

LES APPAREILS THERMOSTATIQUES

Par M. J. LÉLY, *

A. et M., E. S. E.

Ingenieur à L'Est-Lumière

ÉDITÉ PAR
LA SOCIÉTÉ POUR LE DÉVELOPPEMENT
DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ APEL

SOMMAIRE

PRÉAMBULE

I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

A) *Chaleur*

1. Température et unités de température ;
2. Unité de chaleur ;
3. Chaleur spécifique ou capacité thermique ;
4. Dilatation :
 - a) Coefficients de dilatation,
 - b) Effort produit.

B) *Mesure des températures*

1. Thermomètres à liquides et à gaz ;
2. Thermomètres à lame bimétallique ;
3. Dilatomètres ;
4. Pyromètres à résistances ;
5. Pyro-spectroscopes ;
6. Pyromètres à couple thermo-électrique ;
7. Pyromètres optiques ;
8. Montres fusibles.

C) *Généralités sur le contrôle et la régulation des températures*

1. But recherché et conditions à réaliser ;
2. Champ d'action des divers appareils employés.

D) *Fonctionnement des appareils thermostatiques*

1. Régulation directe et indirecte ;
2. Réglage obtenu par les thermostats.

E) *Principes et propriétés des thermostats*

1. Principe d'établissement ;
2. Utilisation des dilatations ;
3. Propriétés thermiques :
 - a) Zone d'emploi,
 - b) Zone de réglage,
 - c) Sensibilité,
 - d) Inertie thermique ;
4. Appareils similaires (manostats, pressostats ou barostats, hygrostats).

F) *Thermostats proprement dits*

1. Thermostats à commande directe ;
2. Thermostats à contacts :
 - a) Caractéristiques électriques des interrupteurs,
 - b) Interrupteurs à contacts secs,
 - c) Interrupteurs à contacts basculants à mercure,
 - d) Nombre et disposition des interrupteurs.

G) *Régulateurs thermostatiques*

1. Asservissement d'un relais de pression :
 - a) Asservissement du fluide commandé,

- b) Asservissement d'un fluide auxiliaire,
 - Relais simple,
 - Relais à commandes multiples,
 - Fluides employés,
 - c) Récepteurs moteurs,
 - Récepteur à piston,
 - Récepteur à membrane motrice,
 - Récepteur avec distributeur,
 - d) Compensation et asservissement des récepteurs-moteurs ;
2. Asservissement d'un relais électrique ou d'un appareil à commande électrique.

II. SYSTÈMES THERMOSTATIQUES A DILATATION DE LIQUIDE OU A TENSION DE VAPEUR SATURÉE

III. SYSTÈMES THERMOSTATIQUES A DILATATION LINÉAIRE

IV — SYSTÈMES THERMOSTATIQUES A LAME BIMÉTALLIQUE

A) *Propriétés générales des bilames*

- 1. Bilames droites :
 - a) Déformation ou déflexion,
 - b) Travail moteur ;
- 2. Bilames circulaires et en hélice ;
- 3. Bilames en spirale ;
- 4. Bilames concaves-convexes ;
- 5. Comparaison des qualités suivant les formes.

B) *Constitution des bilames.*

C) *Qualités demandées aux bilames.*

D) *Application des bilames aux thermostats.*

V UTILISATION DES THERMOSTATS

A) *Généralités*

- 1. Conditions d'utilisation ;
- 2. Choix du système thermostatique à employer.

B) *Contrôle et régulation des températures d'un milieu donné*

- 1. Atmosphères :
 - a) Ambiance (thermostats dits d'appartement, de local, d'air, d'intérieur, d'extérieur, etc.),
 - b) Air chaud (contrôle des températures d'encintes diverses, couveuses, serres, armoires chauffantes, séchoirs, étuves, batteries d'air chaud, aérothermes, chambres de chauffe de fours, etc.),
 - c) Produits de combustion,
 - Pyrostats,
 - Protectostats et veilleuses de sécurité ;
- 2. Eau chaude et liquides chauds :
 - a) Contrôle de chaudières, réservoirs à eau chaude, etc.,
 - Thermostats mécaniques,
 - Thermostats à contacts ou avec asservissement d'un relais de pression,
 - b) Thermostats appliqués,
 - c) Thermostats pour chauffe-eau, réservoirs d'eau chaude, réchauffeurs d'huile, etc. ;

3. Solides (tables chauffantes, plateaux de presses, fers, etc.) ;
4. Métaux en fusion ;
5. Appareils frigorifiques :
 - a) Armoires frigorifiques,
Systèmes à compression,
Systèmes à absorption,
 - b) Chambres froides,
 - c) Saumure.

C) *Automaticité et sécurité de fonctionnement d'une installation de chauffage de locaux*

1. Régulation en fonction de la température intérieure :
 - a) Installations de chauffage par appareils à combustion,
 - b) Installations de chauffage par effet Joule ;
2. Régulation en fonction de la température extérieure (thermostats à contacts multiples) ;
3. Régulation en fonction des températures intérieure et extérieure :
 - a) Température du fluide chauffant et température extérieure,
 - 1) Equistats,
 - 2) Exostats,
 - b) Température intérieure des locaux et température extérieure.

CONCLUSION

PRÉAMBULE

Depuis que les hommes ont résolu le problème du feu, leur ingéniosité ne s'est pas contentée d'employer celui-ci pour leur bien-être physique, ils l'ont utilisé pour édifier la civilisation actuelle.

La chaleur est employée dans toutes les opérations domestiques, commerciales, artisanales ou industrielles, pendant longtemps, ne pouvant la mesurer avec exactitude, on se contenta de l'apprécier, assez imparfaitement d'ailleurs, puis apparurent les appareils de mesure et enfin les appareils de contrôle et de régulation. Ces derniers sont de véritables serviteurs de l'homme, pratiquement sans défaillance, à condition toutefois d'être convenablement traités.

Parmi ces serviteurs, les appareils thermostatiques tiennent une place primordiale. Beaucoup de personnes connaissent de nom le « thermostat », elles savent qu'il sert à régler la température. Comment ? Dans quelles conditions ?

C'est ce que dans l'étude ci-dessous, nous nous proposons d'examiner succinctement.

I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

A) Chaleur

Les appareils thermostatiques, appareils de contrôle et de régulation de température sont les fidèles interprètes des manifestations de la chaleur. A ce titre, il est utile de rappeler quelques principes et définitions.

La *chaleur* est une quantité physique de même nature que l'énergie, elle se manifeste sur un corps par une augmentation ou une diminution de température consécutive à l'absorption ou la déperdition d'une certaine quantité de chaleur.

1. Température et unités de température.

La température est une grandeur physique dont on n'a que la notion par ses effets physiologiques (sensation de froid ou de chaud) et ses effets physiques (solidification, dilatation, liquéfaction, fusion, ébullition, vaporisation).

Elle n'est pas mesurable, mais *repérable* et elle peut être définie de façons fort différentes, il faut considérer, pour fixer des repères, un phénomène mesurable, choisir une origine et adopter une graduation.

Dans l'échelle thermométrique *centésimale*, le repère « 0 » est la température de la glace fondante, le repère « 100 » est celle de la vapeur d'eau bouillante à la pression de 760 mm de mercure et le degré centésimal ou degré Celsius (C par abréviation)

du nom du physicien suédois qui eut le premier l'idée de baser cette unité sur les propriétés thermiques de l'eau distillée, à la pression dite atmosphérique est la centième partie de cet écart de température.

Dans l'échelle de *Réaumur*, le repère « 0 » correspond aussi à la température de la glace fondante, mais celle de la vapeur d'eau bouillante ne correspond qu'au repère 80.

Dans l'échelle de *Fahrenheit*, très employée dans les pays anglo-saxons, la température de la glace fondante correspond au degré 32 et celle de la vapeur d'eau bouillante au degré 212.

2. Unité de chaleur.

Elle porte le nom de *calorie*.

On désigne généralement sous le nom de « grande calorie », la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C la température de 1 kg d'eau, à une température intermédiaire entre 0 et 4° C.

La « petite calorie », ou millicalorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C la température de 1 g d'eau.

3. Chaleur spécifique ou capacité thermique.

La chaleur spécifique d'un corps est le nombre de calories nécessaires pour élever de 1° C la température de 1 kg de ce corps.

4. Dilatation.

a) Coefficients de dilatation.

Un corps solide de longueur l_0 à 0°C prend à la température t une longueur l_t définie par la formule empirique suivante

$$l_t = l_0 (1 + \alpha t)$$

Le coefficient α est appelé *coefficient de dilatation linéaire*.

Le *coefficient de dilatation cubique*, accroissement de l'unité de volume d'un corps pour une élévation de température de 1°C , est sensiblement égal à 3α , pour les corps solides homogènes.

Les coefficients précédents dépendent de la température les variations en sont toutefois assez faibles. Ainsi, aux températures élevées le coefficient de dilatation linéaire de l'acier devient

$$\alpha_t = 10^{-6} \times (\alpha' + 0,008 t) \text{ avec } \alpha' = \alpha \cdot 10^{-6}$$

Le tableau n° I présente les valeurs moyennes des coefficients de dilatation linéaire par mètre, entre 0 et 100°C , pour un écart de température de 1°C , de quelques métaux et métalloïdes.

Le tableau n° II présente les valeurs moyennes de quelques coefficients de dilatation cubique.

b) Effort produit.

La dilatation des corps utilisés dans les organes sensibles des thermostats, corps dont une extrémité est fixe et l'autre libre, provoque un déplacement de l'extrémité libre et un effort dont on utilise le travail.

Cet effort est donné par la relation

$$P = Ets$$

dans laquelle E désigne le coefficient d'élasticité,

t la température,

s la section du corps soumis à la dilatation.

B) Mesure des températures

Elle est basée soit sur la mesure des dilatations de corps gazeux, liquides ou solides, soit sur d'autres phénomènes physiques ou électriques.

Dans la pratique on emploie des

1. **Thermomètres à liquides** (mercure, alcool, etc.) dans lesquels la dilatation de ces corps liquides, contenus dans un réservoir, est amplifiée dans un tube capillaire auquel est fixée la graduation employée, ou des

Thermomètres à gaz dans lesquels la dilatation du gaz agit sur un manomètre, généralement à tube Bourdon, à soufflet métallique, ou à membrane, la déformation réalisée est lue sur un cadran

TABLEAU I

**Coefficients de dilatation linéaire pour 1° C
entre 0 et 100° C par mètre de longueur**

Acier fondu trempé	0,00001362
doux	1224
recuit	1110
dur	1400
Aluminium	2336
à 600°	3150
Antimoine cristallisé	1158
Argent fondu	1936
(à 900°)	2050
(de 0 à 100°)	1875
Bismuth cristallisé	1374
Bronze	1750
Cadmium	3159
Carbone (en diamant)	0132
(en charbon de cornue)	0551
Cobalt	1244
Cuivre	1666
(de 0 à 300°)	1883
(de 0 à 1 000°)	2000
Etain	2269
Fer forgé laminé	1140
(de 100 à 300°)	1330
doux	1228
Fonte grise	1075
Laiton	1880
Nickel	1320
Or ..	1450
Platine (à 50°)	0907
Plomb	2799
Zinc	2269

TABLEAU II

**Coefficients de dilatation cubique pour 1° C
entre 0 et 100° C par mètre cube**

Alcool	0,00012
Benzol	0,00120
Eau	0,00018
Éther	0,00160
Glycérine	0,00053
Mercure	0,00018
Pétrole	0,00092
Sulfure de carbone	0,00133
Térébenthine	0,00105

2. **Thermomètres à lame bimétallique**, utilisant la déflexion de bilames cette déflexion est, après transformation du mouvement, lisible sur un cadran

3. **Dilatomètres** dans lesquels la dilatation d'une tige ou d'un tube métallique est amplifiée soit par un système articulé, soit au moyen d'un miroir réfléchissant un rayon lumineux cette dilatation se lit sur une règle graduée

4. **Pyromètres à résistances** dans lesquels on utilise la variation de résistivité d'un métal avec la température à laquelle il est soumis, on réalise un pont de Wheatstone dont l'une des branches forme la sonde, constituée par le métal dont la variation de résistivité est étalonnée, les autres branches sont constituées par des résistances dont on ne fait pas varier la résistivité le déséquilibre du pont, sous l'influence d'une variation de température se mesure soit à l'aide d'un galvanomètre, soit par la méthode du zéro

5. **Pyro-spectroscopes**, utilisant la décomposition de la lumière émise par une radiation lumineuse, ils ne sont pas beaucoup employés, leur précision étant fonction de l'opérateur,

6. **Pyromètres à couple thermo-électrique** dans lesquels on mesure la force électromotrice développée par la soudure de deux alliages différents soumis à une élévation de température,

7. **Pyromètres optiques à radiation totale ou à radiation partielle** basés sur le pouvoir émissif des corps,

8. **Montres fusibles** dont l'affaissement permet de situer une température.

C) Généralités sur le contrôle et la régulation des températures

I. But recherché et conditions à réaliser.

Les conditions d'emploi des appareils thermiques nécessitent de plus en plus, qu'il s'agisse de l'industrie ou d'applications domestiques, d'assurer

le *contrôle* de la température atteinte afin de réaliser au mieux l'opération entreprise, en évitant la surproduction et le gaspillage de calories,

— la *régulation* de cette température afin de la maintenir la plus constante possible cette régulation est souvent faite conjointement avec d'autres appareils, notamment pour réaliser des opérations discontinues dans le temps ou suivant un programme.

On a donc recours aux appareils de contrôle et de régulation dont la technique est en progression continuelle ces appareils doivent

mesurer et maintenir dans le milieu contrôlé une température pratiquement précise et constante,

assurer une sécurité absolue dans le fonctionnement de l'appareil commandé.

Ils utilisent les principes mis en application dans les thermomètres à liquides, à gaz, les dilatomètres, les pyromètres à résistance, à couple thermo-électrique et aussi, notamment pour le contrôle d'une flamme, la cellule photo-électrique (photo-détecteurs).

2. Champ d'action des divers appareils employés.

Jusqu'à 5 à 600° C, on emploie de préférence des appareils thermostatiques ou des régulateurs électriques, au delà on emploie plutôt les régulateurs à couple thermo-électrique.

La technique des interrupteurs, l'utilisation de nouveaux alliages spéciaux, les bilames ont bénéficié en ces dernières années de réels progrès l'abaissement du prix de revient des thermostats et leur introduction dans une foule d'applications a été rendu possible par la vulgarisation et la fabrication en série des chauffe-eau, des armoires frigorifiques, par l'équipement automatique des chaudières chauffées avec des combustibles liquides, etc.

Actuellement, on rencontre des thermostats aussi bien dans la grande industrie que dans les petits ateliers, les immeubles et les intérieurs domestiques.

D) Fonctionnement des appareils thermostatiques

1. Régulation directe et indirecte.

Les appareils thermostatiques agissent en

— *régulation directe* lorsque l'élément sensible actif agit sur l'organe ou le fluide à commander par pression ou par un système mécanique quelconque.

