



MESURE ÉLECTRIQUE
DES
TEMPÉRATURES

M E C I

MATÉRIEL **É**LECTRIQUE DE **C**ONTROLE ET **I**NDUSTRIEL

SAISON ANONYME AU CAPITAL DE 63000000 DE FRANCS

123, BOULEVARD DE GRENELLE - PARIS
TÉLÉPH. FON. 90-00 — TÉLÉGR. MECIVOCEM



CATALOGUE F. 3

INTRODUCTION	5
GÉNÉRALITÉS	7
Les Détecteurs	8
Le Thermocouple.	
La Lunette à radiation totale.	
La Résistance thermométrique.	
Les Appareils de mesure	14
Le Pyromètre à thermocouple.	
Le Pyromètre à lunette à radiation.	
Le Thermomètre à résistance.	
Exactitude et fidélité des mesures	20
DESCRIPTION	21
Appareils à équilibrage manuel	22
Pyromètre-potentiomètre portatif gradué en millivolts.	
Appareils gradués en degrés.	
Appareils à équilibrage automatique	25
<i>Fonctionnement de MICROMAX</i>	
<i>Fonctionnement de SPEEDOMAX</i>	
Indicateurs automatiques.	
Enregistreurs.	
Régulateurs.	
Dispositifs annexes. — Accessoires	52
Transmissions à distance.	
Boîtes à clés. — Tableaux de barres. — Contacts. — Relais. — Accessoires divers.	
Quelques dispositions spéciales.	
Détecteurs	60
Thermocouples. — Accessoires d'emploi.	
Lunettes à radiation totale. — Accessoires d'emploi.	
Résistances thermométriques. — Accessoires d'emploi.	
Renseignements pour le choix des caractéristiques des Enregistreurs	74
Cadences de commutation	
Fac-similés de papiers diagrammes	
Vitesses standard de déroulement de papier	
Liste des échelles standard	
Plans d'encombrement et de montage	78
<hr/>	
Pyromètre optique à disparition de filament	85
AMHEAT[®] VIRTUAL MUSEUM	89





I N T R O D U C T I O N

Cette nouvelle édition de notre catalogue a été élargie; elle concerne non seulement les pyromètres - potentiomètres à thermocouple mais aussi les autres appareils de mesure électrique des températures que nous pouvons fournir.

Les « Généralités » qui composent la première partie ont pour objet, comme dans les éditions précédentes, de rappeler un certain nombre de connaissances indispensables sur les détecteurs ainsi que le principe de fonctionnement des appareils. Nous avons cherché à y présenter un texte simple; pensant toutefois que certains lecteurs pourraient souhaiter disposer d'un exposé plus complet de la question des thermocouples, qu'on trouve rarement dans les traités français de physique, nous avons placé un complément sur ce sujet en annexe à la fin du catalogue. Il ne nous a pas semblé nécessaire de faire de même pour les lunettes pyrométriques car des ouvrages connus donnent en ce qui les concerne tous les développements utiles. La supériorité des appareils de zéro pour les mesures de températures étant maintenant très couramment admise, nous avons cru pouvoir être plus brefs sur ce point que précédemment.

La deuxième partie est consacrée à la description proprement dite du matériel de notre fabrication. Les appareils Speedomax à équilibrage électronique y ont pris une grande place, une comparaison suffisamment détaillée avec les appareils Micromax à équilibrage mécanique permettant de choisir en connaissance de cause entre les deux types. En ce qui concerne les régulateurs, on notera l'apparition de notre régulateur à programme à came.

Nous rappelons que nos indicateurs du type Speedomax, nos enregistreurs et nos lunettes pyrométriques sont construits sous licence de la LEEDS & NORTHRUP Company.

Enfin, la question n'ayant pas eu à être évoquée au cours du catalogue, nous signalons ici que nous pouvons fournir les appareils concernant une installation montés sur tableau, avec tous câblages exécutés.





GÉNÉRALITÉS



LES DÉTECTEURS

La mesure électrique des températures s'effectue le plus souvent au moyen de thermocouples, de lunettes à radiation totale, de résistances thermométriques ou de pyromètres optiques à disparition de filament.

Les trois premiers détecteurs conduisent à l'emploi d'appareils similaires. Nous les avons donc groupés dans l'étude de leur fonctionnement, puis dans leur description. Par contre, le pyromètre optique à disparition de filament, qui nécessite une appréciation de l'opérateur, est assez différent des précédents, et toute l'étude en a été reportée à la fin du catalogue.

LE THERMOCOUPLE

L'expérience montre qu'un circuit constitué par deux conducteurs métalliques de nature différente, M_1 et M_2 (figure 1), est parcouru par un courant électrique, dès que les contacts A_1 et A_2 entre les deux conducteurs sont portés à des températures inégales T_1 et T_2 .

Un circuit de ce genre, appelé couple thermo-électrique ou thermocouple, est donc le siège d'une force électromotrice E , que l'on peut mettre en évidence en ouvrant le circuit en l'un de ses points (fig. 2). Si l'on a pris soin de maintenir l'état thermique initial des conducteurs, la différence de potentiel entre les extrémités P_1 et P_2 de la coupure est alors égale à E . P_1 et P_2 apparaissent ainsi comme les bornes d'un générateur dont la force électromotrice E peut être mesurée par les méthodes habituelles, moyennant quelques précautions qui sont précisées dans la suite. Des mesures ainsi effectuées en faisant varier les températures montrent que la force électro-motrice des thermocouples obéit à des lois relativement simples, qui font du couple thermo-électrique un moyen de mesure d'un emploi particulièrement commode.

L'application des principes de la Thermodynamique permet de retrouver ces lois et conduit, en outre, à d'utiles précisions intéressant les conditions d'utilisation des thermocouples. Ces développements théoriques sont exposés dans leurs grandes lignes en fin de catalogue, dans une annexe qui leur est réservée.

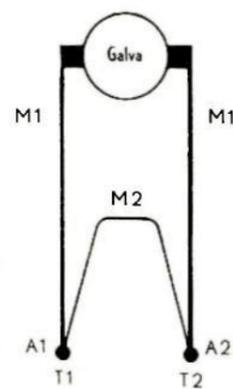


Fig. 1

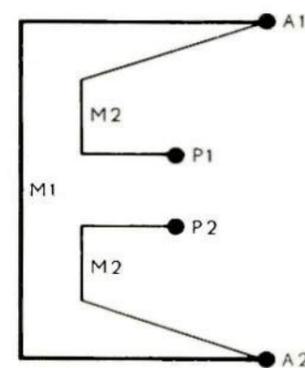


Fig. 2

Les résultats essentiels peuvent être résumés ainsi :

1^o La force électromotrice E d'un thermocouple ne dépend que de la nature des conducteurs et des températures T_1 et T_2 des deux contacts.

Elle est donc indépendante des températures intermédiaires de l'un ou l'autre des conducteurs à condition que leur structure reste parfaitement homogène.

Trois conséquences importantes résultent de cette propriété.

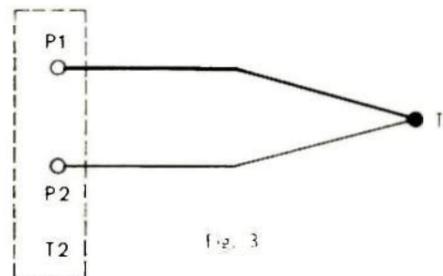
a) Si l'un des contacts, A_2 , par exemple, est maintenu à une température de référence fixe, la force électromotrice E du thermocouple est uniquement fonction de la température T_1 de l'autre contact. **De la mesure de E , on peut donc déduire la température T_1 une fois déterminée par étalonnage la fonction $E(T_1)$ relative à la température de référence choisie.**

b) Pour que la différence de potentiel entre les bornes P_1 et P_2 du thermocouple soit égale à sa force électromotrice E , **il suffit de maintenir égales les températures de ces bornes, mais on conserve toute latitude dans le choix de cette température commune.**

L'égalité des températures des deux bornes est, par contre, strictement nécessaire. Il serait impossible en effet, autrement, d'imaginer la fermeture de la coupure $P_1 P_2$ sans perturbation de l'état thermique des conducteurs et, par conséquent, de l'état électrique des points P_1 et P_2 eux-mêmes.

c) **La différence de potentiel qui règne entre les bornes du thermocouple dans les conditions qui viennent d'être précisées, ne dépend pas du point choisi pour ouvrir le circuit du couple.** On profite presque toujours de cette circonstance pour **faire coïncider la coupure du circuit avec l'un des contacts.** (figure 3).

L'usage désigne par **soudure chaude** le contact porté à la température T_1 à mesurer, bien qu'exceptionnellement celle-ci puisse être inférieure à la température T_2 de l'autre extrémité du couple, qui porte d'ailleurs toujours le nom de **soudure froide**, bien que les deux éléments de ce couple n'y soient généralement pas soudés.



2^o Loi des températures successives.

La loi des températures successives établit une correspondance entre les courbes d'étalonnage relatives à différentes températures de référence. Elle permet, en conséquence, de prévoir des dispositifs dits « de compensation de soudure froide », dont nous verrons plus loin la nécessité.

Si $E_0(T_1)$ et $E_2(T_1)$ désignent respectivement les forces électromotrices du thermocouple, lorsque, l'un de ses contacts, A_1 , par exemple, étant porté à la température T_1 , l'autre A_2 est maintenu à la température de référence, 0°C ou T_2 suivant le cas, la loi des températures successives s'énonce ainsi :

La différence $E_0(T_1) - E_2(T_1)$ est égale à la force électromotrice que développerait le thermocouple si les températures des contacts A_1 et A_2 étaient respectivement T_2 et 0°C .

On peut donc écrire :

$$E_0(T_1) = E_0(T_2) + E_2(T_1) \quad (1)$$



(1) Nous adoptons cette forme comme pour la suite. On écrirait aussi bien, en partant d'une température « a » au lieu de 0° :

Cette relation résout le problème du changement de température de référence **et permet de déduire toutes les courbes d'étalonnage de l'une d'entre elles**. La loi des températures successives exprime d'ailleurs ce résultat remarquable : **Toutes ces courbes se recouvrent**.

Les courbes d'étalonnage des thermocouples ne sont généralement pas linéaires, mais, pour les couples usuels, la courbure reste assez faible dans la zone d'utilisation pour que l'on puisse chiffrer la sensibilité.

Elle varie suivant la nature du thermocouple, d'une dizaine de microvolts degré (couple Platine rhodié - Platine) à une quarantaine de microvolts degré (couple Chromel - Alumel ou Cuivre - Constantan) et une cinquantaine de microvolts degré (couple Fer - Constantan).

NÉCESSITÉ D'UNE CORRECTION DE SOUDURE FROIDE. — La température de référence choisie pour déterminer l'étalonnage des thermocouples est presque toujours celle de la glace fondante.

Pour que la température indiquée par un appareil de mesure gradué en correspondance coïncide avec la température mesurée, il est donc théoriquement nécessaire que la soudure froide soit en équilibre thermique avec la glace fondante. Cette condition, réalisable au laboratoire, n'est, par contre, jamais respectée dans le cas des mesures industrielles, où il serait peu commode de fixer la température de soudure froide à une valeur de référence déterminée. Il y a donc lieu d'opérer une correction dite de soudure froide.

Les bornes P_1 P_2 , constituant la soudure froide, sont suffisamment rapprochées pour qu'il soit légitime de considérer leurs températures comme égales. On crée, au besoin, de bonnes conditions d'isothermie locale par une protection métallique, donc thermiquement conductrice, doublée éventuellement d'un refugeage.

La température T_2 de soudure froide étant ainsi parfaitement définie, un dispositif de compensation, souvent automatique (cf. page 15), permet de corriger l'erreur introduite par l'écart entre les températures T_2 et 0°C . Lorsque cette correction doit être réalisée avec quelque précision, il convient de tenir compte de la courbure de la courbe d'étalonnage, généralement plus accentuée vers les basses températures (1).

EFFET VOLTA. EFFET THOMSON. — L'étude théorique des thermocouples montre que leur force électro-motrice résulte de la superposition de deux effets thermoélectriques distincts.

a) **Effet VOLTA.** Lorsque deux conducteurs métalliques de nature différente sont en contact et en équilibre thermique et électrique, il existe entre eux une différence de potentiel, qui peut être de l'ordre du volt, mais qu'une mesure directe ne réussit pas à mettre en évidence, en raison de la loi des chaînes métalliques :

La somme des différences de potentiel de contact dans une chaîne métallique fermée est toujours nulle, **si les contacts sont tous à la même température.**

La loi des chaînes métalliques ne s'applique plus, lorsque les températures des contacts sont inégales, car l'effet VOLTA dépend de la température. La somme des deux effets VOLTA n'est donc pas nulle dans un thermocouple.

b) **Effet THOMSON.** Entre deux points d'un conducteur homogène, en équilibre électrique, existe une différence de potentiel, dès que les températures de ces deux points sont inégales.

Cet effet ne dépend que de la **nature du conducteur et des températures des deux points considérés**. Il en résulte, en particulier, que l'effet THOMSON est nul pour un circuit fermé homogène. Il contribue, par conséquent, à la force électromotrice des thermocouples, car le circuit est, dans ce cas, hétérogène.



On mettrait par exemple pour un thermocouple cuivre constantan, en négligeant cette courbure, c'est-à-dire en faisant par addition de températures, une erreur de près de 10°C pour une température de soudure froide de 30°C .

CÂBLE DE COMPENSATION. — Il arrive fréquemment que la soudure froide P_1, P_2 , que nous supposons confondue avec les bornes de l'appareil de mesure, ou disposée à l'intérieur de celui-ci, soit assez éloignée de la soudure chaude. Il serait onéreux, dans ce cas, de prolonger les conducteurs du thermocouple sur une longueur qui pourrait atteindre parfois plusieurs dizaines de mètres. Les fils du couple sont, en effet, l'objet d'une sélection particulièrement sévère, afin d'assurer l'exactitude et la fidélité du thermocouple **sur une vaste échelle de température.**

On tourne la difficulté en substituant aux fils du couple lui-même, sur la majeure partie du trajet, des fils moins coûteux généralement sous forme d'un câble bifilaire appelé « câble de compensation ». Cette substitution se justifie comme il suit :

La chute de température la plus importante intéresse en général une longueur de fil assez réduite : la température tombera, par exemple, de 1200°C à 60°C en un ou deux mètres. La chute résiduelle de température, beaucoup plus modérée, de 60°C à 20°C par exemple, se trouve ainsi répartie sur la majeure partie de la distance qui sépare la soudure chaude de la soudure froide. **C'est donc seulement dans un domaine assez restreint de températures, voisines au surplus de la température ambiante, que l'on demande aux fils du câble de compensation de remplacer sans erreur appréciable, ceux du couple.**

Une première solution consiste à prendre comme fils de substitution des fils de même nature que ceux du thermocouple. L'avantage de cette substitution est le suivant : la sélection des fils du câble de compensation se limite au domaine restreint des températures d'utilisation où leurs caractéristiques peuvent être entièrement comparables à celles du thermocouple tout en risquant d'en différer à des températures plus élevées. Les éléments du câble de compensation sont, par suite, moins coûteux.

Une autre solution couramment adoptée, elle aussi, utilise comme fils de substitution formant câble de compensation, deux fils de nature différente de ceux du couple, de caractéristiques convenablement choisies. Il importe alors que **les températures des connexions entre les fils du câble de compensation et du couple soient égales.**

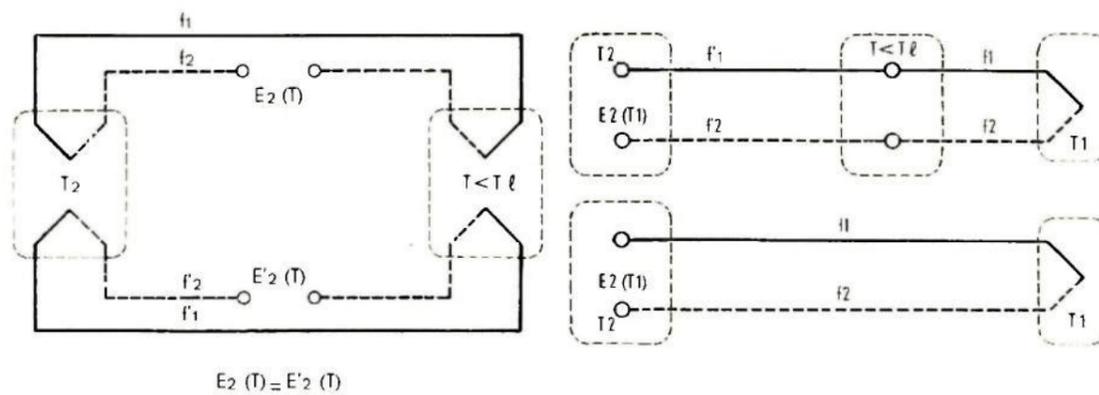
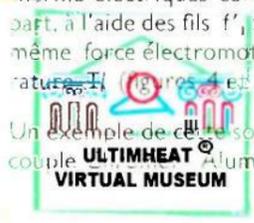


Fig. 4

Fig. 5

La condition qui dicte le choix des fils du câble de compensation dans ce dernier cas peut s'énoncer ainsi : si la température T des connexions du câble et du couple reste en deçà d'une limite T_l , les deux couples thermo-électriques constitués, d'une part, à l'aide des fils f_1, f_2 du thermocouple de mesure, et, d'autre part, à l'aide des fils f'_1, f'_2 qui leur sont **respectivement** substitués dans le câble, doivent développer la même force électromotrice dans le domaine qui s'étend des températures ambiantes normales à la température T_l (Figures 4 et 5).

