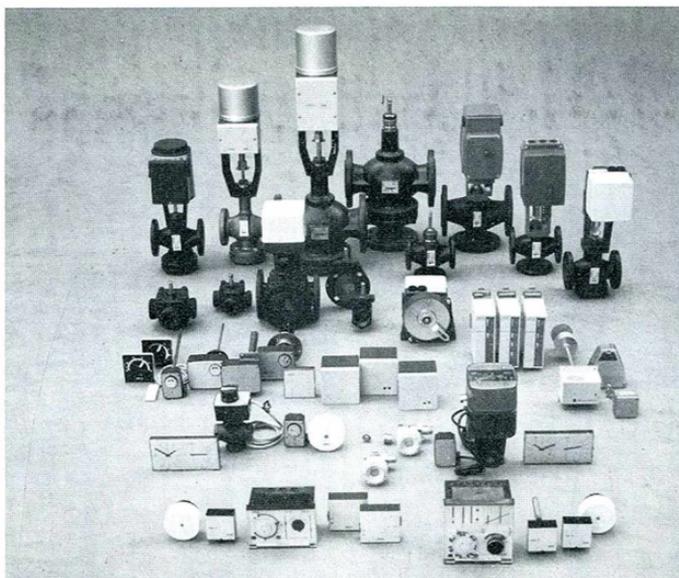
HONEYWELL S.A.
4, avenue Ampère
78390 BOIS D'ARCY
Tél. (1) 043.81.31

HONEYWELL S.A.
93, rue Marius-Berliet
69008 LYON
Tél. (78) 72.14.35

LISTE DES POINTS DE VENTE SUR DEMANDE



LANDIS & GYR



LANDIS & GYR

LANDIS & GYR
16, boulevard Général-Leclerc
92115 Clichy
Tél. 739.33.84
Télex Landigyrr 630 893

Agences régionales

Agence de Bordeaux

33, avenue du Lycée
33400 Talence
Tél. (56) 80.73.25 - 80.78.32

Agence de Cl.-Ferrand

2 bis, chem. de Champratel
La Plaine
63100 Clermont-Ferrand
Tél. (73) 24.08.22

Agence de Dijon

23 bis, boulevard Henri-Bazin
21300 Chenove
Tél. (80) 41.39.34

Agence de Grenoble

4, rue Montesquieu
38100 Grenoble
Tél. (76) 87.67.41

Agence de Lille

24, avenue des Fleurs

59100 La Madeleine-lez-Lille
Tél. (20) 55.61.95

Agence de Lyon

330 a, Balmont Ouest
La Duchère
69009 Lyon
Tél. (78) 35.24.34

Agence de Marseille

50, rue Raphaël
13008 Marseille
Tél. (91) 71.82.90

Agence de Nantes

20, avenue Poulain
44000 Nantes
Tél. (40) 76.64.46

Agence de Paris

Pantin Citrail - Module n° 8
110 bis, av. Général-Leclerc
93500 Pantin
Tél. 846.36.66