L'appareil entier, organe sensible, mécanisme et, dans les thermostats à contacts par exemple, l'interrupteur, est désigné sous le nom de *thermostat* et fonctionne en « limiteur de température » ,

— *régulation indirecte* lorsque l'élément sensible actif, formant thermostat, agit sur l'organe ou le fluide à commander par l'intermédiaire d'un relais et d'un récepteur-moteur, soit que le déplacement ou l'effort produits ne puissent être utilisés sans amplification, soit par suite de l'éloignement existant entre le milieu contrôlé et l'organe commandé, soit pour toute autre cause.

La liaison entre le thermostat et le récepteur-moteur est assurée par un fluide d'asservissement dont on utilise les variations de pression, ou par un circuit électrique.

Le système forme alors un « régulateur de température » à relais de pression ou à relais électrique, le thermostat peut ne pas être seul à commander le récepteur-moteur qui peut, par exemple, fonctionner aussi sous l'action d'une horloge.

2. Réglage obtenu par les appareils thermostatiques.

Ils agissent

— par *réglage progressif* l'appareil commande un organe qui calibre la veine du fluide à régler

— par *tout ou rien* l'appareil commande en général un interrupteur qui ouvre ou ferme un circuit électrique ,
par *impulsions* de chauffage.

E) Principes et propriétés des thermostats

1. Principe de fonctionnement.

Leur fonctionnement est basé sur le principe de la dilatation des corps ou de la variation de volume due à un changement d'état liquide à l'état gazeux et ne s'étend donc pratiquement que de 40 à environ + 500° C échelle de température dans laquelle cette dilatation est mesurable industriellement et avec quelque précision. On établit cependant des thermostats spéciaux dont la zone d'emploi atteint et dépasse 1 000° C.

2. Utilisation des dilatations.

L'élément sensible appelé sonde est plongé dans le milieu contrôlé et les variations de volume du corps sensible, qui se manifestent lors d'une variation de température, sont perceptibles et utilisées de l'une des façons suivantes

déformation d'une enceinte, produite par la variation de volume d'un liquide, ou par celle résultant de son passage de l'état liquide à l'état gazeux pour une température donnée et à une pression provenant du réglage

allongement capillaire d'une colonne de mercure

dilatation linéaire d'une tige ou d'un tube métallique ,

— *déflexion* d'une lame bimétallique.

On obtient ainsi, sauf dans le cas de l'allongement capillaire d'une colonne de mercure, le déplacement d'un point mobile on utilise l'effort produit pour commander directement ou indirectement le fluide dont la combustion ou l'existence développe ou absorbe les calories qui influencent la température du milieu contrôlé.

3. Propriétés thermiques.

Un thermostat se caractérise par

— la *zone d'emploi*, champ de température dans lequel il est susceptible d'être employé. Elle dépend de la constitution même du thermostat ,

la *zone de réglage*, ou échelle d'utilisation , champ de température pour lequel il est gradué ,

— la *sensibilité* (exprimée en degrés centésimaux), champ de température dans lequel il fonctionne, qui dépend de l'élément sensible employé et de la réalisation même du thermostat.

D'une façon générale, l'étalonnage est établi pour une tem-

pérature moyenne de fonctionnement une sensibilité de $\pm 1^{\circ}$ C signifie par exemple que pour une température de réglage de 39° C l'enclenchement doit se produire à 38° et le déclenchement à 40° C.

Certains constructeurs établissent les échelles de graduation pour la température de déclenchement, ainsi une sensibilité de 2° pour une température de déclenchement de 39° C signifie que l'enclenchement se produit à 37° et le déclenchement à 39° C.

On peut, dans certains thermostats, régler la sensibilité à volonté en faisant varier le point d'enclenchement,

l'inertie thermique de la partie sensible des thermostats. Elle est fonction de la vitesse d'échauffement de l'organe sensible par rapport à la vitesse d'élévation de température du milieu contrôlé. Le fonctionnement correct d'un thermostat n'est, en effet, pas seulement fonction de la position dans le milieu contrôlé de l'organe sensible ou d'un bon contact thermique, mais aussi de la conductibilité, de la chaleur spécifique de l'organe sensible ou de ses constituants ainsi que du rapport existant entre son volume dilatable et sa surface d'échange.

4. **Appareils similaires** (manostats, pressostats ou barostats, hygrostats).

Il est à remarquer que le principe de fonctionnement des manostats, pressostats ou barostats, est identique à celui des thermostats à dilatation de liquide ou à tension de vapeur saturée, la différence réside en ce que les manostats contrôlent la pression d'un liquide ou d'une vapeur en se servant du fluide contrôlé, tandis que les thermostats à dilatation de liquide ou à tension de vapeur saturée contrôlent la température d'un milieu en se servant des variations de pression du liquide (ou de la vapeur) employé comme élément sensible.

De même dans l'hygrostat, on utilise l'allongement ou le raccourcissement produit par l'humidité de l'air sur une substance hygroscopique animale ou végétale, convenablement traitée.

F) **Thermostats proprement dits**

1. **Thermostats à commande directe.**

Le déplacement réalisé par un point mobile, sous l'action d'une variation de température, est généralement de très faible amplitude il est transformé et transmis à l'organe commandé par un système à leviers, avec ressorts (thermostat mécanique), ou comme dans les détendeurs thermostatiques, par une membrane motrice.

Le schéma 1 représente un thermostat mécanique établi pour commander la porte du cendrier d'une chaudière à eau chaude,

chauffée au charbon, en fonction de la température de l'eau de la chaudière.

2. Thermostats à contacts.

L'organe sensible commande un interrupteur électrique qui fait partie de l'appareil.

a) Caractéristiques électriques des interrupteurs.

Les qualités recherchées sont

- le *pouvoir de coupure* le plus élevé,
- la *rupture brusque* pour éviter le maintien des arcs, la

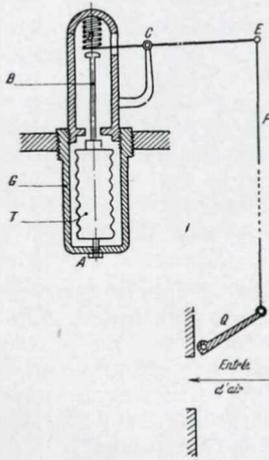


Fig. 1
Thermostat à plongeur
à cadran

(Document Rototherm)

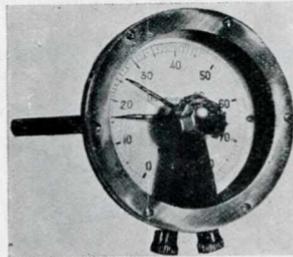


Schéma 1. — Thermostat à commande directe (à dilatation de liquide, tube plissé) pour commande de la porte du cendrier d'une chaudière à eau chaude, en fonction de la température de l'eau de la chaudière.

A, fixation du tube plissé ; B, tige transmettant le déplacement du tube ; C, point fixe du système articulé ; D, E, points mobiles du système arti-

culé ; G, gaine protectrice ; P, tige ou chaîne fixée à la porte du cendrier ; Q, porte du cendrier ; T tube plissé.

détérioration des contacts, et les fonctionnements intempestifs par suite de vibrations ou pour toute autre cause

une très grande *résistance à l'usure* (certains interrupteurs supportent facilement plusieurs centaines de milliers de coupures).

b) Interrupteurs à contacts secs.

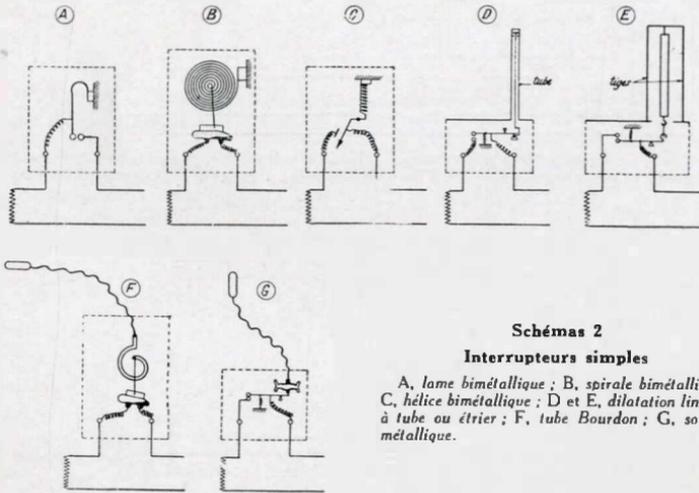
On utilise les différentes solutions suivantes un circuit électrique est ouvert ou fermé

soit par l'aiguille indicatrice d'un thermomètre à cadran (coupure lente) (schéma 2 C et fig. 1),

— soit par un interrupteur à coupure brusque commandé directement par un soufflet métallique, un tube Bourdon, une tige, une bilame (droite, en spirale, hélice ou concave-convexe), etc. (schémas 2, 28), la rupture la plus brusque possible est assurée par un système articulé comportant soit un ressort, soit une lame élastique, un aimant permanent, etc., ou par la déflexion propre d'une bilame.

c) *Interrupteurs à contacts basculants à mercure.*

L'organe sensible du thermostat commande la position d'un équipage mobile, cet équipage se compose d'un système articulé et d'un tube de verre spécial contenant du mercure dans une atmosphère inerte. Le système articulé commande le tube par basculement ou rotation. Celui-ci est inséré dans un circuit électrique et, suivant sa position, le mercure permet la fermeture de ce circuit ou ne le réalise pas (schémas 2 B, 7, 10, etc.).



Schémas 2

Interrupteurs simples

A, lame bimétallique ; B, spirale bimétallique ; C, hélice bimétallique ; D et E, dilatation linéaire à tube ou étrier ; F, tube Bourdon ; G, soufflet métallique.

Les interrupteurs à contacts basculants à mercure conviennent mieux pour le courant continu que les interrupteurs à contacts secs. Néanmoins, lorsque, comme par exemple à bord des navires, les contacts à mercure ne peuvent convenir, un grand pouvoir de coupure peut être obtenu avec contacts secs par l'artifice d'un condensateur branché en parallèle des contacts.

d) *Nombre et disposition des interrupteurs.*

Ils peuvent être établis

soit *simples à un seul circuit* (schémas 2), ils fonctionnent comme interrupteurs simples, coupent le circuit à la tempé-

rature de réglage et le rétablissent à la température réglée pour l'enclenchement, à la sensibilité près.

Le pouvoir de coupure atteint environ 18 A sous 110 V ou 15 A sous 220 V en courant alternatif et 10 A sous 110

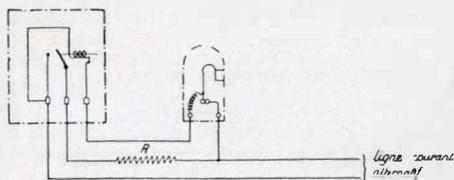


Schéma 3

Thermostat d'appartement à lame bimétallique, contacts secs, avec relais, coupant le circuit pour élévation de température, pour courant alternatif monophasé

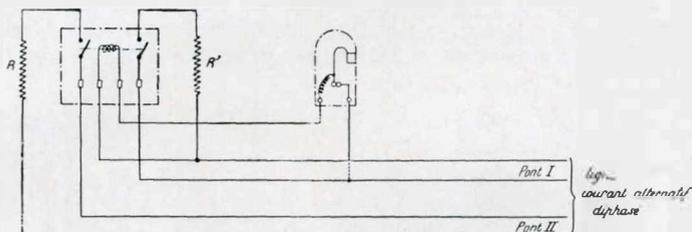


Schéma 4. — Thermostat d'appartement à lame bimétallique, contacts secs, avec relais coupant le circuit pour élévation de température, pour courant alternatif diphasé

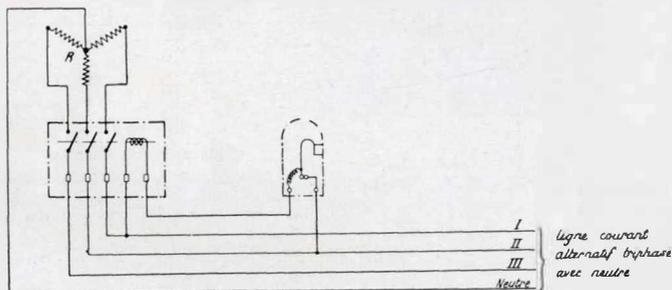


Schéma 5. — Thermostat d'appartement à lame bimétallique, contacts secs, avec relais, coupant le circuit pour élévation de température, pour courant alternatif triphasé, avec neutre.

ou 220 V en courant continu (avec condensateurs aux bornes dans le cas de contacts secs).

Pour les charges supérieures, ou sur courant diphasé ou triphasé on leur adjoint un relais (schémas 3, 4, 5),

— *simples à inverseur* (schémas 6, 7, 8), ils peuvent servir comme inverseurs pour la commande de contacteurs à servomoteurs ou pour la commande de vannes motorisées,

— *à double contact* (schéma 9), l'avant-contact sert à préparer le couplage du contact de maintien du relais,

multipolaires (schéma 10), soit tripolaires pour commande à la même température ou de deux circuits différents ou de circuits tri ou diphasés (éléments chauffants ou moteurs), soit tri ou même tétrapolaires.

Par ailleurs, un thermostat peut être établi double (schéma 11) ou multiple (schéma 39), pour fonctionnement à des températures différentes.