Un exemple de cette solution est donné par un câble Cuivre - Constantan prolongeant les fils d'un thermocouple Alumel.



LA LUNETTE A RADIATION TOTALE

La lunette à radiation totale est un détecteur qui permet la mesure d'une température par l'intermédiaire d'un rayonnement. Elle n'est donc pas, comme un thermocouple ou une résistance thermométrique, placée dans le milieu dont la température est mesurée. Son usage est, par suite, particulièrement indiqué quand cette température est élevée et détériorerait les autres détecteurs, en concomitance le plus souvent avec des agents chimiques (gaz...) ou mécaniques (vibrations...). Mais il est des cas : pièces en mouvement, températures de surfaces, etc. où l'utilisation de la lunette est recommandable pour des températures moins élevées, atteignant néanmoins quelques centaines de degrés. Plus celles-ci sont faibles, et plus les mesures deviennent délicates et demandent certaines précautions; en particulier, l'énergie rayonnée reçue par la lunette décroît rapidement.

Le principe de la mesure dérive de la loi qui lie la valeur W de l'énergie totale rayonnée par l'unité de surface d'un corps à la température de ce corps. Dans le cas d'un corps noir (1) isolé dans le vide à la température absolue T , cette loi s'écrit :

$$W = \varepsilon T^4 \text{ (loi de Stefan - Boltzmann)}$$

où ε est une constante.

Nos lunettes comprennent un ou plusieurs thermocouples montés en série constituant une thermopile. Les soudures chaudes sont rassemblées sous une pastille sur laquelle est concentrée, à l'aide d'un dispositif optique à lentille ou à miroirs, l'énergie rayonnée reçue par la lunette. Cette énergie est transformée en chaleur qui s'écoule vers les soudures froides et le corps de lunette ou elle se dissipe. Une différence de température entre soudures chaudes et froides en résulte et crée une force électromotrice que l'on peut mesurer pour en déduire la température du corps visé.

Cette différence de température est, en gros, proportionnelle à l'énergie reçue par la pastille, et la force électromotrice mesurée est, en gros, proportionnelle à la différence de température. La proportionnalité n'est rigoureuse ni pour l'une ni pour l'autre du fait de la non-linéarité des caractéristiques thermiques et thermoélectriques, mais il y a, dans nos lunettes, une compensation entre les conséquences de ce fait pour ces deux caractéristiques, (compensation particulièrement étudiée dans nos lunettes à double miroir); elle est telle qu'à un même flux reçu par la lunette correspond toujours la même force électromotrice, quelle que soit la température des soudures froides qu'on n'a pas à chercher à maintenir constante.

La force électromotrice obtenue est donc, telle quelle, caractéristique de la température du corps visé et la liaison entre lunette et appareil de mesure **ne doit pas être effectuée en câble de compensation**, qui modifierait cette force électromotrice, mais au moyen de deux conducteurs de même nature (généralement en cuivre). Il va de soi, de même, que l'appareil de mesure ne doit pas comporter de dispositif de compensation de soudure froide.

Distance de visée. Lorsque l'on vise une source homogène à température uniforme, dont chaque point rayonne par conséquent avec la même intensité, la température indiquée par la lunette n'est correcte qu'autant que l'énergie reçue par unité de surface de la pastille est, elle-même, uniforme et reste, d'autre part, invariable lorsque l'on envisage différentes distances de visée.

Si l'image de la source rayonnante, que l'on suppose centrée sur l'axe optique de la lunette, est nettement plus grande que la pastille, on montre que l'on dispose d'une certaine latitude de mise au point tout en conservant un éclairage uniforme et invariable. On peut donc, dans ces conditions, opérer des visées à des distances supérieures à la distance de mise au point, mais à condition de ne pas dépasser une limite qui dépend des dimensions de la source et du diaphragme utilisé.



Un corps noir est le corps théorique qui absorbe intégralement toutes les radiations qu'il reçoit; son coefficient d'absorption est égal à 1, ses coefficients de réflexion, de transmission et de diffusion sont nuls. On se trouve sensiblement dans les conditions du corps noir lorsque une enceinte fermée à température uniforme rayonne par une petite ouverture.

Pratiquement, avec nos lunettes, une source d'une cinquantaine de millimètres de diamètre correspond à une latitude de mise au point s'étendant sensiblement de 0,60 m à 1 m. Ce n'est, bien entendu, qu'un exemple; nos lunettes sont, en général, mises au point pour une distance de 0,60 m et on pourra d'autant plus s'écarter de cette distance que la source aura un diamètre plus grand.

Élimination d'un coefficient de lecture. Quand on utilise la lunette en visant le fond d'un tube borgne en réfractaire, on se trouve sensiblement dans les conditions du corps noir.

On peut généralement admettre, dans les autres cas, que les conditions sont celles du corps gris, c'est-à-dire que la loi force électromotrice-température reste valable à un coefficient près (coefficient d'émissivité totale). D'autre part, les lunettes que nous fournissons ne sont garanties interchangeables que quand elles sont livrées pour un même appareil à plusieurs directions. Dans les autres cas, elles ont la même loi force électromotrice-température, à un coefficient près (1).

Il peut donc y avoir lieu de tenir compte de deux coefficients. On verra, lors de l'étude du potentiomètre (page 17) comment un dispositif d'ajustement permet néanmoins de graduer l'appareil en degrés.

Remarque. La force électromotrice de la lunette ne suit pas une loi en T^2 par suite de l'intervention d'un certain nombre de facteurs parasites : absorption sélective du dispositif optique, rayonnement propre de la pastille, etc.

LA RÉSISTANCE THERMOMÉTRIQUE

La résistance électrique d'un conducteur est généralement fonction de sa température. Si l'on plonge un conducteur dans un milieu déterminé, la mesure de sa résistance permet donc de connaître la température du milieu.

Ce procédé est particulièrement employé pour une zone de températures s'écartant peu du domaine des températures ambiantes (jusqu'à 100 à 150°C).

On utilise alors généralement les résistances en nickel ou en cuivre dont les caractéristiques bien définies sont données dans des tables de correspondance. La loi résistance-température est linéaire pour le cuivre, ce qui présente un intérêt pour les mesures différentielles.

Pour des températures supérieures, l'utilisation de résistances en platine permet d'effectuer des mesures jusque vers 500°C, mais en général, dans ce domaine de températures, on fait le plus souvent usage de thermocouples.

La liaison de la résistance thermométrique à l'appareil de mesure ne nécessite pas l'emploi d'une nature particulière de conducteur. On verra, page 18, comment on s'affranchit de l'influence des résistances de ligne.



(1) Tous nos efforts sont à réaliser l'interchangeabilité pour nos lunettes à miroirs.

APPAREILS DE MESURE

Nos appareils de mesure électrique des températures utilisent exclusivement la méthode de zéro.

Le circuit électrique est un potentiomètre pour les thermocouples et les lunettes à radiation totale, un pont de Wheatstone pour les résistances thermométriques. L'opération de mesure consiste à équilibrer ce potentiomètre, ou ce pont, ce qui s'effectue manuellement pour certains appareils, et au moyen d'un servo-mécanisme pour le plus grand nombre. Le déséquilibre est constaté par un **organe sensible**, parcouru par un courant, dit **courant de déséquilibre**, qui s'annule quand l'équilibre est obtenu. Cet organe sensible est, suivant les cas, un galvanomètre à suspensions tendues ou un dispositif électronique. La méthode de zéro confère aux appareils des qualités de robustesse, de précision et de fidélité qu'on ne saurait obtenir des meilleurs appareils à déviation.

En particulier, les appareils à déviation pour thermocouples, qui mesurent la force électromotrice des détecteurs par l'intermédiaire d'une mesure d'intensité, doivent être, si l'on veut réduire l'influence des nombreuses causes de variation de résistance du circuit pyrométrique, des appareils à haute résistance. On sait combien est délicate, surtout en service continu, l'utilisation de tels appareils, qui comportent le plus souvent des pivots, pour mesurer des variations de force électromotrice aussi minimes que celles mises en jeu en pyrométrie (page 10). La difficulté ne peut être convenablement résolue qu'avec des appareils de zéro.

En dehors de cet avantage primordial les appareils de zéro présentent celui de permettre une échelle de grande dimension dont l'origine peut être différente de 0°C si on le désire.

LE PYROMÈTRE A THERMOCOUPLE

C'est un potentiomètre.

La méthode potentiométrique consiste à mesurer la force électromotrice du thermocouple en lui opposant une différence de potentiel que l'on fait varier en en connaissant continuellement la valeur jusqu'à ce qu'il y ait égalité, cette égalité étant constatée par l'absence de courant dans l'organe sensible. L'influence de la résistance du circuit et, par conséquent, de ses variations possibles se trouve, de ce fait, éliminée.

La différence de potentiel qui varie en restant connue est, dans nos appareils, celle existant entre un point fixe et un point mobile d'une résistance calibrée dans laquelle une pile débite un courant constant.

Le schéma de principe est donné fig. 6. O X E étant la résistance calibrée ou fil calibré du potentiomètre, on déplace le curseur X jusqu'à ce que l'organe sensible O.S. ne soit traversé par aucun courant; à ce moment, la différence de potentiel entre les points O et X du potentiomètre est égale à la force électromotrice du couple T.C. La position du curseur X indique la valeur de cette force électromotrice.

La résistance calibrée est constituée par un alliage à coefficient de température pratiquement nul.

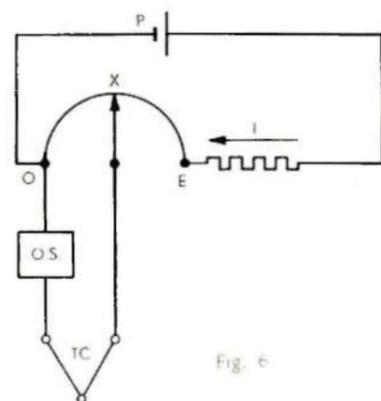


Fig. 6

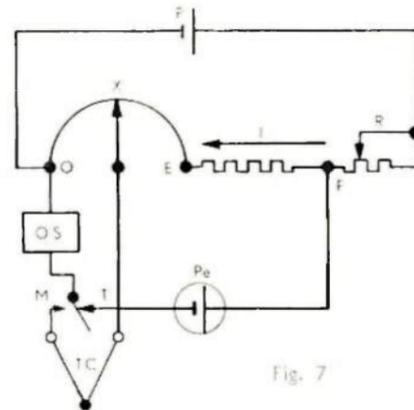


Fig. 7



L'intensité I du courant débité par la pile sèche P aurait tendance à diminuer lentement avec le temps, en raison de la polarisation de la pile. On maintient constante cette intensité par l'opération suivante, dite **Tarage** (fig. 7).

En manœuvrant l'inverseur MT , on débranche le thermocouple et on branche, entre les points O et F , l'organe sensible et une pile étalon Pe .

On met ainsi en opposition la différence de potentiel aux extrémités O et F d'une portion de circuit de résistance invariable et la force électromotrice de la pile étalon.

Le rhéostat R est manœuvré de manière à annuler le courant dans l'organe sensible, ce qui s'effectue soit automatiquement, soit manuellement suivant les types d'appareils. La constance de la différence de potentiel entre O et F , donc celle du courant I , est ainsi réalisée.

La pile étalon est du type Weston non saturé au sulfate de cadmium, construite avec le plus grand soin, et sa force électromotrice est pratiquement indépendante de la température.

La constance à peu près indéfinie de cette force électromotrice est possible du fait que la pile étalon ne débite jamais qu'un courant extrêmement faible, par intermittence et pendant des instants très courts.

CORRECTION DE SOUDURE FROIDE. — La soudure froide du thermocouple est parfois maintenue à $0^{\circ}C$ en laboratoire pour des mesures très précises.

Mais, dans la plupart des cas, la température de la soudure froide T_2 varie avec la température ambiante du local ou avec celle de l'appareil. On a vu, page 10, qu'il convient alors de procéder à une correction dite de soudure froide, de manière à rétablir la force électromotrice mesurée à la valeur $E_n(T_1)$ qu'elle aurait si, la soudure chaude étant toujours à la température T_1 , la soudure froide était maintenue à 0° . D'après la loi des températures successives (page 9), il y a lieu, pour cela, d'ajouter à la force électromotrice actuelle $E_n(T_2)$ du thermocouple, celle $E_n(T_2)$ qu'aurait ce même thermocouple pour une température de soudure chaude T_2 et une température de soudure froide 0° (1).

Cette dernière force électromotrice peut être lue dans les tables si l'on a mesuré T_2 (généralement avec un thermomètre à mercure), et, si l'appareil est gradué en millivolts, ajoutée à la mesure, par exemple en décalant l'échelle avec un dispositif adéquat, comme dans notre potentiomètre portatif ESPM.

Mais la complication de cette méthode n'est acceptable que pour un appareil destiné à des étalonnages ou à des mesures de laboratoire. Dans nos appareils destinés à la pratique industrielle, qui sont gradués en degrés, la correction est faite automatiquement par un dispositif dit de **compensation automatique de soudure froide**.

On utilise à cet effet (fig. 8) une deuxième chaîne de résistances, ou chaîne de compensation, parcourue par un courant égal (2) à celui parcourant la chaîne qui comprend le fil calibré de mesure, ou chaîne de mesure, et en parallèle avec elle.

S'il était possible que la résistance D , portée à la température T_2 , varie en fonction de celle-ci de telle manière que la chute de tension dans cette résistance due au courant I ait une valeur égale à $E_n(T_2)$, on voit que le problème serait résolu.

En fait, cette bobine D , dite bobine de compensation, est constituée par des métaux à grand coefficient de température, et a une résistance non nulle à $0^{\circ}C$, correspondant à une chute de tension V_n .

Ce sont ses variations à partir de cette valeur, qui donnent, à partir de V_n , des variations de chute de tension égales à $E_n(T_2)$, dans les limites de température admissibles. Dans le schéma réel (fig. 8 bis), on en tient compte en introduisant dans la chaîne de mesure, la bobine G , dont la résistance invariable est égale à celle de D à 0° . (3)

- (1) On doit procéder par addition de forces électromotrices et non, comme il est fait quelquefois, par addition de températures, en raison de la non-linéarité de la courbe température — force électromotrice (page 10).
- (2) Nous choisissons ce cas, qui est de beaucoup le plus fréquent. Si le rapport des courants était constant mais différent de un l'explication serait la même.
- (3) Dans le cas où la bobine de mesure correspondant au déplacement du curseur sur le fil calibré débute à une valeur différente de V_n aura une autre valeur, mais ceci ne change évidemment rien aux considérations du présent exposé.



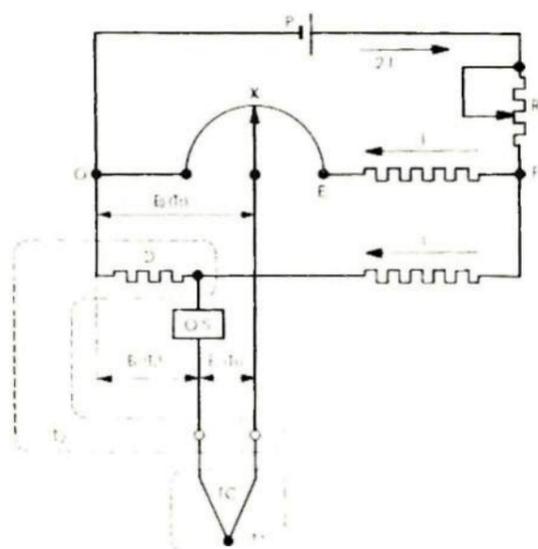


Fig. 8

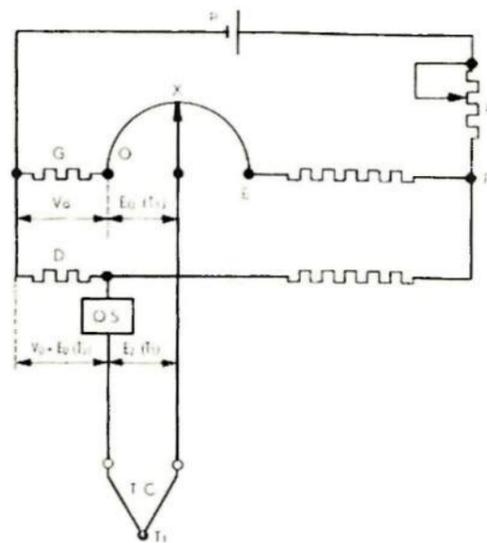


Fig. 8 bis

Remarque 1. Un appareil possédant une telle compensation automatique ne permet d'utiliser que la nature de couple pour laquelle il est prévu.

Remarque 2. Les variations de la résistance D sont suffisamment négligeables devant la résistance totale de la chaîne pour que l'on n'ait pas à tenir compte de leur influence sur la valeur de l'intensité. Il ne pourrait y avoir d'exception que pour des mesures de grande précision, en laboratoire, où il est de règle de maintenir la soudure froide à 0° et où par suite on ne prévoit pas de bobine de compensation.

DÉPLACEMENT DE SOUDURE FROIDE. — Il peut arriver que l'appareil soit situé loin des prises de température.