Agence de Rouen

Résidence Beauvallon
132, rue de Lausanne
76000 Rouen
Tél. (35) 70.98.81

Agence de Strasbourg

Le Colisée
6, rue de Rome
67000 Strasbourg
Tél. (88) 60.05.30

Agence de Toulouse

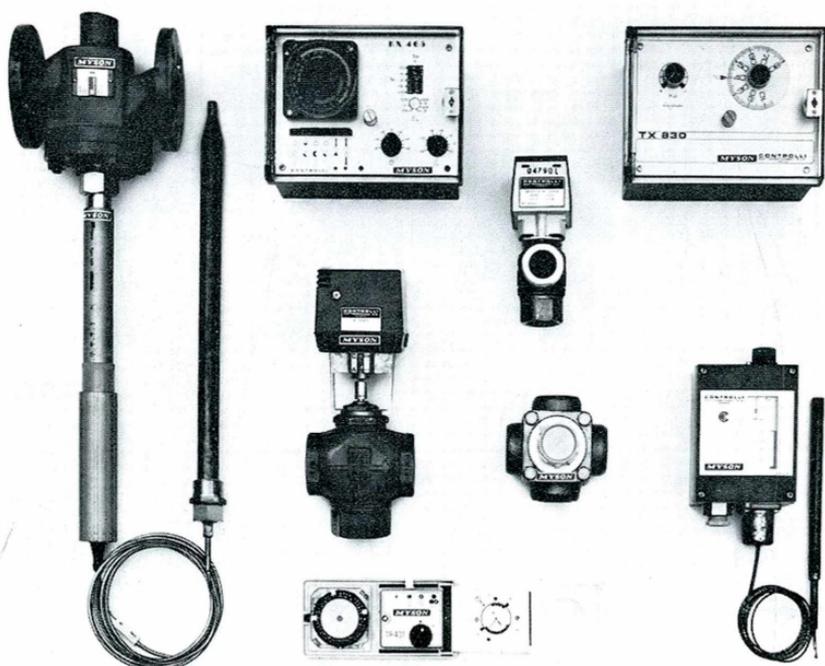
3, rue Jacques-Roudil
31300 Toulouse
Tél. (61) 42.68.29

Représentation de Tours Société Malbec et Cie

17, rue du Luxembourg
Zone industrielle
37100 Tours 02
Tél. (47) 54.43.96



MYSON



MYSON

MYSON S.A.

Siège social

42-44, rue Paul-Vaillant-Couturier
92240 MALAKOFF
Tél. (1) 657.41.41 +. Télex 204 616 F

Agences régionales

Agence Est

29 A, avenue Jean-Jaurès
67100 STRASBOURG NEUDORF
Tél. (88) 34.43.33 +

Agence Méditerranée

11, rue du Gaz-du-Midi
13008 MARSEILLE
Tél. (91) 79.30.70

Agence Nord

4, rue de Rocroy
59000 LILLE
Tél. (20) 52.39.02

Agence Ouest

(Aquitaine-Bretagne-Normandie)
54, quai Vendevre
14300 CAEN
Tél. (31) 76.20.98

Agence Paris et Centre

42-44, rue Paul-Vaillant-Couturier
92240 MALAKOFF
Tél. (1) 657.41.41 +

Agence Rhône-Alpes

32, rue Michel-Duplessis
69100 VILLEURBANNE
Tél. (78) 84.90.39

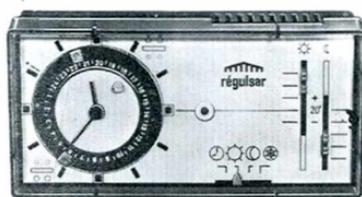


PONT-A-MOUSSON

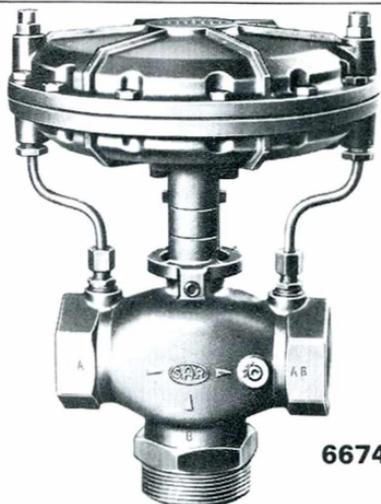
LA ROBINETTERIE DE PRECISION



803



Boîtier



66740



PONT-A-MOUSSON S.A.

Chauffage - Sanitaire

91, Avenue de la Libération
Lettres : 4 X 54017 NANCY CEDEX

Tél. : (8) 396.81.21

Télex : PAMSA X 850 003 F

Agences régionales :

• Succursale de Bordeaux

44, rue Montméjan, B.P. 41
33015 Bordeaux Bastide Cedex
Tél. : (56) 86.20.00
Télex : 570.549

Départements : Charente, Charente-Maritime,
Corrèze, Creuse, Dordogne, Gironde,
Landes, Lot-et-Garonne, Haute-Vienne,
Pyrénées-Atlantiques.