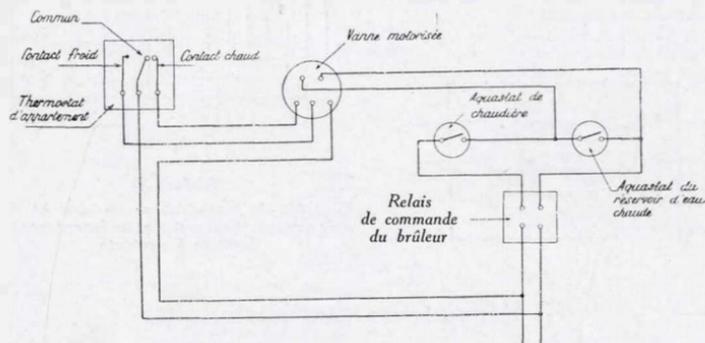


Schéma 6. — Commande d'une installation de chauffage à combustible liquide avec chaudière à eau chaude et réservoir d'eau chaude (avec interrupteur à deux contacts)

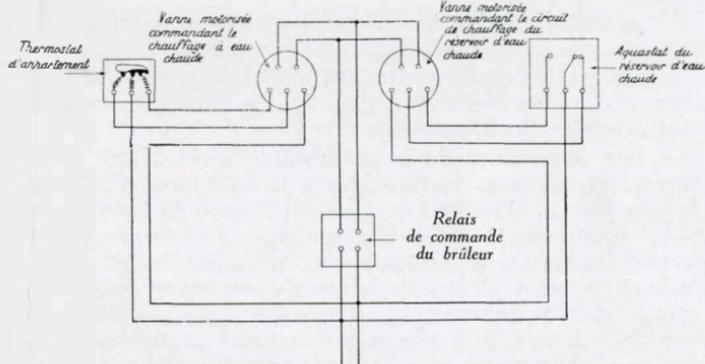


Schéma 7. — Commande d'une installation de chauffage à combustible liquide avec chaudière à vapeur et réservoir d'eau chaude (avec interrupteur à deux contacts)

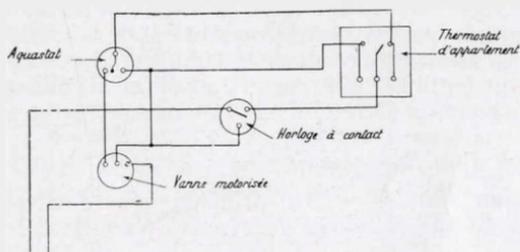


Schéma 8
Contrôle d'échangeurs (avec interrupteur à deux contacts)

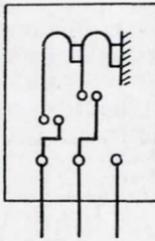


Schéma 9
Interrupteur
à double contact

Schéma 10
Interrupteur
multipolaire

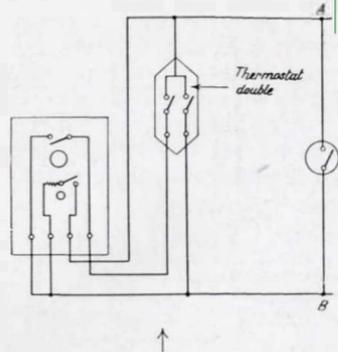
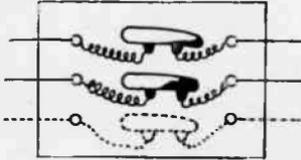


Schéma 11

Contrôle de température de jour et de nuit avec un thermostat et un interrupteur horaire à contacts

G) Régulateurs thermostatiques

I. Asservissement d'un relais de pression.

a) Asservissement du fluide commandé.

On se sert du fluide à commander pour agir sur une membrane motrice par un relais de pression spécial.

Le schéma 12 représente un appareil de ce genre une vanne d'alimentation de brûleurs à gaz où la pression de ce gaz est utilisée comme fluide moteur.

La face supérieure de la membrane M peut être mise en communication avec l'extérieur par la tubulure A, le relais B et la tubulure C. Dans ce cas, sous l'influence de la pression du gaz, la membrane M soulève la soupape D et le gaz passe au travers de la vanne pour arriver aux brûleurs. Un orifice capillaire se trouvant au centre de la membrane laisse passer un peu de gaz fortement détendu, qui n'augmente pas sensiblement la pression au-dessus de M ce gaz détendu à la pression atmosphérique s'échappe par A, B, C et est brûlé à la chaudière. Lorsque le thermostat qui poussait la soupape E n'agit plus, celle-ci sous l'influence du ressort R, vient reposer sur son siège et coupe la communication entre l'extérieur et la face supérieure de la membrane. Le gaz qui traverse la membrane par l'orifice capillaire s'accumule au-dessus et dans la tubulure A, y crée une contrepression qui équilibre la pression du gaz sous l'action de son ressort R', la soupape D retombe et la vanne est fermée.

b) Asservissement d'un fluide auxiliaire.

Relais de pression simple. Le principe généralement employé est le suivant une capacité C (schémas 13) contient un

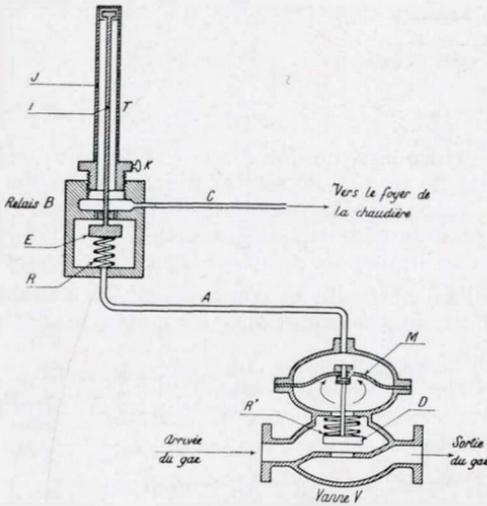


Schéma 12

Vanne d'alimentation de brûleurs à gaz avec relais de pression spécial commandé par le gaz

A, tubulure reliant la vanne V au relais B ; B, relais de pression ; C, tubulure reliant le relais B au foyer ; D, soupape de la vanne V ; E, soupape du relais B ; R, ressort de la soupape E du relais B ; R', ressort de la soupape D de la vanne V ; T, thermostat à dilatation linéaire, à plongeur ; I, tige de métal ; J, tube dilatant ; K, index de réglage.

fluide sous pression, il y pénètre par un étranglement E et peut s'échapper par une soupape de fuite S de très petit diamètre. Cette soupape est commandée par l'élément thermostatique.

Un déplacement de la soupape fait varier la section utile d'échappement du fluide sous pression et par conséquent, la pression de ce fluide en C. Cette variation de la pression se transmet par le fluide sous pression à un récepteur-moteur qui agit sur l'organe à commander.

Un déplacement de la soupape de 2 à 3 centièmes de millimètre fait varier la pression d'environ 100 g, ce léger déplacement ne nécessite qu'un effort minime facilement réalisé par l'organe sensible des thermostats, d'un autre côté, des variations, même assez importantes, de la pression en amont ne produisent que de très légères fluctuations en aval, la pression en C dépend donc presque uniquement de la position de la soupape. Les thermostats à perte d'air commandant des brûleurs à combustible liquide munis de vannes pneumatiques à diaphragme agissent suivant ce principe, une élévation de température occasionne une perte d'air dans le thermostat par ouverture de la soupape et provoque ainsi la fermeture de la vanne d'huile. Cette perte est progressive et permet d'obtenir un point d'équilibre.

Relais de pression à commandes multiples.

Deux relais peuvent commander un seul récepteur-moteur, par la même capacité C, soit indépendamment l'un de l'autre (schéma 14 a), soit l'un verrouillant l'autre (schéma 14 b où le relais n° 2 a priorité sur le relais n° 1).

On peut d'ailleurs réaliser dans cet ordre d'idées toutes les combinaisons possibles.

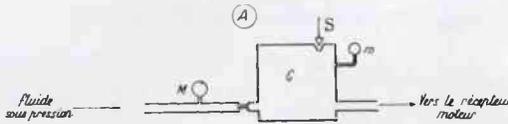
Fluides employés.

Ces fluides peuvent être

l'air comprimé, utilisé lorsque l'on dispose d'un compresseur. Il offre l'avantage de ne pas nécessiter d'évacuation spéciale ni de conduite de retour. On admet en général 1 kg/cm^2 et les relais sont réglés pour faire varier la pression d'asservissement de 0 à 1 kg dans les limites de $1, 2$ à 3° C ,

— *l'air raréfié*, qui ne nécessite ni compresseur, ni canalisation, un éjecteur d'air, fonctionnant sur une conduite d'eau assure un vide suffisant,

l'eau sous pression, qui se trouve facilement à portée, son principal inconvénient réside dans le risque de gelée en hiver,



C, capacité formant le relais ; M, manomètre indiquant la pression en avant du relais ; m, manomètre indiquant la pression déterminée en C par la position de la soupape S.

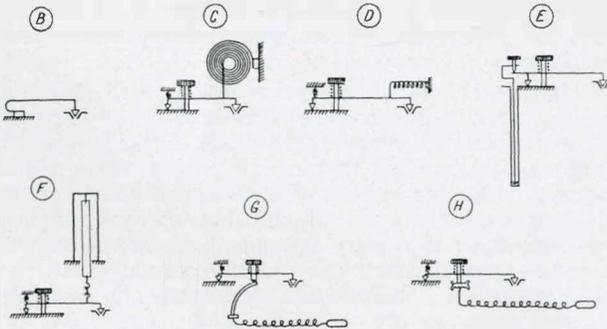


Schéma 13

A, fonctionnement d'un relais de pression simple (asservissement d'un fluide auxiliaire sous pression) ; B, lame bimétallique ; C, spirale bimétallique ; D, hélice bimétallique ; E, dilatation linéaire (à insertion) ; F, dilatation linéaire (à étrier) ; G, tube Bourdon ; H, soufflet métallique.

il faut, d'autre part, prévoir une évacuation de l'eau s'échappant par la soupape de fuite,

— *l'huile* qui nécessite une pompe spéciale, avec ses canalisations d'aller et retour.



Schéma 14. — Relais de pression à commandes multiples

a, commandes indépendantes ; b, commande 1 verrouillée par commande 2 ; A, membrane motrice ; C, capacité formant le relais ; E, étranglement ; S₁, S₂, soupapes de fuite, commandées par thermostats ou autres régulateurs.

c) Récepteurs-moteurs.

Ces appareils sont conçus sur le principe des manostats ou pressostats ils transforment la variation de pression obtenue dans les relais en un déplacement et commandent ainsi par un système mécanique quelconque l'organe à manœuvrer

— *récepteur à piston* un piston (généralement en cuir embouti), équilibré par un contrepoids, peut se mouvoir dans un cylindre qui peut constituer d'ailleurs la capacité C du relais. Lorsque la pression déterminée par la position de la soupape s'élève, le piston s'enfonce dans le cylindre, si cette pression diminue, le contrepoids rappelle le piston (schéma 16),

— *récepteur à membrane motrice* il est constitué par une enceinte formant la capacité C, enceinte dont une face est formée par une membrane flexible (en tissu caoutchouté par exemple), ou dont les parois sont formées par un soufflet métallique (schémas 12, 15, 17) Cette membrane ou le soufflet reçoit l'action d'un ressort compensateur et son déplacement, lors d'une variation de pression, entraîne celui d'une tige qui commande directement ou indirectement l'organe à manœuvrer, papillon, clapet, vanne, etc. (schéma 17),

— *récepteur avec distributeur* lorsque les organes à commander offrent une résistance assez grande, les systèmes ci-dessus qui ne subissent que des variations de pression de

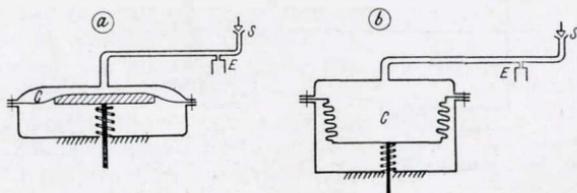


Schéma 15. — Récepteurs-moteurs

a, à membrane motrice ; b, à soufflet métallique

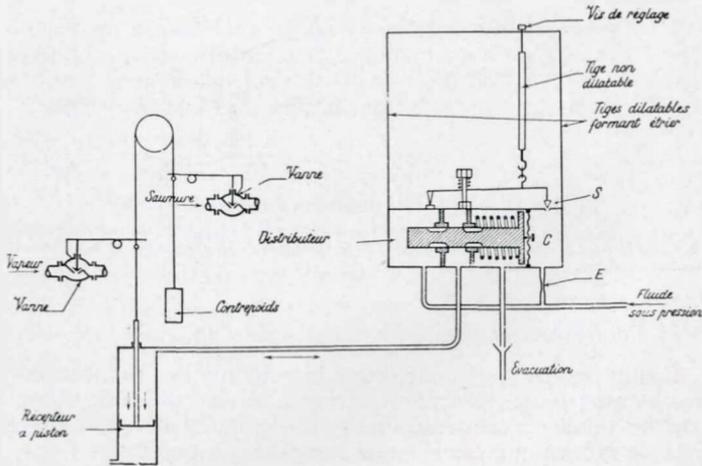


Schéma 16. — Régulateur de température (thermostat à dilatation linéaire, asservissement d'un relais de pression avec distributeur inverse, servo-moteur à piston avec contrepoids).

l'ordre de 2 à 300 g sont insuffisants. On passe alors par l'intermédiaire d'un distributeur (schéma 16).

Cet appareil comporte une membrane motrice faisant coulisser un tiroir cylindrique à rainures, dans un cylindre présentant 3 cavités intérieures distinctes, en communication respectivement avec

un fluide moteur par un orifice d'arrivée (pression d'environ $3 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$),

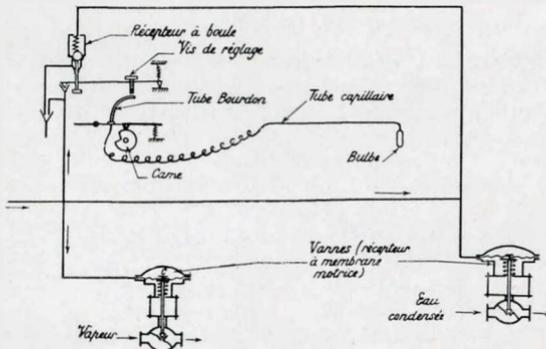


Schéma 17. — Régulateur à température variable en fonction du temps (thermostat à dilatation de liquide ou gaz, avec tube Bourdon, asservissement d'un relais de pression avec came).

le récepteur-moteur ,
l'extérieur par un orifice d'évacuation.

Lorsque la pression croît en C, le tiroir est poussé dans la position « admission ». Le fluide moteur agit sur le récepteur-moteur.

Lorsque la pression décroît en C, le tiroir est poussé dans la position « évacuation ». Le fluide moteur n'agit plus celui qui agissait sur le récepteur-moteur est évacué.

d) *Compensation et asservissement des récepteurs-moteurs.*

On peut avoir à freiner l'action du régulateur , on effectue alors une compensation soit par un moyen mécanique, soit par utilisation dans un appareil auxiliaire du fluide moteur.

L'asservissement des récepteurs-moteurs à piston, c'est-à-dire leur liaison avec l'organe à manœuvrer, se fait généralement par un dispositif mécanique, tiges et câbles avec contrepoids, tiges avec ressorts, etc. (schéma 16).

Les récepteurs-moteurs à membrane ou soufflet sont généralement montés directement sur une vanne.

2. **Asservissement d'un relais électrique ou d'un appareil à commande électrique.**

L'interrupteur d'un thermostat à contacts commande le circuit électrique de l'électro-aimant. Celui-ci peut faire partie d'un relais (*contacteur*) commandant un moteur, des résistances de four électrique (schémas 3, 4, 5) etc. il peut aussi faire partie de l'appareil commandé (*vanne magnétique*, etc.) (schéma 29). Le thermostat peut également commander le moteur d'une vanne motorisée, ou une vanne thermique.

II. SYSTÈMES THERMOSTATIQUES
A DILATATION DE LIQUIDES
OU A TENSION DE VAPEUR SATURÉE

Les thermostats à dilatation de mercure sont construits comme de véritables thermomètres. Ils sont surtout employés en insérant dans le tube capillaire (schéma 18) d'un thermomètre ordinaire à mercure, les deux extrémités d'un circuit électrique qui se trouve ouvert tant que le mercure n'a pas atteint le point haut, fermant ainsi le circuit qui commande un relais électrique.