Avec un appareil à organe sensible galvanométrique, avec un de nos appareils Micromax en particulier, la liaison en câble de compensation de la (ou des) canne pyrométrique à l'appareil peut alors présenter deux inconvénients : une sensibilité insuffisante, s'il s'agit d'une distance atteignant une centaine de mètres et d'un câble correspondant à des couples usuels autres que le platine rhodié - platine : une dépense un peu élevée en câble de compensation.

Il est possible, pour remédier à ces deux inconvénients, de déplacer la bobine de compensation de manière à substituer au câble de compensation des conducteurs en cuivre sur une partie du parcours. Nous signalons cette possibilité et fournirons sur demande le schéma et les indications nécessaires. Toutefois, nous ne conseillons guère d'en user, car la réalisation correcte de l'installation est délicate et ne va pas d'ailleurs, en conséquence, sans quelques frais : en ce qui concerne la question de sensibilité, elle peut toujours être résolue par l'emploi d'un potentiomètre Speedomax à organe sensible électronique.

Pour ce dernier appareil, en effet, la sensibilité n'est pas affectée par des résistances de l'ordre à envisager. Seule, la question d'une économie en câble de compensation peut se poser. Il est possible de réaliser une certaine économie de ce genre avec des appareils à plusieurs directions, en prolongeant chaque thermocouple par un câble de compensation individuel jusqu'à un coffret de jonction et en employant, de celui-ci à l'appareil, d'une part, une jonction normale en fil de cuivre pour chaque thermocouple, d'autre part une jonction unique par un câble de compensation pour lequel sont, dans ce cas, prévues sur l'appareil, deux bornes supplémentaires.

Cette solution présente un intérêt quand les thermocouples reliés à un même appareil sont nombreux et assez rapprochés les uns des autres, alors que l'appareil se trouve éloigné des prises de température, placé, par exemple, dans une salle de contrôle. Le schéma d'installation sera fourni sur demande.



LE PYROMÈTRE A LUNETTE A RADIATION

C'est aussi un potentiometre.

On a vu, page 12, lors de l'étude de la lunette, que cet appareil, dont la liaison à la lunette **ne doit pas être effectuée en câble de compensation**, ne doit pas comporter de dispositif de compensation de soudure froide.

Par contre, il peut convenir d'adapter, sur place, l'appareil aux conditions de visée, et il est utile de disposer, sur l'appareil lui-même, d'un dispositif commode d'ajustement lors d'un changement de lunette. On pourra ainsi utiliser correctement un appareil gradué une fois pour toutes en degrés.

En ce qui concerne les conditions de visée, on a à tenir compte du pouvoir émissif total du corps visé. Pour une température donnée de ce corps, on doit lire, si ce pouvoir émissif est différent de un, le même nombre de degrés que si l'on se trouvait dans les conditions du corps noir, bien que la force électromotrice de la lunette soit réduite dans la proportion des pouvoirs émissifs.

En ce qui concerne la substitution à une lunette d'une autre lunette non tout à fait interchangeable, mais de courbe homothétique (page 13), on aura aussi à faire correspondre la même graduation en degrés à des forces électromotrices qui ne sont pas égales mais proportionnelles.

On est ramené, dans les deux cas, à un même problème qui peut être résolu en modifiant, dans la proportion voulue, l'intensité du courant qui parcourt le fil calibré.

Le dispositif employé est indiqué fig. 9. L'intensité du courant qui parcourt la résistance C étant maintenue constante par l'opération de tarage, on agit par la manœuvre du rhéostat R' sur la répartition du courant dans les deux branches.

L'ajustement, quand il est nécessaire, peut se faire, suivant les conditions et la température mesurée, en comparant les lectures de l'appareil soit avec celles d'un appareil à thermocouple, soit avec celles d'un pyromètre optique monochromatique, par exemple à disparition de filament.

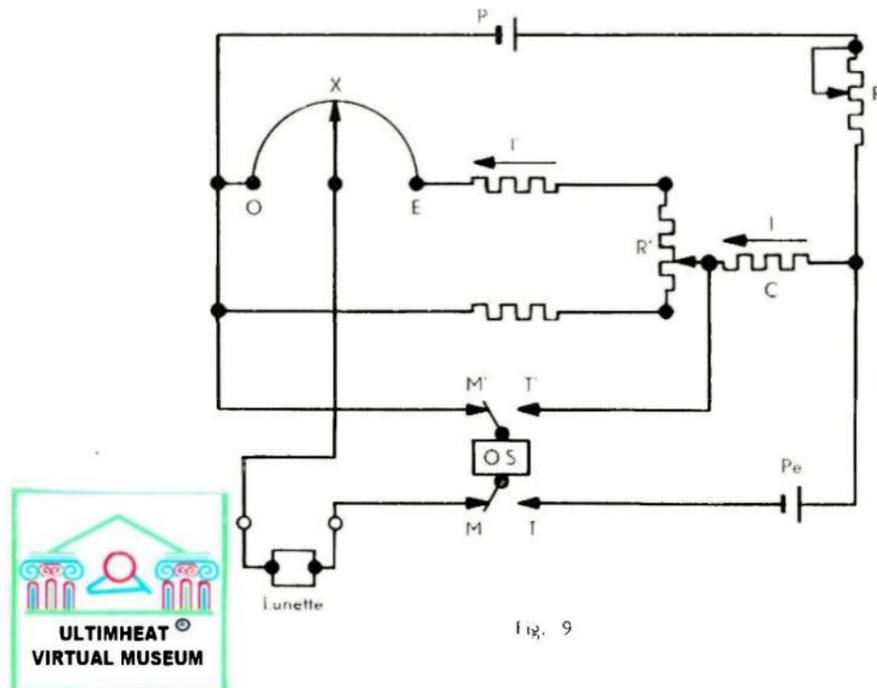


Fig. 9



LE THERMOMÈTRE A RÉSISTANCE

C'est un pont de Wheatstone.

La fig. 10 donne le schéma d'un montage simple qui éliminerait, dans la mesure, toute influence de résistance de contact mobile.

X étant la résistance thermométrique, le reste étant constitué par des résistances invariables bien déterminées et une résistance calibrée (fil calibré) de résistance également invariable, la formule habituelle du pont de Wheatstone, $\frac{X}{R} = \frac{M}{N}$, ferait connaître, pour la position du curseur sur le fil calibré donnant l'équilibre, la valeur de X dont on déduirait celle de la température à mesurer.

En pratique, la résistance thermométrique est placée à une certaine distance de l'appareil: le schéma deviendrait celui de la fig. 11, l étant la résistance, supposée la même, de chaque fil de raccordement de la résistance X à l'appareil, et la formule d'équilibre donnerait :

$$\frac{X + l}{R + l} = \frac{M}{N}$$

X serait donc fonction de l et l'appareil devrait être gradué dans chaque cas en tenant compte de la résistance des fils de raccordement; celle-ci est d'ailleurs susceptible de varier en fonction de la température, ce qui compromettrait l'exactitude des mesures.

On est, par suite, conduit à l'emploi d'un mode de mesure un peu différent où, contrairement aux hypothèses ci-dessus, M est maintenu égal à N et R, rendu variable, maintenu égal à X, la formule précédente étant alors satisfaite quelle que soit la valeur de l .

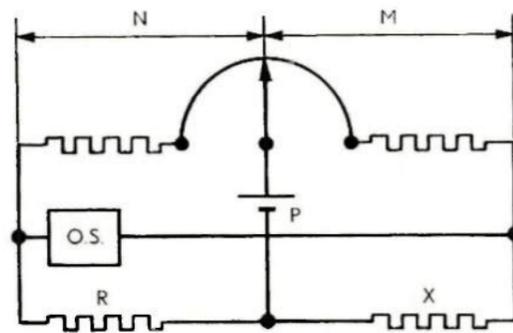


Fig. 10

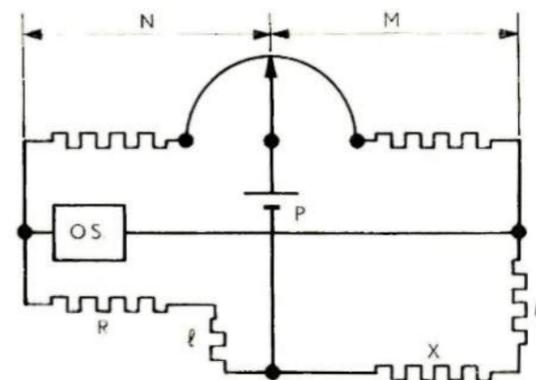


Fig. 11



Le schéma est celui de la fig. 12, adopté sur nos appareils, qui conserve l'avantage d'éliminer de la mesure l'influence des résistances de contact. Il comporte deux fils calibres S_1 et S_2 dont les déplacements par rapport à leurs curseurs sont solidaires.

La résistance totale de S_1 est égale à la variation maximum de X pour l'échelle considérée, R étant égale, pour le curseur de S_1 à zéro, au minimum de valeur de X pour cette échelle.

La résistance de S_2 est la moitié de celle de S_1 , la même proportion existant naturellement pour deux portions correspondantes des deux fils.

Quand X varie d'une quantité ΔX , le déplacement des fils calibres par rapport aux curseurs pour rétablir l'équilibre fait varier R de $\pm S_1$, N de $-\pm S_1 + \pm S_2 = -2 \pm S_2 + \pm S_1 = -\pm S_2$ et M de $-\pm S_2$. M et N restent donc égaux et, par suite, R et X le sont aussi quand l'équilibre est rétabli, ce qui implique que : $\Delta S_1 = \pm \Delta X$.

L'appareil peut donc être gradué facilement; on remarquera qu'il ne peut l'être **que pour un détecteur de caractéristiques bien déterminées.**

L'élimination de la valeur de la résistance de ligne n'est valable que si, comme nous l'avons fait, on peut écrire la même valeur l au numérateur et au dénominateur de la formule ci-dessus, ce qui exige que **les fils de liaison connectés en A et B, aient la même résistance.** En pratique, on emploie, pour relier la résistance thermométrique à l'appareil, un câble à trois conducteurs de même nature et de même section. On peut utiliser le thermomètre à résistance pour la mesure de différences de température en adoptant de préférence des résistances thermométriques à caractéristique linéaire (cuivre). Dans ce cas, il peut y avoir lieu de relier chaque résistance thermométrique à l'appareil par un câble à quatre conducteurs, de manière à assurer l'égalité des résistances de liaison (fig. 13).

REMARQUE. — Dans le cas d'échelles courtes, couvrant par exemple une étendue de 10° , l'appareil donne des indications qui sont, en ohms, d'une grande exactitude, et il est souhaitable que l'écart entre la résistance théorique et la résistance réelle du détecteur n'introduise pas des erreurs peu compatibles avec cette exactitude de l'appareil. Les appareils à une direction sont, dans ce cas, munis d'un correcteur permettant d'ajouter une petite résistance en série avec le détecteur ou la résistance R suivant le signe de l'écart susvisé.

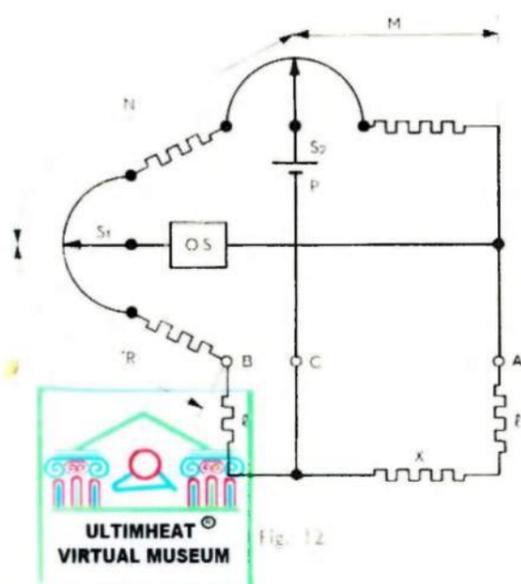


Fig. 12

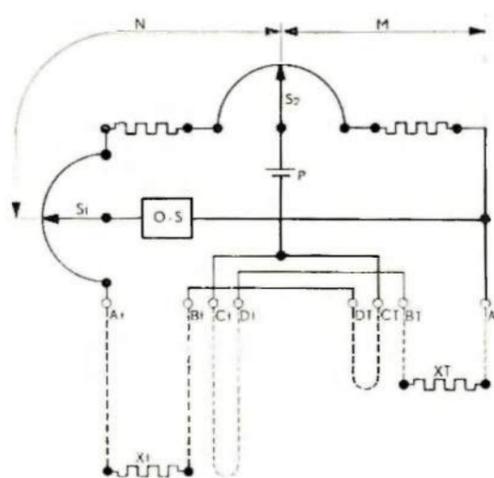


Fig. 13

EXACTITUDE ET FIDÉLITÉ DES MESURES

EXACTITUDE. — Il importe, tout d'abord, pour connaître avec le plus d'exactitude possible, la valeur de la température réellement en cause, de disposer correctement le détecteur. La chose peut demander quelque attention; il arrive, par exemple, qu'un thermocouple soit placé en retrait dans les parois d'un four et donne une indication par défaut ou qu'il soit exposé trop directement à la flamme d'un brûleur et donne une indication par excès.

Toutes précautions étant prises de ce côté, et l'installation de l'ensemble étant réalisée suivant les instructions de la notice d'emploi ou des schémas fournis, de manière à respecter les principes exposés dans les pages précédentes, il reste à tenir compte, pour l'évaluation de l'exactitude des mesures, des erreurs provenant, d'une part, de l'appareil de mesure, d'autre part, du détecteur. On trouvera, lors de la description de l'un et de l'autre, dans la suite du catalogue, des indications à ce sujet.

L'emploi des appareils de zéro a beaucoup réduit l'erreur maximum pouvant provenir de l'appareil et a permis de la chiffrer avec certitude.

Quant aux thermocouples, leur exactitude dépend de la sévérité de la sélection dont les fils qui les constituent ont été l'objet et, pour des mesures très précises, il peut être opportun de les étalonner spécialement. D'ailleurs, des vérifications périodiques — la période étant variable suivant les cas — sont toujours recommandées.

FIDÉLITÉ. — Il arrive qu'on ne s'attache pas à l'exactitude des mesures en valeur absolue, mais seulement à leur fidélité, soit qu'on ait à exécuter des mesures comparatives, soit, plus souvent, qu'on ait repéré, dans une opération industrielle, les meilleures conditions de marche et qu'on cherche à les maintenir.

L'erreur maximum possible d'un de nos appareils relève de causes diverses dont certaines ont un effet constant et, par suite, sa fidélité est toujours meilleure que son exactitude. Pour un appareil dont l'exactitude garantie est de 0,3 %, de l'étendue de l'échelle, par exemple, il est certain que la fidélité est nettement supérieure à 0,2 %.

En ce qui concerne les thermocouples, leur fidélité peut différer selon leur nature; mais, si leur température ne subit pas de grandes variations, elle reste largement supérieure à leur garantie d'exactitude pendant un certain laps de temps. Il est impossible de dire a priori quel est ce laps de temps, et sur quelle fidélité on peut compter, car les conditions d'emploi ont beaucoup d'importance sur la rapidité plus ou moins grande de désétalonnage des couples. Il est toujours nécessaire de les étalonner périodiquement, mais on peut, au début, par des étalonnages plus fréquents, obtenir une loi approximative de leurs variations. On doit toutefois être assez circonspect à ce sujet dans les nombreux cas où une attaque du couple par des gaz de combustion ou toute autre action chimique du milieu risque de modifier son étalonnage. On utilise alors une gaine de protection dont le rôle peut ne plus être suffisamment efficace au bout d'un certain temps d'usage et qui doit alors être changée. La question devient donc complexe, mais pratiquement une longue expérience d'une installation permet de rassembler des renseignements utiles.

Leurs thermocouples n'étant soumis qu'à une température assez basse, les lunettes à radiation ont une très bonne fidélité, hormis le cas où des causes accidentelles auraient amené une détérioration qui, aussitôt décelée, devrait motiver l'envoi en réparation.

De même, les résistances thermométriques ont, dans les limites de température admissibles pour leur utilisation, une bonne fidélité, d'autant meilleure que la température d'utilisation se rapproche plus de la température ambiante.



DESCRIPTION



APPAREILS

^

ÉQUILIBRAGE MANUEL

Dans ces appareils, le déplacement du (ou des) fil calibre par rapport au (ou aux) curseur se fait à la main, en tournant un bouton, jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre, qui est toujours ici l'organe sensible, revienne au zéro. En concomitance avec ce mouvement, une échelle graduée, sur laquelle on lit la température, se déplace devant un repère.

PYROMÈTRE-POTENTIOMÈTRE PORTATIF GRADUÉ EN MILLIVOLTS

Ce potentiomètre du type portatif (fig. 14) est surtout destiné à être employé comme appareil étalon ou pour des travaux de laboratoire.

Il est gradué en millivolts. Un commutateur rotatif permet de faire douze bonds de 5 mV. On parfait la lecture avec un fil calibre représentant 5,2 mV. L'étendue totale de mesure est donc de 65,2 mV. Sur l'échelle, 1 mm représente environ 0,02 mV.