• Succursale de Lille

60/64, rue Alexandre Desrousseaux,
B.P. 52 59160 Lomme-lez-Lille.
Tél. : (20) 92.04.55
Télex : 810.736

Départements : Aisne, Nord,
Pas-de-Calais, Somme.

• Succursale de Lyon

1, rue Albert Einstein, B.P. 30
69631 Venissieux
Tél. : (78) 70.53.90
Télex : 300.563
Départements : Ain, Allier, Côte-d'Or,
Isère, Jura, Loire, Haute-Loire,
Puy-de-Dôme, Rhône, Saône-et-Loire,
Savoie, Haute-Savoie

• Succursale de Marseille

122, Chemin de Sormiou
13297 Marseille Cedex 2
Tél. : (91) 73.90.07
Télex : 410.723
Départements : Alpes de Haute-Provence,
Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes, Ardèche,
Bouches-du-Rhône, Corse, Drôme,
Gard, Hérault, Var, Vaucluse.

• Succursale de Montreuil

4, Rue des Lilas,
93106 Montreuil Cedex.
Tél. : (1) 858.90.95
Télex : 220.995.

Départements : Essonne, Eure,
Hauts-de-Seine, Oise, Paris,
Seine-Maritime, Seine-et-Marne,
Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne,
Val-d'Oise, Yvelines.

• Succursale de Nancy

61, rue Hermite, B.P. 3349,
54014 Nancy Cedex
Tél. : (83) 35.45.97
Télex : 960.147

Départements : Ardennes, Aube, Marne,
Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse,
Moselle, Haute-Saône, Vosges.

• Succursale de Nantes

6, Avenue du Marché Commun,
Case postale 1905
44084 Nantes Cedex
Tél. : (40) 49.00.86
Télex : 711.449
Départements : Loire-Atlantique,
Maine-et-Loire, Deux-Sèvres,
Vendée, Vienne.

• Succursale d'Orléans

9, bd Motte Sanguin,
45015 Orléans Cedex.
Tél. : (38) 87.66.45
Télex : 760.587
Départements : Cher, Eure-et-Loir,
Indre, Indre-et-Loire,
Loir-et-Cher, Loiret, Nièvre, Yonne.

• Succursale de Rennes

Rue du Manoir de Servigné,
35013 Rennes St-Cyr Cedex
Tél. : (99) 59.07.90.
Télex : 740.722.

Départements : Calvados, Côtes-du-Nord,
Finistère, Ille-et-Vilaine, Manche
Mayenne, Morbihan, Orne, Sarthe.

• Succursale de Strasbourg

3 bis, rue du Havre, BP 109
67028 Strasbourg Neudorf Cedex 2
Tél. : (88) 34.14.92
Télex : 880.038

Départements : Territoire de Belfort,
Doubs, Bas-Rhin, Haut-Rhin.