Ils agissent par conséquent par tout ou rien et conviennent jusqu'à 300° C.

Ils sont peu employés car, assez fragiles, ils présentent un très faible pouvoir de coupure et la rupture de courant n'est pas assez brusque.

Les systèmes à dilatation de liquides ou à tension de vapeur saturée utilisent la déformation d'une enceinte sous l'influence d'une varia-



Schéma 18
Thermostat
à dilatation
de mercure

tion de pression intérieure (alcool, pétrole, toluène, etc.).

Cette enceinte peut être plongée dans le milieu à contrôler et transmettre ses déformations à l'extérieur par un système articulé (exemple schéma 19 représentant un thermostat à capsule pour couveuses).

L'enceinte peut être à l'extérieur du milieu à contrôler et être reliée directement à un réservoir ou communiquer avec lui par un tube capillaire (le réservoir est alors souvent désigné sous le nom de bulbe ou sonde) (fig. 2).

La longueur de ce tube capillaire est normalement de 0,5 m à 1,50 m suivant les utilisations mais le pouvoir de transmission de ces tubes peut atteindre 150 m environ.

Le bulbe est généralement métallique et se présente sous la forme d'un cylindre, aux extrémités arrondies ou coniques, de 5 à 10 mm de diamètre et de 75 à 150 mm de longueur.

Lorsque le bulbe et la partie du tube capillaire qui est plongée avec lui dans le milieu contrôlé risquent d'y être attaqués et détériorés, on prévoit une gaine protectrice formant tube plongeur en un métal inoxydable.

L'enceinte déformable peut être un tube Bourdon (schéma 17), en forme de V (schéma 31) ou un tube plissé (schéma 1) un soufflet métallique (schéma 2 G), etc.

La zone d'emploi de ces thermostats pour un liquide donné est limitée dans le cas de dilatation de liquide entre son point de congélation et la température que peut supporter le bulbe ou l'enceinte déformable sans risque de détérioration ou de rupture, et dans le cas de tension de vapeur par la pression inté-

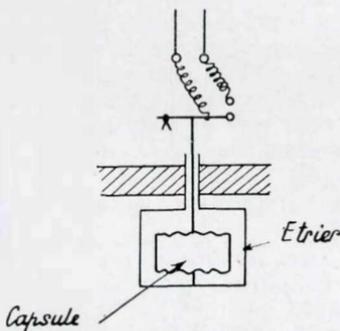


Schéma 19

Schéma d'un thermostat à capsule (à dilatation de liquide ou tension de vapeur)

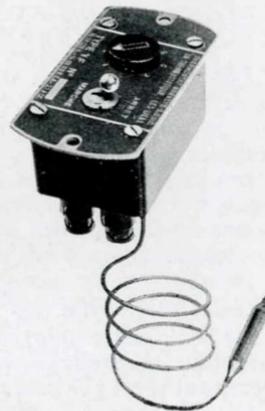


Fig. 2

Thermostat pour armoire frigorifique ménagère (à bulbe)

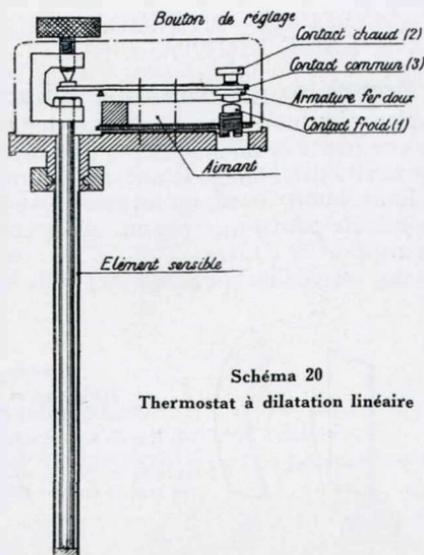


Schéma 20
Thermostat à dilatation linéaire

rière que développerait une température excessive par rapport à la température de changement d'état physique.

Pratiquement, elle s'étend de 35° à $+300^{\circ}$ C environ et de 360 à 600° C environ pour la vapeur de mercure.

III. SYSTÈMES THERMOSTATIQUES A DILATATION LINÉAIRE

On utilise la différence de dilatation existant entre une tige à coefficient de dilatation pratiquement constant et faible et un tube de laiton ou de tout autre métal à fort coefficient de dilatation. Les deux pièces font corps à l'une de leurs extrémités et l'on étalonne l'allongement (schémas 2 D, 20). Le montage peut aussi être un système à étrier (schémas 2 E, 16). Le déplacement ou l'effort produits peuvent être amplifiés et actionnent soit directement l'organe à commander, soit un relais de pression, soit un interrupteur électrique (fig. 4, 8, 16, 18, etc.).

Ces thermostats peuvent agir d'une façon progressive ou par tout ou rien.

Leur zone d'emploi s'étend de 35° à $+600^{\circ}$ C environ. Établis avec des alliages spéciaux, ils peuvent servir jusqu'à 1000° C et plus pour contrôler les bains de fusion des métaux.

IV SYSTÈMES THERMOSTATIQUES A LAME BIMÉTALLIQUE

A) Propriétés générales des bilames

On peut concevoir une lame métallique dont le coefficient de dilatation varie, dans le même sens, d'une face de la lame à l'autre. En partant initialement d'une lame droite, sous l'influence d'un changement de température, cette lame prendra une certaine courbure provoquée par un allongement supérieur d'une face par rapport à l'autre.

Pratiquement, on réalise (schéma 21) une telle pièce, en

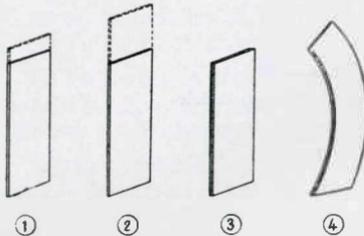


Schéma 21
Déflection et principe
d'établissement d'une bilame

1, lame de métal à dilatabilité presque nulle ;
2, lame de métal à grande dilatabilité ; 3, bilame
constituée avec les 2 lames précédentes ; 4, déflexion
produite par une élévation de température.

liant intimement entre elles, par soudure ou brasure, deux lames de métaux, l'un à dilatabilité presque nulle, l'autre à grande dilatabilité. On réalise ainsi la bilame thermostatique, qui s'emploie surtout droite, en hélice ou en spirale.

I. Bilames droites (fig. 3 bis).

a) Déformation ou déflexion.

Étant données (schéma 22) la longueur L , la largeur l et l'épaisseur e d'une bilame encastrée à une extrémité et libre à l'autre, on peut admettre, d'une façon générale et sous réserve de vérification expérimentale, que le déplacement ϵ de l'extrémité libre, pour une différence de température ($T - t$), est donné par la relation

$$\epsilon = \frac{k (T - t) L^2}{e}$$

avec $T > t$, et à condition qu' ϵ soit très faible devant L .

k est un coefficient, fonction de la constitution de la bilame, notamment des épaisseurs relatives des lames constituantes et des coefficients de dilatation des deux métaux.

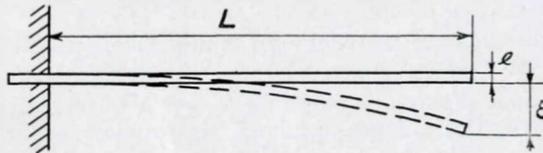


Schéma 22

b) *Travail moteur*

Lorsque la température T croît de T_0 à T_1 , et agit sur une bilame encastrée à une extrémité, l'extrémité non encastrée étant soumise à un effort antagoniste P pas trop élevé, celle-ci reste d'abord immobile jusqu'à ce que la force P soit contre-balancée, à une température T_1 . A partir de cette température T_1 , l'extrémité de la bilame se déplace comme si elle était libre.

L'existence de la force P se traduit donc par un retard d'action fonction de $T_1 - T_0$.

La force P développée par une bilame est donnée par la formule

$$P = \frac{k' L \varepsilon^3}{L^3}$$

où k' est un coefficient, fonction de la constitution de la bilame et de la différence de température réalisée.

On augmente P en exécutant des bilames de largeur simple

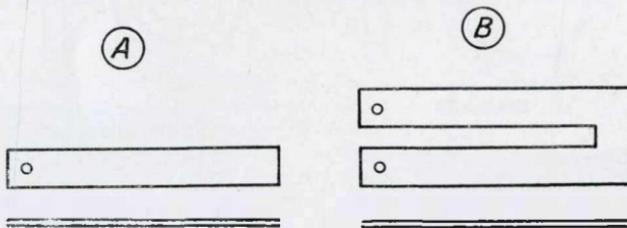


Schéma 23

mais en utilisant deux fois cette largeur (schéma 23 B).

Cette force P n'a, théoriquement, pour maximum que celle qui produira une déformation permanente de la bilame.

Les taux de fatigue recommandés par les constructeurs des bilames vont de 25 kg:mm² à la température ambiante, à 0,5 kg à 500° C.

Le déplacement peut être augmenté en utilisant une bilame en U (schéma 24), en négligeant la variation de courbure de la partie pliée devant la déformation des parties droites, l'ensemble se comporte comme deux bilames OA et O'A', le déplacement obtenu est presque égal à 2ε .

On réalise ainsi presque le même déplacement que l'on aurait obtenu avec une bilame de longueur double (2 OA), bilame qui serait plus encombrante et moins rigide.

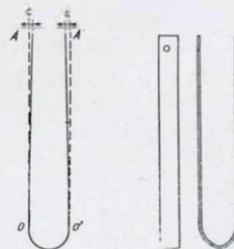


Schéma 24

2. Bilames circulaires et en hélice.

Avec la bilame circulaire à bords jointifs s'ouvrant par chauffage (le métal le moins dilatable à l'extérieur), le déplacement ε' obtenu est égal à $\pi\varepsilon$ (ε étant le déplacement obtenu avec une bilame de longueur $2R_0$ et de même épaisseur R_0 étant le rayon initial à la température T_0) (schéma 25).

Dans la bilame en hélice, chaque spire peut être assimilée à une bilame circulaire (schémas 26) et n étant le nombre de spires, le déplacement total obtenu est égal à $\pi n\varepsilon$.

On peut réaliser des hélices concentriques et la force P utilisable est ainsi considérablement augmentée (fig. 3), on peut aussi les rendre solidaires de telle sorte que les déplacements angulaires s'ajoutent.

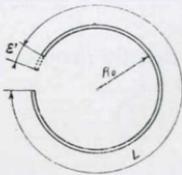


Schéma 25

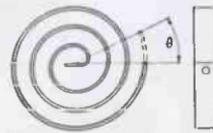
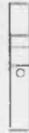


Schéma 27

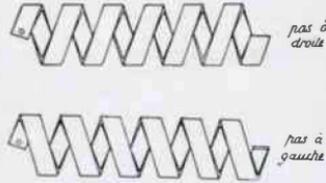
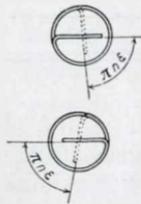


Schéma 26

3. Bilames en spirale (schéma 27).

On peut admettre que le déplacement angulaire, en degrés d'angle, pour une différence de température $T - t$ est donnée par la relation

$$\theta = \frac{(T - t) L k}{e} \text{ avec } T > t$$

k étant un coefficient, fonction de la constitution de la bilame et du nombre de spires envisagé.

C'est la même relation que pour les bilames en hélice.

On se rend ainsi compte qu'une même bilame, qu'elle soit montée en spirale ou en hélice, donne le même déplacement angulaire pour une même différence de température.

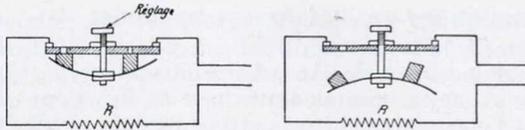
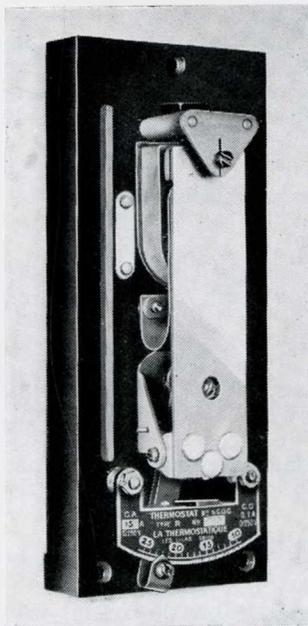


Schéma 28

La longueur développée restant la même, on peut modifier, dans les bilames en hélice le nombre de spires et le diamètre D initial à la température T et dans les bilames en spirale l'écartement et le nombre de spires, le déplacement angulaire reste le même.

4. Bilames concaves-convexes.

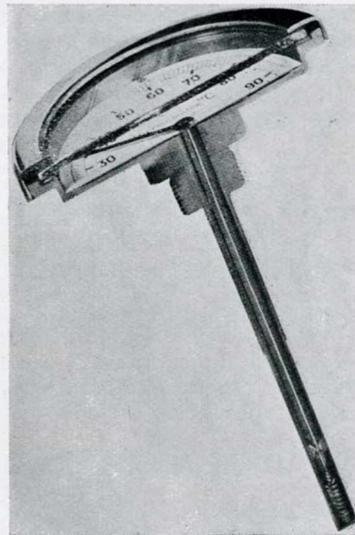
On réalise aussi des bilames en forme de calottes qui, pour les températures basses, présentent le métal le plus dilatable à l'intérieur. Lorsque la température croît, la calotte se retourne et la concavité change de sens (schémas 28).



(Document Thermostatique)

Fig. 3 bis

Thermostat à bilame (capot enlevé)



(Document Rotherm)

Fig. 3

Thermostat à hélices bimétalliques

5. Comparaison des qualités suivant les formes.

En résumé, la forme rectiligne est celle qui donne le maximum de déplacement de l'extrémité libre, mais la bilame est peu rigide et encombrante. Les formes en hélice ou en spirale diminuent l'encombrement et, surtout dans la forme en hélice, accroissent la rigidité. Dans la forme en spirale, les spires extérieures étant les plus actives, pour une certaine température, ces spires peuvent arriver à se toucher. Dans la calotte on réalise un très petit encombrement et une rupture très brusque.

B) Constitution des bilames

Dans les bilames industriels, l'alliage employé pour constituer la partie de la bilame à dilatabilité presque nulle est généralement l'invar, ferronickel à 37 p. 100 de nickel.

L'efficacité d'une bilame dépendant de la différence existant entre les coefficients de dilatation de ses constituants, il semblerait donc normal d'employer des métaux présentant entre ces coefficients le plus grand écart possible. Cependant, comme les métaux à faible coefficient ne suivent pas la même courbe de variation que les autres, on est conduit à utiliser des métaux à coefficients de dilatation relativement proches et l'on n'obtient que des déformations minimales.

D'autre part, pour éviter une déformation permanente, les efforts qui se produisent aux abords des couches limites, ne doivent pas dépasser la limite d'élasticité de chacun des métaux, ils doivent donc présenter une grande élasticité et une grande dureté.