On peut, grâce à une loupe fixée sur l'appareil, discerner suffisamment les déplacements de l'aiguille pour équilibrer facilement le potentiomètre à 0,02 mV. près. Pour des mesures plus précises, il est préférable d'utiliser un galvanomètre extérieur à spot, pour lequel le potentiomètre comporte une sortie spéciale. Nous consulter pour ce galvanomètre. L'emploi de ce montage est d'ailleurs recommandable, car moins fatigant, quand on a de nombreuses mesures à effectuer en laboratoire. **L'exactitude garantie est de 0,015 mV** quand l'appareil est placé dans une ambiance de température normale.



Fig. 14



La correction de soudure froide s'effectue manuellement par décalage de l'échelle (page 15), le décalage maximum possible étant de 3 mV. Un thermomètre à mercure, placé dans l'appareil mesure, à l'emplacement de cet appareil, la valeur de la température ambiante dont il faut tenir compte pour la correction. Toutefois, si, par suite du montage adopté, la soudure froide se trouvait à un autre endroit, c'est évidemment à celui-ci que l'on devrait placer le thermomètre.

Le tarage du courant potentiométrique est également manuel.

L'appareil comporte 4 bornes et un inverseur, de manière à pouvoir raccorder deux thermocouples et les comparer très rapidement.

Le poids est de 5 kg, l'encombrement très voisin de celui du boîtier B 70 (page 79).

La désignation est la suivante :

ESPM. Pyromètre potentiomètre Indicateur manuel, portatif, gradué en millivolts, permettant des lectures de 0 à 65,2 mV. Correction manuelle de soudure froide possible de 0 à 3 mV.

Le potentiomètre ESPM décrit ci-dessus est l'appareil standard habituellement utilisé. Nous pouvons livrer, sur demande spéciale, des appareils du même type, mais dont l'échelle part d'une valeur négative (par exemple -5 à $60,2$ mV.) ou des appareils d'étendue d'échelle plus réduite, permettant des mesures plus précises. Toutefois, pour les mesures de très grande précision, nous construisons un potentiomètre de haute précision type SK, objet d'une notice spéciale.

APPAREILS GRADUÉS EN DEGRÉS

Sa possibilité d'emploi avec diverses sortes de thermocouples et sa précision recommandent le potentiomètre ESPM pour le laboratoire, les étalonnages de couples et les vérifications d'appareils. Dans la pratique industrielle, il est plus commode d'utiliser des appareils gradués en degrés qui comportent, en ce qui concerne les potentiomètres, une compensation automatique de soudure froide.

Ces appareils ont une échelle de 380 mm de longueur.

Leur exactitude garantie est de **0,25 °**, de l'étendue de leur échelle.

On distingue les appareils type portatif et les appareils type mural-tableau.

Les appareils type portatif sont facilement transportables. Leur poids est de 4 kg., l'encombrement très voisin de celui du boîtier B 70 (page 79). On les emploie également pour montage fixe sur des pupitres horizontaux ou légèrement inclinés.

Les appareils du type mural-tableau sont destinés à être installés verticalement d'une façon fixe. Ils peuvent être prévus pour montage en saillie ou encastré; le mode de montage est à préciser à la commande. Les bornes de connexion sont toujours situées sur la petite face inférieure. L'encombrement est indiqué page 79.

Ces appareils sont souvent utilisés avec des boîtes à clés (page 53). La boîte à clés est parfois constituée par un boîtier (identique à celui d'un enregistreur) sur lequel est monté l'indicateur type tableau; la présentation ressemble alors un peu à celle de l'appareil Indicateur Speedomax type D (page 35, fig. 21).



APPAREILS A THERMOCOUPLE. — Ces appareils sont gradués pour une nature de couple déterminée et sont pourvus d'un système de compensation automatique de soudure froide. Le tarage du courant potentiométrique s'effectue manuellement.

On emploiera du câble de compensation entre la tête de canne et l'appareil sauf le cas très exceptionnel, d'un déplacement de soudure froide pour un appareil du type mural-tableau.



Fig. 15 — E.S.P.D.



Fig. 16 — E.S.M.

Ces appareils peuvent être fournis à une ou deux échelles ; les désignations sont les suivantes :

- ESPD-1. — **Pyromètre-potentiomètre Indicateur Manuel, gradué en degrés, type portatif, à une échelle.**
- ESPD-2. — **Pyromètre-potentiomètre Indicateur Manuel, gradué en degrés, type portatif, à deux échelles, pour une seule nature de thermocouple. (1)**
- ESPD-2 S. — **Pyromètre-Potentiomètre Indicateur Manuel, gradué en degrés, type portatif, à deux échelles, pour deux thermocouples de nature différente. (1)**
- ESM-1. — **Pyromètre-potentiomètre Indicateur Manuel, gradué en degrés, type mural-tableau, à une échelle.**
- ESM-2. — **Pyromètre-potentiomètre Indicateur Manuel, gradué en degrés, type mural-tableau, à deux échelles pour une seule nature de thermocouple. (1)**
- ESM-2 S. — **Pyromètre-potentiomètre Indicateur Manuel, gradué en degrés, type mural-tableau, à deux échelles pour deux thermocouples de nature différente (1)**

L'échelle désirée est à préciser, ainsi que la nature (ou, éventuellement, les natures) de thermocouple choisie. Les thermocouples normaux dans nos fabrications sont : cuivre - constantan, fer - constantan, chromel - alumel et platine rhodié à 10 % - platine.

APPAREILS A RESISTANCE. — La présentation est la même que celle des potentiomètres représentés fig. 15 et 16, sauf qu'il n'y a naturellement pas de boutons de tarage du courant et que le nombre des bornes est de trois.

Rappelons que la liaison au détecteur doit être effectuée au moyen de trois conducteurs de même nature dont deux ayant même résistance (page 19). En pratique, on emploie, le plus souvent, un câble à trois conducteurs de même section, en cuivre, d'un diamètre courant dans l'industrie électrique, par exemple 12/10 ou 16/10 mm.

Les deux types, portatif et mural, ne se font qu'à une seule échelle graduée pour une résistance thermique de caractéristique déterminée.

Les désignations sont les suivantes :

- IP-41. **Thermomètre pont de Wheatstone à équilibrage manuel, type portatif.**
- IM-41. **Thermomètre pont de Wheatstone à équilibrage manuel, type mural.**

L'échelle désirée est à préciser, de même que la caractéristique complète du détecteur utilisé, s'il ne doit pas être de notre fourniture.

(1) L'appareil ESM-2S devant être monté à demeure avec, connectés une fois pour toutes, ses deux fils de compensation de nature différente, comporte deux paires de bornes. Les autres appareils n'en comportent normalement qu'une.

A P P A R E I L S

A

E Q U I L I B R A G E A U T O M A T I Q U E

Dans ces appareils, le déplacement relatif du fil calibré et du curseur, provenant tantôt de celui du fil calibré (appareil Micromax), tantôt de celui du curseur (appareil Speedomax) et qui doit aboutir à annuler le courant passant dans l'organe sensible, est commandé par un servo-mécanisme.

Celui-ci peut être du type mécanique, dit MICROMAX, ou du type électronique, dit SPEEDOMAX.

Dans les deux cas, le couple moteur assurant le rétablissement de l'équilibre est important. Il est donc possible d'introduire un certain nombre de dispositifs robustes actionnant une régulation, des signalisations ou des asservissements. Pratiquement, leur encombrement seul limite le nombre de ces dispositifs. On trouvera au chapitre REGULATEURS ce qui, à ce sujet, concerne la régulation, et, pages 52 et suivantes, l'indication des principaux autres dispositifs qui peuvent être prévus sur nos appareils.

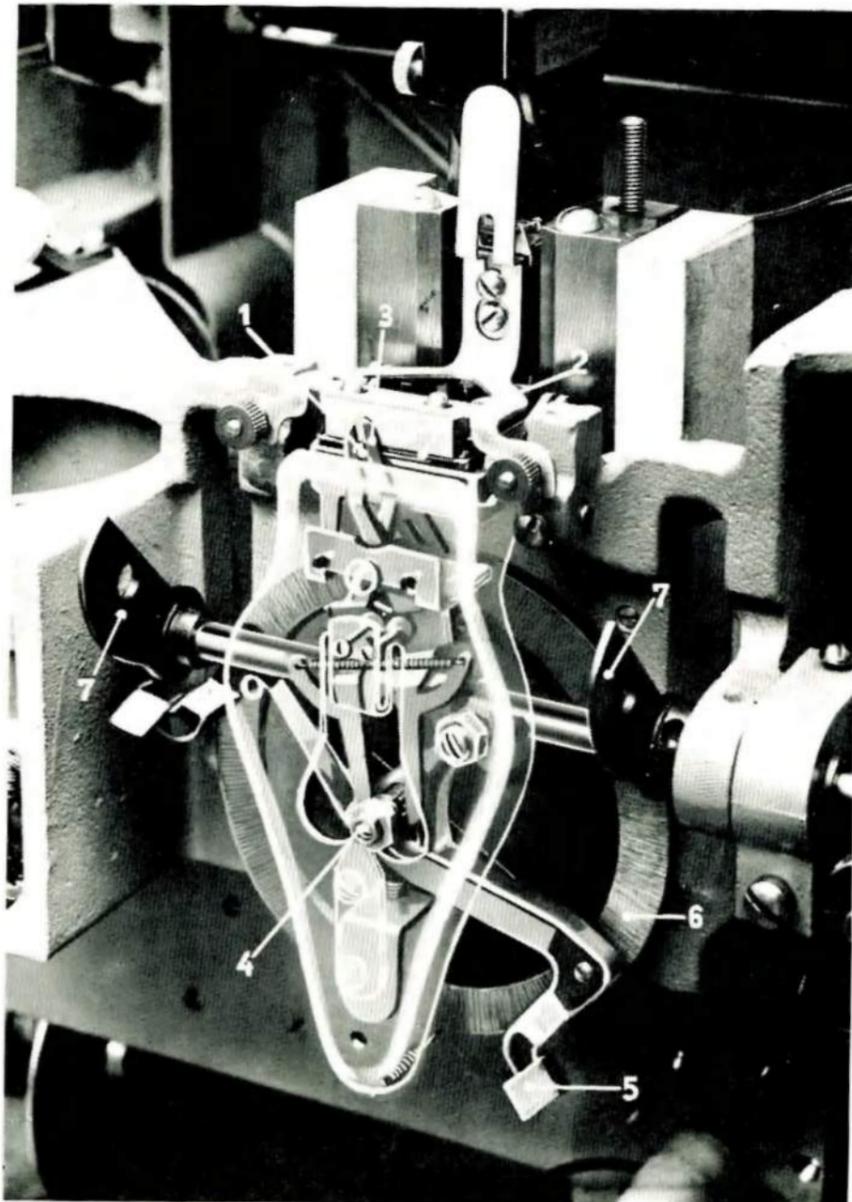


Fonctionnement du MICROMAX

L'organe sensible est un galvanomètre à suspensions tendues.

C'est à partir de la déviation de l'aiguille de ce galvanomètre et pour l'annuler qu'agit le mécanisme Micro-max.

Actionné par un moteur électrique (qui, dans les enregistreurs, commande aussi le déroulement du papier) il donne au fil calibré des déplacements successifs jusqu'à ce qu'on arrive pratiquement à l'équilibre.



Le fonctionnement est le suivant (fig. 17) :

L'aiguille du galvanomètre (1) se déplace librement entre deux bras horizontaux (2) ; 25 fois par minute, ces deux bras se resserrent pendant une demi-seconde et l'immobilisent.

A ce moment, deux ciseaux (3) se referment sur elle. Si l'aiguille est au zéro, l'axe des ciseaux fermés est vertical, mais, dans le cas contraire, les ciseaux, en venant pincer l'aiguille, prennent une position oblique et, de ce fait, leur queue déplace un téton (4) qui fait prendre au balancier (5) une position inclinée sur l'horizontale.

Le balancier est alors appuyé par un ressort sur le disque (6) avec lequel il se trouve ainsi embrayé.

En ramenant le balancier à sa position horizontale, les cames (7) font, par suite, tourner dans un sens ou dans l'autre le disque (6) et le fil calibré qui en est solidaire.

Quand le fil calibré arrive à la position correspondant à l'équilibre potentiométrique, l'aiguille du galvanomètre revient au zéro, les ciseaux se ferment verticalement et il n'y a plus de déplacements jusqu'à ce que se produise une nouvelle variation de température.

Dans les indicateurs, une aiguille indicatrice est calée directement sur l'axe du fil calibré.

Dans les enregistreurs, l'axe du fil calibré commande au moyen d'une transmission par câble tendu le mouvement de la plume ou de la molette imprimeuse et de l'aiguille indicatrice qui en est solidaire, cette transmission ne laissant place à aucun jeu.

On notera que l'aiguille du galvanomètre n'a à accomplir aucun travail, la puissance nécessaire au fonctionnement étant entièrement demandée au moteur.

Les bonds successifs qui conduisent à l'équilibrage et qui se succèdent à intervalles de deux secondes et demie environ ont une amplitude proportionnelle chaque fois à la déviation de l'aiguille si le déséquilibre est au plus égal à environ le dixième de l'échelle ; il faut quatre ou cinq bonds pour arriver de ce dixième de l'échelle à un équilibre correct ; tant que le déséquilibre dépasse cette valeur, l'amplitude de chaque bond est constante et un peu supérieure au dixième de l'échelle.

Il en résulte que, pour le parcours total de l'échelle et l'obtention de l'équilibre, un temps minimum de 30 secondes est nécessaire. Toutefois, par sécurité, dans les appareils enregistreurs à plusieurs directions, nous recommandons en général une cadence minimum de commutation d'un détecteur à l'autre de 45 secondes.

EXACTITUDE. — L'exactitude garantie est de **0,3 % de l'étendue totale de l'échelle**, sauf dans des cas très rares qui seraient signalés au moment de l'offre.



Dans les potentiomètres Micromax, il est recommandé de ne pas adopter d'échelle inférieure à 7,5 mV., l'emploi d'un Speedomax étant alors préférable. Dans les mêmes appareils, la résistance du circuit extérieur ne doit pas dépasser une valeur d'environ 35 ohms. Au-dessus de cette valeur, le galvanomètre normal utilisé est placé dans de mauvaises conditions d'amortissement et de sensibilité. Ce cas se présente en particulier, pour certains couples, lorsque la distance des cannes pyrométriques à l'appareil atteint une centaine de mètres, auquel cas on nous consultera sur les dispositions à prendre. Disons qu'un pyromètre électronique type Speedomax n'est pas soumis à cette restriction et que son emploi est alors souvent conseillé.

Fonctionnement du SPEEDOMAX

La rapidité et la sensibilité du dispositif Micromax sont suffisantes dans un grand nombre d'applications. Certaines mesures, cependant, nécessitent une plus grande vitesse, ou une plus grande sensibilité, soit que l'on ait à mesurer ou à régler une température sujette à des variations rapides, soit que, sur un appareil à plusieurs directions, on désire passer de l'une à l'autre dans un temps assez court, soit que l'on ait besoin d'une échelle de faible étendue. L'emploi du potentiomètre électronique Speedomax est alors tout indiqué.

Les deux fonctions, sensitive et motrice, sont ici remplies par un seul organe : un moteur à champ tournant biphasé qui commande le déplacement du (ou des) curseur, celui-ci étant, dans le cas du Speedomax, l'organe mobile.

On sait que l'on peut inverser le sens de rotation d'un tel moteur en inversant les connexions de l'un des deux enroulements statoriques, ou, ce qui revient au même, en inversant la phase du courant qui le traverse. Dans le moteur d'équilibrage d'un appareil électronique SPEEDOMAX, l'un des enroulements est alimenté directement par le secteur, l'autre enroulement, dit « de contrôle », par un courant alternatif 50 Hz convenablement déphasé par rapport au précédent et résultant de l'amplification du courant de déséquilibre.

Prenons d'abord, comme plus simple, et bien qu'il ne se présente pas normalement dans nos appareils destinés à la mesure des températures, le cas où, dans un pont de Wheatstone, l'alimentation du pont de mesure est faite en courant alternatif 50 Hz.

Le courant de déséquilibre traverse le primaire d'un transformateur d'entrée; la tension engendrée au secondaire est amplifiée par un amplificateur électronique.

C'est le courant de sortie de l'amplificateur qui circule dans l'enroulement de contrôle du moteur d'équilibrage. Par construction, la composante alternative à 50 périodes de ce courant est déphasée d'environ 90° par rapport au courant dans l'enroulement secteur. Le changement de sens du déséquilibre modifie le déphasage relatif des deux courants, comme montré fig. 18.