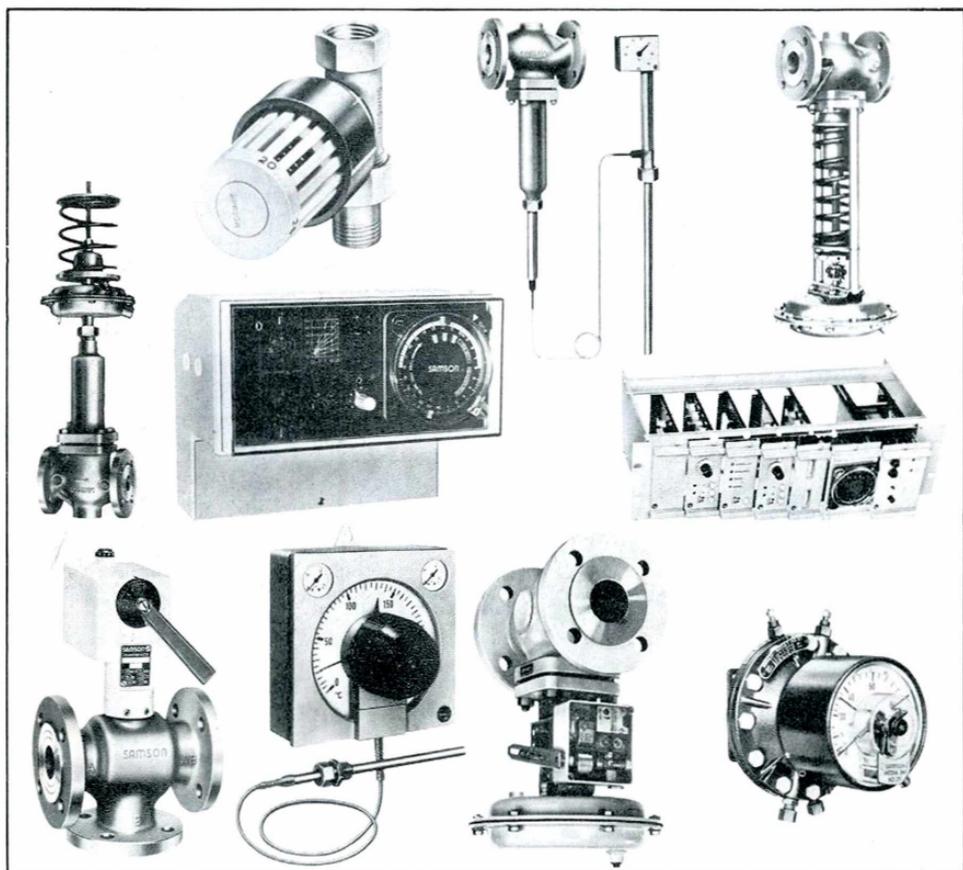
• Succursale de Toulouse

347, Avenue des Etats-Unis
31018 Toulouse Cedex
Tél. : (81) 70.11.25
Télex : 530.610

Départements : Ariège, Aude,
Aveyron, Cantal, Haute-Garonne, Gers,
Hérault, Lot, Lozère,
Hautes-Pyrénées, Pyrénées-Orientales,
Tarn, Tarn-et-Garonne.



SAMSON



SAMSON REGULATION S.A.

69604 VILLEURBANNE 5, 7, rue Henri · B.P. 6007
Téléphone (78) 84-45-03 · Télex 300 267 f samsvil · Lyon



Agences régionales

92500 RUEIL-MALMAISON
9, av. Alexandre-Maistrasse
Tél. (1) 749.30.00 - Télex 691 454

67000 STRASBOURG
38, boulevard Clemenceau
Tél. (88) 35.50.86 - Télex 890 275

13004 MARSEILLE
2, rue Lacépède
Tél. (91) 50.09.12 - Télex 420 172

33000 BORDEAUX
106, rue Dr-Albert-Barraud
Tél. (56) 48.64.69 - Télex 540 062

59100 ROUBAIX
4, boulevard de Paris
Tél. (20) 70.50.86 - Télex 820 464

44100 NANTES
20, rue de l'Hermitage
Tél. (40) 73.06.82 - Télex 700 068





SAUTER



SAUTER

**Appareils Automatiques Sauter,
S. à r.l.**

1, rue d'Allschwill
68301 SAINT-LOUIS CEDEX
Tél. : (89) 67.81.42 - Télex 881555

Agences régionales

MARSEILLE

69, rue du Rouet - 13008
Tél. (91) 79.23.71

TOULOUSE

1, avenue de Rangueil - 31400
Tél. (61) 53.35.87

BORDEAUX

12, rue de la Verrerie - 33000
Tél. (56) 52.80.50

NANTES

8, rue du Coudray - 44000
Tél. (40) 49.55.19

NANCY

29, rue de l'Armée-Patton - 54000
Tél. (83) 40.15.68

LILLE

13, rue Victor-Hugo
59350 Saint-André-lez-Lille
Tél. (20) 51.47.46 - Télex 120257

MULHOUSE

6, rue Saint-Georges
68200 Mulhouse-Bourzwiller
Tél. (89) 53.63.88

PARIS

2 à 6, rue Rigault
92000 Nanterre
Tél. (1) 725.21.91 - Télex 610495

LYON

54, rue Edouard-Vaillant
69100 Villeurbanne
Tél. (78) 68.27.08 - Télex 970004