C) Qualités demandées aux bilames

Elles doivent

présenter une *constance absolue* des qualités physiques dans le temps et les conditions de travail demandées,

réaliser une *déformation rigoureusement proportionnelle* à la température, cette qualité conditionne le choix des constituants d'une bilame dont la sensibilité n'est d'ailleurs pratiquement constante que dans certaines limites de température.

Pour les rendre complètement *inaltérables*, on peut les protéger par un revêtement électrolytique (cuivre, etc.) ou non (vernīs) qui ne s'oppose pas aux déformations et n'est pas détruit par elles.

D) Application des bilames aux thermostats (schémas 2, 13, etc.)

Les bilames constituent l'élément sensible de thermostats en réagissant sous l'influence de la température du milieu où elles sont plongées. Elles sont aussi influencées par effet Joule quand elles sont utilisées comme conducteurs pour le courant.

L'échauffement complémentaire qui en résulte tend à précipiter la déflexion de la bilame et à accroître la sensibilité. Lorsque le courant à couper n'est que de l'ordre d'une fraction d'ampère, on peut réaliser un certain échauffement de la bilame à l'aide d'un dispositif spécial.

Les qualités des constituants de la bilame (résistivité, chaleur spécifique, etc.) sont donc à considérer.

V UTILISATION DES THERMOSTATS

A) Généralités

I. Conditions d'utilisation.

Un appareil thermostatique est conçu pour réaliser le *contrôle et la régulation automatique de la température* d'un milieu donné.

soit en agissant sur le réglage d'un appareil « *producteur de calories* » (réglage de l'air et du combustible dans les appareils à combustion ou réglage de l'un des deux seulement, ou contrôle de la puissance dans les appareils électriques),

soit en agissant sur le débit d'un *fluide « transporteur de calories »* (liquide réfrigérant, eau chaude, vapeur à basse ou haute pression, air chaud, etc.).

Les appareils thermostatiques peuvent également être destinés à assurer certaines sécurités, comme le contrôle d'extinction de brûleur à combustible liquide ou d'extinction de veilleuse à gaz. L'action des différents appareils est généralement coordonnée dans une boîte de contrôle comportant en outre, des contacts de démarrage, des dispositifs de protection thermique de moteurs, un verrouillage, etc.

On peut aussi avoir non seulement besoin d'obtenir une température constante mais exécuter une opération discontinue (alimentation d'échangeurs (schéma 8), stérilisation en autoclaves de conserves, produits chimiques, etc.) ou une opération à températures variables en fonction du temps, on adjoint alors dans les circuits de commande des appareils à mouvement d'horlogerie (synchrostats) (schéma 11) ou des cames de commande (schéma 17).

2. Choix du système thermostatique à employer.

Il dépend

des conditions propres au milieu contrôlé température, nature de l'atmosphère, place disponible, etc. ,

— des qualités propres à chaque système thermostatique zone d'emploi, sensibilité, encombrement, qualité des échanges thermiques réalisables, etc. ,

— des conditions à réaliser simplicité ou multiplicité des opérations prévues, sensibilité recherchée, etc.

Les exemples d'utilisation présentés ci-dessous ne sont pas limitatifs, en ce sens qu'une opération plus généralement exécutée avec un système thermostatique bien défini, pour des causes qui ne relèvent peut-être que de la qualité des matériaux utilisables en l'état actuel de la technique, peut être envisagée avec un autre système.

B) Contrôle et régulation des températures d'un milieu donné

I. Atmosphères.

a) *Ambiance.*

Thermostats dits d'appartement, de local, d'air, d'intérieur, d'extérieur, etc. (fig. 5).

Ils se placent dans les pièces dont on contrôle la température à environ 2 m de hauteur, pour éviter les courants d'air froid de convection, il faut s'assurer de leur position par rapport aux portes et aux fenêtres, de façon qu'ils ne soient pas soumis à l'action particulière ou directe de toute variation de température susceptible de produire une température locale différente de la température ambiante.

Ils sont munis d'un bouton ou d'un levier de réglage, permettant de fixer la température de déclenchement.

L'élément sensible de ces thermostats est généralement constitué par une lame bimétallique portant un contact sec, avec dispositif de rupture brusque, quelquefois par une spirale bimétallique actionnant un contact basculant à mercure.

Cet élément sensible est non seulement soumis à l'influence de la température ambiante, mais aussi à l'échauffement



← Fig. 4
Thermostat à plongeur pour contrôle de liquide jusqu'à 300° C à capot étanche
(Document Thermostatique)



(Document Thermostatique)

Fig. 5
Thermostat d'appartement

complémentaire par effet Joule dû au passage du courant dans la bilame ou à un échauffement artificiel. Cet artifice est surtout utilisé dans les thermostats d'extérieur pour vaincre leur inertie. Il tend à précipiter la rupture du circuit.

On utilise aussi des thermostats à dilatation linéaire (à étrier notamment).

Leur zone d'emploi va de 15° à $+40^{\circ}$ C environ avec zone de réglage de 5 à 30 et ils présentent une sensibilité de $\pm 1/4$ à $\pm 1^{\circ}$ C suivant les vitesses de variation de la température.

Les schémas 2 A, B, C, E, et 13 B, C, D, F, 3, 4, 5 représentent des montages de ces thermostats qui servent à commander

l'admission de l'air ou l'alimentation en combustible solide, liquide ou gazeux dans un appareil de chauffage à combustion

le contrôle de la puissance sur un appareil de chauffage électrique,

la circulation d'un fluide chauffant ou réfrigérant (commande de vannes motorisées ou à membrane motrice, souffleries d'aérothermes, volets d'échappement d'air chaud sur les poêles à accumulation et gaines de calorifères à air chaud, etc.).

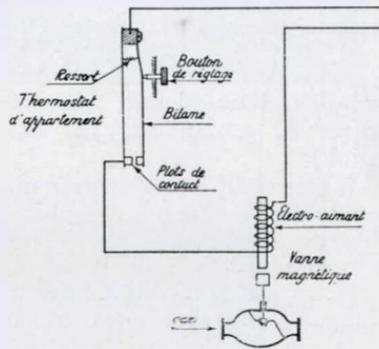


Schéma 29
Commande d'une vanne magnétique pour un thermostat d'appartement

Le schéma 29 représente la commande d'une vanne magnétique placée sur le circuit d'alimentation en gaz d'une chaudière à gaz, par un thermostat d'appartement à lame bimétallique.

Le schéma 16 représente un régulateur de température composé d'un thermostat à dilatation linéaire avec asservissement d'un relais de pression, à distributeur inverse et servomoteur à piston avec contrepoids, il s'agit de l'alimentation d'un aérotherme en vapeur et saumure une vanne placée sur chaque arrivée de fluide est commandée par le thermostat suivant le réglage désiré.

Le schéma 30 et les figures 6, 7 représentent une réalisation un peu particulière de contrôle thermostatique un radiateur électrique à thermostat dont le principe consiste à créer un courant d'air naturel sur les corps chauffants (appareil appelé quelquefois convecteur), l'air de la pièce à chauffer arrive par le dessous, se réchauffe dans l'appareil et s'échappe latéralement

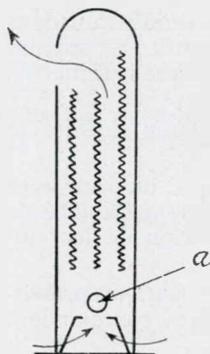


Schéma 30
Radiateur électrique
à thermostat

par la partie supérieure. Le contrôle d'un tel appareil est généralement exécuté par un thermostat à dilatation linéaire ou à spirale bimétallique, placé dans la fente d'arrivée d'air froid il y est balayé par cet air qui se trouve à la température ambiante des couches basses de la pièce à chauffer. Les caractéristiques et propriétés thermiques de ces thermostats sont les mêmes que pour les thermostats d'appartement.

b) *Air chaud.*

(Contrôle des températures d'enceintes diverses, couveuses, serres, armoires chauffantes, séchoirs, étuves, fours de charcuterie, fours de cuisinière électrique, batteries d'air chaud, chambre de chauffe de fours, etc., figures 8, 9, 10, 11, 12, 13, par thermostats dits d'air chaud.)

Il faut toujours s'assurer qu'ils sont placés dans l'enceinte à contrôler de façon à ne subir d'influence que celle de la température ambiante et de ne pas risquer de détérioration lors de la manipulation des corps chauffés.

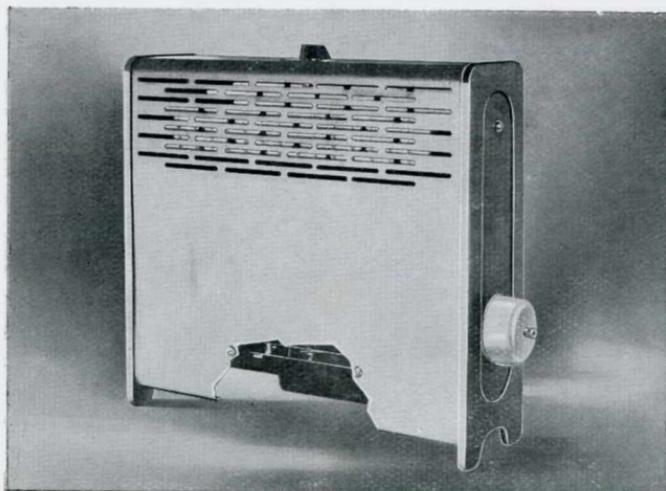
Ils sont généralement munis d'un système de réglage de température et la sensibilité peut aussi quelquefois être réglée à volonté.

Jusqu'à 150° C tous les systèmes thermostatiques sont couramment employés, aussi bien la dilatation de liquides ou la tension de vapeur, que la dilatation linéaire d'une tige ou la déflexion d'une lame, spirale ou hélice bimétallique, tous les systèmes d'asservissement sont utilisés, suivant le cas (schémas 2 et 13).

Au-dessus de 150° C, on emploie surtout la dilatation linéaire d'une tige ou la déflexion d'une hélice bimétallique certains constructeurs fabriquent des thermostats à dilatation linéaire, présentant une haute résistance à la chaleur, à contacts secs, fonctionnant jusqu'à environ 1 100° C, on préfère cependant, au-dessus de 5 à 600° C, utiliser les régulateurs à couple thermo-électrique.

Dans les thermostats établis pour fortes températures, la partie dilatable, constituant l'élément sensible et formant plongeur, est séparée de la tête par une longue partie neutre permettant la traversée des parois calorifugées des fours d'étuves, sans que le réglage et la précision s'en trouvent faussés.

Suivant l'utilisation et le type, les zones d'emploi s'étendent de 10 à 100 ou 150° C, de 100 à 300, de 50 à 500, de 200 à 1 100,



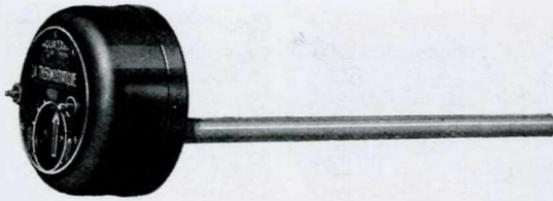
(Document Lerercier)

Fig. 6. — Convecteur avec thermostat à bilame



(Document Rodde)

Fig. 7. — Convecteur avec thermostat à plongeur



(Document Thermostatique)

Fig. 8. — Thermostat pour étuve à atmosphère sèche

avec zones de réglage particulières. La sensibilité, qui est d'environ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ et peut même être améliorée, n'atteint que ± 7 et même ± 10 aux hautes températures.

Suivant la nature de l'atmosphère dont on contrôle la température, l'élément sensible reçoit une protection ou est prévu avec des qualités physiques spéciales afin de résister aux attaques chimiques dont il peut être l'objet.

Dans le cas particulier du contrôle de la température de couveuses, pour lesquelles on emploie couramment des thermostats à dilatation linéaire dont la zone de réglage s'étend de 35 à 45°C , on utilise aussi des thermostats (schéma 19) comportant un système sensible à capsule à tension de vapeur, à contacts métalliques secs ou basculants à mercure. Le point de réglage se situe autour de 39°C et correspond à la température de vaporisation du liquide employé. La sensibilité est d'environ $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$.

Le schéma 17 représente un régulateur de températures variables en fonction du temps (thermostat à dilatation de liquide ou à tension de vapeur saturée, avec tube Bourdon, asservissement d'un relais de pression avec came) qui commande l'arrivée de vapeur et l'extraction de l'eau condensée d'un autoclave de vulcanisation. Le tube Bourdon est supporté par un levier dont la position est déterminée par une came mue par un mouvement d'horlogerie. Cette came est établie suivant un profil déterminé par le temps de montée en température, le temps de cuisson, etc.

Une application intéressante du contrôle d'air chaud est la régulation des fours de cuisinières électriques. Ce système, très commun aux États-Unis, en Angleterre et dans les pays scandinaves, n'a fait que récemment son apparition en France où cependant le thermostat de four s'impose plus que dans les autres pays. Le four des cuisinières françaises ne possède en effet que deux allures de réglage (le réglage haut pour grillades n'est pas un réglage de four). Le réglage bas correspond généralement à une allure trop forte (450°C) rendue indispensable par la mise en régime rapide le réglage doux correspond également pour certaines cuissons à une allure trop forte. Le

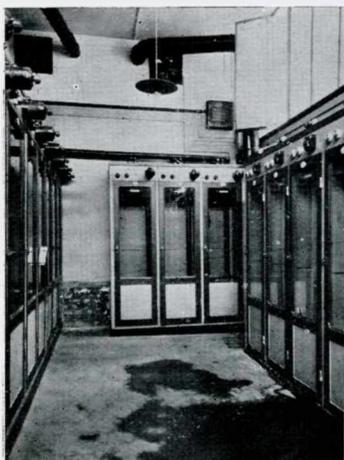


Fig. 9. — Etuves de séchage de films équipées avec thermostats

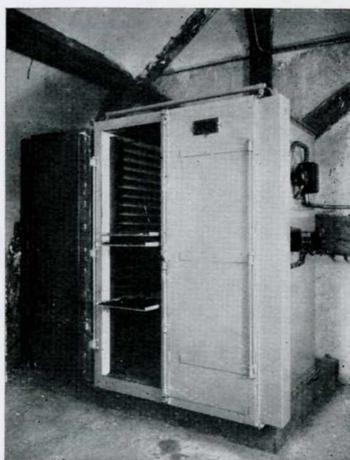


Fig. 10. — Etuve pour cuisson de vernis avec thermostat

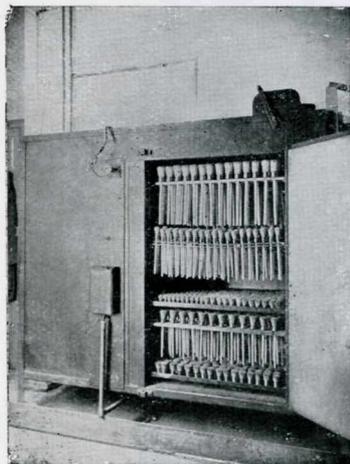


Fig. 11
Etuve équipée avec thermostat

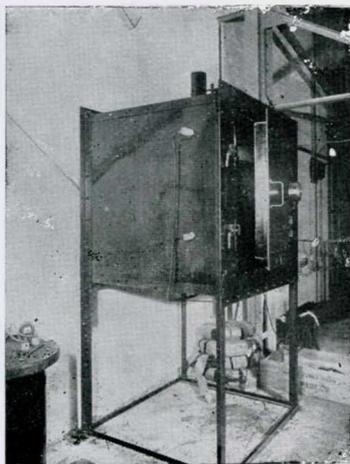


Fig. 12. — Etuve pour réception de câbles équipés avec thermostat à plongeur

(Documents Est-Lumière)

thermostat de four permet d'obtenir toutes les températures de 0 à 350° C.