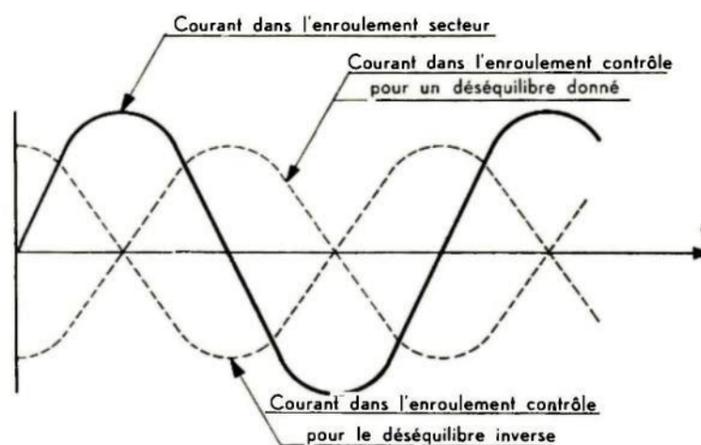
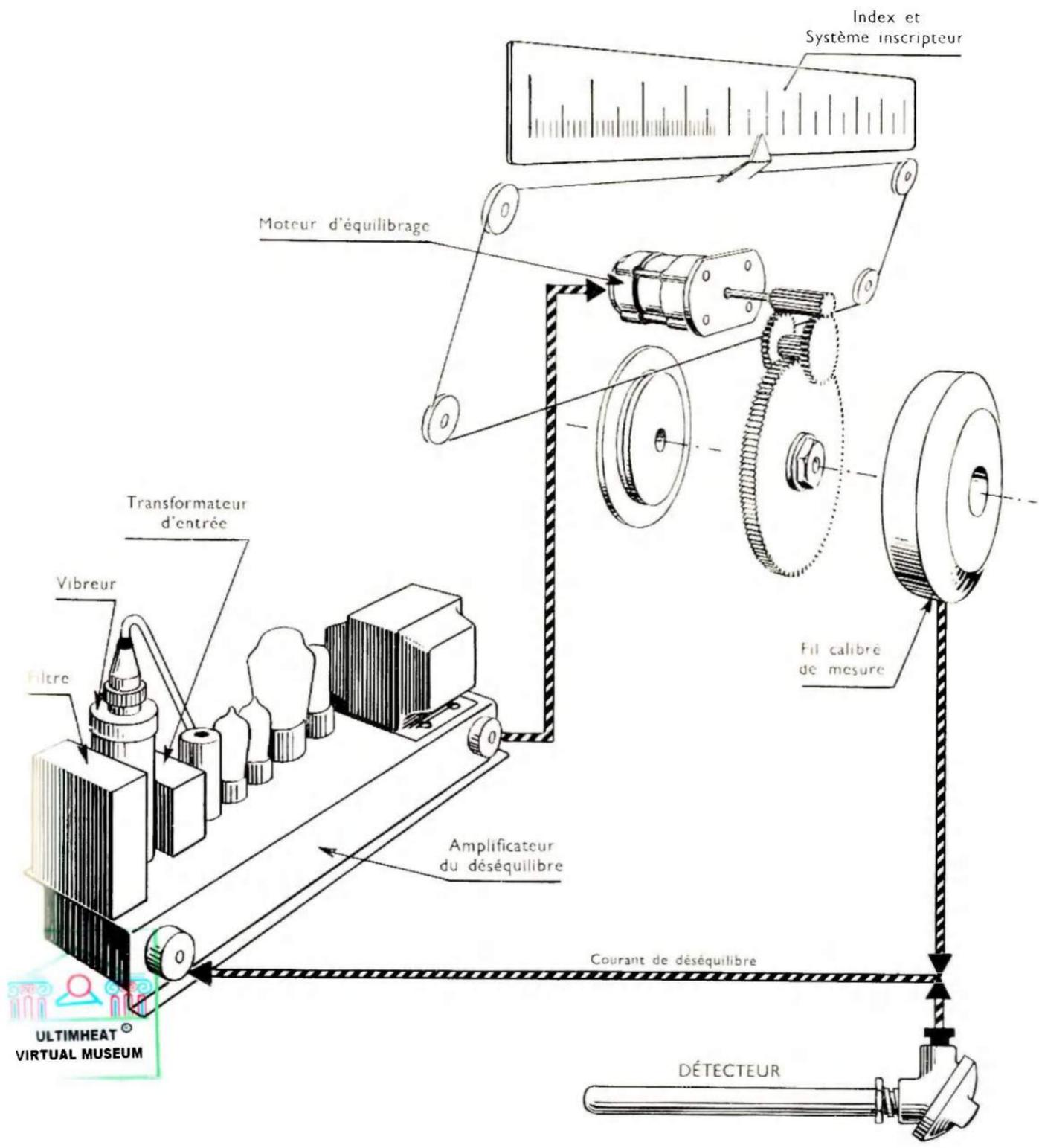


Fig. 18



Si le pont est en équilibre, l'enroulement de contrôle n'est parcouru par aucun courant alternatif et le moteur d'équilibrage ne tourne pas.

Si le pont est déséquilibré, le moteur tourne dans un sens ou dans l'autre, suivant le sens du déséquilibre, jusqu'à ce que ce dernier soit supprimé.



Quand le courant de déséquilibre est continu, ce qui est le cas de presque tous nos thermomètres à résistance et de tous nos potentiomètres, un vibreur synchrone V (fig. 19) fait traverser alternativement par ce courant la bobine A puis la bobine B du transformateur d'entrée de l'amplificateur.

A chaque inversion, il se développe, par self-induction, une tension qui tend à s'opposer au passage du courant dans la bobine correspondante, et l'on recueille, de ce fait, au secondaire du transformateur, une tension alternative, comme dans le cas précédent.

Les tensions développées s'opposant au passage du courant I, un changement de sens de ce dernier inverse également celles-ci et, comme précédemment, le couple moteur agira dans un sens ou dans l'autre, suivant le sens du déséquilibre.

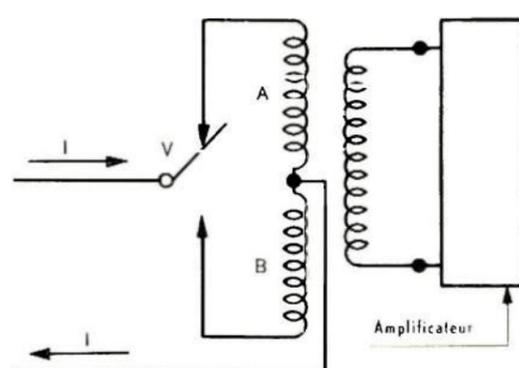


Fig. 19

Il peut arriver que le détecteur se trouve porté systématiquement à un potentiel alternatif élevé. Ce cas se présente très rarement dans la mesure des températures: c'est néanmoins celui que l'on rencontre par exemple quand une canne pyrométrique est plongée dans un bain chauffé par le passage d'un courant électrique alternatif sans que le thermocouple soit isolé de ce bain. L'usage d'appareils spéciaux pourra alors devenir nécessaire, le principe restant d'ailleurs identique.

Il convient d'éviter que l'organe sensible ne soit parcouru par des courants autres que le courant de déséquilibre. Le passage de courants alternatifs dus à des tensions induites dans les lignes reliant l'appareil au détecteur ou à des fuites ou capacités entre ces conducteurs et des conducteurs sous tension alternative, aurait pour effet de diminuer la sensibilité du dispositif. Des considérations du même ordre s'appliquent à l'intérieur de l'appareil. D'où les précautions suivantes :

Liaison du circuit de mesure à l'enveloppe constituée par le boîtier de l'appareil par une capacité.

Filtre, constitué par des résistances et des capacités, relié aux bornes où aboutissent les conducteurs de liaison au détecteur.

En dehors du rôle signalé ci-dessus, le filtre a aussi celui d'introduire, dans le système d'équilibrage, une action (I) qui permet une stabilisation sans oscillations autour du point d'équilibre, lors d'un changement brutal de la température mesurée. Ceci est particulièrement utile lorsque l'on enregistre des phénomènes fugitifs: l'enregistrement de la température d'un lingot, dans une opération de laminage, au moment de son passage devant une lunette à radiation totale, est un exemple d'un pareil cas.



EXACTITUDE. — L'exactitude garantie est de **0,3 % de l'étendue totale de l'échelle, pour les échelles de 5 mV et au-dessus. Cette garantie est de 15 % V pour les échelles plus courtes.**

(1) Par exemple, dans le cas des potentiomètres, cette action ajoute à la tension opposée par le potentiomètre à celle du thermocouple, un supplément proportionnel à la vitesse d'équilibrage.

Avantages des appareils électroniques :

Les appareils électroniques du type Speedomax, d'un prix sensiblement supérieur à celui des appareils Micromax, présentent, par rapport à ceux-ci, les avantages suivants :

a) **La possibilité d'obtenir de beaucoup plus grandes sensibilités.** L'étendue d'échelle des potentiomètres, par exemple, peut être réduite à 1 mV, étant entendu que des appareils d'échelle aussi réduite ne sont pas susceptibles d'être dotés de certains dispositifs décrits dans le catalogue.

b) **Une beaucoup plus grande rapidité d'équilibrage.** Dans les appareils standard, l'étendue totale de l'échelle est parcourue en 3 secondes; dans certains appareils spéciaux, en 1,7 seconde ou 1 seconde, si nécessaire. On peut ainsi adopter, dans les appareils enregistreurs à multiples directions, une cadence de commutation d'un détecteur au suivant de 4 secondes (2 secondes, dans les appareils spéciaux).

c) **La possibilité de mesurer des forces électromotrices dans des circuits à plus grande résistance.** La résistance extérieure peut atteindre 6.000 ohms. Il en résulte qu'avec les appareils à thermocouple, on n'a jamais à déplacer la bobine de compensation de soudure froide. Celle-ci, pour un certain nombre de raisons, doit se trouver placée assez loin à l'intérieur de l'appareil dont une partie du câblage est exécutée de ce fait en câble de compensation. On a vu, page 16, qu'il est toutefois possible, avec un Speedomax à plusieurs directions, de réaliser, par une disposition appropriée, une économie de câble de compensation sans avoir à déplacer la bobine. Cette disposition n'est réalisée que sur demande.

d) **Une beaucoup plus grande insensibilité aux vibrations et aux chocs.**

e) **Une exploitation simplifiée à certains égards.** Dans un appareil Micromax, les incidents peuvent être dus à divers organes dont le changement nécessite un certain temps. Dans un appareil Speedomax, ils ne peuvent guère provenir que de l'amplificateur. Pour une installation comportant un certain nombre d'appareils dont le fonctionnement ne peut être arrêté longtemps sans dommage, on approvisionnera un amplificateur de rechange dont la substitution à un amplificateur défectueux est rapide. Le nombre de types d'amplificateurs utilisés en pyrométrie est en effet très réduit et il est même possible d'utiliser un seul type de remplacement, moyennant l'emploi de bouchons d'adaptation. Voir notice NEP-10-i.

Dispositions communes

MONTAGE - BRANCHEMENT. — Tous les appareils automatiques sont montés dans le même boîtier B 10 et B 10 A (cf. le plan d'encombrement, p. 78). Ce boîtier étanche se prête également au montage en saillie et au montage encastré. Ce dernier étant le montage habituel, il y a lieu de spécifier le montage en saillie quand on le désire.

Les connexions se font généralement à l'intérieur. Plusieurs dispositions sont possibles pour l'entrée des fils; elles ne sont pas les mêmes pour le Micromax et pour le Speedomax: consulter les plans page 82. La sortie des fils peut s'effectuer par presse-étoupe sur demande.



Dans certaines installations, on peut adopter un « boîtier arrière » dans lequel se trouvent les diverses bornes de l'appareil et qui permet, de l'arrière du tableau, d'effectuer les connexions nécessaires sans risque de détériorations à l'intérieur de l'appareil et de les modifier éventuellement sans interrompre le fonctionnement de celui-ci. Cette disposition est surtout intéressante dans le cas d'appareils à un grand nombre de directions. Elle est un peu plus onéreuse; il y a lieu de nous signaler quand on désire l'adopter.

Rappelons ici, pour ne pas le répéter à propos de chaque type d'appareil que :

Les potentiomètres à thermocouple comportent normalement une bobine de compensation de soudure froide et doivent être reliés aux détecteurs par du câble de compensation approprié. Pour le déplacement éventuel de soudure froide, voir p. 16.

Pour les potentiomètres à lunette à radiation, la liaison appareil-détecteurs doit être faite en fil de cuivre. Les thermomètres à résistance doivent être reliés aux détecteurs au moyen de câble à trois conducteurs de même section, en cuivre, d'un diamètre courant dans l'industrie électrique, par exemple 16/10^e mm ou 12/10^e mm sauf dans le cas de mesures différentielles (page 19).

ACCESSIBILITÉ DES DIVERS ORGANES. — Elle résulte du mode de fixation des organes, montés sur un ou deux bâtis, suivant les appareils, mobiles autour de charnières. On peut sortir l'ensemble de l'appareil hors de la cuve. Tous les organes sont donc facilement accessibles de l'avant de l'appareil.

ÉTANCHÉITÉ. — L'étanchéité de la fermeture et celle du joint entre la vitre et la partie métallique de la porte est réalisée par interposition de caoutchouc. Le rebord supérieur du boîtier, formant un léger auvent, recouvre en partie la porte de manière à éviter, lors de l'ouverture, l'entrée dans l'appareil de poussières accumulées sur la partie supérieure.

ALIMENTATION. — La nature de la tension d'alimentation et sa valeur doivent toujours être précisées. Pour les appareils Micromax, elle est normalement de 115 V 50 Hz. Il peut être fourni, à titre onéreux, un transformateur pour une autre tension. L'appareil peut aussi, moyennant un supplément, être prévu pour 110 V ou 220 V continu.

Les appareils Speedomax sont toujours alimentés en courant alternatif, normalement 50 Hz. Pour les tensions 115 V, 127 V, 140 V ou 200 V, 220 V, 240 V, un transformateur est livré avec l'appareil; pour d'autres tensions un transformateur spécial peut être fourni à titre onéreux.

Les tensions données ci-dessus sont les tensions nominales; la garantie de bon fonctionnement s'applique à des tensions réelles ne s'en écartant pas de plus de $\pm 10\%$.

TARAGE. — Dans les potentiomètres, l'opération de tarage est automatique et se répète toutes les 48 minutes en général, certains appareils ayant un tarage plus fréquent. On peut d'ailleurs, à tout moment, provoquer cette opération en agissant sur un bouton (tarage semi-automatique) si on le juge opportun.

Exception est faite pour les indicateurs Speedomax à tambour et quelques autres appareils Speedomax destinés à des mesures très rapides où le tarage semi-automatique est seul conservé.

Une disposition plus onéreuse et qui n'est utile que dans des cas très rares, consiste dans l'emploi d'un servomécanisme propre au dispositif de tarage et qui assure un tarage continu.

GRADUATION. — Elle est valable pour un détecteur déterminé, et choisie dans une liste d'échelles standard. Les appareils peuvent cependant être fournis avec une graduation spéciale, ou même correspondant à une nature de détecteur n'entrant pas dans notre fabrication, moyennant un supplément. Nous précisons toujours l'échelle désirée, voir pages 76 et 77.

Les thermocouples normaux dans nos fabrications sont : cuivre - constantan, fer - constantan, chromel - alumel et platine rhodié à 10^e, - platine.

Pour une résistance thermométrique, si elle ne doit pas être fournie par nous, **nous donner sa caractéristique complète.**

Remarque. Des appareils spéciaux très divers sont réalisables : appareils à multiples échelles utilisables avec plusieurs natures de détecteurs, appareils mesurant des différences de températures, appareils à décalage d'échelle, etc... Leur variété même interdit de les cataloguer, chaque cas nécessitant une consultation spéciale.



INDICATEURS AUTOMATIQUES

Les indicateurs automatiques sont de deux types :

- Indicateurs à échelle fixe et aiguille mobile, type Micromax ;
- Indicateurs à échelle-tambour mobile et index fixe à multiples directions, type Speedomax.

Indicateurs Micromax

TYPE IA

L'échelle a 900 mm de longueur et l'aiguille a une forme qui permet à la fois de lire de loin les indications de l'appareil et d'avoir une bonne précision de lecture. (fig. 20).

L'exactitude garantie **est normalement de 0,3 % de l'étendue totale de l'échelle**. Pour toutes autres indications, voir « Dispositions communes » pages 31 et 32. On utilise quelquefois des appareils à deux directions à commutation automatique, bien que nous ne le recommandions pas quand il ne s'agit que de simples indicateurs et non de régulateurs. Dans ce cas, la commutation des directions s'effectue toutes les 30 secondes, deux voyants s'allumant successivement pour indiquer la direction intéressée.

On peut aussi utiliser des clés permettant l'emploi de ces appareils avec un plus grand nombre de détecteurs. Toutefois, quand il est nécessaire de procéder rapidement à des mesures successives, c'est l'emploi de l'indicateur Speedomax à tambour qui est indiqué.

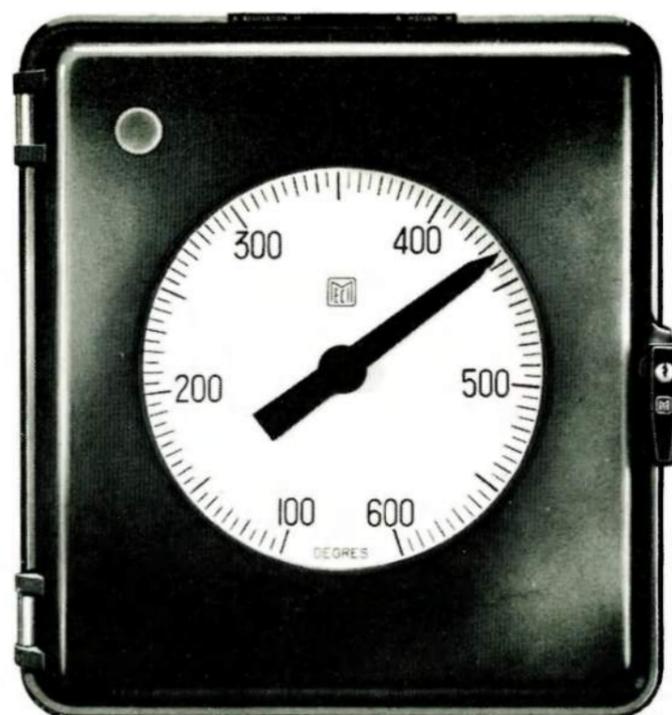


Fig. 20

Les désignations sont les suivantes :

PYROMÈTRES A THERMOCOUPLE :

IA- 101. — **Pyromètre-Potentiomètre Indicateur Automatique à 1 direction.**

IA- 102. — **Pyromètre-Potentiomètre Indicateur Automatique à 2 directions.**

PYROMÈTRES A LUNETTE A RADIATION TOTALE :

IA- 151. — **Pyromètre-Potentiomètre Indicateur Automatique à 1 direction.**

IA- 152. — **Pyromètre-Potentiomètre Indicateur Automatique à 2 directions.**

THERMOMÈTRES A RESISTANCE :

IA-1101. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Indicateur Automatique à 1 direction.**

IA-1102. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Indicateur Automatique à 2 directions.**

Indicateurs Speedomax à tambour

TYPE D

L'échelle graduée, de 650 mm de longueur, est enroulée sur un tambour à axe vertical et se déplace devant un index fixe (fig. 21).