Le réglage du thermostat est ramené à l'avant du four par un cardan (fig. 14, 15).

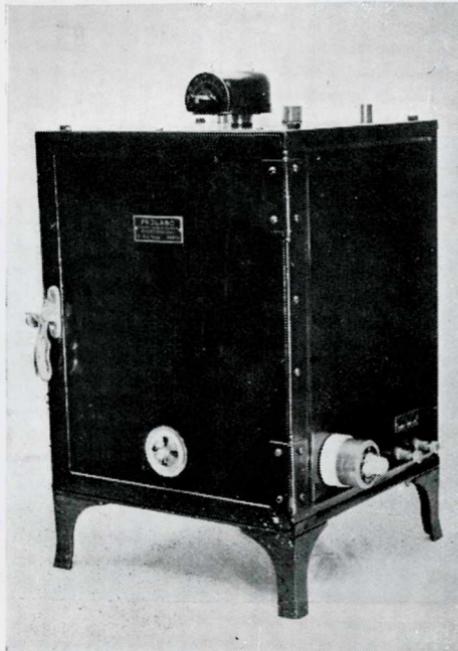
b) *Produits de combustion.*

Pyrostats (fig. 16).

Le contrôle d'une combustion ou d'un chauffage peut se faire en contrôlant la température des produits de combustion. On emploie des thermostats (désignés sous le nom de pyrostats) qui se placent en général dans le carneau d'évacuation des gaz.

Leur zone d'emploi s'étend de 50 à 500° C.

On utilise la dilatation linéaire d'une tige, ou la déflexion d'une hélice bimétallique, avec des contacts secs ou basculants à mercure ou l'asservissement d'un fluide auxiliaire (pyrostats à perte d'air).



(Document Prolabor)

Fig. 13. — Etuve avec thermostat pour contrôle d'air jusqu'à 300 C (on le munit d'un capot étanche dans le cas d'atmosphère humide ou corrosive).

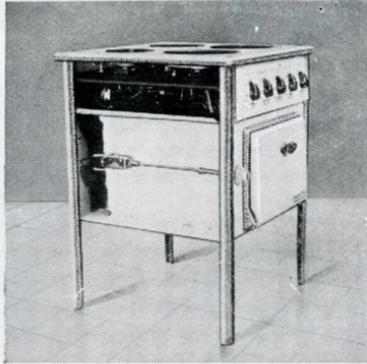


(Document Thermostatique)

Fig. 14. — Thermostat pour cuisinière

Leur sensibilité va de 4 à 10° C.

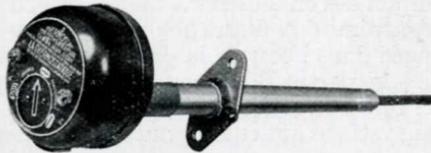
On les rencontre surtout dans les chaufferies à charbon, à combustible liquide et dans les fours de boulangerie.



(Document Thermostatique)

Fig. 15

Cuisinière électrique équipée avec un thermostat



(Document Thermostatique)

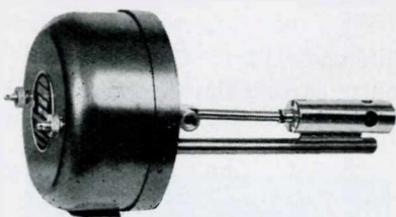
Fig. 16. — Pyrostat

— *Protectostats et veilleuses de sécurité.*

Ce sont des pyrostats dont la fonction est d'interdire et d'arrêter l'introduction de combustible dans la chambre de

combustion lorsque celle-ci est en régression ou qu'il y a extinction de la flamme dans les installations automatiques de chauffage au charbon, ils se placent à proximité de la flamme et dans les installations à combustibles liquides, dans le brûleur, de façon à ce que leur tige soit dirigée vers le centre de la flamme. Ils agissent sur le circuit d'alimentation des moteurs des grilles ou des brûleurs.

Dans le cas de combustible gazeux, la flamme peut être contrôlée par une veilleuse de sécurité (fig. 17).



(Document Thermostatique)

Fig. 17

Veilleuse de sécurité de brûleur à gaz

2. Eau chaude.

a) *Contrôle de chaudières, réservoirs d'eau chaude, etc.*

Thermostats mécaniques.

L'action des thermostats employés est fonction de la température de l'eau qu'ils contrôlent. Ils peuvent commander en régulation directe et progressive, l'ouverture ou la fermeture de la porte du cendrier de la chaudière, dans le cas de chauffage au charbon, ils font ainsi varier, en fonction de la température de l'eau dans la chaudière et du réglage désiré, la quantité d'oxygène admise à la combustion.

Le schéma n° 31 représente un thermostat qui fut utilisé dès le début de l'emploi des chaudières à eau chaude, avec chauffage au charbon. L'extrémité A d'un tube spécial, rempli du liquide choisi, est plongée dans l'eau de la chaudière, à travers un dispositif étanche, la partie B de ce tube, en V, se déforme en s'ouvrant, sous l'influence d'une élévation de température. Le point fixe C du système articulé permet d'amplifier en E, avec des tiges et des chaînes, le mouvement du point D. À ce point est accrochée une tige ou une chaîne P fixée à la porte du cendrier. Un ressort R fait compensation et tend à ramener la partie B du tube à sa position initiale.

Le schéma 1, représente un thermostat plus répandu actuellement. Un tube plissé T, dont une extrémité est fixe en A, se déforme et déplace une tige B qui agit sur un système articulé

amplifiant en E le mouvement du point mobile D autour du point fixe C.

Ces appareils ne sont pas très précis, mais leur sensibilité est suffisante pour l'usage auquel ils sont destinés, la qualité recherchée est surtout la robustesse.



(Doc. Thermostatique)
Fig. 18. — Aquastat



(Document
Thermostatique)
Fig. 19
Thermostat
applique

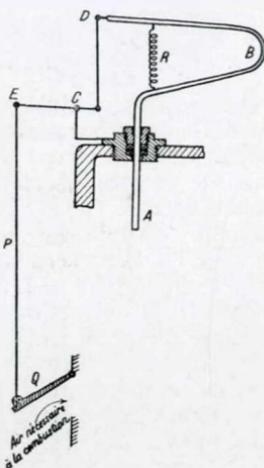


Schéma 31

Thermostat à dilatation de liquide ou à tension de vapeur saturée, agissant par déformation d'un tube en V
Montage sur chaudière à basse pression à charbon commandant la porte du cendrier

A, partie du tube formant bulbe ; B, partie du tube en V travaillant par déformation ; C, point fixe du système articulé ; D-E, points mobiles du système articulé ; P, tige ou chaîne fixée au cendrier ; Q, porte de cendrier ; R, ressort.

— *Thermostats à contacts ou avec asservissement d'un relais de pression.*

Plus généralement on rencontre maintenant des thermostats à dilatation linéaire, à contacts métalliques secs ou basculants à mercure ou avec asservissement d'un fluide (schéma 12), dont la zone d'emploi va de 10 à 150 et de 150 à 300° C avec une zone de réglage qui peut atteindre 120° C. Leur sensibilité s'étend de 14 à 1° C. La tige est placée dans une gaine étanche. (Un constructeur a dénommé aquastat un thermostat de sa fabrication, établi suivant ce principe, à contacts secs, fig. 18.)

Certains constructeurs utilisent une hélice bimétallique.

Le tube plongeur de ces thermostats doit être entièrement

immergé dans l'eau à contrôler pour obtenir la sensibilité voulue et la coupure à la température de réglage. Il faut aussi s'assurer qu'il ne se forme pas à proximité du raccord de la gaine du tube plongeur, une zone sans circulation où la température de l'eau ne serait pas la température réelle de la chaudière.

Ils servent surtout à réaliser l'automatisme de fonctionnement d'une installation de chauffage (schémas 6, 7 etc., et fig. 26).

b) *Thermostats-appliques électriques* (fig. 19).

Ces thermostats contrôlent la température de liquides par l'intermédiaire de la température de la tuyauterie dans laquelle ils circulent, et permettent ainsi la commande de pompes de circulation de vannes électriques, de brûleurs, etc., suivant la température décelée.

L'élément sensible est constitué par une spirale bimétallique, avec contacts secs ou basculants à mercure, la transmission de température se fait par conductibilité. Il est nécessaire de parfaire le contact des surfaces d'échange.

Leur zone d'emploi s'étend de 20 à 180° C avec zone de réglage de 20 à 120° C. Leur sensibilité atteint $\pm 3^{\circ}$ C pour des variations de température d'environ 20° C à l'heure, pour des variations supérieures à cette limite, il est préférable d'employer des thermostats à dilatation linéaire, à plongeur, afin d'éviter le retard à la coupure provoqué par l'inertie thermique de la tuyauterie.

c) *Thermostats pour chauffe-eau, réservoirs d'eau chaude, réchauffeurs d'huile, etc.*

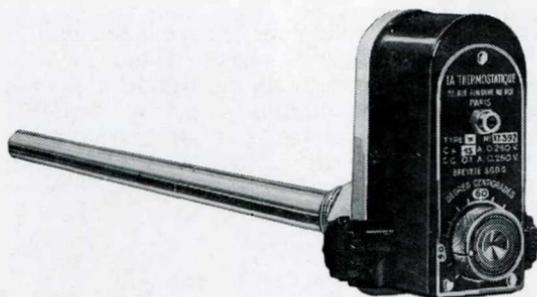
Ils sont le plus souvent établis à dilatation linéaire avec tube plongeur (schéma 20) et placés dans une gaine.

Dans le cas d'un chauffe-eau électrique (fig. 20, 21) l'interrupteur est à contacts secs ou basculants à mercure dans le cas d'un chauffage au gaz, la commande est faite soit sur l'arrivée du gaz par mouvement amplifié, soit, dans les grosses installations, par une vanne à membrane motrice avec asservissement par le gaz lui-même (schéma 12), soit par une vanne magnétique avec interrupteur électrique (schéma 29). La gaine doit être étanche et résister à la pression et aux corrosions.

Leur zone d'emploi va de 10 à 150° C, avec zone de réglage de 20 à 100° et une sensibilité de $\pm 4^{\circ}$ C (fig. 22).

3. **Solides (tables chauffantes, plateaux de presses, fers, etc.)** (fig. 23, 24, 25, 29).

Ces appareils peuvent être chauffés à la vapeur, au gaz ou à l'électricité. Les thermostats employés commandent donc soit



(Document Thermostatique)

Fig. 20. — Thermostat de chauffe-eau

le fluide chauffant, soit le fluide combustible par vannes motorisées (par action progressive ou par tout ou rien), soit les résistances électriques par relais on ne fait souvent agir le thermostat dans le chauffage électrique que sur une fraction de la puissance, l'autre fraction demeurant toujours en service, on garde ainsi un volant de calories dans la masse chauffée, volant qui permet de compenser les pertes et d'obtenir une élévation de température plus rapide.

Ces thermostats sont généralement prévus à dilatation linéaire ou à hélice bimétallique et à contacts métalliques. Ils présentent parfois entre la partie dilatante et la tête, une partie neutre pour éloigner celle-ci de la masse à contrôler.

Il est nécessaire de prévoir le minimum de jeu dans le logement de ces thermostats afin que l'échange de calories se fasse



(Document Thermostatique)

Fig. 21

Thermostat de chauffe-eau



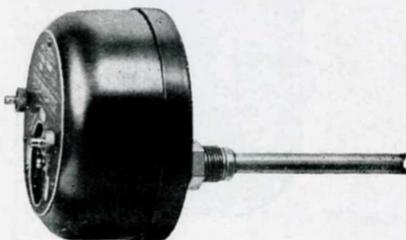
(Document Thénot)

Fig. 22. — Stérilisateur électrique contrôlé par thermostat

non seulement par convection mais par conductibilité, on place aussi entre la tête du thermostat et la table ou le plateau dont on contrôle la température, une plaque d'amiante pour éviter l'échauffement de cette tête.

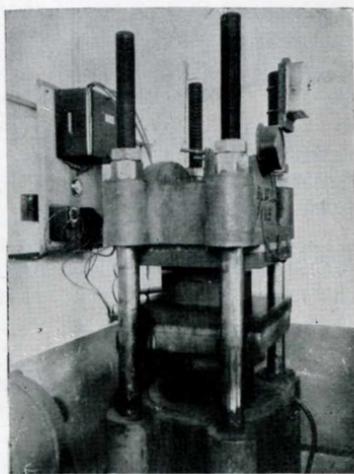
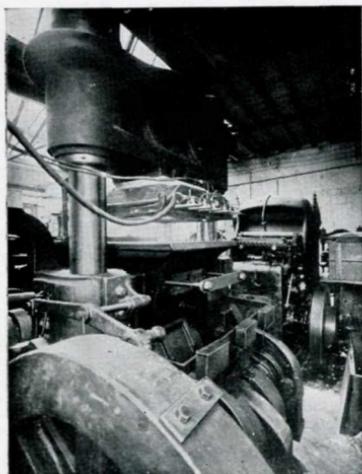
La zone d'emploi de ces thermostats s'étend de 10 à 350° C avec réglage de 50 à 200 ou de 100 à 350 et une sensibilité de 3 à 6° C qui est essentiellement fonction des vitesses de variation de la température.

Les fers à repasser sont quelquefois munis d'un thermostat à bilame concave-convexe (schéma 28) à coupure brusque ou à bilame droite à coupure lente.



(Document Thermostatique)

Fig. 23. — Thermostat de presse à bakélite



(Documents Est-Lumière)

Fig. 24. — Presse à dorer avec plateau chauffant contrôlé par thermostat

Fig. 25. — Presse à plateaux chauffants contrôlée par thermostat

4. Métaux en fusion.

Les thermostats utilisés pour cet usage sont généralement à dilatation linéaire, avec partie neutre entre le plongeur et la tête, le plongeur est établi en métal résistant aux hautes températures la zone d'emploi de ces thermostats s'étend en effet de 200 à environ 1 000° C.