La porte de l'appareil est munie de clés genre téléphoniques à large balayage et à contacts inaltérables à deux positions de travail (haut et bas) et une position de repos (milieu), permettant de brancher à volonté sur l'indicateur l'un quelconque d'un certain nombre de détecteurs. Chaque clé intéresse deux détecteurs.

Deux types de clés sont utilisés. Dans l'un, la clé revient en position de repos dès qu'on l'abandonne; dans l'autre, elle reste « accrochée » à la position qu'on lui a donnée.

Les clés du premier type sont ici recommandées : spécifier néanmoins ce qui est désiré.

Sur demande une clé supplémentaire permet de brancher, en cas de coupure de courant, un appareil à équilibrage manuel qui, dans le cas de thermocouples, sera le potentiomètre ESPM. C'est pour effectuer, dans ce cas, la correction de soudure froide qu'un thermomètre à mercure se trouve placé dans la bobine de compensation de l'appareil.

On peut désirer l'enregistrement continu d'un certain nombre de températures, tout en voulant garder la possibilité de les mesurer avec l'indicateur Speedomax. Dans ce cas que nous ne résolvons actuellement que pour les potentiomètres à l'exclusion des thermomètres à résistance, on emploie des clés spéciales sur l'indicateur : en position « repos », la clé relie à l'enregistreur les deux détecteurs qui lui correspondent. Dans chacune des deux positions « travail », elle relie le détecteur intéressé à l'indicateur.

On précisera donc, dans chaque cas, le nombre des détecteurs « indiqués » et le nombre des détecteurs « indiqués et enregistrés ».



On peut prévoir, suivant les cas, un plus ou moins grand nombre de clés. Le nombre maximum de détecteurs que l'on peut relier à l'indicateur est de 88 lorsqu'il s'agit de thermocouples non susceptibles d'être reliés par ailleurs à un autre appareil de type quelconque, de 100-N (mais inférieur à 88), si N d'entre eux doivent pouvoir être reliés à un autre appareil, de 50 s'il s'agit de résistances thermométriques.

Il faudrait 4 secondes pour effectuer deux mesures successives se situant à chaque extrémité de l'échelle. Les conditions d'emploi sont généralement telles qu'on peut aller beaucoup plus vite.

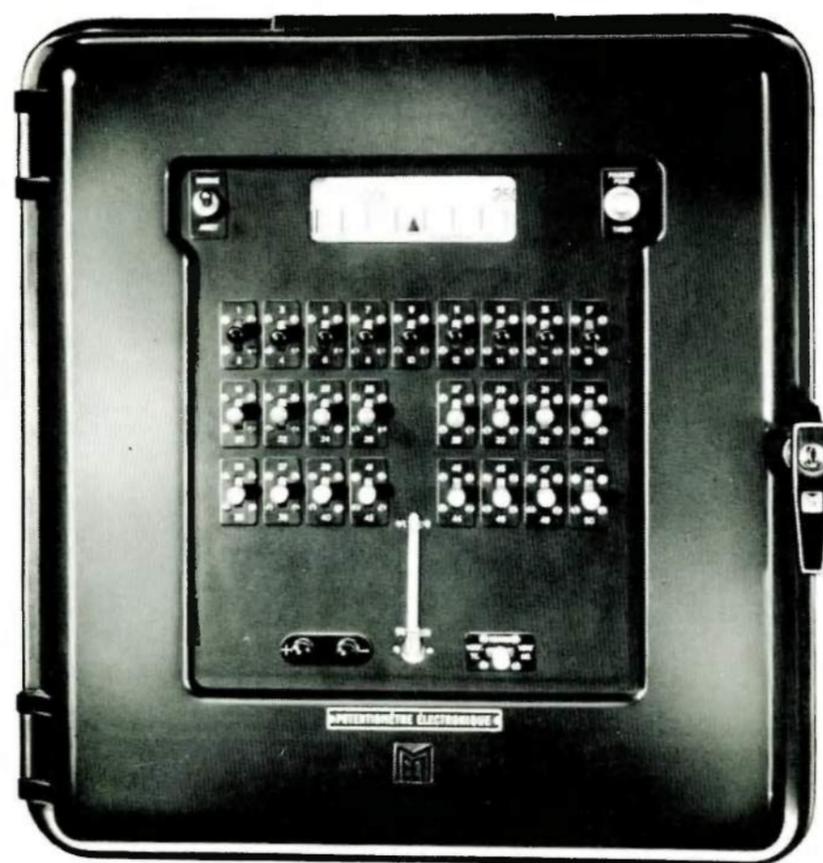


Fig. 21

L'exactitude garantie est **normalement de 0,3 % de l'étendue de l'échelle.** (Voir page 30.)

Rappelons qu'ici, dans les potentiomètres, l'opération de tarage est semi-automatique : elle s'effectue en appuyant quelques secondes sur un bouton poussoir.

Pour toutes autres indications, voir « Dispositions communes », pages 31 et 32.

L'indicateur Speedomax peut comporter 1 ou 2 échelles. Les désignations sont les suivantes :

PYROMÈTRES A THERMOCOUPLE :

60899. — **Pyromètre-Potentiomètre Electronique Indicateur Automatique** à 1 échelle.

60898. — **Pyromètre-Potentiomètre Electronique Indicateur Automatique** à 2 échelles,
même étendue en millivolts.

60897. — **Pyromètre-Potentiomètre Electronique Indicateur Automatique** à 2 échelles,
étendues en millivolts différentes.



THERMOMETRE - PONT DE WHEATSTONE A RÉSISTANCE.

61897. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Electronique Indicateur Automatique** à 1 échelle.

61898. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Electronique Indicateur Automatique** à 2 échelles.

Nous ne cataloguons pas d'indicateur Speedomax pour lonettes à radiation totale.

ENREGISTREURS

Les enregistrements s'effectuent soit sur diagramme déroulant, soit sur diagramme circulaire.

Enregistreurs à diagramme déroulant

TYPE S

Ces enregistreurs indicateurs se font en type Micromax et en type Speedomax (voir page 4 et fig. 22). Au-dessus du papier d'enregistrement, se trouve une échelle indicatrice. La largeur du diagramme et de l'échelle est de 250 mm, ainsi que la longueur visible du diagramme. Le tambour qui porte le fil calibré entraîne également la plume ou la molette imprimeuse (appareils à plusieurs directions), et l'index de l'échelle graduée.

Pour le mode d'équilibrage de chaque type et sa rapidité, voir pages 26 et suivantes. Les appareils peuvent être à une ou plusieurs directions. Une feuille spécimen des graphiques obtenus dans les différents cas se trouve page 74.

Dans l'appareil **à une direction**, la plume trace une courbe continue.

Pour l'appareil **à deux directions**, du type Micromax, il existe trois types différents.

Dans l'un, l'enregistrement se fait par courbe continue. Commode pour comparer les variations de deux températures, il n'est pratiquement utilisable que lorsque la température de l'un des détecteurs restera sûrement supérieure à celle de l'autre.

Dans le second, la température de l'un des détecteurs est enregistrée sous forme de points, celle de l'autre sous forme de traits.

Dans le troisième, l'enregistrement se fait par points numérotés, la plume étant remplacée par une molette imprimeuse. Ce dernier mode d'enregistrement est le seul réalisé dans l'enregistreur type Speedomax.

Cette impression par molette est aussi le seul procédé employé pour les enregistreurs **à plus de deux directions**. Nos appareils peuvent en comporter jusqu'à seize.

Les points numérotés sont normalement imprimés de même couleur. Sur demande, l'appareil peut imprimer des points de couleurs différentes, numérotés ou non; Cette solution comporte un léger supplément de prix et impose un entretien plus important du dispositif d'impression.

L'enregistrement par points numérotés multicolores peut être jugé intéressant lorsque l'on désire établir une distinction entre différents groupes de courbes enregistrées sur un même diagramme. Il y a lieu, dans ce cas, de préciser les groupes désirés en désignant les directions dans l'ordre dans lequel elles sont pointées. L'enregistrement par points multicolores non numérotés permet, lorsque les courbes sont très voisines et enchevêtrées, de rendre les diagrammes plus clairs. On en tire l'avantage de courbes d'aspect continu en adoptant une vitesse de déroulement relativement lente. Si, au contraire, on juge intéressant de choisir une vitesse de déroulement plus grande, on reviendra aux modes précédents, des points isolés multicolores se distinguant mal.

Pour bien profiter des avantages de l'enregistrement multicolore, un bon éclairage est très utile. Un éclairage artificiel peut être monté à la demande sur nos appareils (voir page 59).

On a vu qu'il est possible, sans conditions spéciales, d'avoir une **cadence de commutation** de 45 secondes pour les appareils de type Micromax et de 4 secondes pour les appareils de type Speedomax, une cadence plus rapide étant même adoptée dans certains appareils spéciaux.

Toutefois, si 45 secondes est la cadence normale pour les appareils Micromax, celle des Speedomax doit être déterminée dans chaque cas, suivant le but recherché, car le choix en est lié à celui de la vitesse de déroulement du papier et du mode d'impression. Pour permettre ce choix, nous donnons, pages 74 et 75 **un tableau des cadences de commutation** standard avec les durées de cycles correspondantes, suivant le nombre de directions, ainsi que des tableaux **des vitesses de déroulement** de papier standard.



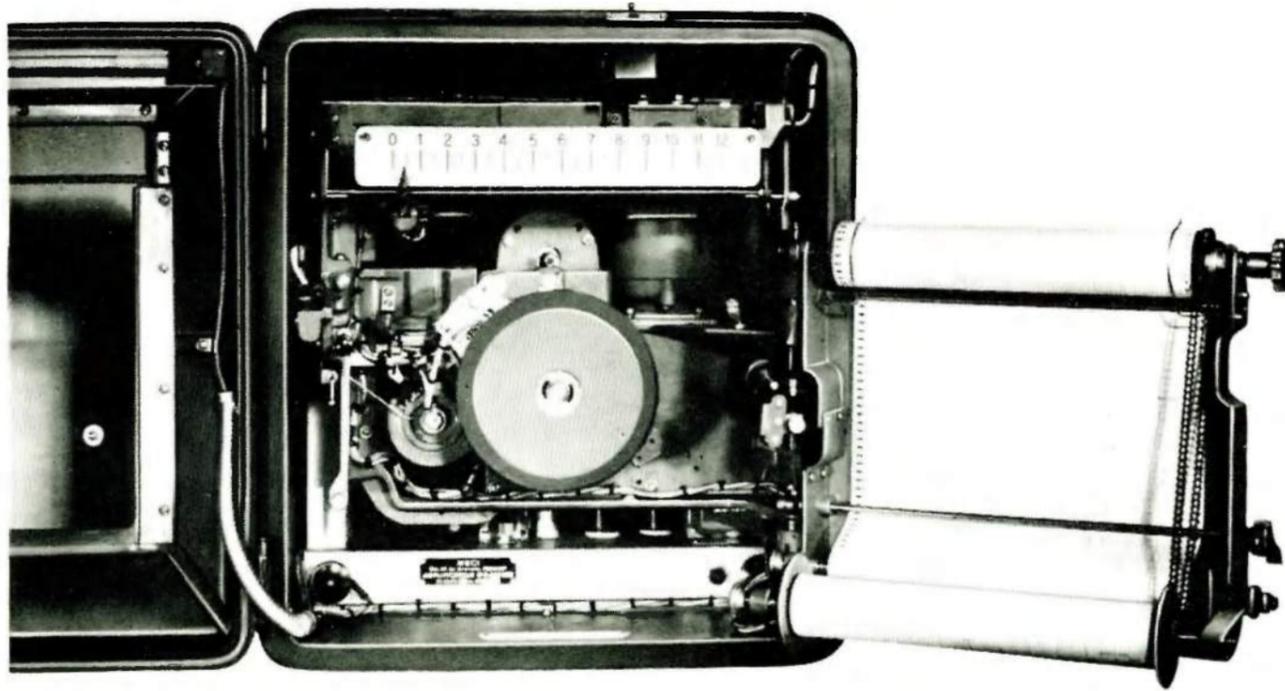


Fig. 22

Appareil fermé : voir page 4.

Une **vitesse de déroulement de papier** peut être facilement substituée à une autre vitesse figurant sur le même tableau par le changement d'un jeu de trois pignons très facilement démontable.

Dans certaines applications, on peut désirer passer très rapidement au cours d'un même enregistrement, d'une vitesse à une autre. On peut alors prévoir, sur l'appareil, moyennant un supplément, un dispositif de changement de vitesse à main permettant d'obtenir une seconde vitesse qui peut être, sur demande, par rapport à la première, soit dans le rapport $\frac{1}{3}$, soit dans le rapport $\frac{1}{10}$, soit dans le rapport $\frac{1}{30}$ (voir page 59).

Par contre, la cadence de commutation est, dans la plupart des cas, assez difficilement modifiable.

Généralement, l'appareil comporte un réenrouleur pour le papier-diagramme. Dans certains cas, on peut désirer détacher une longueur de diagramme correspondant à une durée ou à une opération déterminée.

Des accessoires facilitant cette opération peuvent être fournis, moyennant un léger supplément (voir p. 58).

Le **taux de garantie** est **normalement de 0,3 %, de l'étendue de l'échelle** (voir pages 27 et 30).

Les autres indications, voir « Dispositions communes », pages 31 et 32 (1).



(1) Voir aussi le chapitre « Dispositifs annexes, accessoires ».

Les désignations sont les suivantes :

PYROMÈTRES-POTENTIOMÈTRES A THERMOCOUPLES

Speedomax	Micromax	
60101	40101	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 1 direction.
	40102	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, enregistrement par ligne continue
	40112	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, enregistrement par points et traits.
60352	40352	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, enregistrement par points numérotés.
60353	40353	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 3 directions.
60354	40354	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 4 directions.
60355	40355	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 5 directions.
60356	40356	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 6 directions.
60358	40358	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 8 directions.
60360	40360	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 10 directions.
60362	40362	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 12 directions.
60366	40366	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 16 directions.

PYROMÈTRES POTENTIOMÈTRES A LUNETTES A RADIATION TOTALE

S'ils sont à plusieurs directions, ces appareils sont normalement munis d'un compensateur d'émissivité commun à toutes les directions. Dans des cas spéciaux, on peut monter un tel compensateur par direction (jusqu'à 4 directions).

Les désignations sont les suivantes :

Speedomax	Micromax	
60151	40151	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 1 direction.
	40152	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, enregistrement par ligne continue.
	40162	Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, enregistrement par points et traits.



Pour les appareils à molette imprimante, la désignation est la même que celle des pyromètres à thermocouples, sauf le troisième chiffre qui est un 4 au lieu d'un 3.

Exemple :

40454. — **Pyromètre-Potentiomètre Enregistreur** à 4 directions, enregistrement par points numérotés.

THERMOMÈTRES PONTS DE WHEATSTONE A RÉSISTANCES

Les designations sont les mêmes que pour les pyromètres à thermocouples, sauf que le deuxième chiffre est remplacé par un I.

Exemple :

61356. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Enregistreur à 6 directions**, enregistrement par points numérotés.

ENREGISTREUR XY.

Signalons ici, bien qu'il ne soit pas forcément un enregistreur de température, un enregistreur électronique spécial à diagramme déroulant : l'enregistreur XY, à deux paramètres. Cet appareil permet de tracer, en coordonnées rectangulaires, la courbe d'une grandeur en fonction d'une autre, ces grandeurs étant préalablement transformées en tensions continues.

C'est un potentiomètre double : l'une des tensions correspond au déplacement de la plume, comme dans les enregistreurs classiques ; l'autre tension, par un dispositif analogue, commande le déroulement du diagramme dans l'un ou l'autre sens. L'amplitude maximum du déroulement est de 254 mm.

La durée d'équilibrage est de 3 secondes pour le paramètre correspondant à la plume, de 4,5 secondes pour celui correspondant au déroulement du papier.

Cet appareil est particulièrement utile lorsqu'on désire tracer rapidement des courbes d'une variable en fonction d'une autre variable différente du temps. C'est le cas de l'analyse thermique dans le domaine des températures et dans d'autres domaines celui de caractéristiques d'une lampe radio, de courbes d'allongement, etc...

L'exactitude garantie est de **0,3 %**, de l'étendue de l'échelle pour chaque grandeur avec une étendue en millivolts minimum de 5 mV pour la grandeur correspondant au déplacement de la plume et de 10 mV, pour la grandeur correspondant au déplacement du papier.

Le tarage des courants s'effectue manuellement.

L'appareil est monté dans le même boîtier que les autres enregistreurs. Toutefois, un boîtier auxiliaire est monté à l'arrière et contient, en particulier, l'un des deux amplificateurs.

Enregistreur à diagramme circulaire

TYPE R

Ce modèle d'appareil est toujours du type Speedomax.

Ses indications sont enregistrées sur un diagramme circulaire de 90 mm de rayon utile, dont l'entraînement est réalisé au moyen d'un moteur électrique qui assure une durée normale de révolution de 24 heures (autres vitesses sur demande).

La forme circulaire permet certaines simplifications et, par suite, un appareil moins onéreux que l'enregistreur à diagramme déroulant, au prix d'une réduction de la largeur du diagramme : par contre, d'ailleurs, l'aiguille indicatrice se déplace devant un cadran de 710 mm de longueur.

Un appareil souvent la facilité d'enlèvement et de classement quotidien du diagramme circulaire.



Un appareil surtout quand il est muni d'un dispositif de régulation et agit pour régler une opération continue que cet appareil peut être intéressant. La température, dans ce cas, n'étant susceptible de varier qu'entre des limites resserrées, on peut prévoir une échelle de températures assez étroite (puisque dans nos appareils, l'origine de l'échelle peut différer de zéro) et ne pas être gêné par la moindre largeur du diagramme.

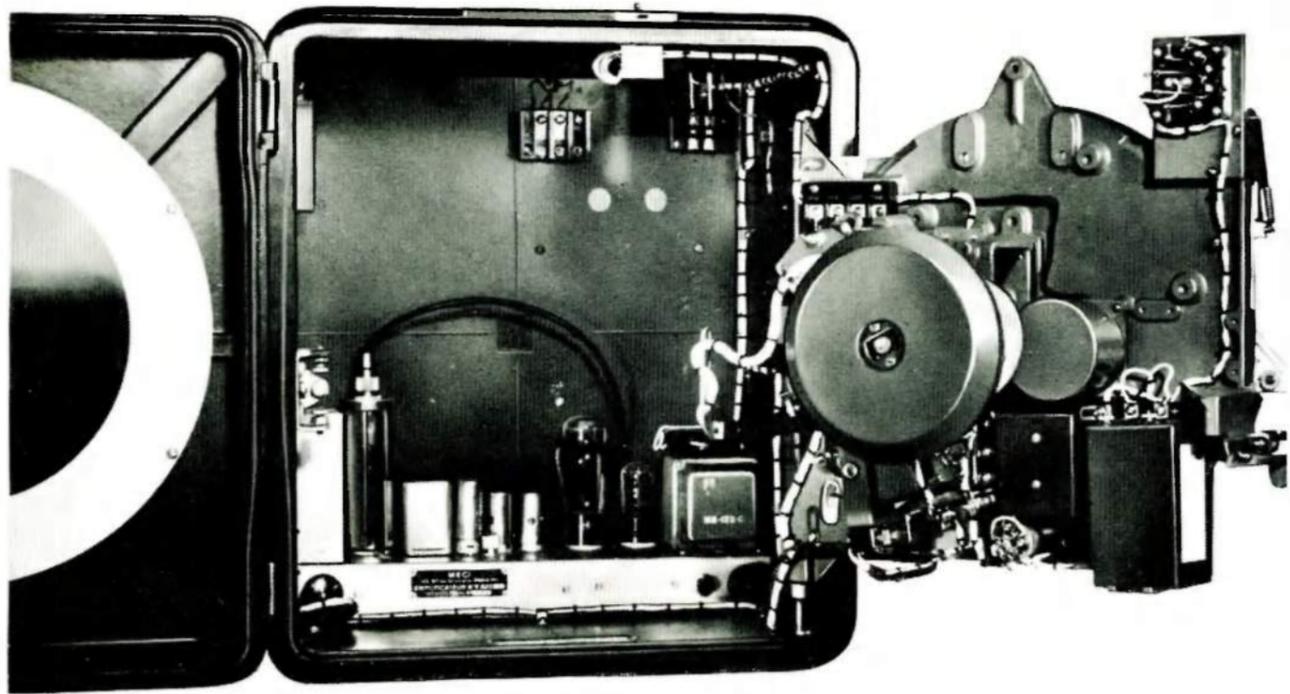


Fig. 23

Appareil fermé : voir page 6.

L'exactitude garantie est : **normalement de 0,3 %**, de l'étendue totale de l'échelle (page 30).

Pour toutes autres indications, voir « Dispositions communes » pages 31 et 32, exception faite pour le temps de parcours de l'échelle qui est de 5 secondes.

Cet appareil ne peut être construit qu'à une seule direction.

Les désignations sont les suivantes, d'après la nature du détecteur :

THERMOCOUPLE :

50101. — **Pyromètre-Potentiomètre Electronique** à diagramme circulaire.

LUNETTE A RADIATION TOTALE.

50151. — **Pyromètre-Potentiomètre Electronique** à diagramme circulaire.

RÉSISTANCE THERMOMÉTRIQUE

40

51101. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Electronique** à diagramme circulaire.



RÉGULATEURS

Les appareils à équilibrage automatique peuvent être équipés de dispositifs régulateurs dont le but est, en général, de maintenir la température à une valeur constante bien déterminée, dite valeur de réglage.

On peut aussi chercher à faire varier la température en fonction du temps suivant une courbe déterminée.

Ce dernier genre de réglage, appelé réglage suivant programme, est réalisé, tout au moins dans le cas des appareils à thermocouple, par l'adjonction de dispositifs spéciaux aux régulateurs prévus pour le cas précédent.

Les régulateurs à action discontinue (1). Ce sont des régulateurs dont l'action consiste à donner deux positions à l'organe de réglage, vanne, par exemple, ce qui détermine deux puissances et, par suite, deux allures de chauffage différentes.

Ces puissances doivent être choisies de manière à encadrer la puissance chauffante qui permettrait le maintien de la température désirée.

L'une des positions peut correspondre à la suppression du chauffage (réglage tout-ou-rien) ou à sa réduction (réglage tout-ou-peu). L'autre doit correspondre à une puissance supérieure à celle qui permettrait le maintien de la température désirée mais, comme il y a avantage à ce qu'elle se rapproche néanmoins de cette dernière on pourra, dans des opérations de chauffage discontinues, souhaiter, pour obtenir des montées en température plus rapides, pouvoir utiliser une troisième allure.

Nous cataloguons par suite des régulateurs à **deux allures** et à **trois allures**.

Les régulateurs à action continue (2). Le fonctionnement des régulateurs à action discontinue occasionne nécessairement des oscillations.

Si l'enceinte dont on règle la température a une capacité thermique très faible, ces oscillations auraient une fréquence et une importance telles que l'emploi de ce mode de réglage doit être écarté.

Il arrive souvent, notamment quand il s'agit de traitements thermiques, que la capacité thermique soit assez importante. Même dans ce cas, l'emploi du réglage discontinu n'est pas toujours indiqué. Pour réduire à une valeur admissible l'amplitude des oscillations, il arrive que l'on soit conduit à rendre très voisines les positions de l'organe de réglage, mais on risque alors, ayant limité à une faible valeur les variations possibles de la puissance de chauffage, que le réglage ne puisse plus être assuré en cas d'un changement dans les conditions de marche. Si de tels changements sont à prévoir, ce peut être aussi un motif d'écarter ce mode de réglage.

En ce qui concerne l'emploi de régulateurs à action discontinue soit beaucoup plus souvent admissible dans le domaine des températures que dans d'autres, il y a donc des cas, assez nombreux, où il est nécessaire d'avoir recours à d'autres régulateurs adaptant d'une façon continue la puissance de chauffage.

Les dispositifs de réglage continu qui peuvent équiper nos potentiomètres ou thermomètres sont soit électroniques, soit pneumatiques.

Ils sont décrits dans une documentation spéciale et il ne sera question ci-après que des dispositifs de réglage discontinus.



(1) Dits aussi « à action intermittente ».

(2) Dits aussi « à action permanente ».

Fonctionnement des Régulateurs-Indicateurs et Régulateurs-Enregistreurs

Dans le dispositif à deux allures, deux contacts, un contact trop chaud CH, et un contact trop froid CL, se ferment, le premier, quand la température dépasse la valeur de réglage, le second, quand elle lui devient inférieure.

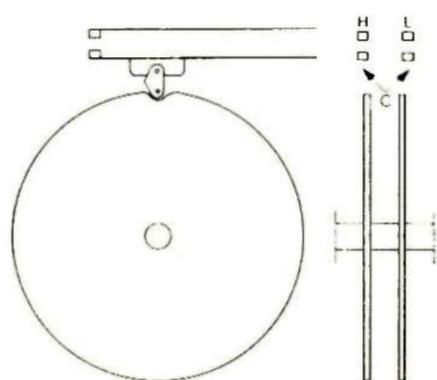
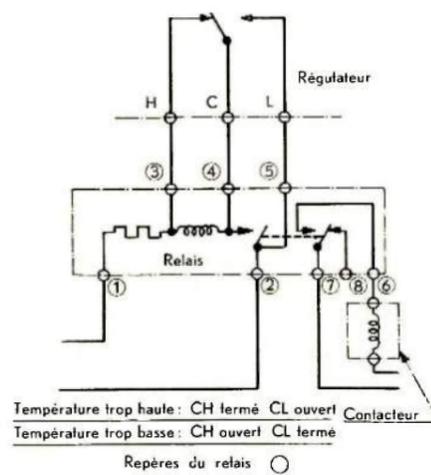


Fig. 24

La figure 24 donne le schéma du mécanisme de commande de ces contacts. Il est normalement constitué par deux cames montées sur le même axe que le fil calibré et tournant avec lui (ceci dans les appareils Micromax; dans les Speedomax, les cames suivent le mouvement du curseur).

Dans certains cas, lorsque de multiples fonctions de régulation ou de signalisation sont remplies par le même appareil, des questions d'encombrement peuvent contraindre à n'utiliser qu'une seule came pour la commande des deux contacts.

L'écart entre l'ouverture d'un contact et la fermeture de l'autre définit la sensibilité du réglage. Il est réglé dans nos ateliers, à 0,25 %, environ de l'étendue de l'échelle; dans le cas, qui est le plus fréquent, où il existe deux cames, il est possible d'augmenter cet écart à volonté.



Température trop haute : CH fermé CL ouvert Contacteur
Température trop basse : CH ouvert CL fermé
Repères du relais ○

Fig. 25

Dans un régulateur à trois allures, le jeu de contacts précédent est complété par un second jeu identique, mais réglé à une température t , inférieure à la température de réglage T , l'écart entre T et t étant ajustable. Par exemple, dans le cas du chauffage électrique, le franchissement de t pourra faire passer d'un couplage triangle à un couplage étoile, le réglage s'opérant ensuite autour de T avec ce dernier couplage par coupure et rétablissement de l'alimentation.

L'action de la fermeture des contacts (sur un ou des contacteurs, servomoteurs, électrovalves, etc...) s'exerce par l'intermédiaire de relais. La nécessité de relais se comprend aisément dans le cas d'un appareil à plusieurs directions. Dans le cas d'un appareil à une direction, il s'agit de ne pas faire travailler les contacts de régulation à l'ouverture, ce qui occasionnerait des étincelles et une détérioration rapide.



(ou les) relais utilisé est généralement du type à auto-alimentation; cependant, pour certains régulateurs-enregistreurs à plusieurs directions, un relais à double bobine est nécessaire.

La figure 25, qui correspond à l'emploi d'un relais à auto-alimentation, permet d'expliquer le fonctionnement.

RÉGULATEURS-INDICATEURS

Ils sont du type Micromax et sont identiques, comme indicateurs, à l'appareil IA, décrit page 33.

Un index qu'on déplace devant la graduation permet de fixer la température de réglage.

L'appareil peut être fourni sur demande, moyennant un supplément, avec un dispositif de commande extérieure permettant de fixer la température de réglage sans ouvrir l'appareil (désignation CEPR).

Les régulateurs à deux directions comportent deux index qui peuvent être rigoureusement accolés si les températures de réglage sont identiques.

Ces index ne peuvent pas normalement se croiser, c'est-à-dire que la température réglée sur une direction doit toujours être inférieure à l'autre, et la commande des index n'est possible qu'en ouvrant l'appareil. Moyennant un supplément, la possibilité du croisement peut être prévue et moyennant un autre supplément, la commande extérieure des index.

Il n'est possible de réaliser des indicateurs-régulateurs à deux directions et trois allures sur les deux directions, ou trois allures sur l'une et deux allures sur l'autre que si les températures de réglage sont identiques. La commutation des directions, pour un appareil à deux directions, s'effectue normalement toutes les 30 secondes. On peut prévoir une cadence de commutation plus courte, quand les températures de réglage doivent être peu différentes, mais il y a lieu de le demander spécialement en donnant toutes précisions sur les conditions d'utilisation de l'appareil.

Les désignations sont les suivantes

PYROMÈTRES RÉGULATEURS A THERMOCOUPLES :

- RIA-611 — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 1 direction **Régulateur** à 2 allures.
- RIA-611-3 — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 1 direction **Régulateur** à 3 allures.
- RIA-176 — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 2 directions **Régulateur** à 2 allures, sur une direction.
- RIA-176-3 — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 2 directions **Régulateur** à 3 allures, sur une direction.
- RIA-626 — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 2 directions **Régulateur** à 2 allures, sur chaque direction.
- RIA-626-3-2. — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 2 directions **Régulateur** à 3 allures, sur une direction, 2 sur l'autre (1).
- RIA-626-3. — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 2 directions **Régulateur** à 3 allures, sur chaque direction (1).

PYROMÈTRES RÉGULATEURS A LUNETTE A RADIATION TOTALE :

Ces appareils ne comportent normalement qu'un seul correcteur d'émissivité.

- RIA-651. — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 1 direction **Régulateur** à 2 allures.
- RIA-651-3. — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 1 direction **Régulateur** à 3 allures.
- RIA-652. — **Pyromètre Potentiomètre Indicateur** à 2 directions **Régulateur** à 2 allures, sur chaque direction.

THERMOMÈTRES RÉGULATEURS A RÉSISTANCES THERMOMÉTRIQUE :

La désignation de ces appareils se déduit de celle des appareils régulateurs à thermocouples en faisant précéder le numéro de ces derniers du chiffre 1.



- RIA-1611. — **Thermomètre-Pont de Wheatstone Indicateur** à 1 direction **Régulateur** à 2 allures.

(1) Même température de réglage.

RÉGULATEURS-ENREGISTREURS

Ils sont du type Micromax ou Speedomax et sont identiques, comme enregistreurs, aux enregistreurs décrits précédemment.

La manœuvre des contacts de réglage, pour fixer la température de réglage, se fait à l'aide d'un bouton de commande et, d'ordinaire, après avoir ouvert la porte. La commande extérieure peut être prévue, moyennant un supplément, sauf sur les régulateurs type 50 000 où elle est toujours réalisée.

Cette manœuvre déplace simultanément devant l'échelle, un index rouge dont la position, liée à celle des contacts, repère la température de réglage.

Quand l'appareil comporte plusieurs jeux de contacts (cas de plusieurs directions ou de plus de deux allures), ceux-ci sont généralement déplacés en même temps.

Cependant, deux possibilités s'offrent dans les régulateurs à 2 directions et 2 allures, du type Micromax :

1) Les deux points de réglage sont liés au même bouton de commande, et leur valeur est repérée par un seul index. Toutefois il est possible de décaler l'un des points de réglage par rapport à l'autre.

2) L'un des points de réglage est lié à l'index rouge normal. L'autre est réglable indépendamment du premier ; il est repéré au moyen d'une échelle circulaire située derrière le bâti papier. Avant tout changement de la deuxième valeur de réglage l'appareil doit donc être ouvert. Cette solution comporte un supplément.

Les enregistreurs-régulateurs à deux directions Micromax sont toujours du type à « Points et Traits ».

La commutation s'effectue normalement toutes les 30 secondes. Pour des directions plus nombreuses, rappelons que le dispositif d'impression à molette est seul utilisé. La cadence de commutation normale, pour ces appareils Micromax, est alors de 45 secondes. On peut prévoir une cadence plus courte quand les températures enregistrées, réglées ou non, doivent être peu différentes, mais il y a lieu de le demander spécialement en donnant toutes précisions sur les conditions d'utilisation de l'appareil.

Les appareils à plusieurs directions peuvent comporter une seule direction régulatrice. Dans le cas des appareils Micromax, on aura alors recours, en général, à la solution dite « à fréquence augmentée » sur cette direction. Soit, par exemple, un appareil à 4 directions, régulateur sur la direction 1 : l'ordre des commutations sera 1-2-1-3-1-4.

Les enregistreurs-régulateurs Speedomax à plus d'une direction sont à impression par molette. La commutation s'effectue normalement toutes les 4 secondes.



Pour les appareils à plus de deux directions, Micromax ou Speedomax, il est de règle, si plusieurs directions sont régulatrices, de ne prévoir qu'une seule valeur de réglage. Il existe bien, pour des besoins exceptionnels, des procédés pour échapper à cette règle, mais l'emploi d'un régulateur aveugle combiné avec celui d'un enregistreur est alors la solution classique.