5. Appareils frigorifiques.

a) Armoires frigorifiques (fig. 2).

Système à compression. Dans ce système, on emploie un liquide réfrigérant émettant aux températures moyennes des vapeurs de pression relativement basse (anhydride carbonique, ammoniac, anhydride sulfureux, chlorure d'éthyle ou chlorure de méthyle). Ces vapeurs sont aspirées et refoulées par un compresseur dans un récipient où elles se liquéfient par dégagement de calories évacuées soit par un courant d'air soit par une circulation d'eau. Le liquide réfrigérant passe ensuite par un détendeur, qui peut être un simple pointeau réglé manuellement, ou par une soupape différentielle, pour arriver dans l'évaporateur, il s'y gazéifie par détente et absorption des calories du milieu ambiant. De là il est repris par le compresseur.

Le moteur du compresseur est commandé par un thermostat,

que l'on prévoit généralement à bulbe, tube capillaire et soufflet métallique ou membrane. Suivant les types, leur zone d'emploi va de 35° à $+40^{\circ}$ C et la zone de réglage de 10° à $+10^{\circ}$ C avec une sensibilité de $\pm 1^{\circ}$ C (fig. 2).

La prise de température se fait généralement à l'évaporateur (schéma 32), le réglage obtenu y est plus régulier, aucun déplacement d'air appréciable ne pouvant influencer l'organe sensible.

La puissance en jeu étant faible et l'alimentation se faisant pratiquement en courant alternatif monophasé ou continu, les thermostats fonctionnent en régulation directe ils sont munis

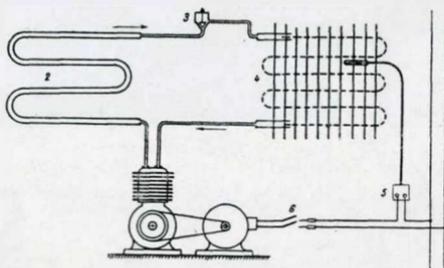


Schéma 32
Fonctionnement
d'une armoire frigorifique
à compresseur

1, compresseur ; 2, condenseur ;
3, détendeur ; 4, évaporateur ;
5, thermostat ; 6, interrupteur à
main avec fusibles.

d'un interrupteur à contacts, placé en série dans le circuit d'alimentation sans relais.

Le réglage de la température de l'armoire se fait par tout ou rien.

Système à absorption. Dans ce système, on utilise l'affinité plus ou moins grande de l'eau pour le gaz ammoniac, affinité fonction de la température de cette eau. De l'eau contenant de l'ammoniac dissous est chauffée, soit par une résistance électrique, soit par un brûleur à gaz, dans les types les plus répandus, le gaz libéré est conduit dans un condenseur où il se liquéfie. De là il passe dans un évaporateur où il se détend et se gazéifie comme dans le système à compression. Puis il est ramené dans un absorbeur où il se redissout dans de l'eau.

Lorsque le chauffage est réalisé avec une résistance électrique, l'appareillage thermostatique est le même que dans le système à compression.

Lorsqu'il s'agit d'un brûleur à gaz, on peut agir par thermostat de gaz sur une vanne par relais de pression spécial commandé par le gaz lui-même (schéma 12) ou commander par thermostat électrique une vanne magnétique (schéma 29) directement par un électro-aimant. Une telle vanne se construit généralement blindée elle comporte alors un corps sans presse-

étoupe et un solénoïde, dont le noyau est à l'abri de l'atmosphère extérieure et relié directement au pointeau. L'appareillage thermostatique est le même que dans le cas précédent, mais la régulation est indirecte.

b) *Chambres froides.*

Le refroidissement y est obtenu par les évaporateurs ou par des corps réfrigérants à circulation de saumure.

Le contrôle de la température peut y être assuré de plusieurs façons

par thermostat d'ambiance agissant sur une vanne magnétique ou motorisée et sur le moteur du compresseur. Quand la température est trop élevée, la vanne s'ouvre et le moteur s'enclenche ,

par détendeurs thermostatiques réglant l'arrivée du liquide réfrigérant aux évaporateurs de façon que la pression y reste constante tandis qu'un pressostat déclenche le compresseur lorsque la pression, à la sortie de l'évaporateur, baisse et réenclenche lorsqu'elle croît ,

— par combinaison de ces systèmes.

Les thermostats peuvent être du type à tension de vapeur saturée, à bulbe, tube capillaire, soufflet métallique ou membrane , leur construction doit être telle que le givrage extérieur et l'humidité ambiante n'en troublent pas le fonctionnement. Ils comportent de ce fait, le plus souvent, un interrupteur à contacts basculants à mercure, rarement à contacts secs , la coupure peut être faite jusqu'à 6 A en courant alternatif ou continu, et peut être réalisée multipolaire. Lorsque l'on est en atmosphère sèche, on utilise des thermostats à bilame à contacts secs.

Le choix de la position de l'organe sensible des thermostats d'ambiance dans les chambres froides détermine la température générale, aussi faut-il y accorder beaucoup d'attention , lorsque la chambre est à circulation d'air, il faut placer l'organe sensible dans le courant d'air du ventilateur afin de provoquer une action rapide du thermostat.

Le bulbe des détendeurs thermostatiques est fixé sur la tubulure de sortie de l'évaporateur et il faut veiller à la fixation de façon à avoir une bonne surface de contact.

Les thermostats présentent une zone d'emploi allant de 25° à + 10° C ou de 0° à 40° C avec une sensibilité de 1,5 à 15° C.

La régulation est indirecte et le réglage de la température se fait par tout ou rien, sauf dans les détendeurs thermostatiques où il est progressif.

On rencontre aussi des thermostats à spirale bimétallique, surtout dans les grandes armoires ou les petites chambres froides, à contacts basculants à mercure.

c) *Saumure.*

La saumure, utilisée dans les corps réfrigérants des chambres froides, est refroidie à très basse température dans des bacs où l'on place l'évaporateur du groupe frigorifique.

Les thermostats employés pour la saumure sont généralement établis à tension de vapeur saturée, à soufflet métallique ou membrane, le bulbe et le tube capillaire étant placés dans une gaine de plomb pour résister à la corrosion.

Leur zone d'emploi s'étend de 30° à $+ 5^{\circ}$ C ainsi que la zone de réglage et l'on obtient une sensibilité de 1,5 à 15° C.

C) **Automaticité et sécurité de fonctionnement d'une installation de chauffage de locaux**

Un thermostat d'ambiance présente toujours des inerties dans le fonctionnement, on cherche à les éviter lorsque les variations de température sont fortes et brusques, et à les augmenter lorsqu'elles sont faibles et lentes, pour ne pas avoir des enclenchements et déclenchements continuels au voisinage de la température de régime.

On a d'abord réalisé la régulation des installations de chauffage de locaux en fonction de la température intérieure puis en fonction de la température extérieure (par des thermostats d'extérieur avec réchauffage artificiel pour en réduire l'inertie aggravée par le boîtier étanche aux actions atmosphériques), puis on en est venu au réglage combiné avec thermostat extérieur et thermostat intérieur.

I. **Régulation en fonction de la température intérieure.**

a) *Installations de chauffage par appareils à combustion.*

On peut réaliser toutes les combinaisons possibles, d'après les principes suivants

la température à obtenir soit dans un local, soit dans un réservoir d'eau chaude, soit dans les deux, est contrôlée par thermostat d'ambiance et aquastat

la température limite de l'eau chaude ou la pression limite de la vapeur, dans la chaudière, est contrôlée par aquastat ou manostat,

la combustion dans le foyer est surveillée par un pyrostat, un appareil de commande complémentaire peut être introduit dans les circuits de commande (hygrostat, synchrostat, came à profil de température, etc.).

Le schéma 33 donne un schéma de contrôle de brûleur à charbon pour chaudière de chauffage central.

Le contrôle est assuré

a) Sur la chaudière (agissant comme limiteur)

par un aquastat (eau chaude) ou un manostat (vapeur à basse pression) ou sur la tuyauterie de départ du fluide chauffant ,

— par un thermostat applique ,

qui ont pour mission d'arrêter le moteur lorsque la température du fluide chauffant dépasse le point de réglage ,

b) Dans le milieu à chauffer (agissant comme régulateur)

par un thermostat d'air qui a pour mission d'arrêter le moteur lorsque la température obtenue a atteint le degré désiré ,

c) Dans le carneau de départ des fumées

— par un pyrostat de cheminée, dit « de maintien de combustion », qui a pour mission de provoquer le démarrage du moteur lorsque après un arrêt prolongé commandé par l'un des

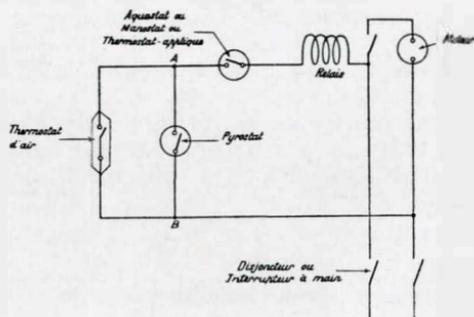


Schéma 33

Contrôle de brûleur à charbon
pour chaudière de chauffage central

autres thermostats, la température des fumées tombe à la limite inférieure nécessaire à la reprise de la combustion. Dans le cas des foyers soufflés à chargement manuel, le pyrostat est généralement supprimé.

On peut obtenir un réglage de température de jour et un réglage de nuit, en plaçant deux thermostats dont l'un est commandé par un interrupteur horaire (schéma 34) ou un thermostat double, combinaison de deux thermostats simples, commandé par un interrupteur horaire (schéma 11).

Le schéma 35 représente un schéma de contrôle de brûleur à charbon pour calorifère à air chaud.

L'aquastat (ou le manostat) est remplacé par un thermostat placé sur le calorifère qui a pour mission d'arrêter le moteur

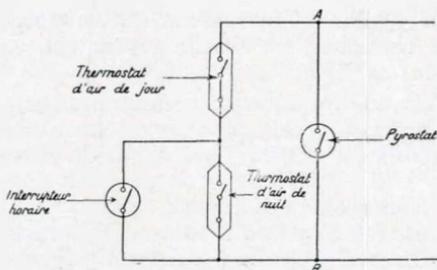


Schéma 34. — Contrôle de température de jour et de nuit avec deux thermostats et un interrupteur horaire

lorsque la température de l'air chaud dépasse le point de réglage.

Le schéma 6 représente un schéma de commande d'une installation de chauffage à combustible liquide, avec chaudière à eau chaude et réservoir d'eau chaude avec une seule vanne motorisée, le schéma 7 le même chauffage, mais avec une vanne pour le chauffage à eau chaude et une vanne pour le chauffage du réservoir.

Le schéma 8 représente un schéma de contrôle d'échangeur, avec horloge à contact.

Le schéma 36 représente les circuits réalisés par une boîte de contrôle de brûleurs automatiques à huile avec réchauffage d'huile (intensité inférieure à 15 A sous 250 V) pour chaudière à eau chaude.

L'équipement comprend

un dispositif d'allumage,

un thermostat de réchauffage d'huile contrôlant une résistance électrique

un pyrostat de foyer contrôlant l'allumage et le maintien de la flamme,

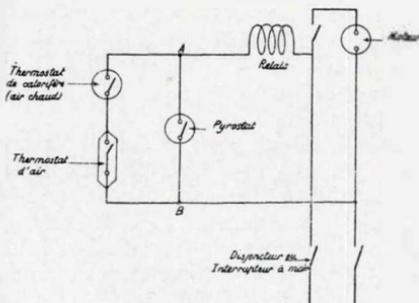


Schéma 35. — Contrôle de brûleur à charbon pour calorifère à air chaud

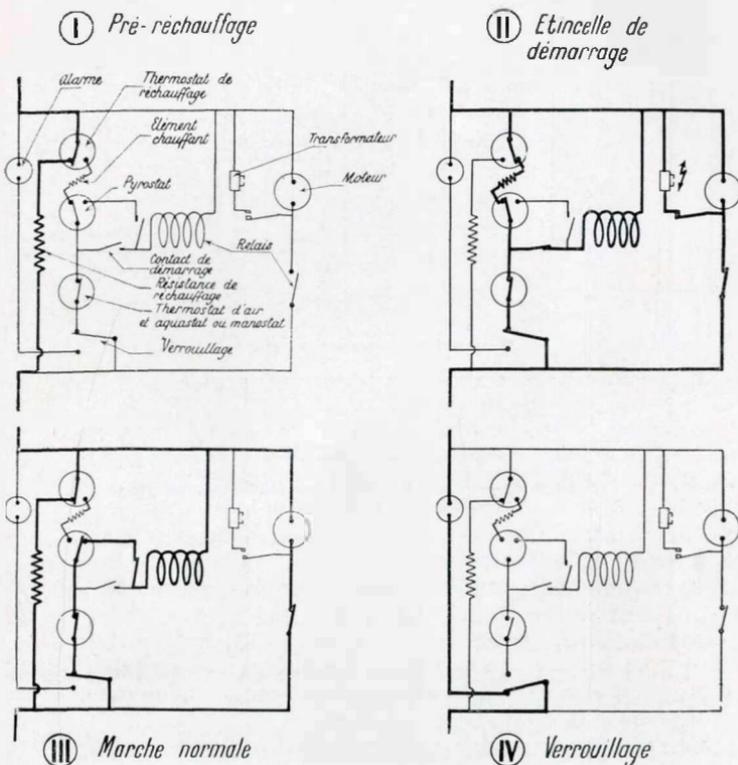


Schéma 36. — Fonctionnement d'une boîte de contrôle de brûleurs automatiques à huile avec réchauffage d'huile (intensité à 15 A sous 250 V), pour chaudière à eau chaude

un thermostat d'air et un aquastat

— un contact de verrouillage.

Le dispositif permet de réaliser

1^o Les différentes opérations nécessaires à la mise en route du brûleur

- a) Le pré-réchauffage de l'huile ,
- b) L'allumage, par mise sous tension du transformateur (provoquant l'étincelle) et de l'élément chauffant
- c) Le démarrage du moteur

2^o L'automatisme complète en réalisant la commande du moteur par

- a) L'aquastat ou manostat sur le départ de la chaudière (agissant comme limiteur) ,
- b) Le thermostat d'air (agissant comme régulateur).

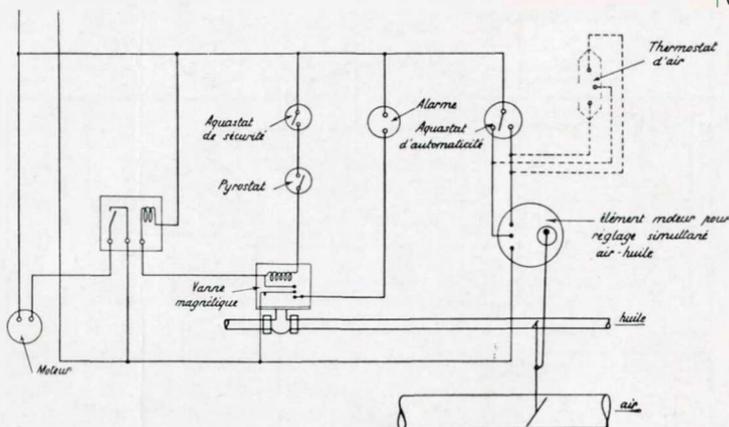


Schéma 37. — Contrôle de brûleur semi-automatique avec dispositif de réglage air-huile

3° La sécurité absolue en cas de

- a) Non allumage de la flamme (verrouillage après 40 s env.) ,
- b) Extinction de la flamme
- c) Panne de courant.

Le schéma 37 représente le schéma de contrôle d'un brûleur semi-automatique avec dispositif de réglage air-huile.

- Le contrôle d'automatisme est fait par
- un aquastat ou manostat de sécurité
 - un thermostat d'air,

commandant un élément moteur pour réglage simultané air-huile.

Le contrôle de sécurité est fait par

- un aquastat ou manostat de sécurité
- un pyrostat de foyer, commandant une vanne magnétique d'huile à armement manuel et le moteur du brûleur
- un signal d'alarme.

Le schéma 38 représente les circuits d'une boîte de contrôle pour allumage continu au gaz où, comme ci-dessus, le contrôle d'automatisme est fait par un aquastat (ou manostat) et un thermostat d'air, le contrôle de sécurité par un pyrostat.

b) *Installation de chauffage par effet Joule.*

On peut réaliser toutes les combinaisons possibles, d'après les principes suivants

la température à obtenir soit dans un local, comme aussi dans une enceinte d'étuve à séchoir ou de four ou dans une masse solide ou liquide est contrôlée par un thermostat ou un aquastat

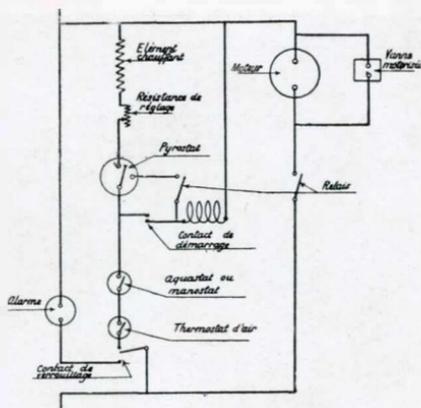


Schéma 38. — Fonctionnement d'une boîte de contrôle pour allumage continu au gaz (pour courant alternatif)

les résistances chauffantes peuvent par un système de relais ou de commandes multiples, être commandées par tout ou rien ou par fractions de façon à obtenir un échelonnement dans la puissance,

— introduire un appareil de commande complémentaire (comme ci-dessus).

Les schémas 2, 3, 4, 5, 30 en indiquent des montages.

2. Régulation des installations de chauffage en fonction de la température extérieure.

— *Thermostat à contacts multiples* (fig. 27), c'est une combinaison de plusieurs thermostats élémentaires réglables individuellement, constitués en général par des bilames droites (schéma 39).

Cet appareil sert soit au réglage de la durée de charge des

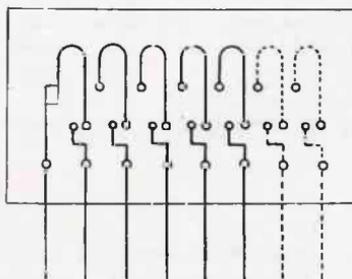
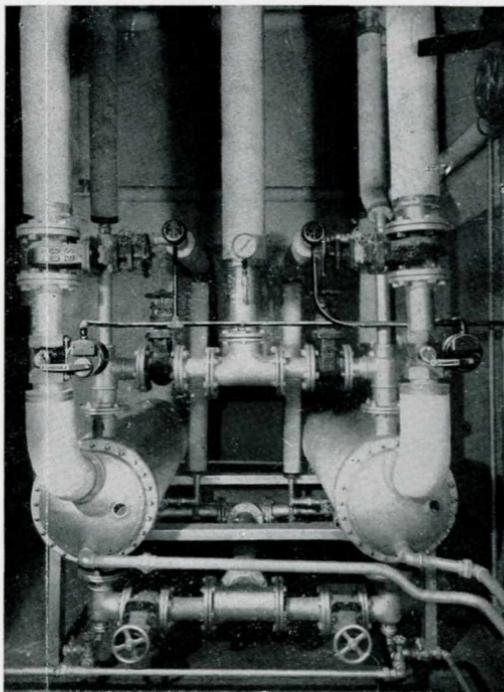


Schéma 39
Thermostat à contacts multiples



(Document Thermostatique)

Fig. 26. — Vue d'ensemble d'une installation d'échangeurs

poêles à accumulation électrique (par exemple, pour une température de $+ 10^{\circ} \text{C}$ enclenchement par le premier thermostat pendant 1 h 1/2 de nuit soit de 3 h 1/2 à 6 h, pour une température extérieure de $+ 5^{\circ} \text{C}$ enclenchement par le 2^e thermostat pendant 3 h de nuit, soit de 3 h à 6 h, etc.), soit au réglage de la température de l'eau chaude au départ des installations de chauffage central, etc.

3. Régulation en fonction des températures intérieure et extérieure.

a) Température du fluide chauffant et température extérieure.

Les appareils mis au point à cet effet sont employés dans la commande automatique des brûleurs de chauffage central, le contrôle des échangeurs, mélangeurs, chaudières électriques, etc.



(Document Thermostatique)

Fig. 27. — Thermostat multiple pour température extérieure

1° *Equistats.*

Deux bulbes C et C' (schéma 40) placés, l'un dans la chaudière ou contre un radiateur ou une tuyauterie, l'autre à l'extérieur, sont en communication avec un tube Bourdon A par l'intermédiaire de deux tubes capillaires souples B et B'. La déformation du tube, sous l'influence de la dilatation du liquide employé, dilataction fonction de la différence de température existant entre les milieux contrôlés par les bulbes C et C', agit sur un interrupteur simple à contacts basculants à mercure D. Celui-ci commande à son tour un contacteur tripolaire E placé aux bornes du moteur du brûleur à combustible liquide.

On fait ainsi varier automatiquement la température de chauffage en fonction de la température extérieure.

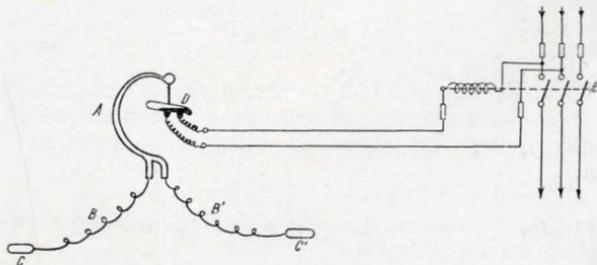


Schéma 40. — Equistat avec interrupteur simple à contact basculant à mercure, pour courant alternatif triphasé

A, tube Bourdon commandant l'interrupteur D ; B-B', tubes capillaires souples reliant les bulbes C et C' à la spirale tubulaire ; C-C', bulbes placés l'un dans la chaudière, l'autre à l'extérieur ; D, interrupteur simple à contact basculant à mercure ; E, contacteur tripolaire.

L'interrupteur peut, naturellement, être multiple et agir sur un circuit électrique autre qu'un circuit triphasé par un contacteur adapté à l'installation, on peut aussi lui adjoindre l'action d'une horloge et réaliser toutes les combinaisons voulues.

La zone de réglage de cet appareil s'étend de 20 à 90° C et on peut obtenir une sensibilité de 5 à 6° C.

2° *Exostats* (employés comme les équistats) (fig. 28).

Un exostat est constitué par un aquastat à réglage automatique relié électriquement par l'intermédiaire d'une boîte de



(Document Thermostatique)

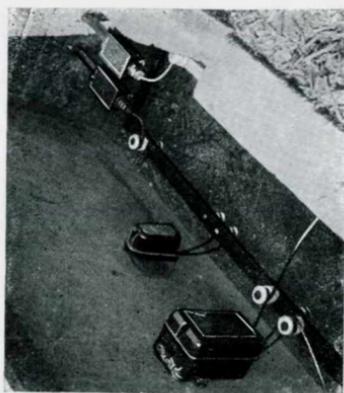
Fig. 28. — Exostat

régulation et de commande à un thermostat d'extérieur destiné à modifier suivant une courbe continue sa température de fonctionnement d'après les variations de la température extérieure (schéma 41).

Cet appareil assure

— la *marche automatique normale* suivant une courbe de correspondance réglable,

— la *marche automatique réduite* (pour la nuit par exemple) le passage de la marche normale à la marche réduite peut être opéré automatiquement ou à distance au moyen d'un contacteur horaire jour-nuit ou d'un interrupteur à main. Cette opération



(Document Nessi et Bigeaut)

Fig. 29

Thermostat pour couches horticoles

a pour effet de décaler de 10° C environ les valeurs correspondantes de températures extérieures par rapport à la marche normale.

la marche forcée maintien de l'eau à une température constante maximum

— *la marche minimum* maintien de l'eau à une température constante minimum.

b) *Température intérieure des locaux et température extérieure.*

La régulation peut être exécutée avec un thermostat d'ambiance A (à deux contacts froid-chaud et à position intermédiaire) et un thermostat d'extérieur B (à deux contacts froid-chaud et avec chauffage auxiliaire).

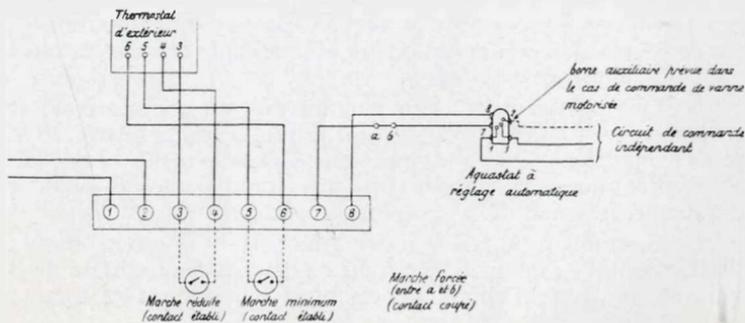


Schéma 41. — Branchement d'un exostat



(Document Ouest-Lumière)

Fig. 30. — Chambres-étuves bactériologiques avec thermostats à cadran

Lorsque la température voulue dans la pièce à chauffer n'est pas atteinte et que les appareils de chauffage commandés fonctionnent, le thermostat A est sur contact froid, B sur contact froid aussi et son circuit de chauffage hors circuit.

Lorsque la température voulue dans la pièce à chauffer est presque atteinte, le thermostat A passe sur la position intermédiaire et enclenche le circuit de chauffage B. Celui-ci atteint rapidement sa température de réglage, passe sur contact chaud, coupe les circuits commandant les appareils de chauffage, ainsi que son chauffage auxiliaire.

N'étant plus chauffé, il revient bientôt sur contact froid et recommence le même cycle, de sorte que la température de la pièce à chauffer s'élève lentement par enclenchements et déclenchements successifs produisant des impulsions de chaleur d'appoint, fonction de la température extérieure.

Le thermostat A arrive alors à passer sur contact chaud, il maintient à ce moment le circuit de chauffage auxiliaire de B qui reste sur contact chaud les circuits commandant les organes de chauffage sont donc tous coupés.

Lorsque la température dans la pièce à chauffer baisse, le

thermostat A revient à la position intermédiaire, met hors circuit le chauffage auxiliaire de B qui passe bientôt sur contact froid et les opérations ci-dessus recommencent.

CONCLUSION

Cette rapide revue des appareils thermostatiques et de leurs applications permet de se rendre compte de l'étendue des problèmes soulevés autant par l'établissement de ces appareils que par la façon de les employer

Aussi n'est-il pas inutile d'écrire, en conclusion, que tout problème de régulation thermostatique demande à être étudié de très près, par des spécialistes. Il peut sembler que l'on puisse obtenir le résultat souhaité avec n'importe quel système, mais il faut, de plus, chercher à réaliser, d'une façon pratique, l'opération voulue, à l'aide d'un appareil simple, robuste, constant dans son action et presque inusable.

LISTE DES BROCHURES SUR LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE

Titre	Auteur	Nombre de pages	Prix f
<i>Les alliages modernes et leur traitement thermique</i>	APEL	24	2
<i>L'électricité dans la minoterie</i>	RODDE	16	1,50
<i>L'électricité dans l'imprimerie.</i>	HISCHMANN	36	2,50
<i>L'électricité dans les cimenteries</i>	H. YOKEL	34	2,50
<i>L'électricité en émaillerie.</i>	R. GAUTHERET	63	4,50
<i>Le moteur électrique dans l'industrie du bois</i>	GIROUD	18	1,50
<i>Les applications du chauffage électrique en galvanisation</i>	ETIENNE	16	1,50
<i>L'électricité dans la fabrication des produits pharmaceutiques</i>	R. GAUTHERET	46	4
<i>L'électricité dans la bonneterie.</i>	G. THONNAT	44	4
<i>Avaries pouvant survenir aux moteurs électriques</i>	A. GIROUD	12	1,50
<i>L'électricité dans les petits ateliers de nickelage</i>	R. GAUTHERET	84	6
<i>Les résistances métalliques</i>	R. GAUTHERET	37	4
<i>L'électricité dans la brasserie</i>	DESFORGES et MASCART	44	4,50
<i>Les résistances non métalliques et leurs applications</i>	R. GAUTHERET	47	4,50
<i>Les éléments protégés et leurs applications industrielles</i>	R. GAUTHERET	41	4,50
<i>Les redresseurs secs et leurs applications industrielles</i>	LEBLANC	52	5
<i>L'électricité dans les industries de protection des métaux contre la corrosion et l'usure.</i>	R. GAUTHERET	56	5
<i>Les fours électriques à bains de sels à électrodes</i>	R. GAUTHERET	48	5
<i>Les fours électriques à résistances</i>	R. GAUTHERET	50	5
<i>Les différents types de fours à résistances</i>	R. GAUTHERET	76	7
<i>Comment choisir et acheter un four à résistances</i>	R. GAUTHERET	64	6
<i>Comment installer, réceptionner, utiliser un four à résistances</i>	R. GAUTHERET	40	6
<i>L'électricité dans l'industrie des matières plastiques</i>	PIARD	28	4,50
<i>L'amélioration du facteur de puissance dans les installations industrielles</i>	R. GAUTHERET	72	6
<i>Les machines à chauffer électriques par résistances et leurs applications industrielles</i>	D. BIDAUX	46	4,50
<i>Les étuves électriques et leurs applications industrielles</i>	L. TILLAUD	37	4



XXVI. 8. 41

La Société pour le Développement des Applications de l'Électricité APEL, créée avec le patronage du Groupement des Secteurs Français, a pour objet l'amélioration et la vulgarisation des appareils électriques d'applications diverses.

Pour toute étude et renseignements techniques,
s'adresser : 33, rue de Naples — PARIS (8^e)