Néanmoins, dans le cas des appareils Micromax à deux allures, la deuxième solution indiquée pour le Micromax à deux directions reste possible.

PYROMÈTRES A THERMOCOUPLES

Speedomax		Micromax		
à diagramme circulaire type R	à diagramme déroulant type S	à diagramme déroulant type S		
50611	60611	40611		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 1 direction, Régulateur à 2 allures.
50611-3	60611-3	40611-3		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 1 direction, Régulateur à 3 allures.
	60176	40176		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, Régulateur à 2 allures sur une direction.
	60176-3	40176-3		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, Régulateur à 3 allures sur une direction.
	60626	40626		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, Régulateur à 2 allures sur chaque direction.
		40626-3		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, Régulateur à 3 allures sur chaque direction (1).
		40626-3-2		Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 2 directions, Régulateur à 3 allures sur 1 direction, 2 sur l'autre (1).

Les appareils suivants sont tous du type Micromax.

40302. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 2 allures, sur une direction (direction 1).**
- 40302-3. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 3 allures, sur une direction (direction 1).**
40312. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 2 allures, sur une direction à fréquence augmentée (direction 1).**
- 40312-3. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 3 allures, sur une direction à fréquence augmentée (direction 1).**
40303. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 2 allures, sur 2 directions (directions 1 et 2).**
- 40303-3. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 3 allures, sur deux directions (1) (directions 1 et 2, nécessite des relais à 2 bobines).**
- 40315-S₁. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 2 allures, sur chacune des 3 directions (1).**
- 40315-S₂. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 3 directions, Régulateur à 3 allures, sur chacune des 3 directions (1).**



(1) Même température de réglage.

40304. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 4 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur une direction (2).
40313. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 4 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur une direction à fréquence augmentée. (2)
40305. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 4 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur 2 directions. (2)
40308. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 5 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur une direction (2).
40318. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 5 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur une direction à fréquence augmentée (2).
40306. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 6 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur une direction (2).
40316. — **Pyromètre Potentiomètre Enregistreur** à 6 directions, **Régulateur** à 2 allures, sur une direction à fréquence augmentée (2).

PYROMÈTRES A LUNETTE A RADIATION TOTALE

Speedomax		Micromax	
à diagramme circulaire type R	à diagramme déroulant type S	à diagramme déroulant type S	
50651	60651	40651	Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 1 direction, Régulateur à 2 allures.
50651-3	60651-3	40651-3	Pyromètre Potentiomètre Enregistreur à 1 direction, Régulateur à 3 allures.

Nous pouvons également sur demande, fournir des enregistreurs régulateurs à plusieurs directions, sauf s'il s'agit d'un enregistreur type R.

THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE THERMOMÉTRIQUE

Les designations se déduisent de celles des régulateurs à thermocouples en remplaçant le deuxième chiffre 0 par un 1.



Exemple :

61611. — **Thermomètre Pont de Wheatstone Enregistreur** à 1 direction, **Régulateur** à 2 allures.

RÉGULATEURS AVEUGLES

Ces appareils sont uniquement régulateurs et sont du type Micromax. On les emploie quand on désire régler sur 3 directions ou plus et on les double souvent par un enregistreur à plusieurs directions. Il convient alors de prévoir pour chaque direction un détecteur différent pour chaque appareil.

Les régulateurs aveugles présentent l'avantage d'une commutation des directions s'effectuant à une cadence rapide. En outre chaque direction a son point de réglage propre, réglable au moyen de cadrans gradués placés sur la platine avant de l'appareil. A chaque cadran correspond un fil calibré dont la position fixe la température de réglage.

En cas de déséquilibre, le dispositif Micromax entraîne, non plus le fil calibré, comme dans les autres appareils, mais un bras de commande des contacts monté à friction.

La commutation des directions s'effectue toutes les 3 secondes.

Toutefois, dans les appareils à 3 allures, il est procédé, sur chaque direction, à deux opérations différentes : l'une a pour but de couper ou non la troisième allure ; l'autre, de procéder au réglage proprement dit. En fait, la cadence de commutation de réglage est alors de 6 secondes.

Chaque cadran correspond à 500° ou 700° d'étendue d'échelle ; il existe des graduations standard à nous demander.



Fig. 26



Les désignations sont les suivantes :

RÉGULATEURS AVEUGLES A THERMOCOUPLES

- REG-3312. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 3 directions, 2 allures sur chaque direction.**
REG-3313. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 3 directions, 3 allures sur chaque direction.**
REG-3412. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 4 directions, 2 allures sur chaque direction.**
REG-3413. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 4 directions, 3 allures sur chaque direction.**
REG-3512. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 5 directions, 2 allures sur chaque direction.**
REG-3513. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 5 directions, 3 allures sur chaque direction.**
REG-3612. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 6 directions, 2 allures sur chaque direction.**
REG-3613. — **Potentiomètre Régulateur aveugle à 6 directions, 3 allures sur chaque direction.**

Tous ces appareils peuvent être prévus avec deux échelles : le troisième chiffre du numéro de référence est alors 2 au lieu de 1, dans la désignation.

RÉGULATEURS A RÉSISTANCE THERMOMÉTRIQUE

La désignation se déduit de celle des régulateurs à thermocouples en lui ajoutant le suffixe I.

Exemple :

REG-3412-I. — **Pont de Wheatstone Régulateur aveugle à 4 directions, 2 allures sur chaque direction.**

Ces régulateurs ne se font qu'à une seule échelle par direction.

RÉGULATEURS A PROGRAMME

Les régulateurs décrits ci-dessus ont pour but de maintenir la température à une valeur fixe, repérée par un index de réglage.

Dans les régulateurs à programme, on se propose de régler la température suivant une loi déterminée en fonction du temps. Si la loi correspondait seulement à des paliers d'assez longue durée, on pourrait se contenter d'un changement manuel de la température de réglage. Le régulateur à programme, généralement prévu pour des cas plus compliqués, a au contraire un fonctionnement automatique.

Il existe différents systèmes pour obtenir un réglage à programme : le choix entre eux aussi bien que le choix de l'appareil dépendent de la nature et de la difficulté du problème.



Si l'on s'agit d'une succession de paliers, on peut utiliser un régulateur aveugle comportant autant de fils calibrés et de cadrans que de paliers. La température de chaque palier est fixée une fois pour toutes, pour un programme déterminé, en donnant une position convenable au cadran correspondant. Un dispositif d'horlogerie assure en temps opportun le passage d'un fil calibré au suivant.

Lorsque le cycle désiré comporte des montées et descentes de température réglées, il est nécessaire de disposer de régulateurs plus spéciaux. Deux modèles existent dans nos fabrications, le régulateur type PU et le régulateur à came type PC.

RÉGULATEURS A PROGRAMME TYPE P. U.

Ce régulateur n'est utilisable qu'avec des thermocouples.

Le principe consiste à décomposer la courbe programme température - temps en éléments de droites.

On adjoint à un régulateur ordinaire un dispositif comprenant, en nombre égal à celui des éléments de droite, de montée et de descente, des générateurs de force électromotrice, chaque force électromotrice variant linéairement en fonction du temps. Le régulateur règle à une valeur constante la somme de la force électromotrice du générateur en service et de celle du thermocouple. Cette dernière varie donc aussi linéairement.

Le passage d'un générateur à l'autre s'effectue automatiquement.

Ce système comporte des commodités appréciables quand la courbe programme est susceptible d'être souvent modifiée, car la simple manœuvre de cadrans permet de faire varier à volonté, dans les limites prévues, la longueur et l'inclinaison des droites. Il est, par suite, des cas où la préférence pourra être donnée à ce genre de régulateur.

Néanmoins, il est nécessaire que la courbe puisse être facilement et correctement décomposée en un petit nombre de droites, généralement deux ou trois, car le prix et l'encombrement croîtraient de façon importante. Aussi, la solution que nous avons apportée pour le régulateur à came ayant éliminé les principaux reproches que l'on fait généralement à ce genre d'appareil, c'est maintenant celui-ci que l'on adopte le plus souvent.

Nous renvoyons donc, pour la description détaillée du régulateur P.U., à notre notice spéciale.

RÉGULATEURS A PROGRAMME TYPE P. C.

Ce régulateur est utilisé pour les réglages avec thermocouple ou avec résistance.

Comme dans le cas précédent, l'ensemble régulateur se compose d'un régulateur ordinaire auquel est adjoint un dispositif spécial dit générateur de programme.

Dans ce dernier est montée une résistance calibrée, semblable au fil calibré d'un appareil de mesure, alimentée par un courant constant (dérivé de celui de l'appareil de mesure), et dont le mouvement par rapport à un curseur est commandé par l'action d'une came suivant une loi déterminée; la différence de potentiel entre l'origine et le curseur y varie donc suivant cette loi. Comme on le verra plus loin cette différence de potentiel est, dans certains cas, ajoutée à celle du thermocouple, la somme des deux étant réglée à une valeur constante; dans d'autres cas c'est la résistance calibrée du générateur elle-même qui constitue le fil calibré de l'appareil; dans d'autres cas enfin cette résistance calibrée du générateur est introduite dans le circuit du dispositif de régulation.

La figure 27 montre le dispositif de commande. La came, enroulée sur un tambour que fait tourner un petit moteur synchrone à réducteur, pousse un galet maintenu à son contact par un ressort et provoque son déplacement parallèlement aux génératrices du tambour, le chariot support de ce galet roulant sur un système de glissières.

Un câble identique à celui employé dans nos appareils de mesure transforme ce mouvement de translation en un mouvement de rotation et fait tourner l'axe du fil calibré. Cet axe porte un cadran visible gradué en températures.



Détails de réalisation. — L'emploi d'un dispositif à came pour réaliser une régulation à programme est particulièrement indiqué, mais on reproche généralement aux régulateurs à came la difficulté de confection de la came et l'imprécision du réglage obtenu.

On a cherché ici à éviter ces inconvénients.

La came, tracée en coordonnées cartésiennes, a une hauteur utile de 110 mm et peut être exécutée en matière plastique, car le galet n'exerce sur elle qu'une pression d'appui modérée et, monté sur roulement à billes, roule sur elle. Il est donc très simple de tracer et de découper cette came tout en obtenant une précision convenable : une erreur de 2 à 3,10^e de mm sur le tracé ou découpage de la came correspond à une erreur sur les températures de 0,2 à 0,3 %, de l'étendue de l'échelle.

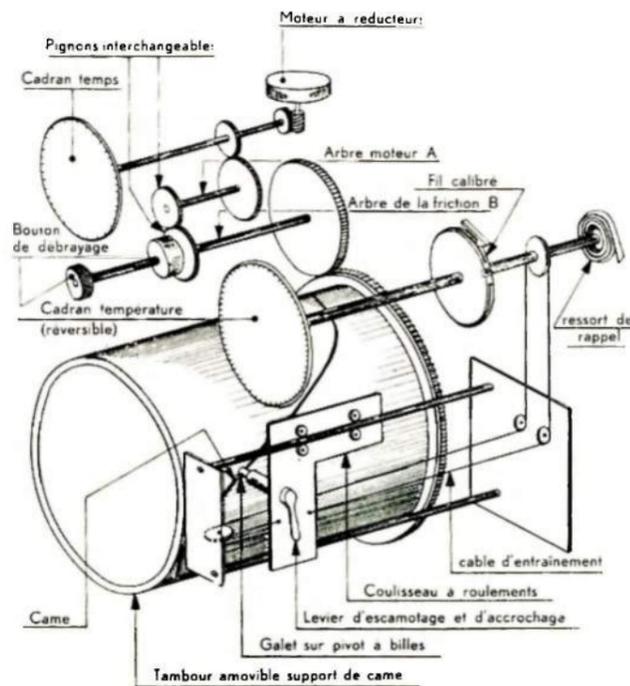


Fig. 27

Le très faible diamètre du galet autorise un tracé direct sans passer par la courbe enveloppe.

Les cames vierges sont fournies par nous; cinq sont livrées avec l'appareil.

Comme dans tous les dispositifs de programme à came il y a des limites aux pentes possibles.

Dans notre appareil une pente correspondant à une poussée du galet ne devra pas dépasser 45° environ; dans le sens inverse la pente peut être beaucoup plus grande.

Il est possible d'ailleurs, pour un même réglage, d'utiliser deux tracés de came dont les montées de l'un soient les descentes de l'autre; il suffit pour passer de l'un à l'autre d'inverser les connexions du fil calibré.

On peut donc choisir éventuellement le tracé le plus favorable en ce qui concerne les poussées du galet.

Le cadran de température porte à cet effet deux graduations recto verso de couleurs différentes et peut être rapidement retourné.

La courbe programme commence dans beaucoup de cas par une montée rapide qu'on peut traiter en montée libre. On n'aura pas par suite à s'en soucier dans le tracé de la came, le rôle de celle-ci ne devant réellement commencer que quand cette montée rapide aura permis de rejoindre la courbe programme véritable, avec pente plus modérée ou palier.

La longueur de la came est de 511 mm, sa hauteur de 110 mm, ce qui doit permettre dans beaucoup de cas d'éviter des pentes trop rapides si la vitesse de rotation du tambour est telle que la came puisse être utilisée à peu près sur toute sa longueur pour un programme déterminé.

A cet effet sont fournis cinq couples de pignons facilement interchangeables pouvant donner pour un moteur à réducteur déterminé des durées maxima de programme qui sont dans les rapports 1, 3 4, 1 2, 3 8, 1 4, 1 6, 1 8, 1 12, 1 16.

Suivant l'ensemble moteur-réducteur (d'ailleurs lui-même aisément amovible) adopté, le rapport 1 correspond à 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h, 144 h, 192 h, 240 h, 288 h, 360 h, éventuellement plus.

On peut en outre envisager des dispositions particulières dans les cas suivants :

a) si la courbe programme comporte des paliers de grande étendue qui encombreraient la came, on peut les supprimer sur celle-ci et combiner le générateur avec des horloges. Des taquets disposés sur le tambour support commanderont au début d'un palier l'arrêt de la rotation de ce tambour et la mise en service d'une horloge; celle-ci, à la fin du palier, déclenchera la remise en mouvement du tambour.



b) si les cycles doivent être particulièrement longs et compliqués, on pourra diviser chaque cycle total en un certain nombre de cycles élémentaires, chacun d'eux donnant lieu à la confection d'une came montée sur un tambour support. A la fin d'un cycle élémentaire on remplacera le tambour support par un autre portant la came suivante, ce qui s'effectue aisément.

UTILISATION AVEC NOS DIVERS POTENTIOMÈTRES RÉGULATEURS. — Le mode d'utilisation varie suivant le type d'appareil.

1^{er} **Cas des régulateurs aveugles.** Le fil calibré du générateur de programme joue le rôle de fil calibre du potentiomètre. Aucune modification n'est apportée au principe de l'appareil dont la température de réglage, au lieu d'être fixe, est variable en fonction du temps.

Le régulateur doit être prévu spécialement pour cet usage. Son schéma électrique est analogue à celui d'un appareil à deux sensibilités. Un inverseur permet pour chaque direction d'adopter le fonctionnement en régulateur normal à température constante ou en régulateur à programme. Plusieurs directions peuvent donc fonctionner suivant programme, mais avec le même programme, alors que les directions choisies pour fonctionnement normal peuvent avoir des valeurs de réglage différentes.

Dans le cas d'un régulateur à **deux allures** on aura la faculté de choisir en variante une disposition analogue à celle utilisée pour les potentiomètres enregistreurs régulateurs à programme. Celle-ci, aux possibilités précédentes, ajoute celle de pouvoir introduire des petits décalages entre les différentes directions qui suivent le programme.

2^{er} **Cas des régulateurs enregistreurs ou indicateurs.** Deux solutions peuvent être employées, les connexions entre appareil et générateur étant dans les deux cas purement électriques.

a) La première solution consiste à régler à une valeur constante la somme de la force électromotrice du thermocouple et de la différence de potentiel aux bornes de la résistance calibrée du générateur.

Dans un appareil à plusieurs directions seules la ou les directions régulatrices à programme fonctionneront suivant ce principe, l'appareil étant conçu comme nos appareils à deux sensibilités. Le programme est commun à toutes ces directions.

Si l'appareil est enregistreur, l'enregistrement correspondant aux directions régulatrices à programme sera théoriquement, suivant le type d'appareil, une droite ou un cercle; les écarts entre la courbe enregistrée effectivement et cette ligne représenteront les différences entre les températures réellement obtenues et le programme. Sur les autres directions on enregistre directement la température elle-même.

On peut, pour les directions régulatrices, passer de la régulation à programme à la régulation à température constante par la simple manœuvre d'une clé; le générateur est alors hors-circuit.

b) Dans la deuxième solution la résistance calibrée du générateur n'est plus connectée au circuit de mesure mais fait partie du dispositif de régulation qui se trouve sensiblement modifié.



La première solution est applicable dans tous les cas: tout ou rien, réglages continus électriques ou pneumatiques. La deuxième ne l'est pas pour des réglages pneumatiques. Elle est plus onéreuse que la première et nous recommandons de conseiller que dans le cas d'appareils à une direction quand on attache un intérêt particulier à avoir un enregistrement direct de la température. On évitera alors l'emploi d'un appareil à diagramme circulaire.

UTILISATION AVEC NOS APPAREILS A RÉSTANCE. — C'est surtout avec les enregistreurs que l'emploi est prévu. On adopte dans ce cas la deuxième solution indiquée ci-dessus.